

УДК 504.37:504.3.054:504.064.2(470.341-25)

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАТИОННО-АНИОННОГО СОСТАВА И КИСЛОТНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА С ТЕРРИТОРИИ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НИЖНЕГО НОВГОРОДА

**Козлов А.В., Миронова Ю.И., Воронцова А.А., Акафьева Д.В., Береснев А.А.,  
Быков А.С., Давыдов В.А., Зыков Я.В., Калининичева З.С., Орехова А.А.**

*ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет  
имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov\_ecology@mail.ru*

В статье представлена оценка экологического состояния снежного покрова с территорий, прилегающих к автомагистралям Нижнего Новгорода (Сормовское шоссе и проспект Гагарина), на основе двухлетней динамики показателей анионного состава (бикарбонаты, сульфаты, хлориды, общая минерализация) и содержания катионов тяжелых металлов (цинк, кадмий, свинец, медь) в воде снега. Отбор проб снеговых масс осуществлялся в феврале 2017 и 2018 гг. равномерно на протяжении автодорог (по 4 объединенных образца) с участков в непосредственной близости от дорожного полотна. В качестве фона был выбран участок заснеженного лесного массива «Дубрава». В результате исследований было установлено, что среднее содержание бикарбонатов в снеге автомагистралей заречной части города составило 25,90 мг/л и 41,84 мг/л, а нагорной части – 55,79 и 48,43 мг/л соответственно по годам исследования. В условиях Сормовского шоссе содержание бикарбонатов повысилось в 1,6 раза, а в условиях проспекта Гагарина – снизилось в 1,2 раза по сравнению с прошлым (2017) годом. В нагорной части города в условиях проспекта Гагарина содержание сульфат-аниона в воде снега оказалось наибольшим из всех изучаемых вариантов и весьма значительным: его накопление в снеге в 2017 г. составило 521,00 мг/л, а в 2018 г. – 308,09 мг/л, что больше, чем в заречной части, соответственно по годам исследования в 12,0 и 6,1 раза. Отмечается заметно сниженный уровень накопления тяжелых металлов в снеге на второй год исследования по сравнению с первым – на 75% в условиях фоновой территории, на 32% в условиях Сормовского шоссе и на 35% в условиях проспекта Гагарина. В условиях прилегающих к автодорогам участков снежный покров характеризовался слабощелочной реакцией на Сормовском шоссе в первый год и на проспекте Гагарина в оба года исследования.

**Ключевые слова:** снежный покров, катионно-анионный состав, тяжелые металлы, загрязнение снега, критерии экологического состояния

## ENVIRONMENTAL ESTIMATION OF CATION-ANION STRUCTURE AND ACIDITY OF SNOW COVER AT THE TERRITORY OF THE NIZHNY NOVGOROD HIGHWAYS

**Kozlov A.V., Mironova Yu.I., Vorontsova A.A., Akafeva D.V., Beresnev A.A.,  
Bykov A.S., Davydov V.A., Zykov Ya.V., Kalinicheva Z.S., Orekhova A.A.**

*Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod,  
e-mail: a.v.kozlov\_ecology@mail.ru*

Assessment of an ecological condition of snow cover from the territories adjacent to highways of Nizhny Novgorod (Sormovskoye Highway and Gagarin Avenue), on the basis of two-year dynamics of indicators from anion structure (bicarbonates, sulfates, chlorides, the general mineralization) and the maintenance of cations of heavy metals (zinc, cadmium, lead, copper) in snow water is presented in article. Sampling of snow masses was carried out in February, 2017 and 2018 evenly throughout highways (on 4 integrated samples) from sites in close proximity to a roadbed. As a background the site of the snow-covered forest area «Oak grove» has been chosen. As a result of researches it has been established that the average content of bicarbonates in snow of the highway of a part over the river of the city was 25,90 mg/l and 41,84 mg/l, and a mountain part – 55,79 and 48,43 mg/l respectively by years of a research. In the conditions of Sormovskoye Highway the content of bicarbonates has raised by 1,6 times, and in the conditions of Gagarin Avenue – has decreased by 1,2 times in comparison with the past (2017). In a mountain part of the city in the conditions of Gagarin Avenue contents sulfate-anion in water of snow was the greatest of all studied options and very considerable: his accumulation in snow in 2017 has made 521,00 mg/l, and in 2018 – 308,09 mg/l that more than in a part over the river respectively by years of a research in 12,0 and 6,1 times. The reduced level of accumulation of heavy metals in snow for the second year of a research in comparison with the first – for 75% in the conditions of the background territory, for 32% in the conditions of Sormovskoye Highway and for 35% in the conditions of Gagarin Avenue is noted much. In the conditions of sites, adjacent to highways, snow cover was characterized by alkalinescent reaction on Sormovskoye Highway in the first year and on Gagarin Avenue in both years of a research.

**Keywords:** snow cover, cationic and anionic structure, heavy metals, snow pollution, criteria of an ecological state

Проблема неблагоприятного экологического состояния городской среды в настоящее время остается актуальной, а его изучение и оценка – востребованными с точки зрения регионального экологиче-

ского мониторинга [1, 2]. Нужно отметить, что атмосфера населенных мест, сопряженная с поступлением загрязнителей из газо-пылевых выбросов промышленности и из выхлопных газов автотранспорта, яв-

ляется главной средой, транспортирующей поллютанты в почвенный покров и водные объекты. К «переносчикам» загрязняющего фона в том числе относят все виды осадков, основными из которых являются дождевые и снеговые массы. По этим и другим причинам [3] эколого-химический анализ данных временно депонирующих объектов окружающей среды на предмет накопления загрязняющих веществ необходим как для понимания общего уровня загрязненности атмосферного воздуха Нижнего Новгорода, так и для ориентирования в мерах накопления как таковых загрязнителей в консервативных природных и природно-техногенных объектах – почвенном покрове и водоемах.

Цель исследования – проведение оценки экологического состояния снежного покрова крупных автомагистралей города Нижнего Новгорода на основе двухлетней динамики накопления различных анионов и катионов тяжелых металлов, а также интегрального показателя – кислотности.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследование снежного покрова проводилось в течение двух лет (2017–2018 гг.) в соответствии с требованиями общепринятых нормативно-методических документов [4–6].

Пробы снега отбирали вручную с помощью пластмассового цилиндра ( $\varnothing = 10$  см,  $h = 20$  см) в непрозрачные полиэтиленовые пакеты. Отбор проб осуществлялся в начале февраля 2017 и 2018 гг. равномерно на протяжении крупных автомагистралей Нижнего Новгорода – Сормовское шоссе (заречная часть города) и проспект Гагарина (нагорная часть города). Для пробоотбора выбирали визуально чистые и ровные участки снежного покрова в непосредственной близости от дороги; площадь каждого участка =  $10 \text{ м}^2$ . На одном участке отбирали по 5 точечных проб, которые впоследствии смешивали в 1 объединенную пробу. С каждой автомагистрали равноудаленно друг от друга всего было отобрано по 4 объединенных пробы.

В качестве условно незагрязненного (фонового) участка был выбран участок лесного массива «Дубрава», примыкающего с северо-западной стороны непосредственно к черте города. В лесном массиве было также отобрано 4 объединенных образца снега, каждый из которых также состоял из 5 точечных.

Пробы снега доставляли в лабораторию и раскладывали из пакетов в пластиковые

емкости (тазы) для естественного оттаивания. Анализ проб воды был проведен в Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при Мининском университете по некоторым гидрохимическим показателям содержащихся в снеге веществ и содержанию в нем растворимых соединений тяжелых металлов [7]; аналитическая повторность – трехкратная. В полученной талой воде определяли кислотность потенциометрическим методом на рН-метре милливольтметре МАРК-903. В фильтрате данных проб воды определяли содержание сухого остатка (общая минерализация) – кондуктометрией с помощью кондуктометра DIST-3 (HANNA), а также содержание хлоридов аргентометрическим, сульфатов – йодометрическим, бикарбонатов – кислотнo-основным видами титриметрии.

Содержание тяжелых металлов в воде снега также определяли в отфильтрованных образцах методом инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометре-полярографе TA-Lab по методике определения ТМ в воде (ПНД Ф 14.1:2:4.222-06), предварительно пропустив образцы через обеззоленные фильтры («синяя» лента) и проведя минерализацию имеющихся органических веществ с помощью концентрированной муравьиной кислоты.

Результаты измерений обработаны методом вариационной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На рис. 1 представлены данные по содержанию бикарбонатов и сульфатов в воде снега. Нужно сказать, что накопление в снеге обоих анионов оказалось в разы выше по отношению к их содержанию в условиях формирования снежного покрова лесной дубравы (фон). Так, если по состоянию на 2017 г. среднее по 4 точкам содержание бикарбонатов в снеге фонового участка составляло 3,66 мг/л, а на 2018 г. – 2,96 мг/л, то на автомагистрали заречной части города содержание бикарбонат-анионов составило 25,90 мг/л и 41,84 мг/л, а нагорной части – 55,79 мг/л и 48,43 мг/л соответственно по годам исследования.

В условиях Сормовского шоссе содержание бикарбонатов повысилось в 1,6 раза, а в условиях проспекта Гагарина – снизилось в 1,2 раза по сравнению с прошлым (2017) годом.

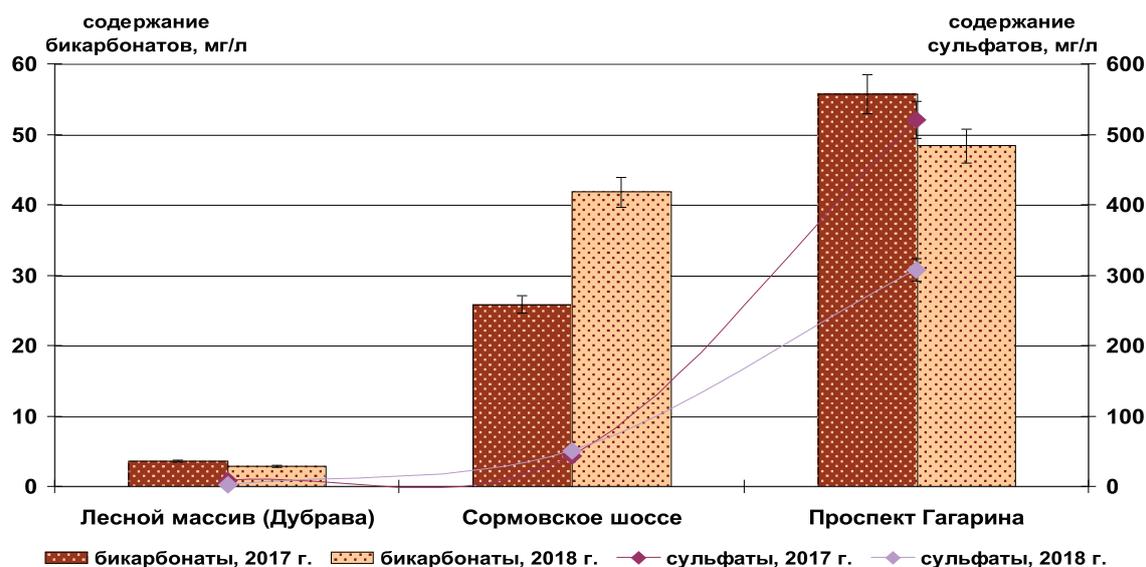


Рис. 1. Характеристика снежного покрова автомагистралей Нижнего Новгорода по содержанию бикарбонатов и сульфатов

Содержание сульфатов в воде снега имело почти аналогичную тенденцию. В воде снега с фонового участка накопление сульфат-анионов составило 8,25 мг/л в 2017 г. и 3,51 мг/л в 2018 г. В то же время содержание в снеге данного токсиканта в условиях заречной части города (Сормовское шоссе) превысило фоновый уровень в 5,3 раза в 2017 г. (43,34 мг/л) и в 14,5 раза в 2018 г. (50,80 мг/л). В нагорной части города в условиях проспекта Гагарина содержание сульфат-анионов в воде снега оказалось наибольшим из всех изучаемых вариантов и весьма значительным: в среднем по 4 участкам накопление его в снеге в 2017 г. составило 521,00 мг/л, а в 2018 г. – 308,09 мг/л, что больше, чем в заречной части, соответственно по годам исследования в 12,0 и 6,1 раза. Очевидно, что наличие бикарбонатов и сульфатов в снежной воде обусловлено высоким содержанием различных оксидов углерода и серы в атмосфере, способных растворяться при образовании снеговых масс. Данные оксиды типичны для урбоэкосистем с высокоразвитой промышленной инфраструктурой, следствием чего является высокий уровень выбросов в атмосферу различных газов [8, 9].

Рис. 2 отражает данные по содержанию в снежном покрове хлоридов и его общей минерализации, выраженной показателем сухого остатка. Содержание хлорид-анионов в воде снега изучаемых территорий имело аналогичную тенденцию с накоплением сульфатов и бикарбонатов. Если в условиях

формирования фонового снежного покрова среднее по 4 точкам содержание хлоридов составляло 6,13 мг/л и 2,61 мг/л соответственно по годам исследования, то в условиях города хлоридное загрязнение снеговых масс оказалось много выше, и в особенности на территории проспекта Гагарина.

Здесь накопление хлоридов превысило значения по Сормовскому шоссе в 13,6 раза в 2017 г. (643,82 мг/л против 47,17 мг/л) и в 4,6 раза в 2018 г. (580,30 мг/л против 127,50 мг/л), а фоновые значения – соответственно в 105,0 и в 222,3 раза (фоновый уровень = 6,13 мг/л и 2,61 мг/л соответственно по годам исследования). По-видимому, столь существенный уровень загрязнения хлоридами снеговых масс в условиях автомагистралей мог быть обусловлен как неправильной эксплуатацией пескоразбрасывательной техники, антигололедные смеси из которой попадали не только непосредственно на дорожное покрытие, но и на обочины, а также – перебросом образующихся снего-песковых масс с автодорог на прилегающие территории в процессе чистки дорог [10, 11].

Как известно, песко-соляные смеси, уже несколько десятилетий применяемые в зимнее время при эксплуатации дорожного покрытия в качестве антигололедного агента, в значительной степени загрязняют хлоридами прилегающий почвенный покров, что впоследствии сказывается на уровне концентрации хлорид-анионов в грунтовых водах.

Содержание сухого остатка в снеге, отражающего его минерализацию различными катионами и анионами, закономерно имело схожую тенденцию с накоплением ранее рассмотренных веществ. На второй год исследования в условиях лесной территории (фон) накопление минерализата на 40% превысило его содержание в снеге, отобранном в 2017 г., и составило 28 мг/л.

В условиях Сормовского шоссе, расположенного в заречной части города, увеличение содержания сухого остатка в 2018 г. составило 77% по отношению к данным 2017 г. В условиях проспекта Гагарина, расположенного

в нагорной части города, уровень минерализации снега, наоборот, снизился на 15% на второй год наблюдения в сравнении с первым годом. Закономерно с накоплением в снеге катионно-анионных форм разнообразных химических веществ показатель сухого остатка имел наибольший уровень в условиях проспекта Гагарина. Здесь абсолютные значения показателя составили 2678 мг/л (2017 г.) и 2279 мг/л (2018 г.), что больше, чем в снеговой воде с Сормовского шоссе, в 8,0 раза (2017 г.) и в 3,8 раза (2018 г.), и еще больше, чем в снежном покрове фонового участка – в 133,9 раза (2017 г.) и в 81,4 раза (2018 г.).

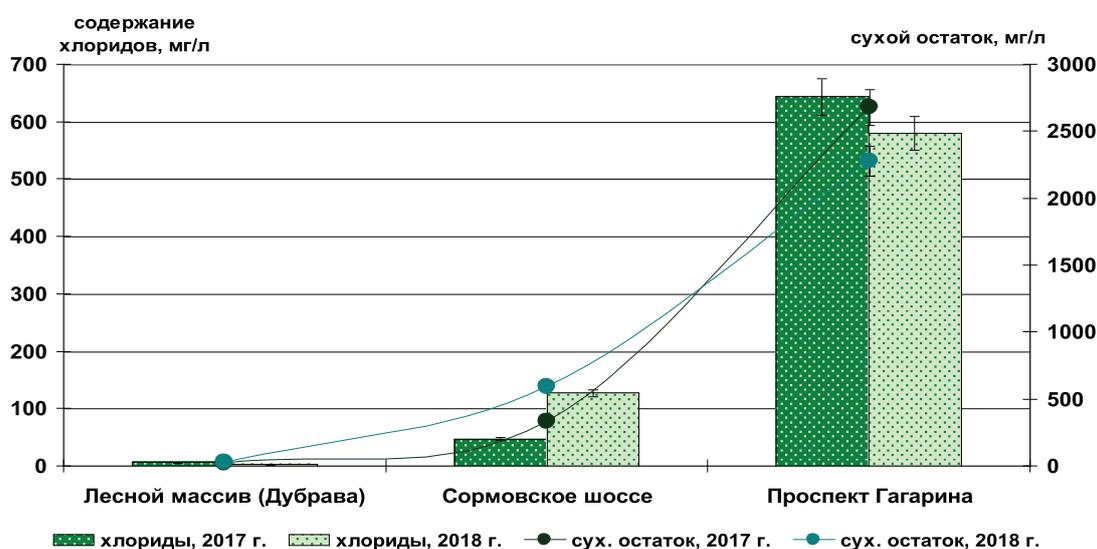


Рис. 2. Характеристика снежного покрова автомагистралей Нижнего Новгорода по содержанию хлоридов и сухого остатка (общей минерализации)

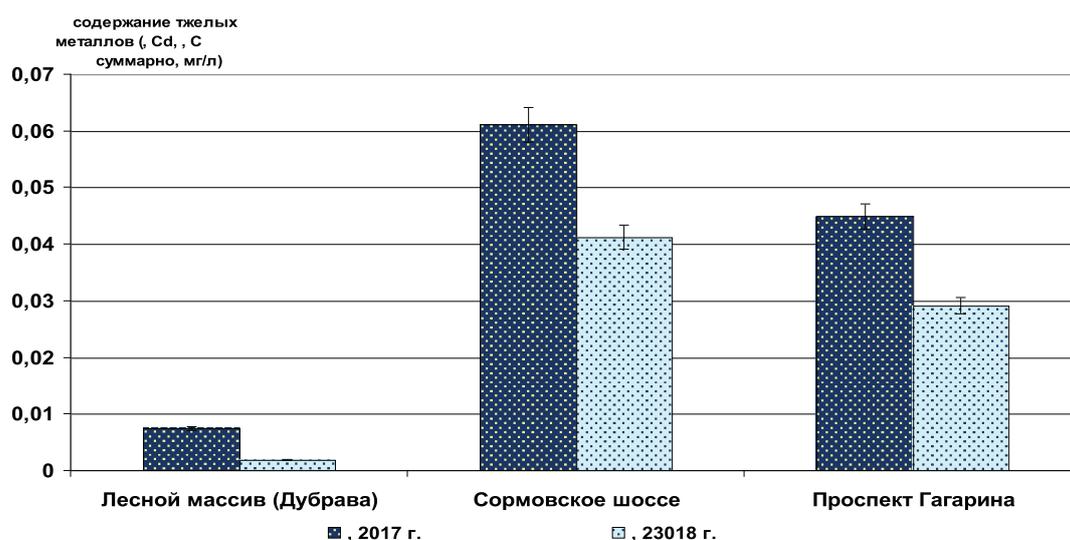


Рис. 3. Характеристика снежного покрова автомагистралей Нижнего Новгорода по содержанию суммы растворимых соединений тяжелых металлов – цинка, кадмия, свинца и меди

Динамика кислотности воды снега по годам исследований  
( $M \pm m$ : среднее  $\pm$  ошибка среднего;  $V, \%$  – коэффициент вариации)

Место отбора проб	Значение pH по точкам отбора, ед. pH				$M \pm m$	$V, \%$
	I	II	III	IV		
2017 г.						
Лесной массив (фон)	6,83	6,22	6,24	6,50	$6,45 \pm 0,14$	4
Сормовское шоссе	7,13	7,28	6,98	7,04	$7,11 \pm 0,07$	2
Проспект Гагарина	7,27	7,07	6,95	7,05	$7,09 \pm 0,07$	2
2018 г.						
Лесной массив (фон)	6,40	6,38	6,12	6,63	$6,38 \pm 0,10$	3
Сормовское шоссе	6,54	6,53	7,19	7,01	$6,82 \pm 0,17$	5
Проспект Гагарина	6,93	7,50	7,26	6,59	$7,07 \pm 0,20$	6

График, показанный на рис. 3, отражает суммарное накопление растворимых соединений тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb и Cu) в снеговой воде за 2 года исследований. Прежде всего, нужно отметить заметно сниженный уровень накопления токсикантов в снеге на второй год исследования по сравнению с первым годом – на 75% в условиях фоновой территории, на 32% в условиях Сормовского шоссе и на 35% в условиях проспекта Гагарина.

Наибольшее суммарное содержание тяжелых металлов отмечалось в снежном покрове автотрассы заречной части города. Здесь накопление токсикантов составило 0,0611 мг/л в 2017 г. и 0,0413 мг/л в 2018 г., что ниже, чем в нагорной части города, соответственно на 26% (0,0450 мг/л) и на 29% (0,0292 мг/л).

В снеговом покрове лесного массива содержание тяжелых металлов закономерно оказалось наименьшим – 0,0075 мг/л (2017 г.) и 0,0019 мг/л (2018 г.). При этом нужно отметить, что если в суммарном накоплении токсикантов в снеге с придорожных территорий участвовали все рассматриваемые металлы, то в воде снега из Дубравы в первый год отсутствовала медь, а во второй год – медь и свинец. При определении содержания их растворимых форм вольтамперометрическим методом уровень полученной концентрации находился ниже предела обнаружения данным прибором. Общий высокий уровень накопления растворимых соединений тяжелых металлов в снеговой воде, очевидно, обусловлен повышенной загазованностью воздуха пылевыми выбросами крупных промышленных предприятий города, содержащими в своем составе частицы таковых токсикантов, что подтверждается рядом аналогичных исследований [12, 13].

Данные таблицы показывают динамику кислотности воды снега по вариантам исследования. Анализируя полученные данные, нужно отметить слабокислую реакцию снеговой воды в условиях формирования снежного покрова в лесном массиве – 6,45 и 6,38 ед. pH соответственно по годам отбора и анализа проб снега.

В условиях прилегающих к автотрассам участков снежный покров характеризовался слабощелочной реакцией на Сормовском шоссе в первый год и на проспекте Гагарина в оба года исследования. Данный факт может свидетельствовать о наличии щелочно-гидролизующих соединений в составе газов и пыли, попадающих в атмосферу из выбросов промышленных предприятий и автотранспорта, которые в некоторой степени подщелачивают воду снега [8].

Вариабельность кислотности воды снеговых масс не превышала 10%, что говорит о высокой степени консервативности показателя вне зависимости от точек отбора проб.

### Выводы

Проанализировав данные за 2 года исследования, нужно подчеркнуть факт наличия определенного уровня загрязненности снеговых масс в условиях накопления в черте городской территории. На основании полученных данных отмечается значительное загрязнение бикарбонатами, сульфатами, хлоридами и общей минерализацией снега с местности, прилегающей к проспекту Гагарина, а существенное загрязнение тяжелыми металлами – снега с местности, расположенной близ Сормовского шоссе. По состоянию на зимний период двух лет исследования (2017–2018 гг.) территории автомагистралей в целом характеризуются высокой экологической напряженностью,

связанной не только с общим значительным уровнем загрязнения токсикантами снеговых масс, но также и с риском миграции данных загрязнителей в почвенный покров и грунтовые воды, и транслокации – в городскую растительность.

### Список литературы

1. Исламова А.А. Анализ уровня загрязненности почвенно-растительной компоненты урбоэкосистемы города Бирск республики Башкортостан / А.А. Исламова, Е.Э. Палатова // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 15–17.
2. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов: учебно-методическое пособие / А.В. Козлов. – Н. Новгород: Мининский университет, 2016. – 146 с.
3. Копосова Н.Н. Анализ территориальных различий в уровнях концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Нижнего Новгорода / Н.Н. Копосова, А.В. Козлов, И.М. Шешина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19379> (дата обращения: 24.06.2018).
4. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
5. МР 5174-90 Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
6. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 615 с.
7. Козлов А.В. Лабораторно-инструментальные методы исследований в экологии объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие / А.В. Козлов. – Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2016. – 89 с.
8. Летенкова И.В. Химический анализ снежного покрова Новгородской области / И.В. Летенкова, В.Ф. Литвинов, В.Г. Смержок // Вестник Новгородского государственного университета. – 2014. – № 76. – С. 73–76.
9. Шумилова М.А. Исследование загрязненности снежного покрова на примере города Ижевска / М.А. Шумилова, О.В. Садиллина, В.Г. Петров // Вестник Удмуртского университета. Серия: физика и химия. – 2012. – № 2. – С. 83–89.
10. Щукова И.В. Качество воды водозаборных скважин в районах малоэтажной застройки городских агломераций / И.В. Щукова, З.В. Кивилева // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 10, № 11. – С. 87–89.
11. Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 181 с.
12. Янченко Н.И. Особенности химического состава снежного покрова и атмосферных осадков в городе Братске / Н.И. Янченко, О.Л. Яскина // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324, № 3. – С. 27–35.

13. Шадрин И.А. Анализ токсичности снежного покрова г. Красноярска методом биотестирования / И.А. Шадрин // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 12. – С. 230–235.

### References

1. Islamova A.A. Analiz urovnya zagryaznennosti pochvenno-rastitel'noj komponenty' urboe'ko-sistemy' goroda Birska respubliki Bashkortostan / A.A. Islamova, E.E. Palatova // Uspexi sovremennoj nauki. – 2017. – T. 5, № 1. – P. 15–17.
2. Kozlov A.V. Ocenka e'kologicheskogo sostoyaniya pochvennogo pokrova i vodny'x ob'ektov: uchebno-metodicheskoe posobie / A.V. Kozlov. – N. Novgorod: Mininskij universitet, 2016. – 146 p.
3. Kuposova N.N. Analiz territorial'ny'x razlichij v urovnyax koncentracij zagryaznyayushhix veshhestv v atmosfernom vozduxe goroda Nizhnego Novgoroda / N.N. Kuposova, A.V. Kozlov, I.M. Sheshina // Sovremennye problemy' nauki i obrazovaniya. – 2015. – № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19379> (дата обращения: 24.06.2018).
4. GOST 17.1.5.05-85 Oхрана природы'. Gidrosfera. Obshhie trebovaniya k otboru prob poverx-nostny'x i morskix vod, l'da i atmosfery'x osadkov. – M.: Izd-vo standartov, 1985. – 12 p.
5. MR 5174-90 Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo voz-duxa naselenny'x punktov metallami po ix sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve. – M.: Izd-vo standartov, 1990. – 7 p.
6. RD 52.04.186-89 Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery'. – M.: Izd-vo standartov, 1989. – 615 p.
7. Kozlov A.V. Laboratorno-instrumental'ny'e metody' issledovaniy v e'kologii ob'ektov okruzhayushhej sredy': uchebno-metodicheskoe posobie / A.V. Kozlov. – N. Novgorod: NGPU im. K. Minina, 2016. – 89 p.
8. Letenkova I.V. Ximicheskij analiz snezhnogo pokrova Novgorodskoj oblasti / I.V. Letenkova, V.F. Litvinov, V.G. Smorzok // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2014. – № 76. – P. 73–76.
9. Shumilova M.A. Issledovanie zagryaznennosti snezhnogo pokrova na primere goroda Izhev-ska / M.A. Shumilova, O.V. Sadiullina, V.G. Petrov // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: fizika i ximiya. – 2012. – № 2. – P. 83–89.
10. Shhukova I.V. Kachestvo vody' vodozaborny'x skvazhin v rajonax maloe'tazhnoj zastrojki go-rodskix aglomeracij / I.V. Shhukova, Z.V. Kivileva // Uspexi sovremennoj nauki. – 2016. – T. 10, № 11. – P. 87–89.
11. Vasilenko V.N. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova / V.N. Vasilenko, I.M. Nazarov, Sh.D. Fridman. – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 181 p.
12. Yanchenko N.I. Osobennosti ximicheskogo sostava snezhnogo pokrova i atmosfery'x osadkov v gorode Bratske / N.I. Yanchenko, O.L. Yaskina // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo uni-versiteta. – 2014. – T. 324, № 3. – P. 27–35.
13. Shadrin I.A. Analiz toksichnosti snezhnogo pokrova g. Krasnoyarska metodom biotestirovaniya / I.A. Shadrin // Vestnik KrasGAU. – 2017. – № 12. – P. 230–235.