

УДК 504.37/3.054/064.2

ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НИЖНЕГО НОВГОРОДА

Козлов А.В., Миронова Ю.И., Машакин А.М., Кондрашин Б.В., Дедык В.Е.,
Тарасов И.А., Воронцова А.А., Акафьева Д.В.

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

В статье проанализировано состояние снежного покрова, отобранного с наиболее крупных автомагистралей города Нижнего Новгорода, на основе его некоторых химических показателей и интегральной биологической токсичности. Пробы снега отбирали в феврале 2017 г. на протяжении крупных автомагистралей Нижнего Новгорода – Сормовского шоссе и проспекта Гагарина (по 4 точечных образца) с визуально чистых участков в непосредственной близости от дороги. В качестве фона был выбран участок заснеженного лесного массива «Дубрава». В результате исследований было установлено, что в условиях городских автомагистралей снежный покров имеет довольно высокие концентрации хлоридов и сульфатов: по точкам отбора с Сормовского шоссе содержание хлоридов и сульфатов варьирует соответственно в диапазонах 24,67–62,36 мг/л и 30,16–62,09 мг/л, а по точкам отбора с проспекта Гагарина данная вариабельность составляет 416,82–988,45 мг/л и 280,11–879,22 мг/л. Наибольшим уровнем загрязненности тяжелыми металлами характеризуется фоновый участок леса, в снеге которого выявлены максимальные концентрации цинка (в среднем до 0,0576 мг/л) и кадмия (в среднем до 0,0133 мг/л). Содержание свинца в снежном покрове примерно одинаковое как с Сормовского шоссе, так и с проспекта Гагарина (0,0053 и 0,0048 мг/л). Минимальное содержание веществ-поллютантов в пробах снега фонового участка проявляет токсический эффект (10%, $V = 6,0\%$), который оценивается как допустимый (1 группа токсичности). Пробы воды снега, отобранного с автомагистрали заречной части города, в целом проявляют среднюю токсичность (2 группа), а отобранного с автомагистрали нагорной части – острую токсичность (59%, $V = 26,5\%$) по отношению к тест-объекту (3 группа).

Ключевые слова: снежный покров, критерии экологического состояния, биологическая токсичность снега

STATE OF ECOLOGY-CHEMICAL ASSESSMENT AND BIOLOGICAL TOXICITY OF SNOW COVER HIGHWAYS OF NIZHNY NOVGOROD

Kozlov A.V., Mironova Yu.I., Mashakin A.M., Kondrashin B.V., Dedyk V.E.,
Tarasov I.A., Vorontsova A.A., Akafeva D.V.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

In article condition of snow cover, which is selected from largest highways of Nizhny Novgorod, on the basis of his some chemical indicators and integrated biological toxicity is analysed. Tests of snow selected in February, 2017 throughout large highways of Nizhny Novgorod – Sormovo Highway and Gagarin Avenue (4 dot samples) from visually pure sites in close proximity to the road. As a background the site of snow-covered forest area «Oak grove» has been chosen. As a result of researches it has been established, that in the conditions of city highways snow cover has quite high concentration of chlorides and sulfates: on selection points from Sormovo Highway the content of chlorides and sulfates varies respectively in the ranges of 24,67-62,36 mg/l and 30,16-62,09 mg/l, and on selection points from Gagarin Avenue this variability makes 416,82-988,45 mg/l and 280,11-879,22 mg/l. The largest level of impurity heavy metals characterizes the background site of the wood in which snow the maximum concentration of zinc (on average to 0,0576 mg/l) and cadmium are revealed (on average to 0,0133 mg/l). Content of lead in snow cover approximately identical both from Sormovo Highway, and from Gagarin Avenue (0,0053 and 0,0048 mg/l). Minimum content of substances-pollutances in tests of snow of the background site shows toxic effect (10%, $V = 6,0\%$), which is estimated as admissible (1 group of toxicity). Tests of water of the snow which is selected from the highway of a part over the river of the city in general show average toxicity (the 2nd group), and selected from the highway of a mountain part – acute toxicity (59%, $V = 26,5\%$) in relation to a test object (the 3rd group).

Keywords: snow cover, criteria of ecological state, biological toxicity of snow

Нижний Новгород считается одним из крупных центров России с развитой промышленной инфраструктурой и высокой степенью загазованности воздуха от работы автомобильных двигателей. По этим причинам загрязнение атмосферы экотоксикантами в пределах городской черты остается одной из главных экологических проблем мегаполисов [1, 2, 6, 7].

Несмотря на то, что снег как объект оценки состояния среды не является эко-

логически нормируемой системой, многие исследователи указывают на его высокую значимость в экологических исследованиях окружающей среды [3, 14, 15]. Причиной тому является множество термодинамических и физико-химических факторов образования снега, его массопереноса и процессов загрязнения. В частности, в момент формирования кристаллов воды в воздухе и выпадения их на землю происходит влажная седиментация рассеянных в атмосфере

поллютантов. Кроме того, в атмосферном пространстве активно развит процесс переноса воздушных масс, следствием чего является сухое осаждение загрязняющих веществ на поверхность снежного покрова. Благодаря таким естественным процессам концентрирования поллютантов в снеге содержание в нем загрязняющих веществ считается одним из значимых критериев оценки экологического состояния атмосферы [4, 8, 9, 10, 13].

Цель исследования

Целью данной работы явилась оценка экологического состояния снежного покрова крупных автомагистралей города Нижнего Новгорода на основе данных количественного химического анализа талой воды и определения ее интегральной биологической токсичности, в том числе и во взаимосвязи с содержащимися в ней экотоксикантами.

Материалы и методы исследования

Пробы снега отбирали вручную в полиэтиленовые пакеты в начале февраля 2017 г. равномерно на протяжении крупных автомагистралей Нижнего Новгорода – Сормовского шоссе (заречная часть города) и проспекта Гагарина (нагорная часть города). Для пробоотбора выбирали визуально чистые участки снежного покрова в непосредственной близости от дороги. С каждой автомагистрали равноудаленно друг от друга было отобрано по 4 точечных пробы. В качестве фоновой оценки был выбран снежный покров лесного массива «Дубрава», примыкающий с северо-западной стороны непосредственно к черте города. В лесном массиве было также отобрано 4 точечных образца.

Пробы снега доставляли в лабораторию и раскладывали в емкости для естественного оттаивания. Анализ проб воды был проведен в эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды при Мининском университете по основным гидрохимическим показателям и биологической токсичности содержащихся в снеге веществ [5]; аналитическая повторяемость – трехкратная. В полученной талой воде определяли кислотность потенциометрическим методом на рН-метре-милливольтметре МАРК-903 и массу взвешенных веществ гравиметрическим методом. В фильтрате данных проб воды определяли содержание хлоридов argentометрическим, а сульфатов – йодометрическим титрованием; общую минерализацию – кондуктометрией с помощью кондуктометра DIST-3 (HANNA).

Содержание тяжелых металлов в воде снега определяли методом инверсионной вольтамперометрии на вольтамперометре-полярографе TA-Lab по методике определения ТМ в воде [12], предварительно отфильтровав образцы и проведя минерализацию имеющихся органических веществ с помощью концентрированной муравьиной кислоты. В качестве оценки критерия интегральной токсичности проб снега использовали биоломинесцентный метод, основанный на реакции люминесцентной генно-инженерной бактерии *Escherichia coli* M-17 (биосенсор

«Эколюм»), используемой при работе на приборе БИОТОКС 10-М [11]. Результаты измерений обработаны методом вариационной статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 показано изменение показателей воды снега, характеризующих его обобщенное химическое состояние. Кислотность воды снега явилась самым консервативным показателем, поскольку варибельность ее значений была самой минимальной вне зависимости от места отбора проб. В целом вода всего проанализированного снежного покрова находилась в нейтральном диапазоне рН. Снег обеих автомагистралей города характеризовался слабощелочной реакцией, а фоновый участок – слабокислой.

Содержание взвешенных веществ тематически не отличалось однородностью как по точкам отбора, так и в целом по анализируемым объектам. Например, варибельность данного показателя в условиях автомагистралей достигала 72,3% по проспекту Гагарина и 132,7% по Сормовскому шоссе. Наибольшие значения содержания взвешенных примесей были определены в условиях нагорной части города, где показатель достигал 51,74 г/л воды снега. В пробах дороги заречной части содержание взвесей достигало 9,68 г/л. По-видимому, такой уровень значений был обусловлен высокой степенью запыленности и загазованности воздуха вследствие интенсивного транспортного потока. Чего нельзя сказать про состояние снежного покрова в лесном массиве, выбранного в качестве фона. Здесь содержание взвешенных веществ в воде снега было минимальным и наименее варибельным ($V = 6,0\%$).

В условиях городских автомагистралей также были установлены довольно высокие концентрации хлоридов и сульфатов в воде снежного покрова. Причем нагорная часть города снова отличилась уровнем данных значений. Так, если по точкам отбора с Сормовского шоссе содержание хлоридов и сульфатов варьировало соответственно в диапазонах 24,67–62,36 мг/л и 30,16–62,09 мг/л, то по точкам отбора с проспекта Гагарина данная варибельность составила 416,82–988,45 мг/л и 280,11–879,22 мг/л.

В фоновых условиях (лесной массив «Дубрава») общий уровень и варибельность данных показателей были много ниже: 5,71–6,45 мг/л и 7,76–8,65 мг/л соответственно по хлоридам и сульфатам.

Очевидно, что подобная разница в уровне таких значений вызвана высокой антропогенной нагрузкой на городскую экосистему, которая может заключаться в наличии больших концентраций техногенных сернистого (SO_2) и серного (SO_3) газов в атмосфере города, хорошо растворимых в воде, а также присутствием пескосоляных смесей на поверхности почвенного и снежного покровов в условиях широко развитого применения противогололедных технологий, которые в качестве антисмо-раживающего реагента изначально содержат технический хлорид натрия. Данный аспект имеет большое значение с точки зрения появления риска загрязнения грунтовых вод избыточным количеством хлоридов и сульфатов, поступающих как через открытые участки почвенного покрова, так и через систему ливневой канализации вглубь грунтов [10, 11].

Содержание всех растворенных солей в пробах воды снега, показанное в виде показателя общей минерализации, также обладало достаточно высоким уровнем и вариабельностью в городских условиях. В частности, если в условиях Сормовского шоссе среднее значение показателя в 333 мг/л варьировало на 32,7%, то в условиях проспекта Гагарина оно составило 2678 мг/л с вариабельностью

в 79,9%. Минерализация воды снега, отобранного с фонового участка, была минимальной (20 мг/л, $V = 5,9\%$).

Помимо содержания наиболее распространенных химических веществ пробы воды снега также характеризовались наличием тяжелых металлов (табл. 2).

Анализируя снежный покров, нужно сказать о значительной вариабельности содержания в нем цинка, кадмия, свинца и меди в зависимости от точек отбора проб.

Например, наибольшей статистической неоднородностью отличалось содержание кадмия (до 104%) и меди (до 134%) в воде снега с Сормовского шоссе, а также содержание свинца в воде снежного покрова с проспекта Гагарина (до 130%).

Однако наибольшим уровнем загрязненности тяжелыми металлами характеризовался фоновый участок леса, в снеге которого были выявлены максимальные концентрации цинка (в среднем до 0,0576 мг/л) и кадмия (в среднем до 0,0133 мг/л). Содержание свинца в снежном покрове было примерно одинаковым как с Сормовского шоссе, так и с проспекта Гагарина (0,0053 и 0,0048 мг/л). Медь как экотоксикант была обнаружена в воде снега только в заречной части города (в среднем до 0,0033 мг/л).

Таблица 1

Общие химические показатели воды снега
($M \pm m$: среднее \pm ошибка среднего; $V, \%$ – коэффициент вариации)

Показатель	Значения по точкам отбора				$M \pm m$	$V, \%$
	I	II	III	IV		
Фоновый уровень (лесной массив «Дубрава»)						
Водородный показатель (pH), ед. pH	6,83	6,22	6,24	6,50	$6,45 \pm 0,14$	4,4
Взвешенные вещества, г/л	1,55	1,72	1,50	1,62	$1,60 \pm 0,05$	6,0
Общая минерализация, мг/л	21	18	20	21	20 ± 1	5,9
Содержание хлоридов, мг/л	5,71	6,37	5,98	6,45	$6,13 \pm 0,17$	5,6
Содержание сульфатов, мг/л	8,65	7,76	8,15	8,45	$8,26 \pm 0,19$	4,7
Заречная часть города (Сормовское шоссе)						
Водородный показатель (pH), ед. pH	7,13	7,28	6,98	7,04	$7,11 \pm 0,07$	1,8
Взвешенные вещества, г/л	9,68	1,29	1,25	0,74	$3,24 \pm 2,15$	132,7
Общая минерализация, мг/л	440	410	260	220	333 ± 54	32,7
Содержание хлоридов, мг/л	50,49	62,36	51,17	24,67	$47,17 \pm 7,98$	33,8
Содержание сульфатов, мг/л	32,29	62,09	48,80	30,16	$43,34 \pm 7,51$	34,7
Нагорная часть города (проспект Гагарина)						
Водородный показатель (pH), ед. pH	7,27	7,07	6,95	7,05	$7,09 \pm 0,07$	1,9
Взвешенные вещества, г/л	16,36	51,74	10,93	21,87	$25,23 \pm 9,12$	72,3
Общая минерализация, мг/л	2290	5800	1540	1080	2678 ± 1070	79,9
Содержание хлоридов, мг/л	416,82	988,45	660,30	509,71	$643,82 \pm 125,35$	38,9
Содержание сульфатов, мг/л	384,18	879,22	540,49	280,11	$521,00 \pm 130,85$	50,2

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в воде снега
($M \pm m$: среднее \pm ошибка среднего; $V, \%$ – коэффициент вариации)

Показатель	Значения по точкам отбора				$M \pm m$	$V, \%$
	I	II	III	IV		
Фоновый уровень (лесной массив «Дубрава»)						
Цинк (Zn), мг/л	0,0833	0,0192	0,0749	0,0531	$0,0576 \pm 0,0143$	49,6
Кадмий (Cd), мг/л	0,0264	0,0046	0,0032	0,0188	$0,0133 \pm 0,0056$	84,9
Свинец (Pb), мг/л	0,0092	0,0047	0,0005	0,0051	$0,0049 \pm 0,0018$	72,9
Медь (Cu), мг/л	н.п.о.*	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	–	–
Заречная часть города (Сормовское шоссе)						
Цинк (Zn), мг/л	0,0220	0,0094	0,0970	0,0590	$0,0469 \pm 0,0198$	84,3
Кадмий (Cd), мг/л	0,0001	0,0006	0,0053	0,0065	$0,0031 \pm 0,0016$	103,9
Свинец (Pb), мг/л	0,0091	0,0035	0,0055	0,0032	$0,0053 \pm 0,0014$	51,0
Медь (Cu), мг/л	0,0096	0,0034	0,0001	0,0002	$0,0033 \pm 0,0022$	134,0
Нагорная часть города (проспект Гагарина)						
Цинк (Zn), мг/л	0,0170	0,0750	0,0300	0,0230	$0,0363 \pm 0,0132$	72,8
Кадмий (Cd), мг/л	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	–	–
Свинец (Pb), мг/л	0,0026	0,0025	0,0002	0,0140	$0,0048 \pm 0,0031$	128,8
Медь (Cu), мг/л	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	–	–

Примечание. * – результат измерения ниже предела обнаружения элемента в соответствии с данной методикой.

Таблица 3

Характеристика интегральной биологической токсичности воды снега
($M \pm m$: среднее \pm ошибка среднего; $V, \%$ – коэффициент вариации)

Место отбора	Интегральная токсичность воды снега, % (значения по точкам отбора)				$M \pm m$	$V, \%$
	I	II	III	IV		
Фоновый уровень (лесной массив «Дубрава»)	9	10	11	11	10 ± 0	6,0
Заречная часть города (Сормовское шоссе)	37	54	27	22	35 ± 7	40,3
Нагорная часть города (проспект Гагарина)	62	79	53	42	59 ± 8	26,5

Таблица 4

Взаимосвязь химического состояния воды снега и ее биологической токсичности
($r \pm Sr$: коэффициент корреляции \pm ошибка r)

Показатель	Коэффициент корреляции показателей химического состава и интегральной токсичности ($r \pm Sr$)		
	фоновый уровень	заречная часть города	нагорная часть города
Кислотность	$0,13 \pm 0,70$	$0,94 \pm 0,23$	$0,26 \pm 0,68$
Минерализация	$0,98 \pm 0,12$	$0,81 \pm 0,41$	$0,95 \pm 0,22$
Хлориды	$0,60 \pm 0,57$	$0,82 \pm 0,40$	$0,71 \pm 0,50$
Сульфаты	$0,98 \pm 0,15$	$0,73 \pm 0,49$	$0,87 \pm 0,34$
Цинк	$0,99 \pm 0,10$	$0,61 \pm 0,56$	$0,89 \pm 0,33$
Кадмий	$0,85 \pm 0,38$	$0,91 \pm 0,29$	–
Свинец	$0,83 \pm 0,39$	$0,45 \pm 0,63$	$0,84 \pm 0,39$
Медь	–	$0,43 \pm 0,64$	–

В табл. 3 показаны результаты определения интегральной биологической токсичности проб воды снежного покрова на основе реакции тест-объекта «Эколюм». Было выявлено, что в целом талая вода всех образцов изучаемого снежного покрова об-

лада токсичностью по отношению к выбранному тест-объекту (генно-инженерная бактерия *Escherichia coli* M-17).

Нужно сказать, что даже минимальное содержание веществ-поллютантов в пробах снега фонового участка проявляло токсич-

ческий эффект (10%, $V = 6,0\%$), который оценивается как допустимый (1 группа токсичности). Пробы воды снега, отобранного с автомагистрали заречной части города, в целом проявили среднюю токсичность (2 группа), а отобранного с автомагистрали нагорной части – проявили острую токсичность (59%, $V = 26,5\%$) по отношению к тест-объекту (3 группа).

Поскольку ранее проанализированная биологическая токсичность проб воды снежного покрова аналитически зависит от содержания примесей, проявляющих данный токсический эффект, нами была оценена зависимость концентрации веществ-поллютантов снега и величины токсичности (табл. 4).

В целом нужно сказать, что в условиях техногенных территорий коррелятивная зависимость показателей была более выражена по сравнению с фоновыми показателями.

Было установлено, что между содержанием в пробах воды определенных веществ и ее интегральной биологической токсичностью имела прямая корреляционная связь, которая в большинстве случаев характеризовалась как сильная. Например, по точкам отбора с Сормовского шоссе коэффициент корреляции r составлял $0,94 \pm 0,23$ по кислотности, $0,82 \pm 0,40$ по содержанию хлоридов, $0,73 \pm 0,49$ по содержанию сульфатов и $0,81 \pm 0,41$ по общей минерализации.

Относительно точек отбора проб с проспекта Гагарина данные коэффициенты r соответственно составили $0,26 \pm 0,68$, $0,71 \pm 0,50$, $0,87 \pm 0,34$ и $0,95 \pm 0,22$ по аналогичным показателям. Установлено, что по большей части величина биологической токсичности зависела как от содержания растворенных солей, так и от содержания ионов тяжелых металлов в пробах, однако четких тенденций выявлено не было. Достаточно высокая ошибка коэффициента корреляции, очевидно, была вызвана значительной вариабельностью абсолютных величин показателей.

Выводы

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть значимость снежного покрова автомагистралей в оценке экологического состояния загрязненности атмосферного воздуха города. На основе высокого содержания взвешенных веществ, растворимых форм химических элементов, и в том числе тяжелых металлов, по состоянию на зимний период

2017 г. с наибольшей экологической напряженностью следует рассматривать состояние снежного покрова нагорной части города на примере проспекта Гагарина.

Список литературы

1. Андреева О.С. Оценка показателей эколого-хозяйственного баланса территории при формировании экологического каркаса индустриального города / О.С. Андреева, Н.Б. Ермак, Е.Е. Таргаева // Успехи современной науки. – 2016. – № 6. – Т. 1. – С. 135–139.
2. Географический атлас Нижегородской области / Г.С. Камерилова, С.В. Наумов, Г.Г. Побединский и др. – Нижний Новгород: Верхневолжское АГП, 2005. – 52 с.
3. Гусева Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Виниченко, Е.М. Аверочкин. – М.: Эколайн, 2000. – 87 с.
4. Исламова А.А. Анализ уровня загрязненности почвенно-растительной компоненты урбоэкосистемы города Бирск республики Башкортостан / А.А. Исламова, Е.Э. Палатова // Успехи современной науки. – 2017. – № 1. – Т. 5. – С. 15–17.
5. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов. Н. Новгород: Мининский университет, 2016. – 146 с.
6. Копосова Н.Н., Козлов А.В., Шешина И.М. Анализ территориальных различий в уровнях концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города Нижнего Новгорода // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=19379>.
7. Копосова Н.Н. Нижний Новгород: исследование города как социально-экологической среды: автореф. дисс. канд. геогр. наук. – С-Пб., 1997. – 19 с.
8. Копосова Н.Н. Формирование профессиональных компетенций при изучении курса «Техногенные системы и экологический риск» / Н.Н. Копосова // Вестник Мининского университета. – 2015. – № 2 (10). – С. 16.
9. Купчик Е.Ю. Химический мониторинг снежного покрова г. Чернигова // Научный вестник Ужгородского национального университета. Серия Химия. – 2014. – № 2 (32). – С. 84–90.
10. Летенкова И.В. Химический анализ снежного покрова Нижегородской области / И.В. Летенкова, В.Ф. Литвинов, В.Г. Смержок // Вестник Новгородского государственного университета. – 2014. – № 76. – С. 73–76.
11. МР 01.021-07 «Методика экспрессного определения интегральной химической токсичности питьевых, поверхностных, грунтовых, сточных и очищенных сточных вод с помощью бактериального теста «ЭКОЛЮМ». М.: ФГУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии», 2007. – 17 с.
12. ПНД Ф 14.1:2.4.222-06 «Методика измерений массовой концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в водах питьевых, природных и сточных методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА». – http://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94_%D0%A4_14.1:2.4.214-06.
13. Шумилова М.А. Исследование загрязненности снежного покрова на примере города Ижевска / М.А. Шумилова, О.В. Садиуллина, В.Г. Петров // Вестник Удмуртского университета. Серия: физика и химия. – 2012. – Вып. 2. – С. 83–89.
14. Щукова И.В. Качество воды водозаборных скважин в районах малоэтажной застройки городских агломераций / И.В. Щукова, З.В. Кивилева // Успехи современной науки. – 2016. – № 11. – Т. 10. – С. 87–89.
15. 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.