



УДК 543.3, 502.33:911.37

## **Опыт использования снежного покрова в качестве универсального показателя загрязнения урбанизированных территорий**

Д. В. Машкин, А. А. Гуштин, Т. В. Извекова, Ю. Г. Борова

*Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново*  
E-mail: [mashkin.dima@mail.ru](mailto:mashkin.dima@mail.ru)

**Аннотация.** В течение трёх сезонов исследовался состав снежного покрова в окрестностях нефтехранилища в г. Иваново для оценки экологического состояния территории. Выявлено, что величины ХПК и БПК в пробах талой воды вблизи нефтебазы превышают фоновые значения. Содержание фенолов в снеговой воде в 4–7 раз, а нефтепродуктов в отдельных точках в 1,2 раза выше нормы. Выявлен элементный ряд содержания загрязнителей в пылевой фракции, а также ряд накопления металлов в талой воде относительно предельно допустимых концентраций. Рассчитанная по концентрациям взвешенных веществ, сухого остатка и тяжёлых металлов величина пылевой нагрузки вблизи предприятия в 15,5 раз превышает фоновый уровень. Проведённая оценка токсичности снеговой воды методом биотестирования подтверждает данные физико-химического анализа.

**Ключевые слова:** снежный покров, тяжёлые металлы, нефтепродукты, фенолы, предельно допустимые концентрации, пылевая нагрузка, биотестирование.

### ***Введение***

Мониторинг уровня контаминации снежного покрова считается удобным методом, дающим возможность оценить уровень техногенной нагрузки на окружающую среду городов и здоровье проживающего в них населения. При комплексном изучении степени антропогенного воздействия часто применяется оценка содержания поллютантов в почвенном и снежном покрове [4]. Это возможно благодаря депонирующим свойствам изучаемых сред [15].

Исследования показывают, что в снежном покрове, а далее в почве аккумулируется значительная доля загрязняющих веществ (ЗВ) техногенного происхождения. Массовые доли ЗВ в талой воде зачастую на порядки выше, чем в атмосферном воздухе. Такая ситуация складывается благодаря двум процессам: влажной седиментации элементов при появлении снежинок в облаках и последующему выпадению их в качестве осадков и сухому осаждению из атмосферы [29].

Снег представляется исследователям как отличный естественный резервуар ЗВ, мигрирующих атмосферным путём [32]. Территории, для которых характерен стабильный снежный покров на протяжении значительного времени, являются отличными объектами применения интегрального показателя загрязнённости атмосферы [31]. Естественный процесс аккумуляции поллютантов в снежном покрове определяет возможности его использования для геохимической оценки загрязнения [29].

В силу концентрирования загрязнителей в толще снега определение их концентраций возможно проводить нетрудоёмкими методами, с получением качественных и воспроизводимых результатов [29]. Пробы, отобранной по всей снежной толще, вполне достаточно, чтобы получить полные сведения о количестве загрязняющих компонентов в течение зимнего периода от установления стабильного снежного покрова до времени начала снеготаяния. Благодаря тому, что количество и интенсивность осадков за разные промежутки наблюдений непостоянна, использование абсолютных значений содержания загрязнителей может быть некорректным. Поэтому необходим контроль над фоновыми пробами снега и определение зафиксированных величин уже с учётом фоновых загрязнений.

До наступления весеннего миграционного периода поллютанты остаются законсервированными в снежном покрове. Следовательно, химический анализ отобранных снежных проб способен предсказать номенклатуру будущих мигрирующих компонентов в другие биосферные объекты урбанизированных территорий города.

Нужно подчеркнуть, что фоновая оценка загрязнённости снежного покрова не всегда адекватно характеризует экологическое состояние исследуемых территорий. Это связано с рядом факторов: географическое расположение и метеоусловия исследуемого региона, количество снежных осадков, содержание приносимых с трансграничным переносом загрязняющих веществ.

Снег в качестве объекта мониторинга удобен, когда требуется установить ареалы, на которые простирается негативное воздействие источников техногенеза. Во время весеннего половодья происходит миграция ЗВ и следовательно загрязнение ими контактирующих природных оболочек (почвы и воды) [12; 31]. Таким образом, снежный покров в роли промежуточного индикатора состояния атмосферы является также индикатором дальнейшего загрязнения литосферы и грунтовых вод.

Критериальные поллютанты (органические и неорганические соединения, частицы пыли, катионы металлов, нефтепродукты и т. д.) загрязняют урболандшафты, но их распределение в снежном покрове слабо изучено.

Настоящая работа посвящена изучению процессов накопления токсичных веществ в снежном покрове урбанизированных ландшафтов на примере территории, прилегающей к нефтехранилищу, расположенному близ центральной части г. Иваново. Загрязнителями, выбранными для контроля, являются тяжёлые металлы, нефтепродукты, а также фенолы.

### *Материалы и методы*

Промплощадка предприятия нефтепродуктообеспечения расположена в северо-восточной части г. Иваново. С запада, севера и востока с площадкой соседствуют массивы жилой индивидуальной застройки, с юга прилегает зона узловой железнодорожной станции Северной железной дороги. В 600 м к западу расположен главный железнодорожный вокзал г. Иваново.

Для отбора снежных проб использовался векторно-площадной метод. Участки отбора проб были определены к северу (С), востоку (В), югу (Ю) и западу (З) от площадки нефтехранилища с целью оценить влияние ветрового переноса. На всех четырёх направлениях участки отбора располагались на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия и на территории жилой зоны (ЖЗ) (рис. 1). Фоновые пробы отбирали в участках с минимальным влиянием техногенного загрязнения – в ближайшей лесопарковой зоне, расположенной в 1 км на северо-запад от нефтехранилища. Для того чтобы средняя проба с необходимой степенью точности представляла массовую долю ксенобиотиков на анализируемом участке, необходимо некоторое количество единичных проб, отобранных методом «конверта».



*Рис. 1.* Схема расположения точек отбора проб вблизи нефтебазы: пунктир светлыми точками – ориентировочная граница СЗЗ; пунктир чёрными квадратами – утверждённая граница СЗЗ; чёрные кружки – точки пробоотбора: С 1, В 1, Ю 1, З 1 – на границе СЗЗ; С 2, В 2, Ю 2, З 2 – в жилой зоне (ЖЗ)

Отбор проб снежного покрова для исследования концентраций ЗВ целесообразно проводить одновременно в момент начала снеготаяния, когда влагозапас максимален. Для территории такие условия оптимальны во второй половине марта. Пробы отбирали в марте 2012, 2013 и 2016 гг. на всю глубину снегового слоя, применяя весовой снегомер. Нижний горизонт (около 3 см) не включался в состав пробы из-за наличия в нём частиц почвы и почвенной пыли.

Отбор и первичная обработка проб проводились в соответствии с принятыми методиками и нормативами [5; 7; 9; 14; 25].

Полученная после таяния проб снеговая вода подвергалась химическому анализу в лабораторных условиях. При температуре 25 °С пробы талой воды расслаиваются с образованием на поверхности водно-масляной эмульсии, относительно прозрачного раствора и осадка из твёрдых частиц. Для исследования химического состава талых вод использовали метод прямой потенциометрии при измерении рН; титрования – при определении содержания трудно окисляемых органических веществ (химическое потребление кислорода ХПК, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) и биохимически подвижных органических веществ (биохимическое потребление кислорода БПК, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>); гравиметрии – при определении содержания взвешенных веществ и сухого остатка [17; 19; 22]. Во всех полученных пробах осуществлялся контроль содержания нефтепродуктов [8; 21] и тяжёлых металлов (ТМ) [24; 26]. Содержание металлов определялось методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии (атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915МД (Люмэкс, Россия)), а углеводов – ИК-спектрометрическим (концентраомер КН-2М (Сибэкоприбор, Россия)) и флуориметрическим методами (анализатор жидкости Флюорат-02-2М (Люмэкс, Россия)).

### ***Результаты и обсуждение***

Полученные в результате анализа обобщённые гидрохимические показатели снежного покрова (табл. 1) свидетельствуют, что значения рН в течение трёх лет варьируют от 6,4 до 7,6. В целом уровень кислотности нейтрален и близок к значениям в фоновой пробе. Однако наблюдается увеличение данного показателя в северном и южном направлении, как на территории ЖЗ, так и на границе СЗЗ. Нужно упомянуть, что увеличенные значения этого показателя объясняются попаданием в атмосферу щелочных продуктов, среди которых важное место, как правило, занимают пылевидные загрязнители со стационарных и подвижных объектов, сжигающих топливо [1].

Практически аналогичная ситуация наблюдается и для показателей ХПК и БПК, которые находятся в диапазоне 2,7–20,8 и 1,1–6,7 мг/л соответственно. Из данных табл. 1 видно, что наибольшие значения приходятся на наиболее подверженные ветровому воздействию северное и южное направления. Более того, согласно другому нормативу во всех северных и южных точках в течение трёх лет наблюдается превышение установленного норматива перманганатной окисляемости для питьевой воды - 5 мг О<sub>2</sub>/л [27]. Это объясняется наличием нефтепродуктов в снеговой воде, причём наибольшие

значения ХПК характерны в тех местах пробоотбора, где зафиксирована максимальная массовая доля углеводородов нефти. Согласно нормативным документам, значения ХПК в воде водных объектов в пунктах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования не должны превышать 15,0 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> [28]. Эта норма превышена до 20,8 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> для южного направления СЗЗ нефтебазы в течение трёх лет наблюдений. Норма БПК, установленная для такого же класса вод, составляет 3,0 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Нормативная величина превышена в большинстве подвергнутых анализу проб, а максимальные превышения (до 6,7 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) зафиксированы в СЗЗ по северному и южному направлениям. Величины ХПК и БПК в изучаемых в пробах талой воды снежного покрова вблизи нефтебазы также превышают фоновые значения до 20 и 6 раз соответственно.

Таблица 1

Характеристика проб снежного покрова с территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново, по общим показателям

Проба	рН	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	БПК, мгО <sub>2</sub> /л	БПК/ХПК	Среднее значение БПК/ХПК (G)		ХПК/БПК	Среднее значение ХПК/БПК (g)		
					в зоне отбора проб по годам	за весь период наблюдений (2012–2016 гг.)		в зоне отбора проб по годам	за весь период наблюдений (2012–2016 гг.)	
Фон	6,7	1,0	1,1	1,1	-	-	0,9	-	-	
Граница СЗЗ										
2012 г.	С 1	7,2	13,5	4,6	0,49	0,56	2,93	2,5	2	
	В 1	7,6	5,2	3,2			1,62			
	З 1	7,3	5,0	3,7			1,35			
	Ю 1	6,7	20,8	5,2			0,25			4,0
2013 г.	С 1	6,8	11,2	5,8	0,65		1,93	1,6		
	В 1	7,5	2,9	2,1			1,38			
	З 1	7,0	4,9	3,7			0,76			1,32
	Ю 1	6,8	8,7	5,2			0,6			1,67
2016 г.	С 1	6,5	10,4	6,1	0,55		1,7	1,9		
	В 1	7,2	4,9	3,1			1,58			
	З 1	7,1	3,2	3,1			0,97			1,0
	Ю 1	6,9	15,3	4,8			0,31			3,19
Жилая зона										
2012 г.	С 2	6,8	7,8	4,2	0,76	0,69	1,86	1,5	1,55	
	В 2	6,7	2,7	2,7			1,0			
	З 2	7,2	3,3	3,3			1,0			
	Ю 2	6,4	13,7	6,7			0,49			2,04
2013 г.	С 2	7,0	11,0	5,5	0,63		2	1,6		
	В 2	7,6	2,1	1,5			0,71			1,4
	З 2	7,1	5,3	3,7			0,7			1,43
	Ю 2	6,8	8,1	5,0			0,62			1,62

Окончание табл. 1

Проба	рН	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	БПК, мгО <sub>2</sub> /л	БПК/ХПК	Среднее значение БПК/ХПК (Ġ)		ХПК/БПК	Среднее значение ХПК/БПК (ġ)		
					в зоне отбора проб по годам	за весь период наблюдений (2012–2016 гг.)		в зоне отбора проб по годам	за весь период наблюдений (2012–2016 гг.)	
2016 г.	С 2	6,7	9,3	5,2	0,68		1,79	1,6		
	В 2	7,4	3,4	2,3			0,68			
	З 2	7,1	3,1	3,0			0,98			1,0
	Ю 2	6,9	9,8	5,0			0,51			1,96

Отношение БПК/ХПК ( $\dot{G}$ ) позволяет оценить природу ЗВ и способность их к разложению в объектах окружающей среды [30]. Показатель  $\dot{G} < 0,5$  сигнализирует о содержании в воде неразлагаемых или трудно разлагаемых веществ; показатель  $\dot{G}$  в диапазоне 0,2–0,4 означает, что разложение ЗВ может протекать лишь при определённых условиях; если же  $\dot{G} < 0,2$ , то в воде практически отсутствуют подвергающиеся биохимическому окислению органические вещества и процессы разложения могут протекать лишь в процессе кометаболизма (трансформация загрязнителей с участием микроорганизмов), либо происходит их адсорбция. В таком случае в талой снежной воде содержится значительное количество биологически неокисляемых соединений. Разложение происходит за счёт биodeградации, в ходе которой образуются продукты деятельности аэробных (CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>O; NO<sup>3-</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) и анаэробных (CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; NH<sub>3</sub>; H<sub>2</sub>S) микроорганизмов [10].

Результаты измерений (см. табл. 1) показывают, что наименьшее значение  $\dot{G}$  наблюдается на границе СЗЗ, а средние значения в ЖЗ и на границе СЗЗ составляют 0,63–0,76 и 0,49–0,65 соответственно. Очевидно, в анализируемых пробах преобладают соединения, склонные к биохимическому окислению. Исключение составляют образцы, отобранные с южного направления, что подтверждает дополнительное влияние, оказываемое железнодорожным транспортом.

Существует практика приёма талых вод в системы канализации населённых пунктов, согласно которой устанавливаются нормативы содержания ЗВ в сточных водах: ХПК/БПК<sub>5</sub> (ġ) ≤ 2,5 или ХПК/БПК<sub>n</sub> ≤ 1,5 [23]. По показателю ġ, оценивается возможность очистки загрязнённых вод на биологических очистных сооружениях. Средняя величина показателя ġ в 2012 г. составила 2,0, в 2013 г. – 1,6, а в 2016 г. – 1,76, что говорит о возможности приёма снега на площадки для складирования снега с дальнейшей очисткой талых вод на городских очистных сооружениях.

Так как предположительно основной вклад в содержание трудноокисляемых и биохимически подвижных органических веществ, присутствующих в талых водах, могут вносить нефтепродукты, фенолы и ТМ, все пробы снега были проанализированы на содержание данных веществ (табл. 2). Для критериальной оценки концентраций анализируемых ЗВ использовались

предельно допустимые величины содержания в воде водных объектов. Требования к качеству и свойствам воды в водных объектах регламентируются в соответствии с категориями водопользования [28]. Поскольку объект исследования находится в черте городского поселения, требования к нормативам ПДК вредных веществ принимались установленными для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК<sub>в</sub>) и рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>рх</sub>) [2; 6].

Таблица 2

Показатели содержания нефтепродуктов и фенолов в пробах снежного покрова с территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново

Показатели	Точки пробоотбора	Содержание, мг/л/доли ПДК	Точки пробоотбора	Содержание, мг/л/доли ПДК	Среднее значение, мг/л
Нефтепродукты	С 1	0,059 (1,2)	С 2	0,054 (1,1)	0,037/0,038
	В 1	0,029 (0,6)	В 2	0,035 (0,7)	
	З 1	0,030 (0,6)	З 2	0,026 (0,5)	
	Ю 1	0,034 (0,7)	Ю 2	0,031 (0,6)	
Фенол (сумма летучих фенолов)	С 1	0,007 (7)	С 2	0,006 (6)	0,005/0,006
	В 1	0,005 (5)	В 2	0,005 (5)	
	З 1	0,006 (6)	З 2	0,004 (4)	
	Ю 1	0,006 (6)	Ю 2	0,005 (5)	

Результаты анализа демонстрируют превышение ПДК по фенолам (ПДК<sub>в</sub>) во всех исследуемых пробах, а по нефтепродуктам (ПДК<sub>рх</sub>) – только в пробах, отобранных на северном направлении. Следует отметить, что во всех точках отбора содержание летучих фенолов примерно одинаково и составляет 4–7 ПДК.

Поскольку различные соединения способны растворяться в снегу, при контроле загрязнений необходимо учитывать как их нерастворимую часть, которая формируется в виде твёрдой фазы после таяния снега, так и переходящую в раствор. В данном случае к обобщённым показателям загрязнения снега можно отнести общее содержание взвешенных и растворённых веществ в талой воде, которое характеризуется следующими показателями: минерализация снеговых вод (по сухому остатку), характеризующая общее содержание растворённых веществ (как органических, так и неорганических), а также содержание минеральных и органических соединений как в твёрдой фазе, так и в растворе. Результаты анализа приведены в табл. 3. Минерализация проб талой воды изменяется в диапазоне 0,017–0,055 г/дм<sup>3</sup>, в большей части контролируемых образцов преобладает органическая составляющая (в ряде случаев до 65 % растворённых ЗВ являются органическими соединениями). Как и следовало ожидать, превышение фонового уровня содержания взвешенных и растворённых веществ наблюдается по всем пробам. Закономерно выявляются более высокие значения исследуемых параметров в точках на границе СЗЗ по сравнению с ЖЗ, что позволяет сделать вывод, что основным источником воздействия на рассматриваемой

территории является непосредственно нефтехранилище, а также железнодорожные пути с южной стороны и автозаправочная станция – с северной.

Таблица 3

Содержание взвешенных и растворённых веществ в пробах снежного покрова с территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново (по данным 2012–2013 гг.)

Проба	Взвешенные в-ва, г/дм <sup>3</sup>			Растворённые в-ва, г/дм <sup>3</sup>			
	Общее содержание	Минеральные	Органические	Сухой остаток	Минеральные	Органические	
Фон	0,001	0,0005	0,0005	0,014	0,007	0,007	
Граница СЗЗ							
2012 г.	С 1	0,0238	0,0033	0,0205	0,044	0,020	0,024
	В 1	0,0168	0,0043	0,0125	0,042	0,021	0,021
	З 1	0,0099	0,0048	0,0051	0,021	0,011	0,010
	Ю 1	0,0113	0,0014	0,0098	0,045	0,016	0,029
2013 г.	С 1	0,0122	0,0058	0,0064	0,031	0,012	0,019
	В 1	0,0094	0,0045	0,0049	0,041	0,021	0,020
	З 1	0,0027	0,0008	0,0019	0,013	0,006	0,007
	Ю 1	0,0175	0,0067	0,0108	0,045	0,020	0,025
Жилая зона							
2012 г.	С 2	0,0113	0,0046	0,0067	0,025	0,009	0,016
	В 2	0,0083	0,0026	0,0057	0,026	0,012	0,014
	З 2	0,0145	0,0062	0,0083	0,018	0,008	0,010
	Ю 2	0,0110	0,0052	0,0058	0,055	0,004	0,002
2013 г.	С 2	0,0115	0,0050	0,0065	0,043	0,019	0,024
	В 2	0,0101	0,0047	0,0064	0,019	0,009	0,010
	З 2	0,0056	0,0032	0,0044	0,022	0,010	0,012
	Ю 2	0,0126	0,0065	0,0061	0,017	0,008	0,009

Основной вклад в минеральную составляющую вносят тяжёлые металлы, в первую очередь Cu, Zn, Mn, Ni. Выбор этих элементов для оценки их содержания в снежном покрове обусловлен результатами ранее проведённых исследований – концентрации именно этих металлов оказались максимальны при оценке загрязнённости почвенного покрова в районе нефтехранилища [16].

Тенденции роста концентраций ТМ не выявлено. В ходе исследований сопоставлены значения концентраций меди, цинка, марганца, никеля и нефтепродуктов в фильтрате талого снега из исследованных проб и ранее полученные данные по содержанию этих компонентов в почве (рис. 2) [16] с целью определения основных путей поступления загрязнителей в объекты исследования.



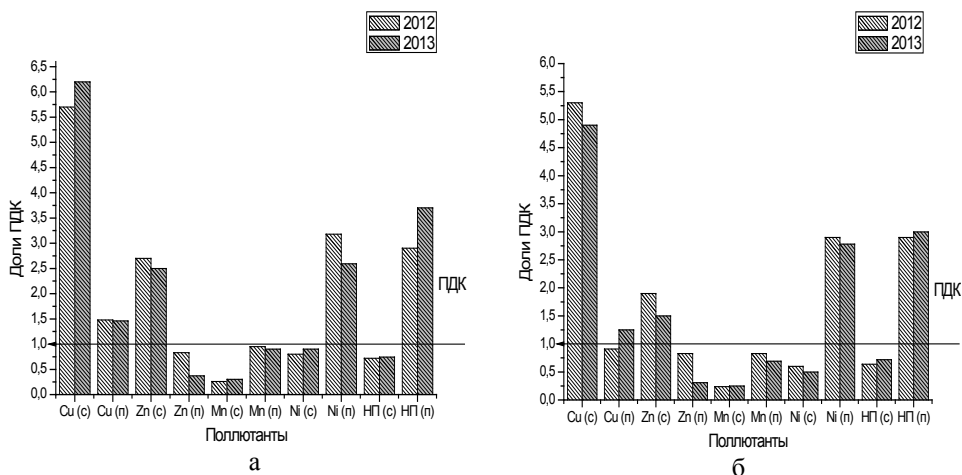


Рис. 2. Содержание ЗВ в фильтрате снега (с) и в почве (п) территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново на границе СЗЗ (а) и в ЖЗ (б)

Полученные данные вновь подтверждают закономерность преимущественного накопления ЗВ на территории СЗЗ по сравнению с ЖЗ. Среднее содержание Cu в фильтрате талой воды из СЗЗ достигает 0,0060 мг/л, из ЖЗ – 0,0051 мг/л. Массовая доля Zn в пробах снега из СЗЗ превышает 0,074 мг/л, а в ЖЗ достигает 0,054 мг/л. Содержание меди и цинка в талой воде и концентрации её подвижных форм в почве близки или превышают нормативные значения. Превышение ПДК<sub>рх</sub> для меди и цинка в талой воде и почве свидетельствует, что основным каналом поступления Cu в почву являются атмосферные выпадения. Для других поллютантов данная закономерность не прослеживается. Элементный ряд среднего накопления загрязнителей в снеге относительно ПДК<sub>рх</sub> для территории вокруг нефтехранилища выглядит так: Pb < Cd < Mn < Co < Ni < HP < Zn < Cu.

С экологической точки зрения наибольший интерес представляет анализ содержания ЗВ в снегу в твёрдой фазе (взвесь в талой воде), где, как правило, содержится большая часть ТМ техногенного происхождения. В ходе исследования были сравнены ранее известные концентрации валовых форм Cu, Zn, Mn и Ni в почве [16] с концентрациями в пылевой фракции снега (рис. 3).

Элементный ряд среднего содержания загрязнителей в пылевой фракции для территории предприятия нефтепродуктообеспечения выглядит так: Ni < Cu < Zn < Mn. Полученные данные также подтверждают утверждение об отсутствии тенденции к увеличению концентраций ТМ в почве на исследуемой территории. Их привнесение с пылевой фракцией снега составляет примерно пятую часть к общему содержанию в почве и оценивается большей интенсивностью в СЗЗ по сравнению с жилой зоной. По полученным данным проводят расчёт плотности выпадения загрязняющих веществ из атмосферы на снежный покров [11].

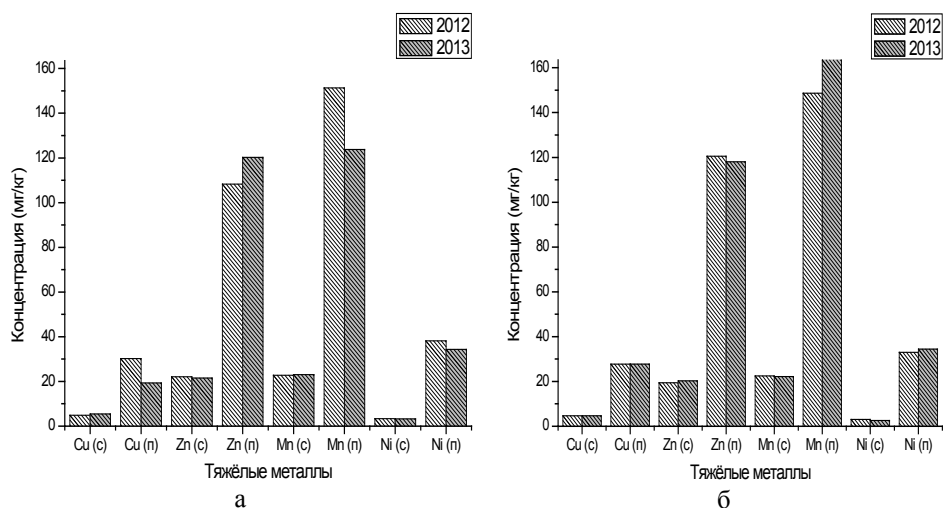


Рис. 3. Содержание тяжёлых металлов в пылевой фракции снега (с) и в почве (п) территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново на границе СЗЗ (а) и в ЖЗ (б)

Кратность превышения содержания химического компонента в точке отбора проб на исследуемой территории над его содержанием в аналогичных условиях на фоновом участке характеризуется коэффициентом концентрации химических элементов ( $K_C$ ):

$$K_{C(i)} = C_i / C_{\phi},$$

где  $C_i$  – содержание конкретного элемента в почве или снежном покрове (мг/кг или мкг/г);  $C_{\phi}$  – его содержание на фоновом участке [16].

Оценка  $K_C$  по всем контролируемым показателям за весь период наблюдений представлена в табл. 4.

Таблица 4  
Общие показатели и коэффициенты концентрации химических соединений в пробах снежного покрова с территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново, относительно фонового уровня ( $K_{C(i)}$ )

Показатели	2012 г.		2013 г.	
	ЖЗ	СЗЗ	ЖЗ	СЗЗ
Взвешенные вещества	11,3	15,5	10,0	10,5
Сухой остаток	2,2	2,7	1,8	2,3
ХПК	6,9	11,1	6,6	6,9
БПК	3,8	3,8	3,6	3,8
Cu	5,3	5,7	4,9	4,6
Zn	4,2	5,8	3,3	5,4
Mn	1,6	1,7	2,1	2,5
Ni	2,4	3,2	2,0	3,6
НП	3,2	3,6	3,6	3,7

Сопоставление значений  $K_c$  показывает снижение загрязняющей нагрузки на снеговой покров в 2013 г. по сравнению с 2012 г. Данный факт может быть обусловлен как природными (в 2013 г. количество снеговых осадков было выше, чем в 2012 г.), так и антропогенными факторами. Отметим, что показатели, характеризующие влияние близрасположенных источников загрязнения окружающей среды (ХПК, БПК и НП) – нефтехранилища, железнодорожной и автомобильной магистралей – остаются на достаточно стабильном уровне, таким образом, регистрируется снижение содержания ЗВ, привносимых со смежных территорий.

Заметные значения показателя  $K_c$  по взвешенным веществам показывают повышенную пылевую нагрузку (максимальные значения в СЗЗ в 15,5 раз превышают фоновый уровень).

Химический анализ загрязнений объектов окружающей среды является трудоёмкой, длительной и дорогостоящей процедурой, поэтому для экспресс-оценки суммарного загрязнения в последнее время всё чаще находят применение методы биотестирования. Подход является комплексным интегральным способом контроля качества объектов окружающей природной среды, в том числе водных объектов, тогда как традиционно применяемые для эколого-токсикологической оценки химико-аналитические методы дают некий «моментальный снимок» картины загрязнённости определённых объектов конкретными токсикантами и не способны оценить весь спектр загрязнителей и их взаимодействие друг с другом [3]. В ходе настоящих исследований была проведена оценка загрязнённости снежного покрова методом биотестирования, а полученные результаты сравнены с данными химического анализа (табл. 5).

Согласно действующим методикам в качестве тест-объекта использовались водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer) и ракообразные (*Daphnia magna* третьего поколения в возрасте до 24 ч) [18; 20]. Критерием острой летальной токсичности в опыте с хлореллой являлось снижение числа клеток (оптической плотности культуры) более чем на 20 % и повышение более чем на 30 % по сравнению с контролем, в опыте с дафниями – гибель половины и более тест-объектов за 96 ч.

Таблица 5

Показатели загрязнённости проб снежного покрова с территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново, полученные с применением различных методов оценки

Направление пробоотбора	Показатели биотестирования		Показатели потребления кислорода, мгО <sub>2</sub> /л	
	Снижение численности хлореллы, %	Доля погибших дафний, %	ХПК	БПК
Север	47	53	8,0±2,4	5,8±0,7
Запад	9	27	2,9±0,9	1,5±0,2
Восток	37	19	6,2±1,9	3,7±0,4
Юг	39	34	6,8±2,0	5,2±0,6

Анализ представленных данных показал, что результаты биотестирования полностью коррелируют с результатами химического анализа, а самым загрязнённым участком исследуемой территории является северная часть СЗЗ. Результаты позволяют утверждать, что в ходе исследования были корректно определены критериальные загрязнители района исследования, а токсиканты, вносящие дополнительный вклад в гибель тест-объектов, отсутствуют.

Результаты биотестирования на дафниях показали острую токсичность единственной пробы с северного направления, эксперимент с хлореллой определил острую токсичность снежного покрова во всех пробах, кроме полученных с восточного направления.

Для оценки вклада в токсичность снега твёрдой и жидкой фаз было проведено биотестирование талой воды до и после фильтрования, показавшее, что токсичность талой воды после фильтрования снижается примерно на 10 % для дафний и на 2 % для хлореллы (рис. 4).

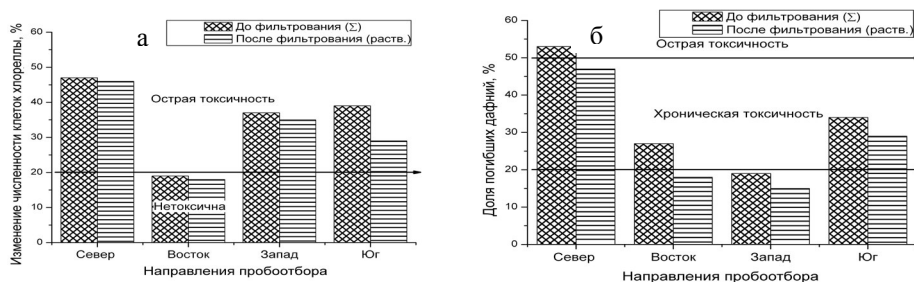


Рис. 4. Результаты биотестирования загрязнённости снежного покрова территории, прилегающей к нефтехранилищу в г. Иваново. Реакция хлореллы (а) и дафний (б) на содержание в талой воде снежных проб до и после фильтрования

Таким образом, результаты химического анализа уровня загрязнённости снежного покрова подтверждаются данными оценки токсичности методом биотестирования.

### Заключение

В результате трёхлетних исследований выявлены превышения нормативных значений обобщённых химических показателей талой воды снежного покрова на территории крупного городского поселения: ХПК в 1,4 раза, БПК – в 2,2 раза, при сравнении с фоновыми показателями превышения составляют в 20 и 6 раз соответственно. Установлено, что основной вклад в величины ХПК и БПК вносят нефтепродукты, фенолы и тяжёлые металлы с переменной валентностью – превышение концентраций нефтепродуктов варьируется в диапазоне 1,1–1,2 ПДК, а фенолов – 4–7 ПДК. Из всего ряда контролируемых в талой воде металлов (Cu, Zn, Ni, Cd, Mn, Co, Pb) превышения концентрации наблюдались лишь по цинку (2,5 ПДК) и меди (6,2 ПДК).

Анализ пылевой фракции снега показал, что максимальное содержание характерно для цинка и марганца. Вклад присутствующих в пылевой фракции тяжёлых металлов в суммарное загрязнение почвенного покрова составляет не более 20 % от общего загрязнения.

Результаты биотестирования талой воды полностью коррелируют с результатами химического анализа, что подтверждает корректность определения перечня контролируемых химических показателей и демонстрирует возможности использования биотестирования в качестве одного из критериев оценки экологического состояния объектов окружающей среды.

#### Список литературы

1. Анилова Л. В. Эколого-геохимические особенности снежного покрова парков г. Оренбурга / Л. В. Анилова, О. В. Примаков // Вестн. ОГУ. – 2011. – № 12 (131). – С. 168–169.
2. Беспамятнов Г. П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г. П. Беспамятнов, Ю. А. Кротов. – Л. : Химия, 1985. – 528 с.
3. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О. П. Мелехова [и др.]. – М. : Академия, 2007. – 288 с.
4. Валетдинов А. Р. Технология комплексной оценки влияния промышленных объектов на загрязненность тяжелыми металлами природных сред по результатам мониторинга снежного покрова : дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16 / Валетдинов Айрат Ренатович. – Казань, 2006. – 160 с.
5. Василенко В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В. Н. Василенко, И. М. Назаров, М. Д. Фридман. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 181 с.
6. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М. : Тип. Нефтяник, 2003. – 214 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
8. ГОСТ Р 51797-01 Определение нефтепродуктов методом ИК-спектрофотометрии. – М. : Госстандарт России, 2000. – 12 с.
9. Дмитриев М. Г. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде / М. Г. Дмитриев, Н. И. Казнина, И. А. Пинигина. – М. : Химия, 1989. – 368 с.
10. Друзьянова В. П. Анализ сточных вод предприятий, перерабатывающих кожевенно-меховое сырье / В. П. Друзьянова, Л. С. Андреева // Universum: технические науки. – 2014. – № 2 (3), – С. 1–7.
11. Игнатенко О. В. Зонирование селитебной территории г. Братска по уровню загрязнения снежного покрова / О. В. Игнатенко, М. В. Сенченко, Н. А. Мещерова // Системы. Методы. Технологии. – 2012. – № 3 (15). – С. 138–149.
12. Касимов Н. С. Экогеохимия городских ландшафтов / Н. С. Касимов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 336 с.
13. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Ред. Л. К. Исаева. – СПб. : Союз, 1998. – 896 с.
14. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б. А. Ревич [и др.]. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 78 с.

15. Оценка загрязнения территории городского поселения от источников антропогенного воздействия на основе химического анализа снежного покрова на примере Дубны / О. А. Саватеева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2007. – № 5. – С. 115–123.
16. Оценка экологического риска при загрязнении почвенного покрова предприятиями нефтепродуктообеспечения / А. А. Гушин [и др.] // Безопасность в техносфере. – 2014. – Т. 3, № 1 (46). – С. 32–38.
17. ПНД Ф 14.1:2.110-97 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержания взвешенных веществ и общего содержания примесей в пробах природных и очищенных сточных вод гравиметрическим методом / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. – М., 1997. (издание 2004 г.). – 15 с.
18. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04. Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления (изд. 2014 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200120045>.
19. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом (с дополнениями и изменениями) – М. : Минприроды РФ, 2004. – 12 с.
20. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06. Токсикологические методы контроля. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета (изд. 2014 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200120044>.
21. ПНД Ф 14.1:2:4.129-98. Методические указания по измерению массовой концентрации нефтепродуктов флуориметрическим методом в пробах питьевой воды и воды поверхностных и подземных источников водопользования. – М. : ФГУ «ФЦАО», 2000. – 7 с.
22. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.32-02. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания сухого и прокаленного остатка в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды. – М., 2002. – 15 с.
23. Постановление Правительства Ленинградской области от 30.12.2004 № 326 (ред. от 31.05.2012) «О взимании платы за сброс сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов Ленинградской области» // Вестн. Правительства Ленингр. области. – 2005. – № 2. – 26 с.
24. РД 52.18.289-90. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. – М. : Госкомгидромет, 1990. – 35 с.
25. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. (утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, Главным государственным санитарным врачом СССР 16.05.1989) (ред. от 01.02.2006). – М. : Гидрометеиздат, 1989. – 695 с.
26. РД 52.18.191-89. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом / Утв. ГКГМ СССР. – М. : Госкомгидромет, 1989. – 16 с.

27. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 27 с.
28. СанПиН 2.1.5.980-00. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – М. : Минздрав России, 2002. – 98 с.
29. Систер В. Г. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период / В. Г. Систер, В. Е. Корецкий. – М. : Изд-во МГУЭИ, 2004. – 159 с.
30. Экологическая химия / ред. Ф. Корте. – М. : Мир, 1996. – 234 с.
31. Шумилова М. А. Снежный покров как универсальный показатель загрязнения городской среды на примере Ижевска / М. А. Шумилова, О. В. Садиуллина // Вестн. Удм. ун-та, Физика. Химия. – 2010. – № 2. – С. 91–96.
32. Sakai H. The presence of heavy metals in urban snow / H. Sakai, T. Sasaki, K. Saito // Environmental science, Hokkaido, Journal of the Graduate School of Environmental Science – 1985. – Vol. 9. – P. 141–149.

## Experience in the Use of Snow Cover as a Universal Indicator of Pollution in Urban Areas

D. V. Mashkin, A. A. Guschin, T. V. Izvekova, Yu. G. Borovova

*Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo*

**Abstract.** The work is devoted to the study of the application of snow cover for assessing the ecological condition of the territory near the Ivanovo oil depot. It was found that the COD and BOD values in the melt water samples near the tank farm exceed the background values. The content of phenols in snow water is 4-7 times higher than normal, and the content of oil products at the point in the north of the tank farm exceeds 1.2 times. Identified the elemental content of pollutants in the dust fraction, and a number of accumulations of metals in the thawed water relative to the maximum allowable concentrations. The dust load near the plant is 15.5 times the background level. Evaluation of the toxicity of snow water by the method of biotesting confirms the data of physical and chemical analyses.

**Keywords:** snow cover, heavy metals, oil products, phenols, maximum permissible concentrations, dust load, biotesting.

*Машкин Дмитрий Валерьевич  
аспирант  
Ивановский государственный  
химико-технологический университет  
153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: mashkin.dima@mail.ru*

*Mashkin Dmitriy Valeryevich  
Postgraduate  
Ivanovo State University of Chemistry and  
Technology  
7, Sheremetevskiy av., Ivanovo, 153000  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: mashkin.dima@mail.ru*

*Гущин Андрей Андреевич  
кандидат химических наук,  
доцент  
Ивановский государственный  
химико-технологический университет*

*Guschin Andrei Andreyevich  
Candidate of Science (Chemistry),  
Associate Professor  
Ivanovo State University of Chemistry and  
Technology*

153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: a\_guschin@bk.ru

Извекова Татьяна Валерьевна  
кандидат химических наук,  
доцент  
Ивановский государственный  
химико-технологический университет  
153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: mbimpa@bk.ru

Боровова Юлия Геннадиевна  
магистрант  
Ивановский государственный химико-  
технологический университет  
153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: ezhevichka37@mail.ru

7, Sheremetevskiy av., Ivanovo, 153000  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: a\_guschin@bk.ru

Izvekova Tatyana Valeryevna  
Candidate of Science (Chemistry),  
Associate Professor  
Ivanovo State University of Chemistry  
and Technology  
7, Sheremetevskiy av., Ivanovo, 153000  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: mbimpa@bk.ru

Borovova Yuliya Gennadyevna  
Undergraduate  
Ivanovo State University of Chemistry and  
Technology  
7, Sheremetevskiy av., Ivanovo, 153000  
tel.: (4932) 32–92–41  
e-mail: ezhevichka37@mail.ru