

# СНЕГ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГОРОДА МАГНИТОГОРСКА: ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИКАНТОВ

## SNOW AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN THE CITY OF MAGNITOGORSK: EVALUATION OF THE QUANTITATIVE CONTENT OF TOXICANTS

*E. Ponomareva  
T. Osinkina  
G. Kolchugina*

*Summary:* The purpose of this study is to assess the quantitative content of toxicants in the snow cover of some areas of the city of Magnitogorsk. Determination of water quality was carried out according to organoleptic parameters in accordance with standard methods, analysis of the content of chemical compounds was carried out by atomic absorption method in the chemical laboratory of PJSC MMK. In the course of chemical analysis, excesses of indicators for calcium and iron were established: 7.4 times for calcium content at the Leninsky point, for iron 32.96 times at the Left Bank point. In terms of the content of ionic forms, mercury, cadmium and lead, no excesses of the MPC standard for drinking water and cultural and domestic water use and the all-Russian background indicator were found to be exceeded.

The territory of the city of Magnitogorsk is systematically subject to emissions of solid dust pollutants with subsequent sorption on sediments and storage. The most favorable for living in the city is the southern part — Ordzhonikidzevsky district (right bank). Knowing the composition of snow pollutants, the accumulating capacity of precipitation, as well as selecting methods for continuous local monitoring of the state and migration activity of pollutants in the area, it is possible to timely determine the excess of MPC and take appropriate measures.

*Keywords:* toxicants; contamination indicator; snow; heavy metals; precipitation; environment; maximum permissible concentration; anthropogenic impact; xenobiotics.

*Пonomарева Екатерина Михайловна*  
Оренбургский государственный  
медицинский университет  
bio\_ogma@mail.ru

*Осинкина Татьяна Владимировна*  
к.б.н., доцент, Оренбургский государственный  
медицинский университет  
osinkina12@mail.ru

*Кольчугина Гюзель Фарыховна*  
к.б.н., доцент, Оренбургский государственный  
медицинский университет  
k\_biology@orgma.ru

*Аннотация.* Цель данного исследования оценить количественное содержание токсикантов в снежном покрове некоторых участков города Магнитогорска. Определение качества воды проводили по органолептическим показателям в соответствии со стандартными методиками, анализ содержания химических соединений проводили атомно-абсорбционным методом в химической лаборатории ПАО ММК. В ходе химического анализа установлены превышения показателей по кальцию и железу: в 7,4 раза по содержанию кальция в точке Ленинский, по железу в 32,96 раза в пункте Левый берег. По содержанию ионных форм, ртути, кадмия и свинца превышений норматива ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и общероссийскому фоновому показателю превышений не обнаружено.

Территория города Магнитогорска систематически подвержена выбросам твердых пылевых загрязнителей с последующим сорбированием на осадках и сохранением. Наиболее благоприятной для проживания в городе является южная часть — Орджоникидзевский район (правый берег). Зная состав загрязнителей снега, аккумулирующую способность осадков, а также подбирая методы непрерывного локального мониторинга за состоянием и миграционной активностью поллютантов местности, возможно своевременно устанавливать превышения ПДК и принимать соответствующие меры.

*Ключевые слова:* токсиканты, индикатор загрязнения, снег, тяжелые металлы, осадки, окружающая среда, предельно-допустимая концентрация, антропогенное воздействие, ксенобиотики.

### Введение

Осадки — одно из значительных звеньев влагообмена на Земле. Многолетнее, среднемесячное, сезонное, годовое количество осадков, среднегодовое количество осадков за определенный период времени, их распределение по земной поверхности, годовой и суточный ход, повторяемость, интенсивность являются определяющими характеристиками климата и мерой его благоприятности для живых организмов. Характеристика климатических условий имеет ключевое значение для растениеводства, садоводства, от-

раслей горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. В то же время промышленность является главным поставщиком поллютантов и ксенобиотиков в атмосферу [9, с. 151]. Именно осадки, характер которых позволяет им долгое время сохраняться в окружающей среде (снег), испытывая воздействие многодневной и даже многомесячной сорбции-десорбции загрязнителей с поверхности — помогают дать характеристику загрязнений окружающей среды за определенный период времени. Снег накапливает в себе токсические вещества, поступающие в атмосферу. Его химический состав во многом обусловлен загрязнением атмосферного

воздуха, и, соответственно, последующим загрязнением поверхностных вод и педосферы, а также пролонгированным проникновением в подземные воды, особенно в географических зонах с крупноструктурными почвами.

При формировании и выпадении снежного покрова в ходе механизмов сухого и влажного вымывания концентрация загрязняющих соединений оказывается в нем обычно на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе [2]. Таким образом, снег — один из наиболее информативных и доступных индикаторов загрязнения окружающей среды [9, с. 154].

### Материалы и методы (Materials and methods)

Материалом для исследования послужил снег, отобранный в январе 2021 года с горизонта 0–15±3,0 см высоты снежного покрова с поправками его общей глубины в точках отбора. Пробы снега были взяты с разных районов города Магнитогорска — приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Районы отбора проб снега

Район	Улица	№ образца
Ленинский	Комсомольская	№2
Правобережный	Гагарина	№3
Орджоникидзевский	Труда	№1
Орджоникидзевский (левый берег)	Кирова	№4

Сравнение образцов снега проведены по параметрам: внешний вид (цвет, прозрачность, осадок), органолептические свойства.

Цвет, прозрачность, осадок — определялись по стандартным методикам [15, с. 173].

Определение качества воды по органолептическим свойствам. Для определения запаха в чистую пробирку из кварцевого стекла наливали исследуемую воду (полученную при растапливании снега при комнатной температуре) на 2/3 объема, плотно закрывали деревянной пробкой, осторожно взбалтывали. Затем, открыв пробирку, определяли запах воды.

Химический анализ ионного состава снега и содержания тяжелых металлов (валовые формы) в нем проводили в химической лаборатории ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) атомно-абсорбционным методом.

Определение веса осадка. С каждого участка отбора проб получили по 3 литра талой воды, отфильтровали и высушили осадки на фильтре (в качестве фильтра были использованы ватные диски). Взвешивали чистые фильтры до фильтрования проб воды, а также высушенные фильтры после фильтрования.

### Литературный обзор (Literature review)

В настоящее время выделена особая группа токсических соединений, поступающих в природные экосистемы, в которую входят наряду с органическими соединениями и группа металлов — кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец и хром как опасные для человека, свободноживущих простейших, растений и животных [2, с. 40; 3, с. 25; 4, с. 369]. К числу сверхтоксичных для живых организмов элементов причислены кадмий, свинец, ртуть и их соединения, как неорганической формы, так и металл-органические соединения в особенности. Следует отметить, что особую группу поллютантов составляют именно металл-органические и комплексные соединения, способные к миграции по цепям питания от одноклеточных организмов через пресноводных и морских организмов-фильтраторов (моллюски). Ксенобиотики концентрируются в тканях рыб, и, попадая в организм человека, рыбацких животных оказывают длительное воздействие в особенности на клетки печени, селезенки и почек, обладая кумулятивным эффектом [13, с. 190]. Кадмий ядовит для организмов даже в малых концентрациях, кроме того, опасность металла в том, что интоксикация может прогрессировать даже после прекращения контакта с ним [8, с. 21; 11, с. 15]. Свинец по токсичности и длительности действия стоит после таллия, ртути и кадмия, но металл хорошо аккумулируется в тканях организма [17, с. 260]. Ртуть и, в частности, её металл-органические соединения относятся к наиболее высоко токсичным для живых организмов веществам [12, с. 45; 7, с. 100; 14, с. 80]. Металл стоит первым в группе тиоловых ядов, приводящих к нарушению работы ферментов и ферментных ансамблей, лежащих в основе работы ионных насосов в мембранах клеток, ферментов митохондрий и гидролаз лизосом, антиоксидантных ферментов пероксисом. Подобные воздействия на молекулярные механизмы ключевых клеточных процессов способны спровоцировать значительные изменения и нарушения в обмене веществ любого живого организма [6, с. 217; 7, с. 98; 10, с. 61; 18, с. 250].

В окружающую среду подобные ионные формы металлов и их органические фракции попадают из природных и техногенных источников и быстро вовлекаются в атмосферные переносы в составе воздушных масс на значительные расстояния от источников первоначального выброса [16, с. 122]. Таким образом, соединения могут попадать в атмосферные осадки еще на стадии формирования облаков, циркулировать с ними. При изменении pH и грозových разрядах вступать в химические превращения и приобретать новые формы, часто более устойчивые для переноса на большие расстояния [1, с. 38; 9, с. 153]. В связи с этим, рассматриваемая тематика является крайне актуальной на сегодняшний день.

Цель работы — оценка количественного содержания токсикантов в снежном покрове некоторых участков города Магнитогорска.

Задачи: 1) Анализ данных литературы, раскрывающих влияние токсикантов на жизнедеятельность человека и среды его обитания; 2) Исследование содержания некоторых токсикантов в снежном покрове города Магнитогорска; 3) Проведение сравнительного анализа количественного содержания токсикантов в ряде районов города Магнитогорска.

### Результаты и их обсуждение

В ходе проведения анализа установлено: по внешнему виду снег был идентичен во всех образцах, но небольшая разница в цветовых оттенках все же наблюдалась — устойчивый серый цвет снежного покрова с металлическим блеском отмечен на участке Орджоникидзевский район (ул. Кирова) (левый берег р. Урал).

Таблица 2.

Некоторые органолептические и морфологические показатели снега и снеговой воды

Образец	Внешний вид снега	Запах снега	Мутность воды	Наличие взвешенных частиц, мг
№1	белый	очень слабый	почти прозрачная	нет
№2	светло-серый	пыльный	мутная	нет
№3	светло-серый	слабый	мало мутная	нет
№4	серый	металлический	мутная с образованием осадка	0,001

Осадок присутствовал во всех пробах: в образце №4 (Орджоникидзевский (левый берег)) зафиксирован черный осадок, в образце № 2 (Ленинский) осадка не отмечено, но вода была очень мутная с хлопьевид-

ной устойчивой взвесью, в образце № 3 (Правобережный) — установлена слабо мутная вода, а в образце № 1 (Орджоникидзевский) отмечалась вода с малозаметным сероватым мелкокристаллическим осадком. Запах фиксировался самый насыщенный в образцах № 3 (Правобережный) (пыльный) и № 4 (левый берег) (металлический). В остальных образцах постороннего запаха не установлено (таблица 2).

Результаты химического анализа проб снега представлены в таблице 3.

Анализ таблицы 3 показал, что в некоторых районах исследования фиксировались превышения ПДК по показателям содержания кальция в форме  $Ca^{2+}$  и железа в форме  $Fe^{2+}$ , а также цветности и сухому остатку. Концентрация кальция превысила норматив ПДК в пробах осадков всех участков, наибольшее значение отмечено в пункте Ленинский (в 7,4 раза), на остальных пунктах значение варьировали в пределах от 2,5 до 4,5 раз. По железу также установлено превышение показателя на всех участках отбора проб снегового покрова с максимальным значением в пункте Левый берег в 32,96 раза и минимальным превышением норматива в точке Орджоникидзевский район (в 3,7 раза), по сухому остатку зафиксировано превышение на данном участке в 1,1 раза по сравнению с остальными пунктами исследования.

Результаты определения тяжёлых металлов в пробах снега представлены в таблице 4.

Установлено, что содержание ртути ( $Hg^{2+}$ ), кадмия ( $Cd^{2+}$ ) и свинца ( $Pb^{2+}$ ) (табл. 4) в пунктах отбора проб не превысило гигиенические нормативы ПДК для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и общероссийский фоновый показатель (Израэль, 2011).

Анализ результатов показывает, что карбонатная жесткость воды во всех пробах находилась в норме,

Таблица 3.

Содержание некоторых химических компонентов в талой воде

Наименование компонента	Единицы измерения	Образцы				ПДК (предельно допустимая концентрация)
		№1 Орджоникидзевский	№2 Ленинский	№3 Правобережный	№4 Левый берег	
Цветность	градусы	25	58	37	64	35
Жесткость	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,5	1,4	0,8	1,9	5,0
Кальций ( $Ca^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	9,9	29,6	15,1	18,0	4,0
Магний ( $Mg^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	2,45	10,4	4,8	13,1	20,0
Сульфаты ( $SO_4^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	2,8	5,0	4,1	24	100
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	45	76	63	163	150
Железо ( $Fe^{2+}$ )	мг/дм <sup>3</sup>	1,11	4,52	2,23	9,89	0,3

Содержание тяжелых металлов в пробах снега

Металл	Единицы измерения	Образцы				ПДК
		№1 Орджоникидзевский	№2 Ленинский	№3 Правобережный	№4 Левый берег	
Кадмий (Cd <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	<0,0001	<0,0001	0,000158	<0,0001	0,001
Свинец (Pb <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	<0,002	0,00429	0,00359	0,00502	0,03
Ртуть (Hg <sup>2+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,00005	0,0005

не более 5 ммоль/дм<sup>3</sup>, что может свидетельствовать о незначительном привнесении карбонат— ( $-\text{CO}_3^{2-}$ ) и гидрокарбонат-ионов ( $-\text{HCO}_3^-$ ) в среду со снегом. В образцах №2 (Ленинский) и №4 (левый берег) значительно превышена цветность воды, что может быть обусловлено присутствием красящих веществ или их компонентов, тонкодисперсной сажи, содержащейся в выбросах промышленных предприятий, а также гумусовыми соединениями и хелатирующими агентами в составе почвы. Рост данного показателя может свидетельствовать о стабильном источнике выбросов.

В образцах № 2 (Ленинский) и № 4 (левый берег) превышена концентрация кальция на 1 дм<sup>3</sup>. Установлено, что кальций является умеренно опасным металлом для человека [4, с. 370]. Поступление кальция в организм сверх нормы (с водой, продуктами питания, кальций содержащими добавками) приводит к патологиям желудочно-кишечного тракта и преждевременному старению [5, с. 124]. Превышение массы сухого остатка на дм<sup>3</sup> в области левого берега обусловлено близостью к промышленному центру чёрной металлургии ПАО ММК города Магнитогорска. Концентрация железа в форме (Fe<sup>2+</sup>) оказалась превышена во всех образцах. Известно, что избыток железа в воде негативно влияет на живые организмы: полученный металл не только не усваивается, но и полностью не выводится из пищеварительной системы. Происходит его накопление во внутренних органах (печень, селезенка, почки), которое постепенно перерастает в различные патологические состояния (гемохроматоз) [19, с. 58].

Содержание тяжелых металлов (кадмий, свинец, ртуть) в исследуемых пробах снега не превысило предельно допустимых концентраций в соответствии с нормативом для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и фоновым общероссийским показателем, которые бы могли оказывать негативное влияние на окружающую среду. Однако следует иметь ввиду, что указанные металлы способны к длительной аккумуляции в живых организмах и конечным звеном в экологических пищевых цепях часто выступает именно человек, что свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга содержания металлов-токсикантов в окружающей среде в зоне влияния ПАО ММК.

Основываясь на результатах органолептического, химического анализа и сравнения значений с предельно-допустимыми концентрациями в талой воде показано, что ситуация по содержанию поллютантов в снеговом покрове города Магнитогорска является неоднозначной. Установлено, что, наиболее «чистым участком» является Орджоникидзевский район, так как в зимний период здесь практически отсутствует антропогенное влияние: снижается поток автомобильного транспорта, учитывая розу ветров и расстояние от металлургического комбината — основной объем газо-пылевых выбросов от данного района относит в сторону.

Наиболее «грязным участком» оказался левый берег р. Урал, так как он расположен непосредственно рядом с ПАО ММК. В связи с этим, по-видимому, пылевые частицы с сорбированными на них токсическими компонентами, попадая в воздух в зимнее время в связи с резким охлаждением и конденсацией пара, быстрее, чем в летний период оседают на поверхности снега в непосредственной близости от источника загрязнения.

Ленинский и Правобережный районы по результатам анализа имеют незначительное (следовое) содержание загрязнителей, это объясняется удаленностью от крупных промышленных предприятий с учетом преобладающего направления ветра, загрязнение снежного покрова на данных территориях происходит в основном выбросами автомобильного транспорта.

#### Заключение

Таким образом, территорию города Магнитогорска нельзя назвать однозначно экологически благоприятной и комфортной для проживания. Наиболее благоприятной в городе является южная часть — Орджоникидзевский район (правый берег). Зная состав загрязнителей снега и его аккумулирующую способность, а также подобрав методы непрерывного локального мониторинга за состоянием и миграционной активностью поллютантов рассматриваемой местности, можно спрогнозировать и предупредить негативные последствия антропогенного воздействия на экологию и здоровье человека сохранив в чистоте природную среду для будущих поколений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арефьева А.С. Современные представления о влиянии соединений ртути на клеточном и системном уровне: обзор / А.С. Арефьева, В.В. Барыгина, О.В. Зацепина // *Экология человека*. — 2010. — № 8. — С. 35–41.
2. Белеванцев В.И. Подход к химико-термодинамическому анализу состояний тяжёлых металлов в окружающей среде (на примере ртути) / В.И. Белеванцев, А.П. Рыжих // *Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты»*. — 2015. — С. 38–42.
3. Будников Г.К. Тяжёлые металлы в экологическом мониторинге водных систем / Г.К. Будников // *Соросовский образовательный журнал*. — № 5. — 1998. — С. 23–29.
4. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю.Н. Водяницкий // *Почвоведение*. — № 12. — 2012. — С. 368–375.
5. Даувальтер В.А. Ртуть в донных отложениях озера Имандра, Мурманская область / В.А. Даувальтер, Н.А. Кашулин // *Сборник трудов Второго международного симпозиума Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты*. — 2015. — С. 123–127.
6. Кузьмина В.В. Влияние поступающей с пищей ртути на процессы экзотрофии у рыб / В.В. Кузьмина, В.Т. Комов // *Сборник трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты»*. — 2015. — С. 215–219.
7. Линник П.Н. Содержание и формы миграции металлов в воде Запорожского водохранилища / П.Н. Линник, В.А. Жежеря, И.Б. Зубенко, А.В. Зубко // *Гидробиол. Журн.* — 2010. — Т. 46. — № 4. — С. 97–116.
8. Муртазалиева М.К. Исследование влияния ионов различных металлов на ферменты семян *Citrullus edulis* / М.К. Муртазалиева // *Известия ДГПУ*. — 2008. — № 2. — С. 17–22.
9. Негроров О.П. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга / О.П. Негроров, В.С. Стародубцев // *Вест. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация*. — 2005. — № 2. — С. 149–153.
10. Пенькова Г.А. Влияние ртути на гидролиз углеводов в кишечнике бурозубок / Г.А. Пенькова, И.Л. Голованова [и др.] // *Токсикологический вестник*. — 2012. — № 3. — С. 54–60.
11. Стравинскене Е.С. Проблема биодоступности тяжёлых металлов в экологическом мониторинге природных вод / Е.С. Стравинскене: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. — Красноярск, 2012. — 24 с.
12. Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы / С.А. Сухенко // *Аналит. обзор / СО РАН. Ин-т вод. и экол. проблем, ГПНТБ*. — Новосибирск, 1995. — 59 с. — (Сер. «Экология». Вып. 36).
13. Тёплая Г.А. Тяжёлые металлы как фактор загрязнения окружающей среды / Г.А. Тёплая // *Астраханский вестник экологического образования*. — №1(23). — 2013. — С. 182–192.
14. Томилина И.И. Биологические эффекты действия загрязняющих донные отложения водоёмов центрального и южного Вьетнама на гидробионтов / И.И. Томилина, Л.П. Гребенюк, Н.В. Лобус, В.Т. Комов // *Биология внутренних вод*. — № 4. — 2016. — С. 78 — 87.
15. Харина Г.В. Аккумуляция тяжелых металлов в почвах Свердловской области / Г.В. Харина, Л.В. Алешина // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. — 2022. — Т. 333. — № 2. — 173–183.
16. Chaplygin V. The effect of technogenic emissions on the heavy metals accumulation by herbaceous plants / V. Chaplygin, T. Minkina, S. Mandzhieva, M. Burachevskaya, S. Sushkova, E. Poluektov, V. Kumacheva // *Environmental monitoring and assessment* — 2018. — Vol. 190 — № 3. — P. 124.
17. Kim H.S. Influence of road proximity on the concentrations of heavy metals in Korean urban agricultural soils and crops / H. S. Kim, K-R. Kim, W. Kim, G. Owens, K-H. Kim // *Archives of environmental contamination and toxicology*. — 2017. — Vol. 72. — № 2. — P. 260–268.
18. Swiercz A. Accumulation of heavy metals in the urban soils of the city Skarzysko-Kamienna (Poland) with regard to land use / A. Swiercz, E. Zajecka // *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. — 2018. — Vol. 13. — № 1. — P. 249–266.
19. Wu W. Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility / W. Wu, P. Wu, F. Yang, D. Sun, D-X. Zhang, Y-K. Zhou // *Science of the Total Environment*. — 2018. — Vol. 630. — P. 53–61.

© Пономарева Екатерина Михайловна (bio\_ogma@mail.ru); Осинкина Татьяна Владимировна (osinkina12@mail.ru);  
Кольчугина Гюзель Фарыховна (k\_biology@orgma.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»