

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-13-24>

УДК 504.054

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ВОСТОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ Г. ПАВЛОДАР

**А. А. Фаурат<sup>1\*</sup>, Г. С. Ажаев<sup>1</sup>, Е. З. Шакенов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Торайгыров Университет, Павлодар, Казахстан*

<sup>2</sup> *Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан*

*\*E-mail для контактов: alina03.09@mail.ru*

В данной статье проведен анализ содержания тяжелых металлов в снеговом покрове промышленных территорий города Павлодар, что позволило выявить наличие проблемы экологического загрязнения. Были проанализированы данные о содержании различных элементов в снеге по классам опасности: в первом классе опасности наибольшее содержание имеет Zn, в среднем 187,5 мг/кг, наибольшая вариация содержания элементов наблюдается у Cd – коэффициент вариации составляет 118,5%, высокий коэффициент концентрации у Pb и Zn; во втором классе – наибольшее содержание имеет Cr, в среднем 259,1 мг/кг, наибольшая вариация наблюдается у Cu – коэффициент вариации составляет 92%, высокий коэффициент концентрации у Cr; в третьем классе – наибольшее содержание имеет Ba, в среднем 777,5 мг/кг, коэффициент вариации и концентрации у Mn. Исследования показали, что содержание тяжелых металлов в снегу увеличивается в северо-восточном направлении от промышленных предприятий восточной промышленной зоны г. Павлодар. Согласно расчетам, содержание в снегу всех тяжелых металлов первого класса опасности превышает ПДК почв. Содержание кадмия превышает предельно-допустимую концентрацию более, чем в 17 раз. Тяжелые металлы второго класса опасности находятся в диапазоне от 0,4–3,2 превышения ПДК. Стронций превышает ПДК в 25 раз. Проведенный анализ является важным шагом в понимании экологической ситуации в Павлодаре и может быть полезным для принятия мер по защите окружающей среды и улучшения экологической ситуации на этой территории.

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, промышленная зона, снежный покров, суммарное загрязнение, рассеивание, осажждение.*

### ВВЕДЕНИЕ

Город Павлодар является одним из промышленных центров республики Казахстан. Основная часть промышленности приходится на металлургию – 42,6%, второе место занимает электроэнергетика – 17,8%, удельный вес производства нефтепродуктов составляет 13,3%. Также в городе развито машиностроение и химическая промышленность [1].

Крупнейшие предприятия представлены: металлургическая промышленность: АО «Алюминий Казахстана», АО «Казахстанский электролизный завод», Павлодарский филиал ТОО «KSP Steel», Павлодарский филиал ТОО «Кастинг»; отрасль энергетики: ТЭЦ АО «Алюминий Казахстана», ТЭЦ-2 АО «Павлодарэнерго», ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго»; химическая промышленность: АО «Павлодарский нефтехимический завод», ТОО «Компания Нефтехим LTD», АО «Каустик»; машиностроение: АО «Казэнергокабель», АО «Павлодарский машиностроительный завод», ТОО «Павлодарский трубопрокатный завод». Северная промышленная зона включает основную часть предприятий. В Восточной зоне расположены: АО «Алюминий Казахстана», АО «Казахстанский электролизный завод», АО «Павлодарский машиностроительный завод». АО «Павлодарэнерго» представляет отрасль электроэнергетики и объединяет в своем составе различные объекты, включая Павлодарскую ТЭЦ-2, Павлодарскую ТЭЦ-3 и другие. Совокупная установленная электрическая мощность

электростанций ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 составляет 665 МВт, а установленная мощность по тепловой энергии равна 1486 Гкал/час. Основным видом топлива, используемого на станции, является каменный уголь из Экибастузского бассейна [2].

В городе выделяется 5 районов: Центральный, Северный, Восточный, Южный и Западный. Северный и Восточный районы города являются комплексными и включают промышленный район.

Северная промышленная зона включает основную часть предприятий. В Восточной зоне расположены: АО «Алюминий Казахстана», АО «Казахстанский электролизный завод», АО «Павлодарский машиностроительный завод», ТЭЦ-1.

АО «Алюминий Казахстана» является единственным в Казахстане предприятием, выпускающим глинозем (сырье для производства алюминия), объем производства – 1,4 млн тонн  $Al_2O_3$  глинозема в год. Предприятие производит глинозем из боксита и известняка, добываемых на рудниках в Костанайской и Павлодарской областях. Полученный глинозем направляется на Казахстанский электролизный завод для производства металлического алюминия [3]. Энергетическая составляющая представлена Павлодарской ТЭЦ-1. Павлодарская ТЭЦ-1 Павлодарского алюминиевого завода АО «Алюминий Казахстана», входящего в состав ERG (Евразийской Группы), введена в эксплуатацию в 1964 году. Установленная электрическая мощность станции – 350 МВт, тепло-

вая мощность – 1182 Гкал.

Столь развитое промышленное производство достаточно негативно сказывается на окружающей среде города. Также из-за большого количества промышленных выбросов и источников движения в городе больше всего страдают промышленные районы и территории вдоль городских дорог [4]. Основными источниками поступления тяжелых металлов в атмосферу являются промышленные предприятия. Кроме этого, наиболее загрязненные районы находятся вблизи металлургических заводов и дорог, а сточные воды, шлак и выхлопные газы от плавильных производств содержат повышенное содержание тяжелых металлов. В различных [4–6] исследованиях приводятся доказательства обширного загрязнения в прилегающих районах, которые достигают 40–70% окружающей территории.

Задача мониторинга за загрязнением окружающей среды – оценить степень накопления тяжелых металлов в различных средах для предотвращения негативного влияния загрязнителей на здоровье людей. Для этого активно используются природные «планшеты», депонирующие среды, такие как почва или снежный покров [7]. В исследованиях Василенко и др., 1985 г. [8], выявлено, что концентрация загрязняющих веществ в снегу оказывается на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе. Снежный покров имеет способность накапливать загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы, что является хорошим объектом мониторинга загрязнения окружающей среды в зимнее время [9]. В результате осаждения различных химических элементов из атмосферы, оседания твердых частиц, а также поглощения водорастворимых аэрозолей формируется химический состав снежного покрова (фильтрата). При исследовании снежного покрова, проводится двухфазный анализ. Определяют концентрацию микроэлементов в твердой и жидкой фазах снега [10].

В данном исследовании оценивается содержание тяжелых металлов в твердой составляющей снега.

В целом по Республике Казахстан проводились полномасштабные исследования по оценке осаждения тяжелых металлов осадками на территории всей страны. Были исследованы метеорологические условия, влияющие на распространение загрязняющих веществ в Северном Казахстане [11]. Средние концентрации тяжелых металлов при пространственном распределении в снежном покрове на территории Павлодарской области составляют: свинец – 150 мкг/м<sup>2</sup>; медь – 1,5 мг/м<sup>2</sup>; мышьяк – 100 мкг/м<sup>2</sup>; кадмий – 10 мкг/м<sup>2</sup>. Средние концентрации тяжелых металлов в снежном покрове в пересчете на мкг/л на территории Павлодарской области составляют: свинец – 3; медь – 30; мышьяк – 2; кадмий – 0,5 [12].

Основные источники загрязнения в Павлодарской области расположены в промышленных городах: Павлодар, Экибастуз, Аксу. Рассмотрим загрязнение промышленными предприятиями города Павлодар.

Согласно исследованиям [12] в городе Павлодар предприятия образуют территориально-промышленные узлы, очаги загрязнения имеют не один центр, к которому приурочено максимальное содержание в почве того или иного элемента, а несколько центров, различающихся по составу накапливаемых элементов и по интенсивности их накопления. Также в исследованиях [13] загрязнение носит характер концентрических ореолов загрязнения. Для условий г. Уфы это обусловлено наличием практически равнинного рельефа. Природные факторы, из которых наиболее весомыми являются рельеф и метеорологические параметры в совокупности со специфическими местными особенностями формируют очаги загрязнения, либо преобладающие направления ветров формируют повышенное загрязнение воздуха вдоль этой оси за счет максимального наложения выбросов от многих источников [14–15].

По классификации Ю.В. Сайет (Сайет и др., 1990) [16] снежный покров центральной части г. Павлодара относится к среднему умеренно-опасному уровню загрязнения, северная и восточная промзоны относятся к опасно высокому загрязнению.

Поскольку предприятия образуют в городе территориально-промышленные площадки, пятна загрязнений имеют не один очаг, имеющий максимальное содержание в снегу того или иного элемента, а несколько очагов, отличающихся по составу накопленных элементов по интенсивности их накопления (Шоманова и др., 2017) [17]. Твердая фракция снежного покрова г. Павлодара характерна для кадмий-бериллиевой, кадмий-марганцевой и цинково-бериллиевой геохимической специализации. В северной промзоне загрязняющими металлами являются кадмий, бериллий, стронций; восточная промзона – кадмий, марганец, молибден; центральные – кадмий, бериллий, стронций (Шоманова и др., 2014). Средний уровень загрязнения для указанной зоны – 34 [18].

Наиболее выраженные концентрации тяжелых металлов в твердой фракции снежного покрова определяются направлением господствующих ветров и расстоянием от промышленных центров [19]. Исследования [20] также доказывают данный вывод, где было определено, что контуры аномалий загрязнения вытянуты в меридиональном направлении в соответствии с местной спецификой рельефа и направлениями господствующих ветров. При ранее проведенном картировании по отдельным химическим элементам контуры аномалий имели аналогичную ориентацию [21].

Таким образом, при формировании пространственной структуры загрязнения окружающей среды большое значение имеют метеорологические факторы. Так, в результате загрязнения атмосферного воздуха, наблюдается перераспределение концентраций загрязняющих веществ в снежном покрове.

Следовательно, в задачу данного исследования входило исследование содержания тяжелых метал-

лов в твердой фракции снега в восточной промышленной зоне г. Павлодар, где функционирует алюминиевый завод для целей актуализации данных.

В целом, в результате работы всех технологических узлов алюминиевого производства в атмосферу выбрасываются: взвешенные вещества (пыль боксита, известняка, угля, глинозема), пары щелочей и газы: сернистый ангидрид, оксиды азота и углерода. По данным Департамента охраны окружающей среды, с действующей продукции завода в атмосферу попадает 46 видов загрязняющих веществ. Предприятие имеет три хранилища отходов: шламонакопитель, состоящий из двух частей, золоотвал ТЭЦ и ведомственный полигон промышленных и бытовых отходов.

При исследовании содержания тяжелых металлов в шламе завода [21] выявлено, что более высокую концентрацию имеют кремний (Si), кальций (Ca), медь (Cu) и железа (Fe). Меньшие концентрации были получены для марганца (Mn), ванадия (V), титана (Ti), Скандий (Sc).

Также проводились исследования снежного покрова в 2000–2001 радиусе действия алюминиевого завода (восточная промзона) [19] и получены данные, что основными загрязняющими компонентами твердой фракции снежного покрова являются цинк (260,4 мг/кг), стронций (215,1), марганец (213,5). Причем, среднее содержание марганца выше, чем в среднем по городу.

Таким образом, имеются достаточно устаревшие данные по пространственному распределению за-

грязнения в городе Павлодар, поэтому данное исследование имеет цель провести актуальную оценку загрязнения тяжелыми металлами восточной промзоны города.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование снежного покрова проводилось на территории города Павлодар. Весь город был разделен на квадраты, учитывая промышленные и жилые районы. Далее, были выявлены точки отбора проб (рисунок 1). Выбор был обусловлен наличием промышленных объектов, их типом, расстоянием от источника загрязнения. Таким образом, в городе был выделен восточный промышленный район с металлургической промышленностью: АО «Алюминий Казахстана», АО «Казахстанский электролизный завод»; машиностроением: АО «Павлодарский машиностроительный завод»; энергетикой: ТЭЦ-1, а также золоотвал ТЭЦ-1.

Пробы отбирались на различном расстоянии от промышленных объектов, в различных направлениях, на основании розы ветров для определения границы зоны влияния объекта на атмосферу. Роза ветров была построена на основании данных Казгидромет за 2022 год (рисунок 2) [22]. Основное направление ветра за весь 2022 год, согласно построенному графику, южное. Также преобладает западное и юго-восточное. Таким образом, точки отбора проб были выбраны по направлению преобладающих ветров. Кроме этого, было учтено направление ветра в зимний период, то есть во время накопления снежного покрова.



1 – АО «Алюминий Казахстана», 2 – АО «Казахстанский электролизный завод», 13 – АО «Павлодарский машиностроительный завод», 21 – золоотвал ТЭЦ-1

Рисунок 1. Карта г. Павлодар с указанием территории исследования

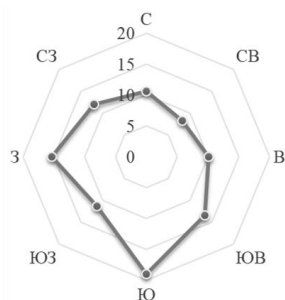


Рисунок 2. Роза ветров г. Павлодар (2022 год), построена авторами на основании данных из Метеорологической базы данных РГП «Казгидромет» [22]

Начало накопления снежного покрова обычно происходит в октябре, когда преобладали южное, западное направления, в ноябре и декабре – южное, юго-западное, юго-восточное направления (рисунок 3). Так, основные воздушные массы и соответственно загрязняющие вещества, были направлены в сторону города, где были взяты образцы для анализов. Образцы отбирались во всех направлениях от алюминиевого завода и ТЭЦ-1.

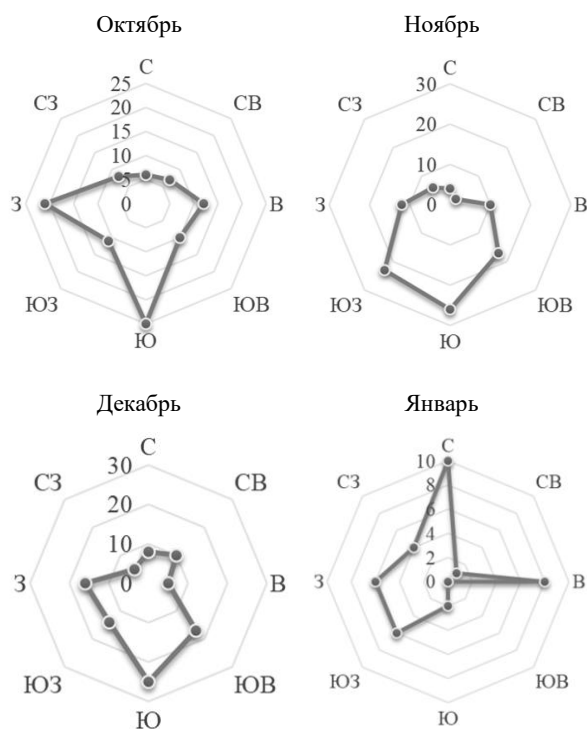


Рисунок 3. Роза ветров г. Павлодар (октябрь, ноябрь, декабрь 2022 года), построена авторами на основании данных из Метеорологической базы данных РГП «Казгидромет» [22]

#### Метеорологические условия и экологическая обстановка (загрязнение атмосферного воздуха)

Для оценки метеорологических условий, а также экологической обстановки в городе использованы данные филиала РГП «Казгидромет» по Павлодарской области. Период с октября по декабрь 2022 года

и январь 2023 года обусловлен влиянием выбросов загрязняющих веществ и накоплением его в снежном покрове. По данным наблюдений на метеостанции Павлодар, 09 ноября – дата установления устойчивого снежного покрова на 2022 г. Метеорологические условия период сентябрь-декабрь 2022 г. В 4 квартале 2022 г. в г. Павлодар преобладала погода с умеренными ветрами от 7–12 м/с до 9–14 м/с, порывы достигали 15–22 м/с. В отдельные дни наблюдался слабый ветер 3–8 м/с с дымкой и туманом. Температура атмосферного воздуха колебалась от +25,0 °С до –34,0 °С. Осадки наблюдались в виде дождя и снега от 0,0 до 10,4 мм. Влияние погодных условий на формирование загрязнения воздуха в 4 квартале 2022 года не отмечено, дней с НМУ (неблагоприятных метеоусловий) не зафиксировано. Повторяемость штиля (безветрие) за год составляет 11%.

По причине того, что фоновые показатели нашего исследования имели высокие показатели, обусловленные близостью населённого пункта, в данном исследовании мы также использовали фоновые значения, полученные в предыдущих исследованиях [19], проведенных на территории города Павлодар, по тем значениям, которые не были представлены в этих источниках, были использованы фоновые значения, полученные в ходе исследования.

В ходе отбора проб учитывалась роза ветров и перенос и осаждение загрязняющих веществ в зоне влияния алюминиевого завода и ТЭЦ-1 (рисунок 4), так как эти объекты являются ведущими экологическими факторами. Локации для отбора проб также включали окрестности золоотвалов теплоэлектроцентрали и шламовые поля завода, селитебная территория города (район Алуминстрой), посёлки Жетикши и Кенжеколь.



Рисунок 4. АО «Алюминий Казахстана»

С целью уменьшения воздействия автомобильных выхлопов на образцы, пробы были отобраны не менее 25 м от дорожной трассы, согласно литературным источникам [23–25].

Отбор проб осуществлялся в январе, при средней высоте снежного покрова – 60 см. Метод, используемый для отбора – метод шурфа: измерялось углубление (глубина, ширина, высота) в снеговом покрове на



всю мощность. Отбор снега производился в полиэтиленовые пакеты, средний пробы вес составлял 6 кг.

Далее, снег обрабатывался в камеральных условиях, таяние снега происходила с естественных условиях в течение 8–12 часов.

Талая вода фильтровалась через фильтры обеззоленные «Синяя лента», специализированные фильтры для отделения от раствора мелкокристаллических осадков типа холодно-осаждённого сульфата бария, оксида меди и т.д. Полученный осадок после фильтрации талой воды просушивался, взвешивался и упаковывался для дальнейшей работы по определению содержания тяжелых металлов.

Лабораторные испытания проводились в лаборатории филиала «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП на ПХВ «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» Министерства энергетики Республики Казахстан.

Анализ содержания химических элементов в составе твердой фазы снега проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с использованием Agilent 7700 X ICP-MS согласно: МВИ № 499-АЭС/МС МКХА «Методика количественного химического анализа. Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами» KZ.07.00.03351-2016.

Коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$ , рассчитывался по отношению реального (аномального) содержания загрязнителя в природном объекте ( $C$ ) к его фоновому уровню ( $C_\phi$ ) в аналогичном объекте:

$$K_c = \frac{C}{C_\phi}.$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов, содержание которых превышает фоновые значения, и выражен следующей формулой:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где  $n$  – число учитываемых аномальных элементов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа отчётов производственного контроля выявлены основные загрязняющие вещества, выбрасываемые предприятиями промышленности восточной промзоны г. Павлодар (рисунок 5, таблица 1). Данные по фактическим эмиссиям были получены из отчетов производственного экологического контроля организации. Объем фактических эмиссий загрязняющих веществ в атмосферный воздух АО «Алюминий Казахстана» за 2020 год – 89233 тонны, АО «Казахстанский электролизный завод» – 39368,45 тонн.

Информация по объему фактических эмиссий загрязняющих веществ в атмосферный воздух про-

мышленных предприятий с 1 января по 31 декабря 2020 года представлена в таблице 1. Для целей исследований были выделены только эмиссии тяжёлых металлов, т.к. интерес представляет накопление их в снежном покрове.



Рисунок 5. Восточная промышленная зона г. Павлодар

Таблица 1. Выбросы эмиссий загрязняющих веществ Павлодарского алюминиевого завода, включая теплоэлектроцентраль Восточной промзоны г. Павлодара (тонн/год) (по отчетам производственного экологического контроля)

Наименование загрязняющего вещества	АО «Алюминий Казахстана»	АО «Казахстанский электролизный завод»
Железо	9,255	0,101138
Марганец и его соединения	0,23	0,0036362
Алюминий	133,564	433,591175
Хром	0,0241	0,0000012
Хлор		0,1436759
Никель	0,0002774	
Свинец	0,000022	
Медь	0,0166	
Цинк	0,0000038	
Бензин	0,632	0,0113740
Керосин	1,657	
Пыль неорганическая	37457,9823 (твердые частицы)	806,296
Пыль абразивная		0,0324150
Пыль резины		0,039

В результате анализа выявлено, что максимальные выбросы алюминиевого производства приходится на алюминий – 133,5 т/год алюминиевого завода и 433,6 т/год электролизного. Количество тяжелых металлов, выброшенных за год является не высоким, однако пыль, которая содержит высокие концентрации тяжелых металлов, вносит основной вклад в загрязнение данной территории. Согласно исследованиям [8] химический состав золы и пыли Павлодарских ТЭЦ составляет: свинец – 2,86 мг/кг; кадмий – 0,23 мг/кг; ртуть – 6,59 мг/кг; мышьяк – 0,28 мг/кг; фтор – 10,0 мг/кг; сурьма – 0,37 мг/кг; бериллий – 0,017 мг/кг; селен – 0,53 мг/кг; теллур – 0,1 мг/кг.

Таблица 2. Статистические показатели содержания химических элементов в фильтрате снега (ТФС)  
г. Павлодар, (мг/кг) – Восточная промышленная зона

Элемент	Интервал	Среднее содержание	Отклонение	Коэффициент вариации, %	Фон	Коэффициент концентрации
<b>1 класс токсичности</b>						
Zn	70–590	187,5±42,5	147,1	78	175/48,3	3,9
As	7–21	13,4±1,3	4,6	34	7/	1,9
Cd	1–33	8,8±3,0	10,5	118	0,8/0,16	55
Pb	38–180	98,4±15,1	52,4	53	42,5/23,2	4,2
<b>2 класс токсичности</b>						
Cr	140–460	259,1±24,9	86,6	33	755/18,4	14
Co	6–15	9,1±0,7	2,6	29	7,5/7,9	1,2
Ni	12–43	24,8±2,4	8,2	33	20,5/21,1	1,2
Cu	40–340	107,5±28,6	99,2	92	70/20,5	5,2
Mo	1,2–2,8	2±0,1	0,5	23	1,1/0,29	7
<b>3 класс токсичности</b>						
V	70–130	97,9±5,8	20,4	21	64/9,8	10
Mn	410–1400	658,3±74,1	256,8	39	560/24,3	27
Sr	200–440	258,3±18,7	64,9	25	205/29,8	8,7
Ba	570–1300	777,5±55,4	191,9	25	990/	0,8

Примечание: Объем выборки составляет 12 точек отбора проб. Среднее содержание – среднее арифметическое значение содержания тяжелых металлов в 12 точках отбора проб и ошибка.

В результате проведенного лабораторного анализа на содержание тяжелых металлов в осадке снега г. Павлодар, получены результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2 представляет результаты анализа содержания различных элементов в твердом осадке снега, а также характеризует степень их токсичности. Элементы в таблице разделены на три класса токсичности в соответствии с их коэффициентом концентрации.

Первый класс токсичности включает элементы Zn, As, Cd, Pb. Среди них наибольшее содержание имеет Zn, в среднем 187,5 мг/кг, а наименьшее – Cd, в среднем 8,8 мг/кг. Наибольшая вариация содержания элементов наблюдается у Cd – коэффициент вариации составляет 118,5%. Высокий коэффициент концентрации у Pb и Zn, указывает на их антропогенный источник. Второй класс токсичности включает элементы Cr, Co, Ni, Cu, Mo. Среди них наибольшее содержание имеет Cr, в среднем 259,1 мг/кг, а наименьшее – Mo, в среднем 2 мг/кг. Третий класс токсичности включает элементы V, Mn, Sr, Ba. Среди них наибольшее содержание имеет Ba, в среднем 777,5 мг/кг, а наименьшее – V, в среднем 97,9 мг/кг. Высокий коэффициент концентрации у Mn – 27 указывает на специфику производства алюминиевой промышленности.

Коэффициент вариации показывает, насколько велики отклонения в значениях концентрации элементов в снегу. Чем больше коэффициент вариации, тем больше разброс в значениях и тем менее точными являются данные. Наибольшие коэффициенты вариации демонстрируют следующие элементы: Cd, Mn, Cr.

На основании полученных данных был составлен ряд по среднему содержанию элементов:  $Ba_{777,5} > Mn_{658,3} > Cr_{259,1} > Sr_{258,3} > Zn_{187,5} > Cu_{107,5} > Pb_{98,4} > V_{97,9} > Ni_{24,8} > As_{13,4} > Co_{9,08} > Cd_{8,84} > Mo_{2,03}$ . Наибольшие концентрации составляют барий, марганец, хром и стронций, наименьшая концентрация кадмий и молибден.

Далее представлен ряд по варьированию:  $Cd_{118} > Cu_{92} > Zn_{78} > Pb_{53} > Mn_{39} > As_{34} > Cr_{33} > Ni_{33} > Co_{29} > Sr_{25} > Ba_{25} > Mo_{23} > V_{21}$ . Наибольший коэффициент вариации имеет кадмий – 118, медь – 92 и свинец – 53, т.е. содержание этих веществ очень разнится от местоположения точки отбора проб. Это может свидетельствовать о приуроченности загрязнением данным тяжелым металлом к определенному источнику загрязнения.

Коэффициент концентрации показывает, насколько сильно содержание элемента в грунте превышает естественный уровень (фон). Ниже приведен ряд элементов, отсортированных по убыванию коэффициента концентрации. На первом месте этого списка находится кадмий (Cd), за которым следуют марганец (Mn), хром (Cr), ванадий (V) и т.д. наименьшее значение имеет барий. Ряд по коэффициенту концентрации:

$Cd_{55} > Mn_{27} > Cr_{14} > V_{10} > Sr_{8,7} > Mo_7 > Cu_{5,2} > Pb_{4,2} > Zn_{3,9} > As_{1,9} > Ni_{1,2} > Co_{1,2} > Ba_{0,8}$ . Таким образом, концентрации кадмия, марганца и хрома приурочены к городской промышленной среде.

Для определения влияния промышленных объектов на распространение загрязняющих веществ было проанализировано содержание тяжелых металлов в снегу в зависимости от направления от источника загрязнения (алюминиевый завод). Всего представлено

7 точек, расположенных на различном отдалении от завода в зависимости от розы ветров.

Так, для всех элементов проводился корреляционный анализ, выбраны элементы, наиболее скоррелированные и, для удобства анализа, размещены вместе (рисунок 6).

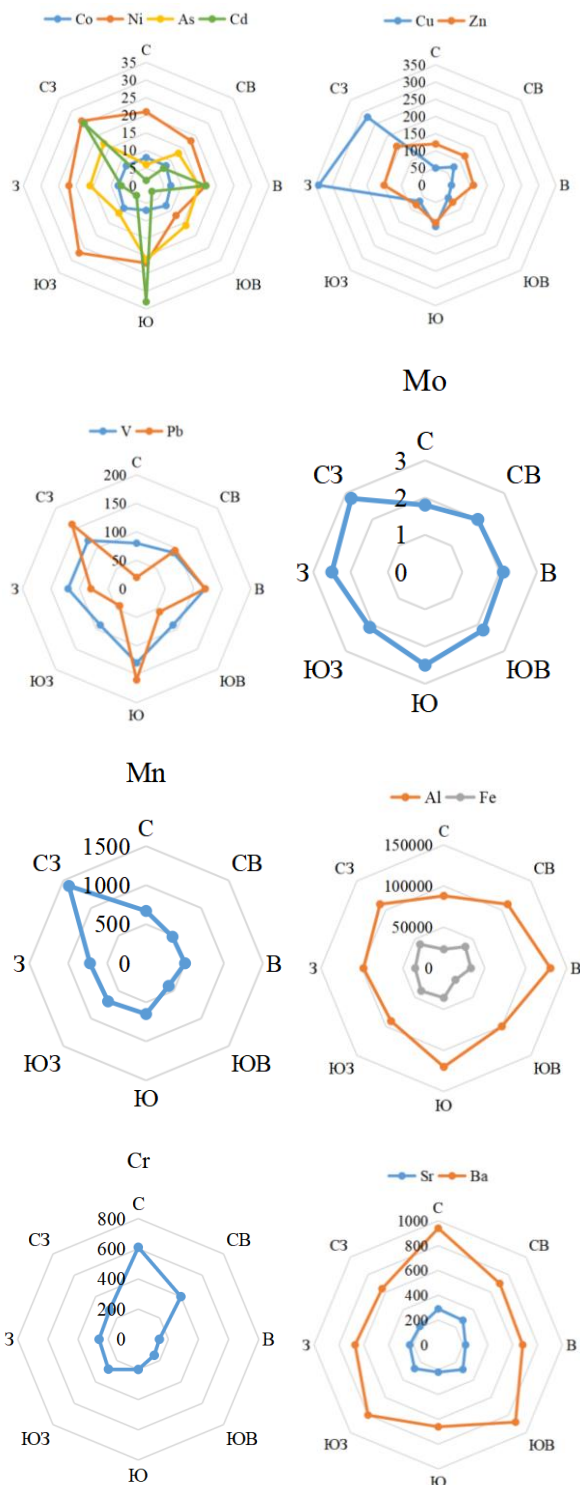


Рисунок 6. Концентрация тяжелых металлов в снегу по различным направлениям от источника загрязнения

Судя по преобладающему направлению содержания элементов, можно выделить северо-западное. Большинство тяжелых металлов имеют высокую концентрацию в этом направлении. Это связано с преобладающими ветрами (южное и юго-восточное), а также расположение точки отбора ближе к городу. В группе металлов кобальт, никель, свинец и кадмий преобладает северо-западное направление, т.е. в данном направлении расположены участки с наибольшими концентрациями указанных металлов.

Интерес представляет распределение элементов в общем по точкам отбора образцов, представленных на рисунке 7.

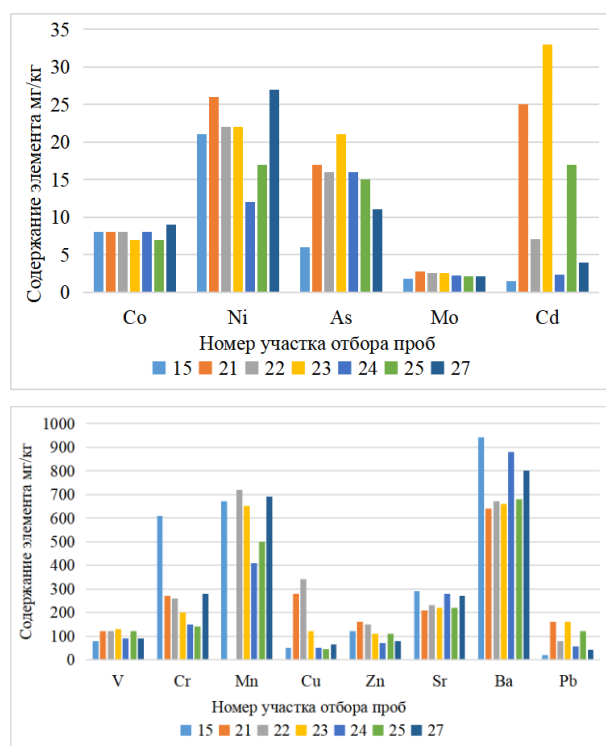


Рисунок 7. Содержание тяжелых металлов в твердой фазе снега на точках отбора Восточной промзоны

Содержание кобальта, молибдена и ванадия на всех участках не имеет очень больших отличий. Из этого следует, что загрязнение этими веществами является равномерным.

Содержание остальных тяжелых металлов варьируется от участка к участку. Наибольшее содержание никеля наблюдается на участке 27 и составляет 27 мг/кг. Повышенное содержание мышьяка отмечается в южном направлении от завода, на остальных участках варьируется, достигая наименьших значений на точке 15, наиболее отдаленной от промышленной зоны, однако на этом участке наблюдается высокое содержание хрома (610 мг/кг). Повышенное содержание кадмия наблюдается в непосредственной близости к алюминиевому заводу и варьирует от 25–33 мг/кг. В южном направлении от источника загрязнения (21 точка) преобладают концентрации свинца,



а также высокие концентрации меди, никеля, мышьяка. В целом, юго-восточное направление от алюминиевого завода и ТЭЦ-1 имеет наименьшее содержание тяжелых металлов, что в первую очередь связано с преобладающим направлением ветра.

На основании средних концентраций тяжелых металлов в твердом осадке снега, получены следующие карты, построенные по экстраполяции данных (рисунки 8, 9).

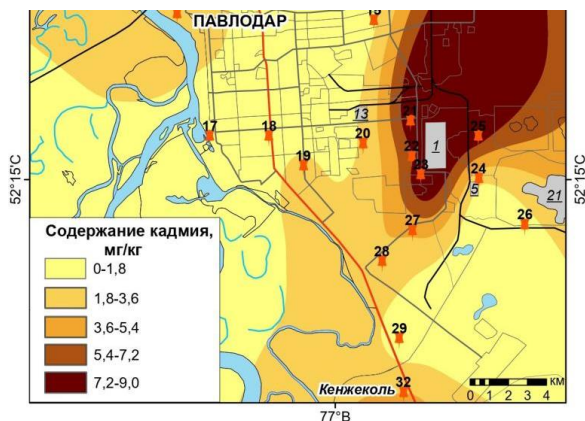


Рисунок 8. Содержание кадмия в твердой фазе снега в г. Павлодар

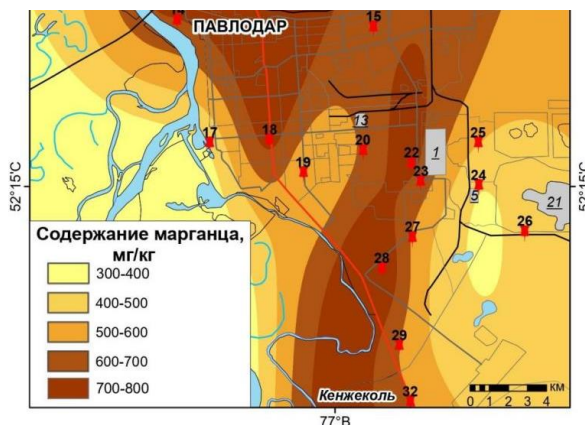


Рисунок 9. Содержание марганца в твердой фазе снега в г. Павлодар

Для снежного покрова отдельно не предусмотрены предельно допустимые концентрации. Однако необходимо провести анализ его загрязнения в соответствии со стандартами загрязнения. Так как в данном исследовании изучался твердый осадок снега после фильтрации талой воды, то возможно использование и сравнение полученных значений с предельно допустимой концентрацией тяжелых металлов в почве. Для свинца и мышьяка использовались ПДК согласно казахстанскому стандарту [27], для других металлов использовались данные литературных источников [20], либо российского ГОСТа [28] (таблица 3).

Согласно расчетам, содержание в снегу всех тяжелых металлов первого класса опасности превышает ПДК почв. Содержание кадмия превышает пре-

дельно-допустимую концентрацию более, чем в 17 раз. Тяжелые металлы второго класса опасности находятся в диапазоне от 0,4–3,2 превышения ПДК. Стронций превышает ПДК в 25 раз.

Таблица 3. Превышение показателей ПДК почв средними значениями содержания тяжелых металлов в твердом осадке снега в Восточной промзоне г. Павлодар

Элемент	Содержание элемента в твердом осадке снега	ПДК почв	Превышение значения ПДК
<b>1 класс токсичности</b>			
Zn	187,5	55 [28]	3,4
As	13,4	2,0 [27]	6,7
Cd	8,8	0,5 [28]	17,7
Pb	98,4	32 [27]	3,1
<b>2 класс токсичности</b>			
Cr	259,2	100 [20]	2,4
Co	9,1	5 [28]	1,8
Ni	24,8	20 [28]	1,2
Cu	107,5	33 [28]	3,2
Mo	2	5 [20]	0,4
<b>3 класс токсичности</b>			
V	97,9	150 [28]	0,6
Mn	658,3	700 [28]	0,9
Sr	258,3	10 [20]	25,8

Данная оценка содержания тяжелых металлов относительно ПДК является ориентировочной. Во-первых, содержание тяжелых металлов в твердом осадке всегда выше концентраций в почве, т.к. во время таяния происходит смывание, инфильтрация талой воды. Во-вторых, ПДК разрабатывается для сельскохозяйственных земель для предотвращения загрязнения растительной продукции, а в данном исследовании рассматривались промышленные земли.

Однако, почва является депонирующей средой и ежегодно достаточно высокие концентрации тяжелых металлов оседают на поверхности, проникают в более глубокие слои, а также выпадают на отдаленном расстоянии от промышленных предприятий с осадками. Также часть металлов концентрируется в растениях, что представляет собой угрозу особенно на дачных участках, где население выращивает растительную продукцию. Изучение миграции тяжелых металлов в этих средах предмет дальнейшего изучения в рамках данного исследования.

Для определения суммарного загрязнения Восточной промышленной зоны г. Павлодар были рассчитаны коэффициенты загрязнения по каждому элементу. В итоге суммарное загрязнение по сравнению с фоном данного исследования составило 18,2, что соответствует низкому уровню загрязнения, но некоторые авторы относят значения от 16–24 к общему городскому уровню загрязнения. Однако такой низкий индекс суммарного промышленной территории может свидетельствовать о высоких значениях фоновое содержания тяжелых металлов, т.е. на территорию для отбора фоновых образцов воздействовали антропогенные факторы.



Для сравнения полученных в исследовании данных были использованы данные по фоновому содержанию тяжелых металлов из литературных источников [19]. Так, в 2000–2001 годах на территории г. Павлодар проводились подобные исследования, фоновые участки были расположены в 80 км от города в противоположную сторону от розы ветров, где отсутствовали антропогенные источники загрязнения. При использовании данных фонового содержания тяжелых металлов предыдущих исследований, суммарное загрязнение составило 127,7 что соответствует высшему пределу среднего умеренно-опасного уровня загрязнения ( $Z_c$  64–128).

### Выводы

Данные, полученные из исследований содержания тяжелых металлов в снегу на промышленных территориях и городах, являются тревожными. Выбросы в атмосферный воздух промышленных предприятий и загрязнение автотранспортом являются основными причинами загрязнения снега на территории городов и промышленных зон.

Самое высокое содержание тяжелых металлов в снегу промышленной зоны города имеют барий, марганец, хром, стронций, цинк. Наибольшие коэффициенты вариации демонстрируют следующие элементы: Cd, Mn, Cr.

Кадмий превышает концентрацию естественного фона в 55 раз, за которым следуют марганец – в 27 раз, хром – в 14 раз, ванадий – в 10 раз, что отражает коэффициент концентрации. На основании коэффициента концентрации было рассчитано суммарное загрязнение восточной промышленной зоны, которое составляет 18,2.

Кроме того, исследования показали, что содержание тяжелых металлов в снегу увеличивается в северо-восточном направлении от промышленных предприятий восточной промышленной зоны г. Павлодар, что может свидетельствовать о осаждении загрязняющих частиц благодаря преобладающему ветру или перекрестном загрязнении другими промышленными предприятиями.

Таким образом, необходимо принимать меры по сокращению выбросов в атмосферный воздух промышленных предприятий, а также проводить мониторинг содержания тяжелых металлов в почве на территории городов и промышленных зон. Это позволит контролировать уровень загрязнения окружающей среды и принимать меры по уменьшению его воздействия на здоровье населения и экосистему в целом.

*Работа выполнена в рамках проекта ИРН AP15473194 «Оценка накопления и распределения микроэлементов в атмосферных выпадениях (снеговой покров), почвах и овощных культурах урбанизированных территорий г. Павлодар» при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. О Генеральном плане города Павлодара Павлодарской области (включая основные положения). Постановление Правительства РК от 12 июня 2018 года. № 337. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000337>
2. АО «Павлодарэнерго» – <https://pavlodarenergo.kz/ru/home.html>
3. АО «Алюминий Казахстана» – <https://www.erg.kz/ru/content/deyatel-nost/ao-alyuminiy-kazahstana>
4. Y. Zhou, D.D. Jiang, D. Ding, Y.J. Wu, J. Wei, L.Y. Kong, T. Long, T.T. Fan, S.P. Deng. Ecological-health risks assessment and source apportionment of heavy metals in agricultural soils around a super-sized lead-zinc smelter with a long production history, in China // *Environ. Pollut.* – 2022. 307. Article 119487. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119487>
5. R. Xiao, F. Shen, J. Du, R.H. Li, A.H. Lahori, Z.Q. Zhang. Screening of native plants from wasteland surrounding a Zn smelter in Feng County China, for phytoremediation // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2018. 162. –P. 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.095>
6. Kuşçu, İ.S.K., Bayraktar, M.K., Tunçer, B. Determination of heavy metal (Cr, Co, and Ni) accumulation in selected vegetables depending on traffic density // *Water Air Soil Pollut.* – 2022. 233 (6). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05697-4>
7. Бояркина А.П. Аэрозоли в природных ландшафтах Сибири / А.П. Бояркина, В. В. Бойковский, Н.В. Васильева и др. – Томск, 1993. – 157 с.
8. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 180 с.
9. Meshcheryakov, P.V., Prokopovich, E.V., Korkina, I.N. Transformation of ecological conditions of soil and humus substance formation in the urban environment // *Russian Journal of Ecology.* – 2005. – V. 36. – pp. 8–15.
10. Андросова Н.К. Геолого-экологические исследования и картографирование (Геоэкологическое картирование): Учебное пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 98 с.
11. Ажаев, Г.С., Гельдымамедова, Э.А. Тяжелые металлы в окружающей среде / Г.С. Ажаев, Э.А. Гельдымамедова // *Материалы международной научно-практической конференции «Химия: наука, образование, промышленность. Возможности и перспективы развития».* – 2001. – С. 330–334.
12. Cherednichenko, V.S., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, A.I.V., Zheksenbaeva, A.K., Madibekov A.S. Heavy metal deposition through precipitation in Kazakhstan // *Heliyon.* – 2021. 7(1): e05844.
13. Галеева Э.М., Хафизова А.И., Хасанова Э.И. Пространственная структура загрязнений снежного покрова г. Уфы. // *Вестн. Удм. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле.* – 2014. Вып. 4. – С. 7–11.
14. Галеева Э.М., Теплова Д.С. Загрязнение атмосферного воздуха городских агломераций и влияющие неблагоприятные метеорологические условия (на примере г. Уфы. *Вестник Удмуртского университета.* – 2016. – Т. 26, вып. 1. – С. 7–14.
15. Теплова Д.С. Влияние природных факторов на формирование пространственной структуры загрязнения снежного покрова г. Уфы // *Ландшафтно-экологическое состояние регионов России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: Истоки, 2015. С. 195–198.*

16. Сайет Ю.В., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова, Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. (1990) Геохимия окружающей среды, Москва, с. 334.
17. Шоманова З.К., Ташмухамбетова З.К., Жармагамбетова А.К., Сафаров Р.З., Носенко Ю.Г. (2014). Комплексный подход к переработке отходов ферросплавного производства. Международный журнал химических наук, том. 12, нет. 4, с. 1569–1576.
18. Azhayeve, G., Esimova, D., Sonko, S.M., Safarov, R., Shomanova, Zh. & Sambou, A. (2020). Geoecological Environmental Evaluation of Pavlodar Region of The Republic of Kazakhstan as a Factor of Perspectives for Touristic Activity. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 28(1), 104–113. <https://doi.org/10.30892/gtg.28108-455>
19. Ажаев, Г.С. Оценка экологического состояния г. Павлодара по данным геохимического изучения жидких и пылевых атмосферных выпадений: дисс. к.г.-м.н.: 25.00.36. – Павлодар, 2007. – 111 с. РГБ ОД, 61:07-4/81.
20. Галеева Э.М. Загрязнение снежного покрова г. Уфы как фактор изменения геохимического облика водных систем // Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Аэтерна, 2014. С. 280–284.
21. Shomanova, Zhanat, Safarov, Ruslan, Shomanov, Adai, Tleulessov, Askar, Berdenov, Zharas, David, Lorant. Aspects of Assessment of Ecological Impact of an Ash-Sludge Collector of Pavlodar Aluminum Plant (Kazakhstan). *Tájékológiai Lapok* 17 (1): 47–62 (2019). <https://doi.org/10.56617/tl.3464>
22. Ежемесячный информационный бюллетень о состоянии окружающей среды. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchey-sredy>
23. Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнения природной среды. – М.: Гидрометеоздат, 1986. – С. 27.
24. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М.: ИМГРЭ, 1990. – С. 15.
25. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман и др. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 182 с.
26. Об утверждении Гигиенических нормативов к безопасности среды обитания. Приказ Министерства здравоохранения Республики Казахстан от 21 апреля 2021 года № КР ДСМ-32. Зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 22 апреля 2021 года № 22595. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595>
27. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm>
3. АО «Алюминий Казахстана» – <https://www.erg.kz/ru/content/deyatel-nost/ao-alyuminiy-kazakhstan>
4. Y. Zhou, D.D. Jiang, D. Ding, Y.J. Wu, J. Wei, L.Y. Kong, T. Long, T.T. Fan, S.P. Deng. Ecological-health risks assessment and source apportionment of heavy metals in agricultural soils around a super-sized lead-zinc smelter with a long production history, in China // *Environ. Pollut.* – 2022. 307. Article 119487. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119487>.
5. R. Xiao, F. Shen, J. Du, R.H. Li, A.H. Lahori, Z.Q. Zhang. Screening of native plants from wasteland surrounding a Zn smelter in Feng County China, for phytoremediation // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 2018. 162. – P. 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.095>.
6. Kuşçu, İ.S.K., Bayraktar, M.K., Tunçer, B. Determination of heavy metal (Cr, Co, and Ni) accumulation in selected vegetables depending on traffic density // *Water Air Soil Pollut.* – 2022. 233 (6). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05697-4>
7. Boyarkina A.P. *Aerozoli v prirodnyh planshetah Sibiri* / A.P. Boyarkina, V. V. Bojkovskij, N.V. Va sil'eva i dr. – Tomsk, 1993. – 157 p.
8. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman S.H.D. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova.* – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. – 180 p.
9. Meshcheryakov, P.V., Prokopovich, E.V., Korkina, I.N. Transformation of ecological conditions of soil and humus substance formation in the urban environment // *Russian Journal of Ecology.* – 2005. – V. 36. – pp. 8–15.
10. Androsova N.K. *Geologo-ekologicheskie issledovaniya i kartografirovaniye (Geoekologicheskoe kartirovaniye): Uchebnoe posobie.* – Moscow.: Izd-vo RUDN, 2000. – 98 p.
11. Azhaev, G.S., Gel'dymamedova, E.A. Tyazhelye metally v okruzhayushchej srede / G.S. Azhaev, E.A. Gel'dymamedova // *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Himiya: nauka, obrazovanie, promyshlennost'. Vozmozhnosti i perspektivy razvitiya».* – 2001. – P. 330–334.
12. Cherednichenko, V.S., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, A.I.V., Zheksenbaeva, A.K., Madibekov, A.S. Heavy metal deposition through precipitation in Kazakhstan // *Heliyon.* — 2021. 7(1): e05844.
13. Galeeva E.M., Hafizova A.I., Hasanova E.I. Prostranstvennaya struktura zagryaznenij snezhnogo pokrova g. Ufy. // *Vestn. Udm. un-ta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle.* — 2014. Issue. 4. – P. 7–11.
14. Galeeva E.M., Teplova D.S. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha gorodskih aglomeracij i vliyayushchie neblagopriyatnye meteorologicheskie usloviya (na primere g. Ufy. *Vestnik Udmurtskogo universiteta.* – 2016. – T. 26, issue. 1. – P. 7–14.
15. Teplova D.S. Vliyanie prirodnyh faktorov na formirovaniye prostranstvennoj struktury zagryazneniya snezhnogo pokrova g. Ufy // *Landshaftno-ekologicheskoe sostoyaniye regionov Rossii: materialy Vseros. na- uch.-prakt. konf. Voronezh: Istoki,* 2015. P. 195–198.
16. Sajet Yu. V., Revich B. A., YAnin E. P., Smirnova R. S., Basharkevich I. L., Onishchenko T. L., Pavlova, L. N., Trefilova N., YA., Achkasov A. I., Sarkisyan S., Sh. (1990) *Geohimiya okruzhayushchey sredy*, Moscow, p. 334.
17. Shomanova Z. K., Tashmuhambetova Z. K., Zharmagambetova A. K., Safarov R. Z., Nosenko Yu. G. (2014).

## REFERENCES

- Kompleksnyj podhod k pererabotke othodov ferro-splavnogo proizvodstva. Mezhdunarodnyj zhurnal himicheskikh nauk, Tom.12, net.4, P. 1569–1576.
18. Azhaye, G., Esimova, D., Sonko, S.M., Safarov, R., Shomanova, Zh. & Sambou, A. (2020). Geoecological Environmental Evaluation of Pavlodar Region of The Republic of Kazakhstan as a Factor of Perspectives for Touristic Activity. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 28(1), P. 104–113. <https://doi.org/10.30892/gtg.28108-455>
  19. Azhaev, G.S. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya g. Pavlodara po dannym geohimicheskogo izucheniya zhidkih i pylevyh atmosferyh vypadenij: dissertaciya kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk: 25.00.36. – Pavlodar, 2007. – 111 p. RGB OD, 61:07-4/81.
  20. Galeeva E.M. Zagryaznenie snezhnogo pokrova g. Ufy kak faktor izmeneniya geohimicheskogo oblika vodnyh sistem // Regional'nye problemy vodopol'zovaniya v izmenyayushchihsya klimaticheskikh usloviyah: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ufa: Aeterna, 2014. P. 280–284.
  21. Shomanova, Zhanat, Safarov, Ruslan, Shomanov, Adai, Tleulessov, Askar, Berdenov, Zharas, David, Lorant. Aspects of Assessment of Ecological Impact of an Ash-Sludge Collector of Pavlodar Aluminum Plant (Kazakhstan). *Tájökológiai Lapok* 17 (1): 47–62 (2019). <https://doi.org/10.56617/tl.3464>
  22. Ezhemesyachnyj informacionnyj byulleten' o sostoyanii okruzhayushchej sredy. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchej-sredy>.
  23. Unificirovannye metody monitoringa fonovogo zagryazneniya prirodnoj sredy. – Moscow.: Gidrometeoizdat, 1986. – P. 27.
  24. Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozduha naselennyh punktov metallami po ih sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve. – Moscow: IMGRE, 1990. – P. 15.
  25. Vasilenko, V.N. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova / V.N. Vasilenko, I.M. Nazarov, SH.D. Fridman i dr. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. – 182 p.
  26. Ob utverzhdenii Gigienicheskikh normativov k bezopasnosti sredy obitaniya. Prikaz Ministra zdoravoohraneniya Respubliki Kazahstan ot 21 aprelya 2021 goda No. KR DSM-32. Zaregistririvan v Ministerstve yusticii Respubliki Kazahstan. 22 aprelya 2021 goda No. 22595. – <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595>
  27. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve Gigienicheskie normativy GN 2.1.7.2041-06. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.htm>

## ПАВЛОДАР ҚАЛАСЫНЫҢ ШЫҒЫС ӨНЕРКӘСІПТІК АЙМАҒЫНЫҢ ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫ

**А. А. Фаурат<sup>1\*</sup>, Г. С. Ажаев<sup>1</sup>, Е. З. Шакенов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан*

<sup>2</sup> *Қазақстан Республикасының Ұлттық ядролық орталығы, Курчатov, Қазақстан*

*Байланыс үшін E-mail: alina03.09@mail.ru*

Бұл мақалада Павлодар қаласының өнеркәсіптік аумақтарының қар жамылғысындағы ауыр металдардың құрамына талдау жүргізілді, бұл экологиялық ластану проблемасының болуын анықтауға мүмкіндік берді. Қауіптілік кластары бойынша қардағы әртүрлі элементтердің құрамы туралы деректер талданды: қауіптіліктің бірінші класында Zn ең жоғары мазмұнға ие, орташа есеппен 187,5 мг/кг, элементтер құрамының ең үлкен вариациясы Cd-де байқалады-вариация коэффициенті 118,5%, Pb және Zn-де жоғары концентрация коэффициенті; екінші класында-ең көп мазмұны – Cr, орта есеппен 259,1 мг/кг, ең үлкен вариация Cu-да байқалады-вариация коэффициенті 92%, жоғары концентрация коэффициенті – Cr; үшінші класында – ең жоғары мазмұн Ba, орта есеппен 777,5 мг/кг, вариация коэффициенті және концентрациясы – Mn. Зерттеулер көрсеткендей, қардағы ауыр металдардың мөлшері Павлодар қаласының шығыс өнеркәсіптік аймағының өнеркәсіптік кәсіпорындарынан солтүстік-шығыс бағытта артып келеді. Есептеулерге сәйкес, қардағы қауіптіліктің бірінші класындағы барлық ауыр металдардың мөлшері топырақтың ШРК-нан асады. Кадмий мөлшері шекті рұқсат етілген концентрациядан 17 еседен асады. Қауіптіліктің екінші класындағы ауыр металдар ШРК-дан 0,4–3,2 асатын диапазонда болады. Стронций ШРК – дан 25 есе асады. Жүргізілген талдау Павлодардағы экологиялық ахуалды түсінудегі маңызды қадам болып табылады және қоршаған ортаны қорғау және осы аумақтағы экологиялық ахуалды жақсарту жөнінде шаралар қабылдау үшін пайдалы болуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** ауыр металдар, өндірістік аймақ, қар жамылғысы, жалпы ластану, шашырау, тұндыру.

**CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SNOW COVER  
OF THE EASTERN INDUSTRIAL ZONE OF PAVLODAR**

**A. A. Faurat<sup>1\*</sup>, G. S. Azhaev<sup>1</sup>, E. Z. Shakenov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Torayhyrov University, Pavlodar, Kazakhstan*

<sup>2</sup> *National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan*

*\*E-mail for contacts: alina03.09@mail.ru*

This article analyzes the content of heavy metals in the snow cover of the industrial areas of the city of Pavlodar, which made it possible to identify the presence of the problem of environmental pollution. Data on the content of various elements in snow by hazard class were analyzed: in the first hazard class, Zn has the highest content, on average 187.5 mg/kg, the greatest variation in the content of elements is observed in Cd – the coefficient of variation is 118.5%, a high concentration coefficient for Pb and Zn; in the second class – Cr has the highest content, on average 259.1 mg/kg, the greatest variation is observed in Cu – the coefficient of variation is 92%, the concentration coefficient is high in Cr; in the third class – Ba has the highest content, on average 777.5 mg/kg, the coefficient of variation and concentration of Mn. Studies have shown that the content of heavy metals in the snow increases in the northeast direction from the industrial enterprises of the eastern industrial zone of Pavlodar. According to calculations, the content of all heavy metals of the first hazard class in the snow exceeds the maximum permissible concentration (MPC) of soils. The content of cadmium exceeds the maximum permissible concentration by more than 17 times. Heavy metals of the second hazard class are in the range of 0.4–3.2 times the MPC. Strontium exceeds MPC by 25 times. The analysis carried out is an important step in understanding the ecological situation in Pavlodar and can be useful for taking measures to protect the environment and improve the ecological situation in this area.

**Keywords:** *heavy metals, industrial zone, snow cover, total pollution, dispersion, deposition.*