

УДК 614.76; 504.054  
DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.04



Научная статья

## ОЦЕНКА АЭРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РЕГИОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ УЛЬБИНСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

**Е.Т. Токбергенов<sup>1</sup>, А.Т. Досмухаметов<sup>2</sup>, А.К. Аскараров<sup>1</sup>,  
М.К. Амрин<sup>3</sup>, Д.М. Аскараров<sup>2</sup>, Ж.Б. Бейсенбинова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Национальный центр общественного здравоохранения, Казахстан, 010000, г. Нур-Султан, ул. Ауэзова, 8

<sup>2</sup>Научно-практический центр санитарно-эпидемиологической экспертизы и мониторинга, Казахстан, 050008, г. Алматы, ул. Ауэзова, 84

<sup>3</sup>Филиал РГП «Инфракос» в г. Алматы, Казахстан, 050046, г. Алматы, пр. Абая, 191

<sup>4</sup>Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова, Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Толе би, 94

*Осуществлена оценка рисков здоровью населения от уровня загрязнения атмосферного воздуха в регионе расположения промышленных объектов АО «Ульбинский металлургический завод», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан. Исследования проведены с применением методики оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.*

*Объектами исследований выбраны химическое загрязнение атмосферного воздуха в регионе расположения объектов Ульбинского металлургического завода и его влияние на здоровье населения.*

*Оценка риска здоровью населения от химического загрязнения воздушного бассейна региона расположения объектов АО «Ульбинский металлургический завод» рассчитывалась на основании анализа данных постов наблюдения филиала РГП «Казгидромет» по Восточно-Казахстанской области за период 2018–2021 гг. В исследуемом регионе определены шесть канцерогенных веществ, уровни рисков от воздействия которых неприемлемы для населения региона. Высокие значения неканцерогенных рисков характерны при воздействии взвешенных веществ (пыли), взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ , диоксида серы и серной кислоты.*

*По результатам оценки риска нетравматической смертности от воздействия загрязнения атмосферного воздуха города взвешенными частицами  $PM_{2.5}$  выявлены неприемлемые уровни относительного риска (RR: 1,27–1,78), индивидуального риска нетравматической (1,5–2,1·10<sup>-3</sup>) и сердечно-легочной смертности (от 8,3·10<sup>-4</sup> до 1,0·10<sup>-3</sup>).*

*Неблагоприятные метеорологические факторы и географическое расположение местности могут способствовать высокому уровню загрязнения атмосферного воздуха и аэрогенному риску здоровью населения промышленного региона.*

*Выявленные риски требуют разработки и реализации плановых оздоровительных мероприятий по улучшению качества среды обитания.*

**Ключевые слова:** металлургический завод, оценка риска, здоровье населения, атмосферный воздух, загрязняющие вещества, коэффициент опасности, индекс опасности, Усть-Каменогорск.

© Токбергенов Е.Т., Досмухаметов А.Т., Аскараров А.К., Амрин М.К., Аскараров Д.М., Бейсенбинова Ж.Б., 2022

**Токбергенов Ермек Титобаевич** – доктор медицинских наук, директор департамента профилактики инфекционных заболеваний (e-mail: azpp60@mail.ru; тел: 8 (701) 870-50-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1115-8642>).

**Досмухаметов Асхат Турсунханович** – кандидат медицинских наук, руководитель отдела управления международного сотрудничества, менеджмента образования и науки (e-mail: zhanore\_2009@mail.ru; тел: 8 (702) 312-43-27; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5592-1806>).

**Аскараров Куандык Аскарарович** – кандидат медицинских наук, доцент, руководитель отдела мониторинга факторов риска департамента профилактики инфекционных заболеваний (e-mail: kuandyk103@mail.ru; тел: 8 (702) 431-75-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7716-5899>).

**Амрин Мейрам Казиевич** – кандидат медицинских наук, доцент, начальник отдела медицинских программ (e-mail: amrin\_m@mail.ru; тел: 8 (701) 887-75-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8528-5233>).

**Аскараров Даулет Медгатулы** – магистр «медико-профилактического дела», докторант «Общественного здравоохранения», врач-эпидемиолог отдела управления международного сотрудничества, менеджмента образования и науки (e-mail: askarovdauletmed@gmail.com; тел: 8 (707) 476-96-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5975-0322>).

**Бейсенбинова Жанат Бекмуханбетовна** – лектор кафедры эпидемиологии с курсом ВИЧ-инфекции (e-mail: beysenbinova.z@kaznmu.kz; тел: 8 (747) 385-13-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3984-1504>).

Вопросы охраны окружающей среды и здоровья населения в городах на сегодняшний день вызывают повышенный интерес во всем мире в связи с интенсификацией урбанистических процессов и ростом количества загрязняющих веществ и объемов выбросов в атмосферный воздух [1]. Было проведено множество работ по исследованию воздействия загрязнения воздуха на организм человека [2].

Известно, что воздействие промышленных выбросов может вызывать различные неблагоприятные ответные реакции организма [3, 4].

Повышенное количество взвешенных частиц (пыль,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ), озона и оксидов азота (диоксидов) в воздухе приводит к большей смертности среди населения на изучаемой территории [5–7]. Также доказано, что уровень и динамика концентраций загрязняющих веществ в крупных городах зависят во многом от метеоусловий и сезона [8, 9].

Подобные исследования проводятся и в Республике Казахстан (РК), так как интенсификация производства и урбанистических процессов приводит к увеличению загрязнения атмосферного воздуха в разных регионах страны. Это в сочетании с некоторыми местными географическими, климатическими и социально-экономическими особенностями приводит к негативным последствиям для здоровья населения. В таких условиях оценка риска и ущерба здоровью населения является наиважнейшей задачей [10–14].

Установлена связь между содержанием в атмосферном воздухе вредных веществ (взвешенных веществ (пыли),  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , диоксида азота, диоксида серы, фенола, формальдегида, мышьяка, бенз(а)пирена и др.) и заболеваемостью болезнями органов дыхания и системы кровообращения, новообразованиями и смертностью [15, 16].

Предварительные исследования по изучению состояния здоровья населения в зависимости от загрязнения атмосферного воздуха в стране проводились в 2019 г. [17]. По результатам исследований было рекомендовано провести развернутые исследования состояния здоровья населения в зависимости от загрязнения атмосферного воздуха в ряде городов РК. В связи с этим продолжены научные исследования в данном направлении, а именно определены уровни риска для здоровья населения от воздействия загрязнения атмосферного воздуха в семи наиболее значимых промышленных регионах Казахстана. Исследования выполнены в рамках проекта «Национальная программа внедрения персонализированной и превентивной медицины в Республике Казахстан» ИРН OR12165486.

В данной статье представлены результаты оценки аэрогенного риска здоровью населения,

проживающего в регионе расположения объектов АО «Ульбинский металлургический завод» (далее АО «УМЗ»), г. Усть-Каменогорск, Восточно-Казахстанская область, Республика Казахстан.

Наряду с выбросами от промышленных предприятий на экологическую ситуацию Усть-Каменогорска влияет целый комплекс причин. Город расположен в замкнутой котловине, что не способствует рассеиванию загрязняющих веществ. Здесь наблюдаются частые неблагоприятные метеорологические условия – низкая проветриваемость воздушной среды (около 98–100 дней в году полный штиль) и высокая влажность воздуха из-за большой повторяемости радиационных и речных туманов. Повышенное загрязнение воздуха в городе наблюдается в 80–90 % случаев возникновения туманов. По данным «Казгидромет», в течение многих лет определяется стабильно высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха по следующим загрязнителям: взвешенные частицы  $PM_{10}$ , диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, сероводород, фенол. Уровень загрязнения сернистым ангидридом достигает 4–5 среднесуточных ПДК<sup>1</sup>.

В работе [16] установлено, что в Усть-Каменогорске средний уровень первичной заболеваемости онкозаболеваниями высок, в 2 раза превышает республиканские показатели и в 1,4 раза – областные. Смертность от злокачественных новообразований в 1,9 раза выше, чем по республике. Изучение динамики первичной заболеваемости злокачественными новообразованиями показало, что увеличение ее уровня в г. Усть-Каменогорске составляет 6,5 %, в то время как по республике – 13,5 %. Указывается на взаимосвязь между онкозаболеваемостью и загрязнением воздушной среды вредными веществами.

Отдельными исследованиями выявлено, что длительное проживание в г. Усть-Каменогорске приводит к развитию и формированию кожной патологии и снижению иммунитета [18].

Таким образом, по данным научной литературы, высокий уровень загрязнения химическими веществами г. Усть-Каменогорска, который зависит от физико-географических особенностей его расположения и синоптической ситуации, приводит к увеличению заболеваемости среди населения злокачественными новообразованиями и снижению иммунитета.

Вышесказанное определяет актуальность данной проблемы для изучаемого региона.

**Цель исследования** – оценка рисков здоровью населения от уровня загрязнения атмосферного воздуха региона расположения промышленных объектов АО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан.

<sup>1</sup> Ежемесячный информационный бюллетень о состоянии окружающей среды [Электронный ресурс] // РГП «Казгидромет». – URL: <https://www.kazhydromet.kz/en/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushey-sredy/2018> (дата обращения: 19.06.2022).

Для достижения цели поставлены задачи:

1) количественная характеристика канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью населения от уровня загрязненности атмосферного воздуха исследуемого региона по данным постов наблюдения филиала РГП «Казгидромет» в г. Усть-Каменогорске;

2) оценка риска нетравматической и сердечно-легочной смертности от уровня загрязненности атмосферного воздуха взвешенными частицами  $PM_{2.5}$ .

**Материалы и методы.** Объектами исследований явились химическое загрязнение атмосферного воздуха в регионе расположения объектов Ульбинского металлургического завода и его влияние на здоровье населения г. Усть-Каменогорска. Загрязнители воздуха оценивались по данным информационных бюллетеней о состоянии окружающей среды РГП «Казгидромет». Проанализированы данные за последние четыре года (2018–2021 гг.).

Город Усть-Каменогорск является одним из крупнейших промышленных центров в Казахстане. На территории города функционирует множество предприятий, что приводит к большому количеству выбросов химических веществ в атмосферный воздух.

Среди предприятий города одним из признанных в мире производителей урановой, бериллиевой, танталовой и ниобиевой продукции является АО «УМЗ». Предприятие входит в состав Национальной атомной компании «Казатомпром». Завод расположен в черте г. Усть-Каменогорска, а с юго-запада граничит с объектами Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината компании «Казцинк», являющейся производителем цинка, свинца, меди и драгоценных металлов в Казахстане. Ближайшие жилые зоны в регионе расположения объектов АО «УМЗ» – это жилые зоны г. Усть-Каменогорска. Нахождение жилых зон по отношению к границам промплощадки завода: к западу на расстоянии 890 м; к востоку – 570 м; к юго-востоку – 290 м. Производимые выбросы от промышленных объектов АО «УМЗ» наряду с другими предприятиями города вносят определенный вклад в общий фоновый показатель загрязнения города. Фоновый уровень загрязнения определяется семью постами наблюдения РГП «Казгидромет», установленными на территории города. Из них три поста наблюдения наиболее близко располагались к объектам АО «УМЗ».

На постах ведется контроль по следующим веществам: взвешенные вещества (пыль); взвешенные частицы  $PM_{2.5}$ ; взвешенные частицы  $PM_{10}$ ; диоксид серы; оксид углерода; диоксид азота; оксид азота; фенол сероводород; фтористый водород; хлористый водород; формальдегид; хлор; серная кисло-

та и сульфаты; свинец; цинк; кадмий; медь; бериллий; озон; аммиак. Для расчетов аэрогенных рисков использовались фактические максимальные разовые и среднегодовые концентрации вышеуказанных загрязнителей атмосферного воздуха за 2018–2021 гг. по данным информационных бюллетеней о состоянии окружающей среды РГП «Казгидромет»<sup>1</sup>.

Оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью населения проводилась согласно Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (далее Руководство Р 2.1.10.1920-04)<sup>2</sup>.

Расчеты популяционного канцерогенного риска не проводились в связи с невозможностью установления границы и численности населения, подверженного воздействию выбросов от объектов АО «УМЗ».

Для оценки риска неканцерогенных эффектов в данном исследовании применялись показатели коэффициентов опасности  $HQ$  и  $HI$ . Расчетные формулы представлены в Руководстве Р 2.1.10.1920-04<sup>2</sup>.

При расчете рисков смертности от воздействия среднегодовых концентраций  $PM_{2.5}$  в воздушном бассейне г. Усть-Каменогорска использовалась более сложная схема вычислений – лог-линейная модель по формулам [19]:

$$R = \frac{RR - 1}{RR} M \rho; \quad (1)$$

$$RR = \left( \frac{C + 1}{C_0 + 1} \right)^\beta, \quad (2)$$

где  $RR$  – относительный риск;

$R$  – риск населения (популяционный риск);

$M\rho$  – фоновые показатели нетравматической смертности и сердечно-сосудистых заболеваний (использованы данные официальной статистики РГП «Республиканский центр электронного здравоохранения» МЗ РК);

$\beta$  – концентрация – ответ-коэффициент (среднее значение 0,15515);

$C$  – концентрация  $PM_{2.5}$ ;

$C_0$  – пороговая концентрация (обычно  $7,5 \frac{\mu g}{m^3}$ );

$M$  – значение фоновой смертности (сердечно-легочной);

$\rho$  – экспонированное население (при расчете учитывалась численность всего населения города).

Анализ основан на доступной информации, которая включает выявленные (текущую, установленную) концентрацию и фоновую смертность. В воздушном бассейне города определяются только концентрации взвешенных частиц  $PM_{10}$ , а реги-

<sup>2</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 18.06.2022).

страция концентрации взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  началась с 2021 г. (табл. 1).

Значения среднегодовых концентраций  $PM_{2.5}$  высчитывались расчетным методом [19] из среднегодовых значений концентраций взвешенных частиц (пыль), представленных в информационных бюллетенях РГП «Казгидромет». Для расчета использована формула:

$$PM_{2.5} = (0,33 - 0,36) \cdot TSP, \quad (3)$$

где  $TSP$  – суммарные взвешенные частицы;  $(0,33-0,36)$  – пересчетные коэффициенты [19]. В зависимости от климатических условий для рассматриваемого региона использовался коэффициент 0,36.

Сбор данных о численности населения и смертности проведен согласно материалам, предоставленным Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан<sup>3</sup> и РГП «Республиканский центр электронного здравоохранения» МЗ РК<sup>4</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно цели и задачам дана оценка рисков здоровью населения от уровня загрязнения атмосферного воздуха региона расположения промышленных объектов АО «УМЗ».

Количественная характеристика канцерогенных и неканцерогенных рисков здоровью населения

проведена по данным информационных бюллетеней РГП «Казгидромет»<sup>5</sup>.

**Канцерогенные риски.** Необходимость оценки канцерогенных рисков обусловлена тем, что в исследуемом регионе (г. Усть-Каменогорск) наблюдается высокий уровень первичной заболеваемости новообразованиями, показатели которой выше областных и республиканских значений в 1,4 и 2,7 раза соответственно (табл. 1).

Количественная характеристика канцерогенного риска проведена на основе значений индивидуальных канцерогенных рисков для шести веществ из анализируемого списка, так как данные загрязнители обладали канцерогенными свойствами, согласно табл. 2.4 в Приложении 1 Руководства Р 2.1.10.1920-04<sup>6</sup>. Значения индивидуальных канцерогенных рисков показаны в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, значения канцерогенных индивидуальных рисков для кадмия, бенз(а)пирена и мышьяка определены в пределах от  $1,1 \cdot 10^{-4}$  до  $8,6 \cdot 10^{-4}$ , т.е. они приемлемы для профессиональных групп и неприемлемы для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий в условиях населенных мест.

Таблица 1

Уровень первичной заболеваемости новообразованиями населения г. Усть-Каменогорска по данным обращаемости (показатели на 100 тысяч населения)\*

Регион	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Республика Казахстан (город)	952,1	899,6	876,5
Восточно-Казахстанская область (город)	1777,8	1713,5	997,8
Усть-Каменогорск	2576,4	2522,7	1710,3

Примечание: \* – данные представлены РГП «Республиканский центр электронного здравоохранения» МЗ РК<sup>4</sup>.

Таблица 2

Уровни индивидуальных канцерогенных рисков г. Усть-Каменогорска

Наименование вещества	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Формальдегид	6,0E-05	6,6E-05	4,5E-05	3,9E-05
Кадмий	1,7E-04	1,4E-04	1,1E-04	4,5E-05
Свинец	3,8E-06	3,7E-06	4,1E-06	1,7E-06
Бериллий	2,7E-07	2,7E-07	2,4E-07	1,7E-07
Бенз(а)пирен	6,2E-04	7,5E-04	7,5E-04	7,5E-04
Мышьяк	8,6E-04	8,6E-04	4,3E-04	*

Примечание: \* – значение концентрации не представлено в информационном бюллетене.

<sup>3</sup> Демографическая статистика [Электронный ресурс] // Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. – URL: [https://stat.gov.kz/region/264990/statistical\\_information/industry/6361](https://stat.gov.kz/region/264990/statistical_information/industry/6361) (дата обращения: 18.06.2022).

<sup>4</sup> Республиканский центр электронного здравоохранения [Электронный ресурс]. – URL: <https://rcez.kz> (дата обращения: 18.06.2022).

<sup>5</sup> Ежемесячный информационный бюллетень о состоянии окружающей среды [Электронный ресурс] // РГП «Казгидромет». – URL: <https://www.kazhydromet.kz/en/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushey-sredy/2018> (дата обращения: 19.06.2022).

<sup>6</sup> Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037399> (дата обращения: 18.06.2022).

Значения среднесуточных и максимальных разовых концентраций загрязнителей воздушного бассейна г. Усть-Каменогорска

Наименование вещества	Среднесуточные концентрации, мг/м <sup>3</sup>					Максимальные разовые концентрации, мг/м <sup>3</sup>				
	<i>RfC</i> , мг/м <sup>3</sup>	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	<i>ARfC</i> , мг/м <sup>3</sup>	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Взвешенные частицы (пыль)	0,075	0,1262	0,109	0,0955	0,084	0,3	2,2	2	1	0,9
Взвешенные частицы PM <sub>2,5</sub>	0,015	*	*	*	0,025	0,065	*	*	*	0,88
Взвешенные частицы PM <sub>10</sub>	0,05	0,0475	0,05	0,0476	0,028	0,15	0,99	0,99	0,99	0,96
Диоксид серы	0,05	0,1183	0,09	0,1085	0,076	0,66	5,70	4,93	5,47	4,95
Оксид углерода	3	0,7403	0,68	0,6027	0,653	23	28,70	14,47	20,71	11,3
Диоксид азота	0,04	0,0729	0,06	0,0438	0,036	0,47	0,56	0,77	0,42	0,29
Оксид азота	0,06	0,0132	0,003	0,002	0,005	0,72	1,08	0,68	1,57	1,48
Озон	0,03	0,0379	0,029	0,0411	0,06	0,18	1,37	0,16	0,15	0,14
Фенол	0,006	0,0016	0,001	0,0017	0,002	6	0,02	0,01	0,02	0,04
Сероводород	–	*	*	*	*	0,1	1,05	0,19	0,16	0,063
Фтористый водород	0,014	0,0069	0,007	0,0032	0,003	*	*	*	*	*
Хлор	2·10 <sup>-4</sup>	3,9·10 <sup>-3</sup>	0,004	0,0052	0,007	0,2	0,07	0,09	0,07	0,09
Хлористый водород	0,02	0,0309	0,03	0,0665	0,057	2,1	0,15	0,15	0,22	2,1
Аммиак	0,1	0,0045	0,004	0,0029	0,002	0,35	0,054	0,19	0,06	0,06
Кислота серная	0,001	0,0143	0,014	0,0106		0,1	0,5	0,18	0,35	
Формальдегид	0,003	0,0046	0,005	0,0034	0,002	0,048	0,07	0,06	0,03	0,01
Мышьяк	3·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	*	*	*	*	*	*
Свинец	5·10 <sup>-4</sup>	3,1·10 <sup>-4</sup>	3,1·10 <sup>-4</sup>	3,4·10 <sup>-4</sup>	1,8·10 <sup>-4</sup>	*	*	*	*	*
Медь	2·10 <sup>-5</sup>	5,4·10 <sup>-5</sup>	5,6·10 <sup>-5</sup>	4,3·10 <sup>-5</sup>	1,8·10 <sup>-5</sup>	*	*	*	*	*
Бериллий	2·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	1,13·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	6,5·10 <sup>-8</sup>	*	*	*	*	*
Кадмий	2·10 <sup>-5</sup>	9,5·10 <sup>-5</sup>	7,5·10 <sup>-5</sup>	6,1·10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-5</sup>	*	*	*	*	*
Цинк	9·10 <sup>-4</sup>	1,3·10 <sup>-3</sup>	1,2·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	4,3·10 <sup>-4</sup>	*	*	*	*	*

Примечание: \* – значения концентраций не представлены в информационном бюллетене.

**Неканцерогенные риски.** Для оценки риска неканцерогенных эффектов в данном исследовании применялся показатель коэффициента опасности *HQ*, который определяется как отношение определенной экспозиции (концентрации *C*) к референтному уровню при остром (*ARfC*) и хроническом (*RfC*) воздействиях (расчетные формулы представлены в Руководстве Р 2.1.10.1920-04).

При комбинированном воздействии веществ характерной суммарного неканцерогенного риска является величина индекса опасности (*HI*).

Значения средних и максимальных разовых концентраций загрязнителей, контролируемых в атмосферном воздухе за наблюдаемые годы, представлены по данным информационного бюллетеня РГП «Казгидромет» (табл. 3).

Результаты расчетов показателей *HQ* и *HI* (направленность действия: органы дыхания) при остром и хроническом воздействиях представлены на рис. 1 и 2.

Значения *HQ* некоторых веществ при остром воздействии превышали допустимый (приемлемый) уровень риска, равный или меньший 1,0. Неприемлемые уровни острого ингаляционного риска наблюдаются по взвешенным веществам (пыль), взвешенным частицам PM<sub>10</sub>, взвешенным частицам PM<sub>2,5</sub> (2021 г.); диоксиду серы, сероводороду (2018 г.); серной кислоте и мышьяку. Суммарные индексы опасности (*HI*) загрязнителей атмосферного воздуха были высокими

по направленности действия на органы дыхания (см. рис. 1).

Аналогичная картина наблюдалась и по значениям хронического неканцерогенного риска. Суммарный индекс опасности основных загрязнителей атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска также был высоким по направленности действия на органы дыхания (см. рис. 2).

Наиболее высокие значения коэффициентов опасности при хроническом воздействии регистрируются у хлора и серной кислоты, а среди тяжелых металлов – у кадмия, мышьяка и меди (табл. 4).

Значения *HQ* хлора при хроническом воздействии определяются на высоком уровне из-за его низких референтных концентраций.

Значения коэффициентов опасности тяжелых металлов, определяемых в атмосферном воздухе города, равные и / или выше допустимого регламента риска, показывают возможное влияние выбросов свинцово-цинкового комбината компании «Казцинк».

Суммарный индекс опасности загрязнителей атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска был высоким по направленности на органы дыхания. При эффектах суммации по направленности действия на органы и системы организма определяемые тяжелые металлы оказывают воздействие на почки, кровь и гормональные системы.

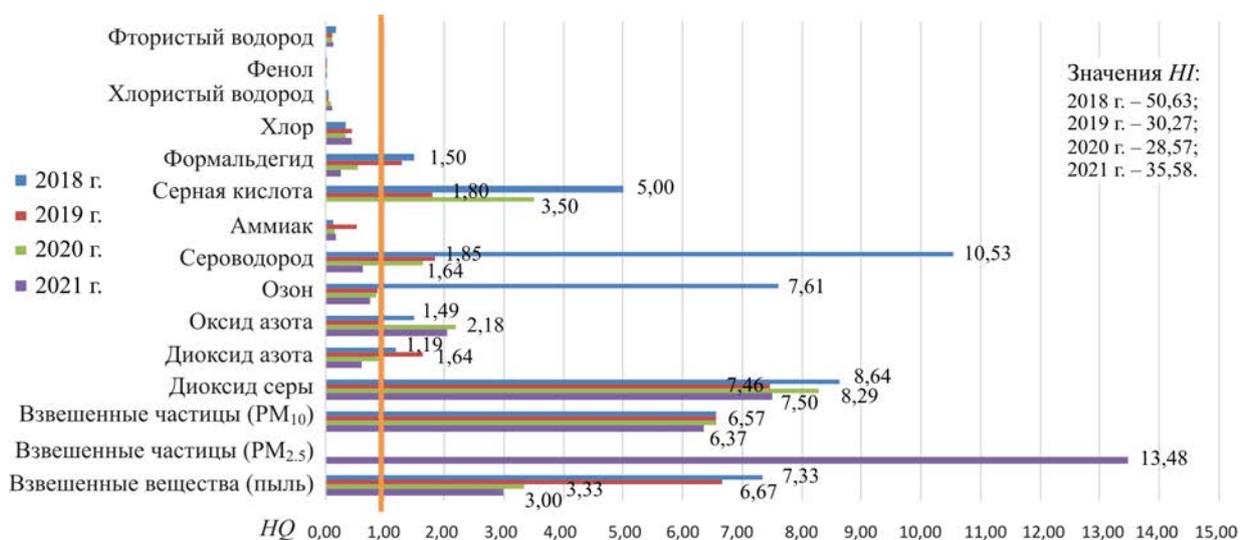


Рис. 1. Значения коэффициентов (HQ) и индексов опасности (HI) при остром воздействии (направленность действия: органы дыхания)

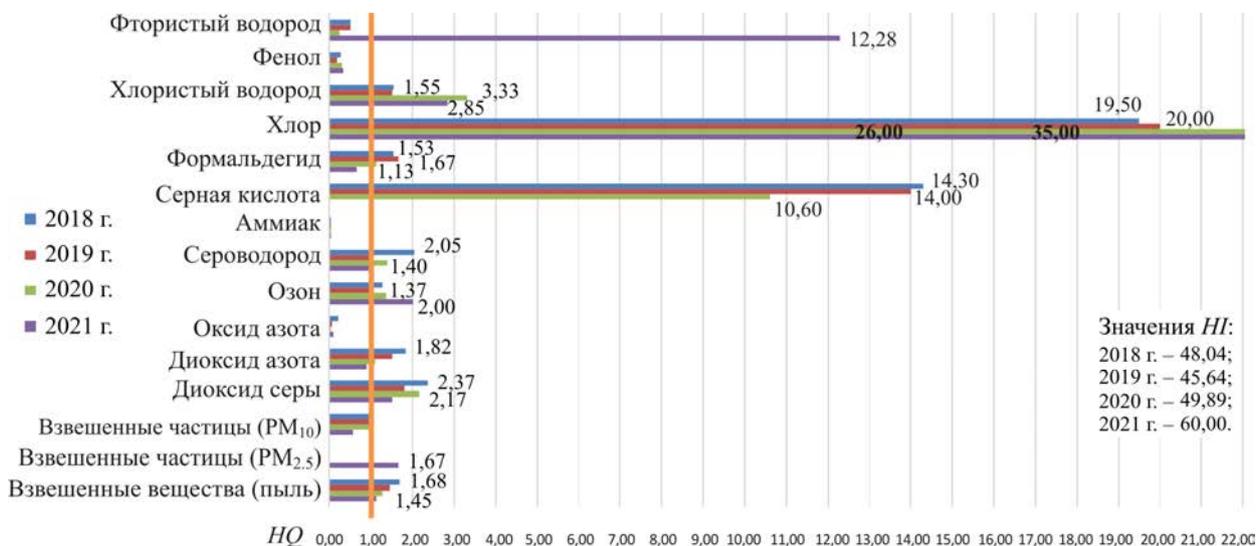


Рис. 2. Значения коэффициентов (HQ) и индексов опасности (HI) при хроническом воздействии (направленность действия: органы дыхания)

Т а б л и ц а 4

Значения неканцерогенных рисков при хроническом воздействии на организм тяжелых металлов

Наименование вещества	Значения коэффициентов опасности, HQ			
	2018	2019	2020	2021
Мышьяк	6,67	6,67	3,33	*
Свинец	0,63	0,622	0,676	0,35
Медь	2,7	2,8	2,15	0,90
Бериллий	0,005	0,006	0,005	0,0033
Кадмий	4,75	3,75	3,05	1,20
Цинк	1,491	1,34	1,27	0,48
Регламент	HQ ≤ 1,0			

П р и м е ч а н и е : \* – значение концентрации не представлено в информационном бюллетене.

Таким образом, выявленные уровни острых и хронических неканцерогенных рисков здоровью населения определяются воздействием диоксида серы и серной кислоты, содержащихся в атмосферном воздухе г. Усть-Каменогорска.

В то же время при высокой влажности воздуха диоксид серы увеличивает концентрацию серной кислоты, о чем свидетельствуют аномально высокие значения ее коэффициентов опасности при хроническом воздействии. Источниками таких выбросов являются дымовые факелы предприятий, работающие на угольном топливе и на природном газе, а также выхлопы автотранспорта.

**Оценка риска нетравматической и сердечно-легочной смертности от уровня загрязненности атмосферного воздуха взвешенными частицами  $PM_{2.5}$ .** По результатам количественной характеристики неканцерогенного риска здоровью населения выявлены их высокие уровни от воздействия концентраций взвешенных веществ (пыли) и частиц  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе города. Частицы  $PM_{10}$  оказывают влияние на смертность, респираторную и сердечно-сосудистую заболеваемость, а также на другие показатели состояния здоровья [19].

По мнению экспертов ВОЗ, в глобальном масштабе на счет воздействий взвешенных частиц (PM) относят приблизительно 3 % случаев смерти от сердечно-легочной патологии и 5 % случаев смерти от рака легкого. В разных регионах Европы эта доля составляет от 1 до 3 % и от 2 до 5 % соответственно. В то же время по результатам исследований установлено, что на вредные эффекты от воздействия взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  приходилось до 3,1 млн смертельных случаев и до 3,1 % числа утраченных лет здоровой жизни по всему миру [20].

С учетом вышесказанного проведена оценка риска нетравматической смертности от загрязнения атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска взвешенными частицами  $PM_{2.5}$ , концентрации которых установлены расчетным методом (формула (3)).

Результаты расчетов рисков нетравматической смертности от загрязнения атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска взвешенными частицами  $PM_{2.5}$  за период 2018–2020 гг. представлены

в табл. 5. Расчет нетравматической смертности за 2021 г. не проводился из-за отсутствия официальных фоновых данных по показателям нетравматической смертности и сердечно-сосудистых заболеваний за указанный период.

В 2018–2020 гг. регистрировались высокие уровни нетравматической смертности и смертности от сердечно-легочных заболеваний (табл. 5, 6).

Как видно из данных табл. 5, за анализируемый период относительный риск всей нетравматической смертности ( $RR$ ) находился в пределах от 1,27 до 1,78, тогда как порог фактического уровня загрязнения – обычно  $7,5 \frac{\mu g}{m^3}$ , и риск определяется

на уровне вышеуказанных значений. При расчете популяционного риска от воздействия концентраций  $PM_{2.5}$  в воздушном бассейне г. Усть-Каменогорска определяется от 521 до 740 случаев смерти от нетравматической смертности в год, что является высоким уровнем и вносит значительный удельный вклад (до 20 %) в общий показатель смертности населения города (см. табл. 5).

Значения индивидуальных рисков нетравматической смертности находились в диапазоне более  $1,0 \cdot 10^{-3}$  (см. табл. 5), что означает их неприемлемость для профессиональных групп и населения в целом. При проявлении такого риска требуются разработка и проведение экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска.

Согласно расчетам, популяционный риск смертности от болезней органов дыхания и сердечно-сосудистой системы находится в диапазоне от 288 до 446 случаев смерти в год. При этом показатели дополнительных случаев смертности на каждые  $10 \text{ мкг/м}^3$  взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  составляют от 49 до 65 случаев смерти (см. табл. 6).

Таким образом, по результатам проведенной расчетной оценки риска смертности от ингаляционного воздействия взвешенных частиц  $PM_{2.5}$  уровни индивидуальных рисков нетравматической и сердечно-легочной смертности находились в третьем (более  $1 \cdot 10^{-4}$ ) и четвертом диапазонах (более  $1 \cdot 10^{-3}$ ), что требует разработки и проведения оздоровительных мероприятий.

Таблица 5

Риск нетравматической смертности от загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами  $PM_{2.5}$  г. Усть-Каменогорска

Год	Среднегодовая концентрация расчетная $PM_{2.5}$ , $\text{мг/м}^3$	Среднегодовая численность населения	Нетравматическая смертность, количество случаев	Относительный риск, $RR$	Популяционный риск, $R$	Дополнительное число случаев смертности (ДЧС)	Индивидуальный риск, $I_r PM_{2.5}$
2018	0,045	342422	3173	1,30	577	127	$1,7 \cdot 10^{-3}$
2019	0,039	344953	3319	1,27	521	133	$1,5 \cdot 10^{-3}$
2020	0,344	347480	4069	1,78	740	163	$2,1 \cdot 10^{-3}$

Риск смертности от сердечно-легочных заболеваний при воздействии загрязнения атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска взвешенными частицами  $PM_{2,5}$ 

Год	Среднегодовая концентрация расчетная $PM_{2,5}$ , $mg/m^3$	Среднегодовая численность населения	Сердечно-легочная смертность, количество случаев	Относительный риск, $RR$	Популяционный риск, $R$	Дополнительное число случаев смертности (ДЧС)	Индивидуальный риск, $I_r PM_{2,5}$
2018	0,045	342422	1281	1,3	349	51	$1,0 \cdot 10^{-3}$
2019	0,039	344953	1225	1,27	288	49	$8,3 \cdot 10^{-4}$
2020	0,344	347480	1636	1,78	446	65	$1,3 \cdot 10^{-3}$

Согласно результатам проведенной оценки риска здоровью населения по данным РГП «Казгидромет» определены высокие уровни рисков от воздействия загрязнителей атмосферного воздуха. Высокие уровни рисков определяются при воздействии взвешенных частиц, диоксида серы, серной кислоты и тяжелых металлов.

Расчеты рисков нетравматической и сердечно-легочной смертности от воздействия взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  показали, что их значения находятся на неприемлемом уровне.

Выявленные высокие риски здоровью населения могут быть связаны с неблагоприятными метеорологическими условиями (штиль, высокая влажность воздуха и др.) и географическими особенностями местности.

**Выводы.** Результаты исследований с учетом вышесказанного позволяют сделать следующие выводы:

1. Из списка анализируемых загрязнителей атмосферного воздуха в исследуемом регионе определены шесть канцерогенных веществ (кадмий, свинец, мышьяк, формальдегид, бенз(а)пирен, бериллий), уровни рисков от воздействия которых находятся в пределах от  $8,6 \cdot 10^{-4}$  до  $1,1 \cdot 10^{-4}$ , что неприемлемо для населения региона.

2. Значения коэффициентов опасности ( $HQ$ ) по взвешенным веществам, взвешенным частицам ( $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$ ), диоксиду серы, серной кислоте и тяжелым металлам (при хроническом воздействии) превышали допустимый (приемлемый) уровень риска. Суммарный индекс опасности ( $HI$ ) от загрязнителей атмосферного воздуха в регионе был высоким по направленности действия на органы дыхания.

3. Уровни индивидуальных рисков нетравматической и сердечно-легочной смертностей от воздействия взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  неприемлемы для населения ( $I_r$  более  $1 \cdot 10^{-4}$ ).

4. Высокие значения рисков здоровью населения от загрязнителей атмосферного воздуха исследуемого промышленного региона могут быть связаны с географическим расположением местности и неблагоприятными метеорологическими условиями (частые штили и высокая влажность воздуха).

**Финансирование.** Данное исследование проведено в рамках проекта «Национальная программа внедрения персонализированной и превентивной медицины в Республике Казахстан» ИРН OR12165486.

**Конфликт интересов.** Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Список литературы

1. Sun Z., Zhu D. Exposure to outdoor air pollution and its human health outcomes: A scoping review // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 5. – P. e0216550. DOI: 10.1371/journal.pone.0216550
2. Industries in Delhi: Air pollution versus respiratory morbidities / N. Parveen, L. Siddiqui, M.N. Sarif, M.S. Islam, N. Khanam, S. Mohibul // Process Safety and Environmental Protection. – 2021. – Vol. 152. – P. 495–512. DOI: 10.1016/j.psep.2021.06.027
3. Health impacts of industrial mining on surrounding communities: Local perspectives from three sub-Saharan African countries / A. Leuenberger, M.S. Winkler, O. Cambaco, H. Cossa, F. Kihwele, I. Lyatuu, H.R. Zabré, A. Farnham [et al.] // PLoS One. – 2021. – Vol. 16, № 6. – P. e0252433. DOI: 10.1371/journal.pone.0252433
4. Burden of Cause-Specific Mortality associated with  $PM_{2,5}$  Air Pollution in the United States / B. Bowe, Y. Xie, Y. Yan, Z. Al-Aly // JAMA Netw. Open. – 2019. – Vol. 2, № 11. – P. e1915834. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2019.15834
5. Air Pollution and Mortality in the Medicare population / Q. Di, Y. Wang, A. Zanobetti, Y. Wang, P. Koutrakis, C. Choirat, F. Dominici, J.D. Schwartz // N. Engl. J. Med. – 2017. – Vol. 376, № 26. – P. 2513–2522. DOI: 10.1056/NEJMoa1702747
6. Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project / M. Stafoggia, B. Oftedal, J. Chen, S. Rodopoulou, M. Renzi, R.W. Atkinson, M. Bauwelinck, J.O. Klompmaker [et al.] // Lancet Planet. Health. – 2022. – Vol. 6, № 1. – P. e9–e18. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00277-1

7. Investigating the association between long-term exposure to air pollution and greenness with mortality from neurological, cardio-metabolic and chronic obstructive pulmonary diseases in Greece / M.-I. Kasdagli, K. Katsouyanni, K. de Hoogh, P. Lagiou, E. Samoli // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol. 292, part B. – P. 118372. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118372
8. Gupta S.K., Elumalai S.P. Dependence of urban air pollutants on morning/evening peak hours and seasons // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* – 2019. – Vol. 76, № 4. – P. 572–590. DOI: 10.1007/s00244-019-00616-x
9. Effect modification of the short-term effects of air pollution on morbidity by season: A systematic review and meta-analysis / S. Bergmann, B. Li, E. Pilot, R. Chen, B. Wang, J. Yang // *Sci. Total Environ.* – 2020. – Vol. 716. – P. 136985. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136985
10. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan / A. Kerimray, D. Assanov, B. Kenessov, F. Karaca // *J. Air Waste Manag. Assoc.* – 2020. – Vol. 70, № 11. – P. 1148–1164. DOI: 10.1080/10962247.2020.1813837
11. Nazhmetdinova A., Sarmanbetova G., Magai A. The characteristics of pollution in the big industrial cities of Kazakhstan by the example of Almaty // *J. Environ. Health Sci. Eng.* – 2018. – Vol. 16, № 1. – P. 81–88. DOI: 10.1007/s40201-018-0299-1
12. Гигиеническая оценка заболеваемости населения региона Карачаганакского месторождения / У.И. Кенесариев, А.Е. Ержанова, М.К. Амрин, Д.У. Кенесары, А.Т. Досмухаметов, А.А. Баймухамедов // *Гигиена и санитария*. – 2016. – Т. 92, № 5. – С. 83–86.
13. Brody M., Golub A. Improving air quality and health in Kazakhstan: monitoring, risk assessment and management [Электронный ресурс] // *Вестник КазНМУ*. – 2014. – Т. 1, № 3. – С. 1–4. – URL: <https://kaznmu.edu.kz/press/wp-content/uploads/2012/01/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%9D%D0%9C%D0%A3-%E2%84%96-31-%E2%80%932014.pdf> (дата обращения: 19.06.2022).
14. Оценка риска для здоровья населения, связанного с выбросами крупных предприятий / В.В. Захаренков, Р.А. Голиков, Д.В. Суржигов, А.М. Олещенко, В.В. Кислицына, Т.Г. Корсакова // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 7. – С. 801–804.
15. Нурмадиева Г.Т., Жетписбаев Б.А. Влияние экосистемы на здоровье человека в промышленно развитых регионах Казахстана. Обзор литературы // *Наука и здравоохранение*. – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 107–132. DOI: 10.34689/SH.2018.20.4.008
16. Алешина Н. К вопросу заболеваемости по классу новообразований в промышленно развитом регионе // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2019. – № 9. – С. 540–541. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-540-541
17. Air Pollution in Kazakhstan and Its Health Risk Assessment / D. Kenessary, A. Kenessary, Z. Adilgireiuly, N., Akzholova, A. Erzhanova, A. Dosmukhametov, D. Syzdykov, A.-R. Masoud, T. Saliev // *Ann. Glob. Health*. – 2019. – Vol. 85, № 1. – P. 133. DOI: 10.5334/aogh.2535
18. Многофакторное негативное антропогенное воздействие и система иммунитета у взрослых лиц в г. Усть-Каме-ногорске / А.А. Абишева, Т.И. Белихина, М.С. Казымов, Т. Жунусова, Е.М. Манарбеков // *Наука и Здравоохранение*. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 172–179. DOI: 10.34689/SH.2021.23.4.019
19. Human Health Cost of Air Pollution in Kazakhstan / U.I. Kenessariyev, A. Golub, M. Brody, A.T. Dosmukhametov, M.K. Amrin, A.E. Erzhanova, D.U. Kenessary // *Journal of Environmental Protection*. – 2013. – Vol. 4, № 8. – P. 869–876. DOI: 10.4236/jep.2013.48101
20. Влияние взвешенных частиц на здоровье человека: рекомендации в отношении политики для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии [Электронный ресурс] // ВОЗ, Европейское региональное бюро. – 2013. – URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344855> (дата обращения: 19.06.2022).

*Оценка аэрогенного риска для здоровья населения, проживающего в регионе расположения Ульбинского металлургического завода / Е.Т. Токбергенов, А.Т. Досмухаметов, А.К. Аскаров, М.К. Амрин, Д.М. Аскаров, Ж.Б. Бейсенбинова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 45–55. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.04*



Research article

## ASSESSMENT OF AEROGENIC RISKS FOR PEOPLE LIVING IN CLOSE PROXIMITY TO ULBA METALLURGICAL PLANT

**E.T. Tokbergenov<sup>1</sup>, A.T. Dosmukhametov<sup>2</sup>, K.A. Askarov<sup>1</sup>,  
M.K. Amrin<sup>3</sup>, D.M. Askarov<sup>2</sup>, Z.B. Beisenbinova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>National Center of Public Health Care, 8 Auezova Str., Nur-Sultan, 010000, Kazakhstan

<sup>2</sup>Scientific and Practical Center for Sanitary and Epidemiological Expertise and Monitoring, 84 Auezova Str., Almaty, 050008, Kazakhstan

<sup>3</sup>Branch of RSE "Infrakos" in Almaty, 191 Abai Ave., Almaty, 050046, Kazakhstan

<sup>4</sup>Asfendiyarov Kazakh National Medical University, 94 Tole bi Str., Almaty, 050012, Kazakhstan

*In this study, our aim was to assess public health risks caused by ambient air pollution in close proximity to production facilities of "Ulba Metallurgical Plant" JSC (JSC "UMP") located in Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.*

*The study relied on the health risk assessment methodology under exposure to chemical environmental factors.*

*Our research objects were chemical pollution in ambient air in close proximity to production facilities of "Ulba Metallurgical Plant" JSC and its effects on public health.*

*We assessed public health risks caused by chemical pollution in ambient air in close proximity to production facilities of JSC "UMP". The assessment relied on data obtained at monitoring posts of RSE "Kazhydromet" between 2018 and 2021. We identified six carcinogens in the analyzed area that created unacceptable public health risks. High non-carcinogenic risks were typically caused by exposure to particulate matter (dust),  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ , sulfur dioxide and sulfuric acid.*

*Our assessment of non-accidental mortality risks caused by exposure to  $PM_{2.5}$  in ambient air established unacceptable relative risks (RR: 1.27–1.78), individual risks of non-accidental ( $1.5–2.1 \cdot 10^{-3}$ ) and cardiopulmonary mortality (between  $8.3 \cdot 10^{-4}$  and  $1.0 \cdot 10^{-3}$ ).*

*Unfavorable meteorological factors and geographic location can promote high levels of ambient air pollution and created aerogenic health risks for people living in the analyzed industrial area.*

*The established risks require developing and implementing scheduled health-improving activities aimed at raising quality of the environment.*

**Keywords:** metallurgical plant, risk assessment, public health, ambient air, pollutants, hazard quotient, hazard index, Ust-Kamenogorsk.

### References

1. Sun Z., Zhu D. Exposure to outdoor air pollution and its human health outcomes: A scoping review. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 5, pp. e0216550. DOI: 10.1371/journal.pone.0216550
2. Parveen N., Siddiqui L., Sarif M.N., Islam M.S., Khanam N., Mohibul S. Industries in Delhi: Air pollution versus respiratory morbidities. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, vol. 152, pp. 495–512. DOI: 10.1016/j.psep.2021.06.027

© Tokbergenov E.T., Dosmukhametov A.T., Askarov K.A., Amrin M.K., Askarov D.M., Beisenbinova Z.B., 2022

**Ermek T. Tokbergenov** – Doctor of Medical Sciences, Director of the Department for Prevention of Non-Communicable Diseases (e-mail: azpp60@mail.ru; tel: +7 (701) 870-50-01; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1115-8642>).

**Askhat T. Dosmukhametov** – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department for International Cooperation, Education Management and Science (e-mail: zhanore\_2009@mail.ru; tel.: +7 (702) 312-43-27; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5592-1806>).

**Kuandyk A. Askarov** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Risk Factors Monitoring Department of the Department for Prevention of Non-Communicable Diseases (e-mail: kuandyk103@mail.ru; tel.: +7 (702) 431-75-20; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7716-5899>).

**Meiram K. Amrin** – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Medical Programs (e-mail: amrin\_m@mail.ru; tel.: +7 (701) 887-75-31; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8528-5233>).

**Daulet M. Askarov** – master and doctoral student of Public Health Care, epidemiologist of the Department for International Cooperation, Education Management and Science (e-mail: askarovdauletmed@gmail.com; tel.: +7 (707) 476-96-00; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5975-0322>).

**Zhanat B. Beisenbinova** – lecturer at the Department of Epidemiology with the course of HIV infection (e-mail: beysenbinova.z@kaznmu.kz; tel.: +7 (747) 385-13-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3984-1504>).

3. Leuenberger A., Winkler M.S., Cambaco O., Cossa H., Kihwele F., Lyatuu I., Zabré H.R., Farnham A. [et al.]. Health impacts of industrial mining on surrounding communities: Local perspectives from three sub-Saharan African countries. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 6, pp. e0252433. DOI: 10.1371/journal.pone.0252433
4. Bowe B., Xie Y., Yan Y., Al-Aly Z. Burden of Cause-Specific Mortality associated with PM<sub>2.5</sub> Air Pollution in the United States. *JAMA Netw. Open.*, 2019, vol. 2, no. 11, pp. e1915834. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2019.15834
5. Di Q., Wang Y., Zanobetti A., Wang Y., Koutrakis P., Choirat C., Dominici F., Schwartz J.D. Air Pollution and Mortality in the Medicare population. *N. Engl. J. Med.*, 2017, vol. 376, no. 26, pp. 2513–2522. DOI: 10.1056/NEJMoa1702747
6. Stafoggia M., Oftedal B., Chen J., Rodopoulou S., Renzi M., Atkinson R.W., Bauwelinck M., Klompmaker J.O. [et al.]. Long-term exposure to low ambient air pollution concentrations and mortality among 28 million people: results from seven large European cohorts within the ELAPSE project. *Lancet Planet. Health*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. e9–e18. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00277-1
7. Kasdagli M.-I., Katsouyanni K., de Hoogh K., Lagiou P., Samoli E. Investigating the association between long-term exposure to air pollution and greenness with mortality from neurological, cardio-metabolic and chronic obstructive pulmonary diseases in Greece. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 292, pt B, pp. 118372. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118372
8. Gupta S.K., Elumalai S.P. Dependence of urban air pollutants on morning/evening peak hours and seasons. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 2019, vol. 76, no. 4, pp. 572–590. DOI: 10.1007/s00244-019-00616-x
9. Bergmann S., Li B., Pilot E., Chen R., Wang B., Yang J. Effect modification of the short-term effects of air pollution on morbidity by season: A systematic review and meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 716, pp. 136985. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136985
10. Kerimray A., Assanov D., Kenessov B., Karaca F. Trends and health impacts of major urban air pollutants in Kazakhstan. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 2020, vol. 70, no. 11, pp. 1148–1164. DOI: 10.1080/10962247.2020.1813837
11. Nazhmetdinova A., Sarmanbetova G., Magai A. The characteristics of pollution in the big industrial cities of Kazakhstan by the example of Almaty. *J. Environ. Health Sci. Eng.*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 81–88. DOI: 10.1007/s40201-018-0299-1
12. Kenesariyev U.I., Erzhanova A.E., Amrin M.K., Kenesary D.U., Dosmukhametov A.T., Baymukhamedov A.A. Hygienic evaluation and prediction of population morbidity in the region of the Karachaganak field. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 92, no. 5, pp. 83–86 (in Russian).
13. Brody M., Golub A. Improving air quality and health in Kazakhstan: monitoring, risk assessment and management. *Vestnik KazNMU*, 2014, vol. 1, no. 3, pp. 1–4. Available at: <https://kaznmu.edu.kz/press/wp-content/uploads/2012/01/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%9D%D0%9C%D0%A3-%E2%84%96-31-%E2%80%932014.pdf> (June 19, 2022).
14. Zakharenkov V.V., Golikov R.A., Surzhikov D.V., Oleshchenko A.M., Kislytsyna V.V., Korsakova T.G. Risk assessment for the population health related to the emissions of large enterprises. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 7, pp. 801–804 (in Russian).
15. Nurmadieva G.T., Zhetpisbaev B.A. Influence of the ecosystem on human health in the industrial developed regions of Kazakhstan. A literature review. *Nauka i Zdravookhranenie*, 2018, vol. 20, no. 4, pp. 107–132. DOI: 10.34689/SH.2018.20.4.008 (in Russian).
16. Aleshina N.Yu. On the issue of morbidity in the class of tumors in the industrialized region. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*, 2019, no. 9, pp. 540–541. DOI: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-540-541 (in Russian).
17. Kenessary D., Kenessary A., Adilgireily Z., Akzholova N., Erzhanova A., Dosmukhametov A., Syzdykov D., Masoud A.-R., Saliev T. Air Pollution in Kazakhstan and Its Health Risk Assessment. *Ann. Glob. Health*, 2019, vol. 85, no. 1, pp. 133. DOI: 10.5334/aogh.2535
18. Abisheva A.A., Belikhina T.I., Kazimov M.S., Zhunusova T., Manarbekov E.M. Multifactorial negative anthropogenic impact and the immune system in adults in Ust-Kamenogorsk. *Nauka i Zdravookhranenie*, 2021, vol. 23, no. 4, pp. 172–179. DOI: 10.34689/SH.2021.23.4.019 (in Russian).
19. Kenessariyev U.I., Golub A., Brody M., Dosmukhametov A.T., Amrin M.K., Erzhanova A.E., Kenessary D.U. Human Health Cost of Air Pollution in Kazakhstan. *Journal of Environmental Protection*, 2013, vol. 4, no. 8, pp. 869–876. DOI: 10.4236/jep.2013.48101
20. Health effects of particulate matter: policy implications for countries in Eastern Europe, Caucasus and central Asia. *WHO, Regional Office for Europe*, 2013. Available at: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344854> (June 19, 2022).

*Tokbergenov E.T., Dosmukhametov A.T., Askarov K.A., Amrin M.K., Askarov D.M., Beisenbinova Z.B. Assessment of aero-genic risks for people living in close proximity to Ulba metallurgical plant. Health Risk Analysis*, 2022, no. 4, pp. 45–55. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.04.eng

Получена: 19.07.2022

Одобрена: 07.09.2022

Принята к публикации: 20.12.2022