© Боев В.М., Кряжева Е.А., Кудусова Л.Х., Кряжев Д.А., Перепелкин С.В., 2019

УДК 614.72:614.87

# ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И НЕКАНЦЕРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*В.М. Боев, Е.А. Кряжева, Л.Х. Кудусова, Д.А. Кряжев, С.В. Перепелкин*

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Советская, д. 6, г. Оренбург, 460000, Россия

*Целью научного исследования явилось выявление и количественная оценка загрязнения атмосферного воздуха с оценкой риска здоровью населения на территориях Оренбургской области, граничащих с Республикой Казахстан. В работе проведена гигиеническая оценка 13 приграничных муниципальных образований Оренбургской области. Проведен анализ атмосферного воздуха по 23 веществам, за которыми ведется многолетнее динамическое наблюдение, и рассчитан неканцерогенный риск здоровью населения. Установлено, что западная и центральная части приграничных территорий являются территориями с наиболее высоким уровнем антропогенного загрязнения, отличающимися по качественному составу загрязнителей. При этом в западной части приграничной территории качественный состав загрязнителей представлен преимущественно веществами, источником которых являются объекты газо- и нефтепереработки. В центральной части приграничной территории приоритетными загрязнителями являются вещества, источником которых являются объекты цветной и черной металлургии. Анализ климатических данных на исследуемой территории показал, что при определенных метеорологических параметрах могут создаваться условия для трансграничного переноса атмосферных загрязнений как из Казахстана, так и из Российской Федерации. Анализ неканцерогенного риска здоровью показал вероятность развития неблагоприятных эффектов на органы и системы, а также вероятность возникновения злокачественных новообразований у населения, проживающего на приграничных территориях. Проведенное исследование обосновывает и подтверждает необходимость разработки системы мониторинга и оценки вероятности трансграничного переноса атмосферных загрязнений, а также практических рекомендаций и профилактических мероприятий по снижению антропогенной нагрузки.*

***Ключевые слова**: гигиеническая оценка, атмосферный воздух, трансграничное загрязнение, анализ риска здоровью, неканцерогенный риск.*

*V.M. Boev, E.A. Kryazheva, L.Kh. Kudusova, D.A. Kryazhev, S.V. Perepelkin* ❑ **HYGIENIC ASSESSMENT OF AMBIENT AIR AND NON-CARCINOGENIC RISK FOR PUBLIC HEALTH LIVING ON BORDER TERRITORIES** ❑ Orenburg State Medical University of the Russian Ministry of Health , 6 Sovetskaya Str., Orenburg, 460000, Russia.

*The purpose of the research study was the identification and quantitative assessment of ambient air pollution with risk assessment to public health on the territories of the Orenburg region, bordering the Republic of Kazakhstan. A hygienic assessment of thirteen border municipalities of the Orenburg region was carried out in the paper. We conducted an ambient air analysis for 23 substances, which are under long-term dynamic observation and a non-carcinogenic risk to public health was calculated. It was established that the Western and Central parts of the border territories differing in the qualitative composition of pollutants have the highest level of anthropogenic air pollution. At the same time, the qualitative composition of pollutants in the Western part of the border territory is mainly represented by substances that originate from gas and oil refining facilities. Priority pollutants in the Central part of the border territory are substances that originate from non-ferrous and ferrous metallurgy facilities. Climatic data analysis in the study territory has shown that conditions for the transboundary transfer of atmospheric pollution, both from Kazakhstan and from the Russian Federation can be created with certain meteorological parameters. Non-carcinogenic health risk analysis showed the probability of adverse effects development on organs and systems, as well as the probability of malignant neoplasms occurrence in the population living on the border territories. The study justifies and confirms the need to develop a system for monitoring and to assess the probability for transboundary transport of atmospheric pollution, as well as practical recommendations and preventive measures to reduce anthropogenic load.*

***Key words**: hygienic assessment, ambient air, transboundary pollution, health risk analysis, non-carcinogenic risk.*

Трансграничный перенос загрязняющих веществ в атмосфере является важным фактором, влияющим на уровень загрязнения воздуха в отдельных регионах и странах, что, в частности, нашло отражение в ряде межправительственных соглашений в области природоохранной политики [5–7, 10, 12, 13]. Граница между Россией и Казахстаном является исключительным, не имеющим аналогов политико-географическим феноменом континентального и мирового масштаба. По своей протяженности она является самой длинной в мире сплошной сухопутной границей, к которой добавляется небольшой участок на Каспийском море. Современная Российско-Казахстанская приграничная территория занимает площадь 3 916,9 км$^2$. В ее состав вошли 12 регионов России и 7 регионов Казахстана. Структура промышленного производства Российско-Казахстанского трансграничного региона представляет собой следующее: 47 % приходится на обрабатывающую промышленность, 45 % – на добычу нефти, газа и других

полезных ископаемых и 8 % – на распределение и производство энергии и воды. Казахстан и Россия обладают богатыми сырьевыми запасами. Поэтому актуальное значение приобретает развитие двухсторонних отношений в области топливно-энергетического комплекса, а также в сферах транспорта, инвестиций, инновационной деятельности, высоких технологий, а также защиты окружающей среды и здоровья населения. Степень воздействия промышленности на окружающую среду зависит не только от масштабов промышленного производства, мощности отдельных предприятий и территориальной их концентрации, но и от вредности некоторых видов производств. Для Российско-Казахстанской трансграничной территории характерны все основные составляющие, которые определяют негативное влияние на окружающую среду: крупные масштабы промышленного производства, высокая степень концентрации промышленных объектов, сложная отраслевая структура промышленности, включающая отрасли высокого класса вредности (горнодобывающая, металлургическая и химическая) [4, 14].

Граница Оренбургской области с Республикой Казахстан составляет 1 670 км (рис. 1). В приграничной территории Оренбургской области проживает более 400 тыс. человек. Анализ основных экологических факторов приграничных областей Казахстана показал возможность сценария трансграничного переноса загрязняющих веществ в атмосфере. В связи с чем особо значимой является гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха на этих территориях [2–4, 9].

По данным государственных докладов о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия и ранее проведенных исследований, на части приграничных территорий отмечается рост первичной заболеваемости, а также заболеваемости злокачественными новообразованиями. Наряду с этим при ранжировании территорий по первичной заболеваемости всего населения Оренбургской области за многолетний период (2006–2016 гг.) установлено, что приграничные территории занимают лидирующие ранговые места [1, 11, 16].

Таким образом, высокие показатели заболеваемости населения, проживающего на приграничных территориях, вызывают особый интерес по проведению дополнительных исследований по установлению причинно-следственных связей между состоянием окружающей среды и состоянием здоровья населения, проживающего в приграничных районах Оренбургской области, с последующей разработкой и проведением профилактических мероприятий.

**Цель исследования** – выявление и количественная оценка загрязнения атмосферного воздуха с оценкой риска здоровью населения на приграничных территориях Оренбургской области.

**Материалы и методы.** В научном исследовании проведена гигиеническая оценка состояния атмосферного воздуха 13 муниципальных образований Оренбургской области: Первомайский, Ташлинский, Илекский, Соль-Илецкий, Акбулакский, Беляевский, Кувандыкский, Гайский, Светлинский, Домбаровский, Адамовский районы, города Орск и Новотроицк, граничащих с

**Рис. 1.** Приграничные территории Оренбургской области с Республикой Казахстан
**Fig. 1**. Border territories of the Orenburg region with the Republic of Kazakhstan

Республикой Казахстан (рис. 1). Приграничные территории Оренбургской области были условно разделены на 3 части: восточная часть (Светлинский, Домбаровский, Адамовский); центральная часть (Кувандыкский, Новоорский, Гайский, Орск, Новотроицк); западная часть (Первомайский, Ташлинский, Илекский, Соль-Илецкий). Изучены многолетние данные Регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области», данные ФГУ «Оренбургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», а также данные Государственных докладов о состоянии и об охране окружающей среды в Оренбургской области за 2005–2017 гг. Всего проанализировано более 1 200 результатов исследований атмосферного воздуха. Проведен анализ содержания 23 загрязняющих веществ, за которыми ведется многолетнее динамическое наблюдение: взвешенные вещества, диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, дигидросульфид (сероводород), формальдегид, бенз(а)пирен, углеводороды (С1-С5), бензол, этилбензол, этенилбензол (стирол), толуол (метилбензол), ксилол (диметилбензол), хром, медь (медь сернокислая), железо (железа хлорид), свинец и его неорганические соединения, марганец и его соединения, никель (металлический), цинк (цинка сульфат), кобальт (металлический), кадмий (оксид), фенол (гидроксибензол).

Анализ состояния атмосферного воздуха проведен в соответствии с ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»[1]. Определялся коэффициент превышения ПДК (ГН 2.1.6.3492–17) и суммарный показатель загрязнения атмосферного воздуха – *К*воздух (*К*сумм.).

Оценка риска здоровью населения от комбинированного воздействия химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, проведена в соответствии с Р 2.1.10.1920–04[2]. Обработка материалов осуществлялась при помощи программ *Statistica*10, а также в среде *Excel*-2010.

**Результаты исследования.** Предварительная оценка приграничных территорий Казахстана установила, что на исследуемых территориях имеются как передвижные источники загрязнения (автомобильные средства передвижения), так и стационарные. На территории Западно-Казахстанской области (западная часть) располагаются предприятия нефтегазового комплекса: 99 % от общего объема добычи газового конденсата и 47 % от объема добычи газа в Казахстане приходится на Западно-Казахстанскую область. На территории Актюбинской области (центральная часть) располагаются предприятия химической и горнодобывающей промышленности. В Актюбинской области располагаются крупные месторождения хромитовых (1-е место в СНГ), никеле-кобальтовых руд, фосфорита, калийных солей, газа – 144,9 млрд м$^3$, нефти – 243,6 млн тонн, нефтегазоконденсата – 32,7 млн тонн. Костанайская область (восточная часть) является сырьевой базой для металлургических предприятий [8, 15].

Климатические условия приграничной зоны Оренбуржья отличаются ярко выраженной континентальностью, характеризующейся резкими перепадами температур воздуха как в течение года, так и в течение суток и недостаточной увлажненностью территории. Разность между средними температурами января (самый холодный месяц) и июля (самый теплый месяц) составляет от 30,2 до 33,1 °С. Ветер над рассматриваемой территорией отличается изменчивостью. Средние значения скоростей ветра в течение различных месяцев варьируют в пределах 2,0–3,3 м/с. По направлениям в летние месяцы преобладают южные ветры, в осенние – западные и юго-западные, в зимний и весенний периоды – южные ветры. Таким образом, на приграничных территориях Оренбургской области преобладают южные и юго-западные ветры.

Качественный и количественный состав загрязнения атмосферного воздуха приграничных районов Оренбургской области характеризуется широкой вариабельностью. На исследуемых территориях приоритетными загрязнителями явились: взвешенные вещества (превышение до 2,4 ПДК), диоксид серы (превышение до 2,1 ПДК), свинец (до 3,05 ПДК), формальдегид (до 1,26 ПДК), мышьяк (до 1,25 ПДК) (табл. 1). При этом в половине изученных территорий установлено превышение ПДК по взвешенным веществам.

В то же время суммарный коэффициент загрязнения атмосферного воздуха, рассчитанный по методике Буштуевой К.А., имеет диапазон вариаций от 3,5 до 19,2 с самым низким уровнем в восточной части приграничных районов (5,9 ± 1,5) (табл. 1).

Установлено, что западная и центральная части приграничной территории имеют наиболее высокий уровень загрязнения по суммарному коэффициенту (табл. 1). Районами с наиболее высоким уровнем загрязнения по *К* суммарному оказались Илекский, Соль-Илецкий, Гайский, а также г. Новотроицк. Общая оценка западной, центральной и восточной частей границы показала, что самый низкий уровень атмосферного загрязнения имеет восточная часть приграничной территории. В связи с чем восточная часть приграничной зоны была выбрана как территория сравнения среди всех приграничных районов. Анализ качественной и количественной структуры загрязнения в восточной зоне показал, что приоритетными загрязнителями являются взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид и свинец.

[1] ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22.12.2017 № 165.

[2] Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

***Таблица 1.*** **Среднесуточные концентрации исследуемых веществ (доля ПДК)**
***Table 1.*** **Average daily concentrations of the test substances (percentage of the MPC)**

| Приграничные территории | Восточная часть | Центральная часть | Западная часть |
|---|---|---|---|
| Взвешенные вещества | 1,13 ± 0,177 | 1,13 ± 0,137 | **1,43 ± 0,142*** |
| Диоксид азота | 0,24 ± 0,036 | 0,24 ± 0,024 | 0,24 ± 0,024 |
| Диоксид серы | 0,58 ± 0,06 | 0,56 ± 0,063 | **0,89 ± 0,22*** |
| Оксид углерода | 0,42 ± 0,060 | 0,41 ± 0,059 | **0,45 ± 0,041*** |
| Формальдегид | 0,53 ± 0,117 | 0,56 ± 0,088 | **0,56 ± 0,11*** |
| Бенз(а)пирен | 0,11 ± 0,034 | 0,10 ± 0,051 | **0,17 ± 0,0001*** |
| Углеводороды (*С*1-*С*5) | 0,02 ± 0,005 | 0,02 ± 0,003 | **0,04 ± 0,003*** |
| Бензол | 0,09 ± 0,049 | 0,09 ± 0,050 | **0,18 ± 0,018*** |
| Хром | 0,03 ± 0,019 | **0,04 ± 0,0001*** | 0,06 ± 0,1 |
| Медь (медь сернокислая) | 0,03 ± 0,015 | **0,04 ± 0,012*** | 0,04 ± 0,112 |
| Железо (железа хлорид) | 0,24 ± 0,099 | **0,25 ± 0,007*** | **0,18 ± 0,0001*** |
| Свинец и его неорганические соединения | 0,46 ± 0,044 | **0,56 ± 0,15*** | **0,18 ± 0,024*** |
| Марганец и его соединения | 0,04 ± 0,010 | **0,03 ± 0,01*** | **0,37 ± 0,035*** |
| Мышьяк | 0,19 ± 0,044 | 0,37 ± 0,193 | 0,04 ± 0,000 |
| Сажа (углерод черный) | 0,06 ± 0,035 | 0,08 ± 0,03 | 0,12 ± 0,012 |
| Никель (металлический) | 0,04 ± 0,028 | **0,07 ± 0,333*** | 0,1 ± 0,001 |
| Цинк (цинка сульфат) | 0,10 ± 0,007 | **0,09 ± 0,049*** | **0,02 ± 0,027*** |
| Кобальт (металлический) | 0,02 ± 0,004 | 0,02 ± 0,015 | 0,02 ± 0,002 |
| Кадмий (кадмия оксид) | 0,11 ± 0,026 | **0,13 ± 0,048*** | **0,04 ± 0,014*** |
| Фенол (гидроксибензол) | 0,16 ± 0,024 | 0,18 ± 0,064 | **0,03 ± 0,0003*** |
| *К* суммарный по Буштуевой К.А. | 5,9 ± 1,5 | **15,5 ± 1,9*** | **13,4 ± 1,06*** |

**Примечание**: достоверность различия с восточной частью приграничной территории *– $p < 0,05$.
**Note**: the significance of the difference with the eastern part of the border territory * – $p < 0.05$

При анализе установлены статистически значимые различия с восточной зоной по взвешенным веществам, диоксиду серы, оксиду углерода, формальдегиду, бенз(а)пирену, углеводородам, бензолу, железу, свинцу, цинку и марганцу в западной части приграничной территории, при этом концентрации свинца, цинка, кадмия и железа достоверно ниже. В центральной части приграничной зоны достоверны различия с территорией сравнения по хрому, меди, железу, марганцу, никелю, свинцу, кадмию. Статистически доказано, что в западной части сельских приграничных территорий преобладают загрязнители, обусловленные выбросами от объектов газо- и нефтепереработки, в центральной приграничной зоне преобладают загрязнители, вызванные выбросами от предприятий цветной и черной металлургии.

Оценка групп суммации показала, что наиболее часто на исследуемых территориях обнаруживалось превышение по группе суммации азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол (табл. 2). Установлено, что превышение по всем группам суммации в западной зоне обусловлено высоким содержанием серы диоксида в Ташлинском районе. При сопоставлении значений по группам суммаций показано, что в западной части приграничной зоны имеется превышение по всем группам суммации, что, в первую очередь, обусловлено качественным составом загрязняющих веществ (выбросы от предприятий нефте- и газодобычи).

На следующем этапе исследования была проведена оценка риска здоровью населения, в результате которой установлено, что основной вклад в формирование неканцерогенной опасности (HQ) вносят взвешенные вещества, диоксид азота, диоксид серы, сероводород, медь, марганец, кадмий (табл. 3). Максимальные значения HQ установлены для меди и марганца. При анализе данных определено, что наибольший уровень неканцерогенного риска наблюдается в западной части границы, а именно в Соль-Илецком и Илекском районах. Стоит отметить, что на этих территориях отсутствуют крупные промышленные предприятия и стационарные источники загрязнения.

Как видно из табл. 3, самый низкий уровень суммарного неканцерогенного риска установлен для восточной части приграничной зоны, в центральной и западной частях установлены примерно одинаковые уровни неканцерогенного риска здоровью населения, однако уровень его и долевой вклад обусловлены различными загрязнителями.

***Таблица 2.*** **Группы веществ, обладающих эффектом суммации**
***Table 2.*** **Groups of substances with summation effect**

| Группы суммации веществ | Восточная часть | Центральная часть | Западная часть |
|---|---|---|---|
| Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол | 1,0 ± 0,24 | 1,6 ± 0,42 | 1,6 ± 0,40 |
| Свинца оксид, серы диоксид | 0,5 ± 0,21 | 1,5 ± 0,57 | 1,1 ± 0,41 |
| Сернокислые медь, кобальт, никель, серы диоксид | 0,5 ± 0,21 | 0,8 ± 0,11 | 1,0 ± 0,44 |
| Серы диоксид, никель | 0,5 ± 0,21 | 0,7 ± 0,10 | 1,0 ± 0,45 |
| Азота диоксид, серы диоксид | 0,7 ± 0,23 | 0,8 ± 0,17 | 1,1 ± 0,38 |

***Таблица 3.*** **Коэффициенты неканцерогенной опасности воздействия веществ атмосферного воздуха (HQ)**

***Table 3.*** **Coefficients of non-carcinogenic risk factors for exposure of ambient air substances (HQ)**

| HQ | Восточная часть | Центральная часть | Западная часть |
|---|---|---|---|
| Взвешенные вещества | 0,81 ± 0,08 | 2,31 ± 0,05 | **2,14 ± 0,05*** |
| Диоксид азота | 1,15 ± 0,01 | 1,08 ± 0,05 | 1,21 ± 0,001 |
| Диоксид серы | 0,45 ± 0,01 | 0,63 ± 0,11 | **0,89 ± 0,39*** |
| Оксид углерода | 0,35 ± 0,02 | 0,43 ± 0,13 | **0,45 ± 0,05*** |
| Дигидросульфид (сероводород) | 0,05 ± 0,05 | 0,98 ± 0,03 | **0,82 ± 0,001*** |
| Формальдегид | 0,66 ± 0,42 | 2,63 ± 0,68 | **1,86 ± 0,67*** |
| Бенз(а)пирен | 0,08 ± 0,04 | 0,14 ± 0,03 | **0,17 ± 0,06*** |
| Углеводороды (С1–С5) | 0,02 ± 0,003 | 0,02 ± 0,002 | **0,03 ± 0,004*** |
| Бензол | 0,19 ± 0,07 | 1,36 ± 0,09 | 1,77 ± 0,39 |
| Этилбензол | 0,00 ± 0,0003 | 0,00 ± 0,0003 | 0,00 ± 0,0002 |
| Толуол | 0,003 ± 0,001 | 0,02 ± 0,02 | 0,03 ± 0,02 |
| Ксилол | 0,004 ± 0,001 | 0,10 ± 0,07 | 0,42 ± 0,04 |
| Хром | 0,08 ± 0,08 | **0,94 ± 0,55*** | 0,88 ± 0,06 |
| Медь | 1,14 ± 0,04 | **6,14 ± 0,60*** | 3,56 ± 0,34 |
| Железо | 0,002 ± 0,0001 | **0,003 ± 0,0001*** | **0,001 ± 0,0001*** |
| Свинец | 0,02 ± 0,02 | **0,53 ± 0,03*** | **0,11 ± 0,05*** |
| Марганец | 0,58 ± 0,058 | **0,93±0,09*** | **7,37 ± 0,24*** |
| Сажа | 0,02 ± 0,01 | 0,11 ± 0,03 | 0,12 ± 0,05 |
| Никель | 0,04 ± 0,04 | **2,09±0,02*** | 1,95 ± 0,27 |
| Цинк | 0,21 ± 0,21 | **1,23±0,71*** | **0,13 ± 0,09*** |
| Кобальт | 0,04 ± 0,04 | 0,54 ± 0,02 | 0,31 ± 0,08 |
| Кадмий | 0,28 ± 0,08 | **3,04 ± 0,6*** | **0,57 ± 0,06*** |
| Фенол | 0,16 ± 0,024 | 0,18 ± 0,064 | **0,03 ± 0,003*** |
| HI общий | 6,2 | **25,5*** | **24,8*** |

**Примечание**: достоверность различия с восточной частью приграничной территории * – $p < 0,05$.
**Note**: the significance of the difference with the eastern part of the border territory * – $p < 0.05$

Проведенный расчет индексов опасности неканцерогенных эффектов в зависимости от направленности действия веществ (тропности к органам и системам) показал, что наиболее высокую вероятность развития неблагоприятных эффектов на органы и системы имеют органы дыхания, центральная нервная система, кровь, нервная система и иммунная система, а также системное действие. Таким образом, территориями риска по патологии органов дыхания оказались муниципальные образования западной и центральной части, по патологии центральной нервной системы (ЦНС) (*HQ*-12,1 ± 5,6; $p < 0,05$) – территории западной части, патологии системы крови (*HQ*-6,7 ± 1,9; $p < 0,05$) и иммунной системы (*HQ*-7,4 ± 2,0; $p < 0,05$) – территории центральной части (табл. 4). Стоит отметить, что в западной части приграничных территорий установлены сравнительно наиболее высокие уровни риска для ЦНС, нервной системы, а также красного костного мозга, в то время как для центральной части наиболее высокие риски установлены для почек, гормональной и иммунной систем.

***Таблица 4.*** **Риск воздействия атмосферного воздуха на органы и системы (THI)**

***Table 4.*** **Air exposure risk on organs and systems (THI)**

| THI | Восточная часть | Центральная часть | Западная часть |
|---|---|---|---|
| Органы дыхания | 5,1 ± 1,6 | **22,3 ± 5,4*** | **21,3 ± 6,2*** |
| Системное | 1,1 ± 0,1 | 6,1 ± 1,6 | 3,6 ± 1,3 |
| ЦНС | 1,2 ± 0,8 | **5,8 ± 1,3*** | **12,1 ± 2,6*** |
| Кровь | 2,0 ± 0,3 | **6,7 ± 1,9*** | **5,6 ± 1,3*** |
| Нервная система | 0,6 ± 0,2 | 0,9 ± 0,3 | **7,4 ± 2,2*** |
| Иммунная система | 1,2 ± 0,5 | **7,4 ± 2,0*** | **5,9 ± 2,0*** |
| Глаза | 0,7 ± 0,4 | 2,6 ± 0,7 | 1,9 ± 0,7 |
| Сердечно-сосудистая система | 0,5 ± 0,2 | **2,1 ± 0,4*** | **2,2 ± 0,3*** |
| Развитие | 0,6 ± 0,2 | 2,5 ± 0,8 | 2,5 ± 0,4 |
| Почки | 0,3 ± 0,1 | **4,0 ± 2,8*** | 1,1 ± 0,1 |
| Печень | 0,005 ± 0,001 | 0,4 ± 0,2 | 0,4 ± 0,1 |
| Гормональная система | 0,3 ± 0,1 | **3,6 ± 0,9*** | 0,7 ± 0,2 |
| Красный костный мозг | 0,2 ± 0,1 | 1,4 ± 0,6 | **1,8 ± 0,4*** |
| Репродуктивная система | 0,04 ± 0,02 | 0,5 ± 0,1 | 0,1 ± 0,06 |

**Примечание**: достоверность различия с восточной частью приграничной территории * – $p < 0,05$.
**Note**: the significance of the difference with the eastern part of the border territory * – $p < 0.05$

Проведенный анализ атмосферного воздуха с последующей оценкой неканцерогенного риска здоровью населения установил, что центральная и западная части приграничной территории Оренбургской области являются территориями с наиболее высоким уровнем антропогенного загрязнения, которое обусловливает высокие уровни риска на органы и системы. При этом установлено, что наиболее загрязненными приграничными муниципальными образованиями являются Илекский, Гайский, Новоорский районы, а также города Орск, Новотроицк ($К$сумм. ≥ 14) (рис. 2). Территориями со средним уровнем загрязнения являются Ташлинский, Соль-Илецкий и Кувандыкский районы ($К$сумм. 10–14). На остальных приграничных территориях суммарный коэффициент загрязнения атмосферного воздуха ниже среднего ($К$сумм. ≤ 10).

Оценка вероятных источников загрязнения атмосферного воздуха в центральной части приграничной зоны показала высокую вероятность загрязнения атмосферного воздуха от источников, присутствующих на исследуемых территориях, при этом с учетом розы ветров не исключен трансграничный перенос загрязнений с территории Казахстана. В западной части приграничной территории в изученных районах отсутствуют крупные стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха, при этом уровень суммарного загрязнения атмосферы выше среднего, как и уровень неканцерогенного риска. Следовательно, с учетом розы ветров и крупных стационарных источников загрязнения, располагающихся на территории Казахстана, имеется вероятность трансграничного переноса атмосферных загрязнений на территорию Российской Федерации.

**Заключение.** Статистически доказано, что в центральной приграничной зоне преобладают загрязнители, обусловленные выбросами от предприятий цветной и черной металлургии (хром, медь, железо, марганец, никель, свинец и кадмий), при этом в западной части сельских приграничных территорий преобладают поллютанты от объектов газо- и нефтепереработки (взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, формальдегид, бенз(а)пирен, углеводороды, бензол, железо, свинец, цинк, и марганец). Установлено, что центральная часть приграничных территорий является территорией с наиболее высоким уровнем антропогенного воздействия, где суммарный коэффициент загрязнения составляет 15,5 ± 1,9, при этом наиболее высокий уровень неканцерогенного риска установлен для органов дыхания 22,3 ± 5,4, крови – 6,7 ± 1,9, иммунной системы – 7,4 ± 2,0, почек – 4,0 ± 2,8 и гормональной системы – 3,6 ± 0,9. Стоит отметить, что на территории центральной части приграничной зоны Оренбуржья имеются крупные стационарные источники загрязнения атмосферного воздуха.

Западная часть приграничных районов характеризуется достаточно высоким уровнем загрязнения ($К$сумм. составил 13,4 ± 1,06) при явном отсутствии крупных стационарных источников антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на исследуемой территории. При этом наиболее высокие уровни риска характерны для органов дыхания – 21,3 ± 6,2, ЦНС – 12,1 ± 5,6, нервной системы – 7,4 ± 2,2, а также для красного костного мозга – 1,8 ± 0,4.

Территорией с самым низким уровнем антропогенного загрязнения является восточная часть приграничной территории, где приоритетными веществами явились взвешенные вещества,

**Рис. 2.** Территории Оренбургской области с высокой вероятностью трансграничного переноса атмосферных загрязнений

**Fig. 2.** Areas of the Orenburg region with a high probability of transboundary transport of air pollution

диоксид азота, диоксид серы и формальдегид. При этом в исследуемых районах отсутствуют крупные стационарные источники атмосферного загрязнения, однако суммарный коэффициент остается на достаточно высоком уровне и достигает 5,9 ± 1,5. Наиболее высокие индексы неканцерогенной опасности отмечаются для органов дыхания – 5,1 ± 1,6, иммунной системы – 1,2 ± 0,5 и ЦНС – 1,2 ± 0,8.

Высокий уровень антропогенной нагрузки на приграничных территориях Российской Федерации с Республикой Казахстан обусловливает возможность трансграничного переноса загрязнений атмосферного воздуха при определенных метеорологических условиях. При этом возможен перенос как в том, так и в обратном направлении.

Проведенное исследование обосновывает и подтверждает необходимость разработки системы мониторинга и оценки вероятности трансграничного переноса атмосферных загрязнений.

## ЛИТЕРАТУРА


1. **Боев В.М., Кряжев Д.А., Тулина Л.М. и др.** Оценка канцерогенного риска для здоровья населения моногородов и сельских поселений // Анализ риска здоровью. 2017. № 2. С. 57–64.
2. **Боев В.М., Тулина Л.М., Неплохов А.А. и др.** Анализ канцерогенного риска при воздействии факторов окружающей среды на здоровье населения крупных городов Оренбургской области // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2014. № 3. С. 100–103.
3. **Борщук Е.Л., Боев В.М., Бархатова Л.А. и др.** Прогностическая модель онкологической заболеваемости населения в условиях воздействия химических канцерогенов среды обитания // Здоровье населения и среда обитания. 2017. № 1 (286). С. 13–16.
4. **Волкова Л.П.** Анализ закономерностей миграционных процессов населения на приграничных территориях (на примере Оренбургской области) // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2008. № 4. С. 86–91.
5. **Зайцева Н.В. и др.** Актуальность анализа риска для здоровья при обеспечении гигиенической безопасности населения // Материалы XI Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей: сб. статей / Под ред. Г.Г. Онищенко, А.И. Потапова. Ярославль: Канцлер, 2012. Т. I. С. 461–464.
6. **Зайцева Н.В., Май И.В. и др.** Оптимизация программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха селитебных территорий в системе социально-гигиенического мониторинга на базе пространственного анализа и оценки риска для здоровья населения // Пермский медицинский журнал. 2010. № 2. С. 130–138.
7. **Зарипов Р.Б., Коновалов И.Б., Глазкова А.А.** Расчет концентраций загрязняющих веществ с использованием модели атмосферы WRF-ARW и химико-транспортной модели CHIMERE // Метеорология и гидрология. 2013. № 12. С. 52–67.
8. **Ибраева Л.К., Отарбаева М.Б., Хантурина Г.Р. и др.** Оценка воздействия химических веществ в атмосферном воздухе на изучаемой территории Приаралья // Медицина труда и экология человека. 2016. № 4 (8). С. 118–125.
9. **Кряжев Д.А., Боев В.М, Фархутдинова К.С. и др.** Гигиеническая оценка влияния канцерогенных химических веществ в атмосферном воздухе на заболеваемость злокачественными новообразованиями кожи // Альманах молодой науки. 2016. № 2. С. 3–8.
10. **Кузнецова И.Н., Коновалов И.Б., Глазкова А.А. и др.** Оценка вклада трансграничного переноса в загрязнение атмосферы в Дальневосточном регионе на основе применения химическо-транспортной модели // Метеорология и гидрология. 2013. № 3. С. 17–29.
11. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области в 2017 году: доклад // Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области. Оренбург: 2018. 246 с.
12. **Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И.** Окружающая среда и здоровье: приоритеты профилактической медицины // Гигиена и санитария. 2014. Т. 93. № 5. С. 5–10.
13. **Руднева О.С., Соколов А.А.** Антропогенная нагрузка промышленного производства на экосистемы российско-казахстанского трансграничного региона // Вопросы степеведения. 2010. Т. 8. С. 106–113.
14. **Руднева О.С., Соколов А.А.** Оценка баланса развития промышленного производства и состояния охраны окружающей среды на российско-казахстанской трансграничной территории // Известия Оренбургского Государственного Аграрного Университета. 2012. № 1 (33). С. 154–157.
15. **Сакебаева Л.Д., Сабырахметова В.М., Шаяхметова К.Н. и др.** Экологическое состояние атмосферного воздуха в Западно-Казахстанской области // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 3 (52). С. 93–94.
16. Статистический ежегодник Оренбургской области: сборник статей. Оренбург: Оренбургстат, 2018. 530 с.


## REFERENCES


1. Boev V.M., Kryazhev D.A., Tulina L.M. et al. Otsenka kantserogennogo riska dlya zdorov'ya naseleniya monogorodov i sel'skikh poselenii [Carcinogenic risk assessment to the population health of single-industry towns and rural settlements]. *Analiz riska zdorov'yu*, 2017, no. 2, pp. 57–64. (In Russ.)
2. Boev V.M., Tulina L.M., Neplokhov A.A. et al. Analiz kantserogennogo riska pri vozdeistvii faktorov okruzhayushchei sredy na zdorov'e naseleniya krupnykh gorodov Orenburgskoi oblasti [Carcinogenic risk analysis under the influence of environmental factors on the population health of the Orenburg region cities]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*, 2014, no. 3, pp. 100–103. (In Russ.)
3. Borshchuk E.L., Boev V.M., Barkhatova L.A. et al. Prognosticheskaya model' onkologicheskoi zabolevaemosti naseleniya v usloviyakh vozdeistviya khimicheskikh kantserogenov sredy obitaniya [Oncological morbidity prognostic model in the population under the influence of habitat chemical carcinogens]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*, 2017, no. 1 (286), pp. 13–16. (In Russ.)
4. Volkova L.P. Analiz zakonomernostei migratsionnykh protsessov naseleniya na prigranichnykh territoriyakh (na primere Orenburgskoi oblasti) [Migration processes regularities analysis of the population in the border areas (on the example of the Orenburg region)]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii,* 2008, no. 4, pp. 86–91. (In Russ.)
5. Zaitseva N.V. et al. Aktual'nost' analiza riska dlya zdorov'ya pri obespechenii gigienicheskoi bezopasnosti naseleniya [Relevance of health risk analysis in ensuring the hygienic safety of the population]. Materialy XI Vserossiiskogo s"ezda gigienistov i sanitarnykh vrachei: sbornik statei / In: G.G. Onishchenko, A.I. Potapova eds. Yaroslavl: Kantsler Publ., 2012, vol. I, pp. 461–464. (In Russ.)
6. Zaitseva N.V., May I.V. et al. Optimizatsiya programm nablyudeniya za kachestvom atmosfernogo vozdukha selitebnykh territoriiv sisteme sotsial'no-gigienicheskogo monitoringa na baze prostranstvennogo analiza i otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya [Optimization of air quality monitoring programs for residential areas in the system of socio-hygienic monitoring based on spatial analysis and risk assessment for public health]. *Permskii meditsinskii zhurnal*, 2010, no. 2, pp. 130–138. (In Russ.)
7. Zaripov R.B., Konovalov I.B., Glazkova A.A. Raschet kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv s ispol'zovaniem modeli atmosfery WRF-ARW i khimiko-transportnoi modeli CHIMERE [Calculation of pollutant concentrations using the WRF-ARW atmospheric model and the CHIMERE chemical transport model]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, no. 12, pp. 52–67. (In Russ.)
8. Ibraeva L.K., Otarbaeva M.B., Khanturina G.R. et al. Otsenka vozdeistviya khimicheskikh veshchestv v atmosfernom vozdukhe na izuchaemoi territorii Priaral'ya [Evaluation of the chemicals impact in the atmospheric air in the study area of the region surrounding the Aral Sea]. *Meditsina truda i ekologiya cheloveka*, 2016, no. 4 (8), pp. 118–125. (In Russ.)
9. Kryazhev D.A., Boev V.M, Farkhutdinova K.S. et al. Gigienicheskaya otsenka vliyaniya kantserogennykh khimicheskikh veshchestv v atmosfernom vozdukhe na zabolevaemost' zlokachestvennymi novoobrazovaniyami kozhi [Hygienic assessmen of carcinogenic chemicals effect in the air on the morbidity of malignant skin neoplasms]. *Al'manakh molodoi nauki*, 2016, no. 2, pp. 3–8. (In Russ.)
10. Kuznetsova I.N., Konovalov I.B., Glazkova A.A. et al. Otsenka vklada transgranichnogo perenosa v zagryaznenie atmosfery v Dal'nevostochnom regione na osnove primeneniya khimichesko-transportnoi modeli [Contribution assessment of transboundary transport to atmospheric pollution in the Far Eastern region using the chemical transport model]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2013, no. 3, pp. 17–29. (In Russ.)
11. O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Orenburgskoi oblasti v 2017 godu: doklad [On the state of sanitary and epidemiological wellbeing of the population in the Orenburg region in 2017: report]. Upravlenie Federal'noi sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitelei i blagopoluchiya cheloveka po Orenburgskoi oblasti. Orenburg: 2018, 246 p. (In Russ.)
12. Rakhmanin Yu.A., Mikhailova R.I. Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e: prioritety profilakticheskoi meditsiny [Environment and health: priorities of preventive medicine]. *Gigiena i sanitariya*, 2014, vol. 93, no. 5, pp. 5–10. (In Russ.)
13. Rudneva O.S., Sokolov A.A. Antropogennaya nagruzka promyshlennogo proizvodstva na ekosistemy rossiisko-kazakhstanskogo transgranichnogo regiona [Anthropogenic load of industrial production on the ecosystems of the Russian-Kazakhstan transboundary region]. *Voprosy stepevedeniya*, 2010, vol. 8, pp. 106–113. (In Russ.)
14. Rudneva O.S., Sokolov A.A. Otsenka balansa razvitiya promyshlennogo proizvodstva i sostoyaniya okhrany okruzhayushchei sredy na rossiisko-kazakhstanskoi transgranichnoi territorii [Assessment of the development balance of industrial production and the state of environmental protection on the Russian-Kazakhstan transboundary territory]. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2012, no. 1 (33), pp. 154–157. (In Russ.)
15. Sakebaeva L.D., Sabyrakhmetova V.M., Shayakhmetova K.N. et al. Ekologicheskoe sostoyanie atmosfernogo vozdukha v zapadnokazakhstanskoi oblasti [Ecological state of atmospheric air in the West Kazakhstan region]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri*, 2014, vol. 10, no. 3 (52), pp. 93–94. (In Russ.)
16. Statisticheskii ezhegodnik Orenburgskoi oblasti: sbornik statei [Statistical Yearbook of the Orenburg Region: a collection of articles]. Orenburg: Orenburgstat Publ., 2018, 530 p. (In Russ.)



*Контактная информация:*
**Боев** Виктор Михайлович, профессор, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой общей и коммунальной гигиены ФГБОУ ВО Оренбургского государственного медицинского университета Минздрава России
e-mail: kafedragigiena@mail.ru

*Contact information*:
**Boev** Viktor, Professor, Doctor of Medicine Sciences, Head at the Department of General and Municipal Hygiene of Orenburg State Medical University of the Russian Ministry of Health
e-mail: kafedragigiena@mail.ru