

Научная статья

УДК 33.332.142.6.504.064

JEL I15; Q51; Q53; Q54

DOI 10.25205/2542-0429-2025-25-1-38-56

Влияние загрязнения атмосферного воздуха на общественное здоровье в Сибирском федеральном округе

Татьяна Олеговна Тагаева¹

Лидия Кузьминична Казанцева²

Анжелика Ивановна Савина³

Анастасия Евгеньевна Масютина⁴

^{1,2,3}Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия

^{1,3,4}Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

¹to-tagayeva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9467-6436>

²klidia0101@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9984-7687>

³sail1417@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5810-451X>

⁴a.masyutina@g.nsu.ru

Аннотация

Загрязнение атмосферного воздуха негативно сказывается на состоянии общественного здоровья, следовательно, представляет собой угрозу национальной экономической безопасности. Цель данного исследования – изучить проблему загрязнения атмосферного воздуха в Сибирском федеральном округе, проанализировать ее влияние на здоровье населения и предложить возможные пути решения. Для этого решались следующие задачи: во-первых, рассматривались источники, степень опасности и основные последствия влияния загрязнения воздуха на общественное здоровье; во-вторых, исследовалась специфика экосистемы Сибирского федерального округа и экономическая ситуация региона с целью выявления факторов воздействия экономики на экологию; в-третьих, сделан анализ влияния загрязнения атмосферы на здоровье человека с опорой на статистические показатели и предложены некоторые меры по решению данной проблемы. В целях решения представленных задач использовались такие методы исследования, как синтез, сравнение, системный подход и эконометрический анализ. Сделан вывод, что загрязнение атмосферного воздуха ведет к ухудшению здоровья, проявляясь через рост смертности. Предложены некоторые меры для улучшения ситуации: для сокращения объемов выбросов вредных веществ в атмосферу и поддержания общественного здоровья необходимо внедрение энергосберегающих технологий в производство, развитие современных систем улавливания атмосферных загрязнений и монито-

© Тагаева Т. О., Казанцева Л. К., Савина А. И., Масютина А. Е., 2025

ринга состояния атмосферы, развитие и поддержание гражданской ответственности и инициативы с целью сохранения окружающей среды, а также совершенствование правовых норм в законодательстве, касающихся охраны атмосферного воздуха.

Ключевые слова

Сибирский федеральный округ, источники загрязнения атмосферного воздуха, загрязняющие вещества, ухудшение общественного здоровья, рост смертности

Финансирование

Исследование выполнено в рамках проекта НИР ИЭОПП СО РАН «Методы и модели обоснования стратегии развития экономики России в условиях меняющейся макроэкономической реальности», № 121040100281-8

Для цитирования

Тагаева Т. О., Казанцева Л. К., Савина А. И., Масютина А. Е. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на общественное здоровье в Сибирском федеральном округе // Мир экономики и управления. 2025. Т. 25, № 1. С. 38–56. DOI 10.25205/2542-0429-2025-25-1-38-56

The Impact of Air Pollution on Public Health in the Siberian Federal District

Tatyana O. Tagaeva¹, Lidiya K. Kazantseva²
Anzhelika I. Savina³, Anastasia E. Masyutina⁴

^{1,2,3}Institute of Economics and Industrial Engineering
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russian Federation

^{1,3,4}Novosibirsk National Research State University
Novosibirsk, Russian Federation

¹to-tagayeva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9467-6436>

²klidia101@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9984-7687>

³sai1417@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5810-451X>

⁴a.masyutina@ng.su.ru

Abstract

Air pollution has a negative impact on public health, therefore, it poses a threat to national economic security. The purpose of this work is to study the problem of air pollution in the Siberian Federal District, to analyze its impact on public health and to propose possible solutions. To do this, the following tasks were solved: firstly, the sources, degree of danger and the main consequences of the impact of air pollution on public health were considered; secondly, the specifics of the ecosystem of the Siberian Federal District and the economic situation of the region were studied in order to identify the factors economy's influencing on the environment; thirdly, an analysis of the impact of air pollution on human health was made based on statistical indicators and some measures were proposed to solve this problem. Research methods such as synthesis, comparison, systems approach and econometric analysis were used to solve the tasks set. It is concluded that air pollution leads to deterioration of health, appearing itself through an increase in mortality. Some measures have been proposed to improve the situation: to reduce the volume of emissions of harmful substances into the atmosphere and maintain public health, it is necessary to introduce energy-saving technologies into production, to develop modern systems for capturing atmospheric pollution and monitoring the state of the atmosphere, to develop and maintain civil responsibility and initiative in order to preserve the environment, as well as improving legal norms in legislation relating to the protection of atmospheric air.

Keywords

Siberian Federal District, sources of air pollution, pollutants, deterioration of public health, mortality's increase

Funding

The study was carried out within the framework of the research project of the Institute of Economics, Industrial Problems and Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences “Methods and Models for Substantiating the Strategy for the Development of the Russian Economy in the Context of Changing Macroeconomic Reality”.

For citation

Tagaeva T. O., Kazantseva L. K., Savina A. I., Masyutina A. E. The Impact of Air Pollution on Public Health in the Siberian Federal District. *World of Economics and Management*, 2025, vol. 25, no. 1, pp. 38–56. DOI 10.25205/2542-0429-2025-25-1-38-56

Введение

Состояние общественного здоровья, по мнению академика Российской экологической академии Ю. П. Гичева (2000), необходимо рассматривать как экономическую категорию, а качество здоровья населения – как лимитирующий фактор социально-экономического развития, т. е. фактор, влияющий на экономическую безопасность. В настоящее время регистрируются значительные негативные изменения состояния общественного здоровья в очагах экологического риска. Ухудшение общественного здоровья приводит к экономическим потерям, увеличивая расходы на медицинское обслуживание, снижая производительность труда из-за болезней и инвалидности, а также к потере рабочей силы из-за преждевременной смертности. Низкое качество общественного здоровья может стать лимитирующим фактором для социально-экономического развития из-за ограничения возможности людей в обучении, работе, самореализации и участии в общественной жизни, поэтому обеспечение высокого уровня общественного здоровья является одной из важнейших социальных задач государства. В контексте неблагоприятной для России тенденции сокращения населения состояние общественного здоровья стало в настоящее время лимитирующим фактором любого из сценариев социально-экономического развития страны (Маренко и др., 2014).

Общественное здоровье является одним из главных аспектов общества как социального организма и играет важную роль в социально-экономическом развитии, с точки зрения авторов исследования (Лисицын и др., 2013). Здоровые люди способны быть более продуктивными, обладать лучшими физическими и умственными способностями, что в конечном итоге способствует экономическому росту и процветанию общества.

По мнению исследователей Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (Гильмундинов и др., 2012), общественное здоровье формируется и поддерживается целой совокупностью факторов: экономических, психологических, социально-культурных, генетических, медико-инфраструктурных и эколого-климатических. Однако экологический фактор имеет наибольшее значение, так как химические загрязнения воздуха и воды, истощение почвенных ресурсов, заражение продуктов питания и питательной среды оказывают непосредственное негативное влияние на здоровье человека.

Состояние здоровья зависит от многих причин (генетических свойств человека, климатических и экологических воздействий, социально-экономических, по-

литических и прочих факторов), но первое место среди факторов риска отдается образу жизни в исследованиях Д. В. Лисицына (Лисицын и др., 2013). Именно в загрязненной экологической обстановке чаще всего наблюдается неправильный образ жизни (алкоголизм, апатия к физической активности и т. п.), утверждается в работе (Яблоков, 2007). Многие исследователи предлагают рассматривать уровень урбанизации и промышленного развития города как отдельный фактор, влияющий на общественное здоровье (Ляпин и др., 2014).

Промышленные центры характеризуются также высокой эмиссией парниковых газов. Хотя парниковые газы, в составе которых углекислый газ, оксид азота, метан и др., не являются загрязняющими атмосферу, они оказывают косвенное влияние на организм человека: задерживают тепло и повышают температуру земной поверхности, что приводит к возникновению аномальных погодных явлений (например, жары), которые становятся причиной дополнительной смертности населения. Например, летом 2003 г. в Италии, Испании, Германии и еще в 32 европейских странах волна жары совпала с безветренной погодой, воздух содержал большое количество вредных для организма токсинов, и за короткий период с 20 июля по 20 августа было зарегистрировано более 70 тыс. так называемых избыточных смертей (Ballester, 2023).

В исследовании (Ревич и др., 2007) описаны различные методы экономической оценки последствий воздействия загрязненной окружающей среды на общественное здоровье, приведены примеры экономической оценки ущерба от негативного воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения и сделан вывод, что ущерб превышает суммарный бюджет на здравоохранение и охрану окружающей среды и находится в диапазоне 3,1–5,8 % от ВВП.

Есть исследования (Бурматова и др., 2017) количественной зависимости между заболеваемостью населения и состоянием природной среды в районе размещения крупных тепловых электростанций, где среди причин, негативно влияющих на здоровье, наибольшее значение придается факторам антропогенного характера, в частности химическому загрязнению атмосферы. В работе (Евсеева и др., 2018) изучено влияние загрязнения окружающей среды на рост заболеваемости детского населения и определены маркерные заболевания, отражающие влияние экологического состояния территории проживания на здоровье.

Влиянию неблагоприятной экологической обстановки на здоровье также посвящены многие зарубежные публикации. Проблема риска сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний в результате загрязнения окружающей среды рассмотрена в работе (Shahriyari et al., 2022), где показано, что краткосрочное и долгосрочное воздействие загрязняющих веществ может приводить к нарушениям функций организма (Zanobetti, 2014; Cohen, 2017). В исследованиях анализируется динамика выбросов основных веществ, оказывающих вредное воздействие на человека (твердые частицы (ТЧ), озон (O₃), диоксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂), металлы и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)) (Shahriyari et al., 2022; Hadley, 2018; Cicoira, 2018; Dockery et al., 1993). Увеличивается количество эпидемиологических данных, подтверждающих связь выбросов загрязняющих атмосферу веществ с ростом числа случаев хронической болезни легких во всех регионах мира (Hadley, 2018). Выявлено, что загрязнение воздуха

усиливает окислительный процесс в клетках легких, из-за чего нарушается обмен веществ в организме (Kloog et al., 2015).

Таким образом, результаты различных исследований показывают, что высокий уровень загрязнения воздуха приводит к увеличению риска заболеваний. Целью данного исследования является изучение проблемы загрязнения атмосферного воздуха в СФО и анализ ее влияния на здоровье населения сибирских регионов.

Экологические проблемы СФО и их влияние на здоровье населения округа

По данным Федеральной службы государственной статистики за 2024 год, основу экономики Сибирского ФО составляют добыча полезных ископаемых (21,4 % ВРП) и обрабатывающие производства (16,5 % ВРП).

Промышленной специализацией округа выступает продукция металлургического, топливно-энергетического и химико-лесного межотраслевых комплексов. Значительное влияние на развитие других секторов экономики оказывают транспорт и машиностроение в связи с географическими особенностями округа. Отрасли сельского хозяйства не получили существенного развития (4,6 % ВРП), однако играют ключевую роль в экономике отдельных регионов (например, Алтайского края).

По данным Федеральной статистики, 71,91 % выбросов от обрабатывающего производства приходится на Красноярский край, 63,08 % загрязнений от добычи полезных ископаемых – на Кемеровскую область и более 60 % вредных веществ от обеспечения электроэнергией, газом и паром – на Красноярский край (20,94 %), Кемеровскую (18,73 %) и Иркутскую (26,16 %) области, т. е. крупные промышленные центры округа.

Согласно сведениям Росгидромета за 2022 г. (Обзор состояния..., 2023), в 36 городах Российской Федерации (около 16 % всех городов России) наблюдался высокий или очень высокий уровень загрязнения воздуха (ИЗА¹ превышал 7). Из них 30 городов находятся в Сибирском федеральном округе, следовательно, примерно 68 % населения СФО проживает в городах с высоким или очень высоким уровнем загрязнения атмосферы (табл. 1), 12 из 30 городов располагаются в Иркутской области, что объясняется производственной специализацией региона и может быть связано с природно-климатическими факторами.

Отдельный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы представило Министерство природных ресурсов и экологии (Государственный доклад...). В нем более половины населенных пунктов (21 из 40) с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха расположены в СФО. Среди загрязняющих веществ наиболее часто встречаются бензапирен, взвешенные ве-

¹ ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, величина которого рассчитывается по значениям среднегодовых концентраций 5 приоритетных для каждого города загрязняющих веществ. Он оценивает уровень длительного, хронического загрязнения воздуха. Уровень загрязнения атмосферного воздуха определяется как низкий при ИЗА менее 5; повышенный – от 5 до 6, высокий – от 7 до 13, очень высокий при ИЗА, равном или больше 14 // По данным источника: Экологическое проектирование и экспертиза. URL: <https://pandia.ru/text/79/389/32261-4.php> (дата обращения: 11.01.2025).

Таблица 1

Количество городов по субъектам РФ с высоким (В) и очень высоким (ОВ) уровнем загрязнения воздуха (ЗВ) в 2022 г.

Table 1

Number of cities in regions of the Russian Federation with high (H) and very high (VH) levels of air pollution (AP) in 2022

Субъект РФ	Количество				Доля населения в городах с В и ОВ уровнем ЗВ, %	
	городов с регулярным наблюдением за ЗВ	станций	городов, в которых			
			ИЗА > 7	Q > ПДК		СИ > 10
Республика Алтай	–	–	–	–	–	–
Республика Тыва	1	3	1	1	1	0
Республика Хакасия	3	4	2	3	2	0
Алтайский край	2	8	2	2	1	0
Красноярский край	6	18	6	6	6	0
Иркутская область	18	39	12	16	9	1
Кемеровская область	3	18	2	3	2	1
Новосибирская область	3	13	2	3	0	0
Омская область	1	8	1	1	0	0
Томская область	1	7	1	1	0	1
Всего по СФО	39	121	30	37	22	3

Примечание: СИ (стандартный индекс) – наибольшая измеренная разовая концентрация загрязняющего вещества, деленная на ПДК. НП (наибольшая повторяемость) – доля (процент) случаев превышения ПДК одного из загрязняющего вещества по данным наблюдений на всех станциях города за год.

Источник: Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год. М.: РОСГИДРОМЕТ, 2023. 215 с. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения: 16.03.2024).

щества, формальдегиды и диоксид азота. Среднедушевые показатели выбросов твердых веществ, диоксида серы и оксида углерода в округе значительно превысили среднероссийские. В Красноярском крае валовые выбросы на душу населения превысили показатели по РФ по всем загрязняющим веществам.

На СФО приходится значительная доля выбросов диоксида серы (33,83 % всех выбросов по России), большая их часть приходится на Красноярский край (26,86 % от общероссийских), что объясняется производственной специализацией региона. Далее по доле выбросов выделяются твердые вещества – 15,41 %, оксид углерода – 11,82 % и диоксид азота – 11,31 % (табл. 2).

На состояние окружающей среды влияние оказывают факторы антропогенного и природного характера. Антропогенные по источникам делятся на две группы: выбросы загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников и от передвижных (в основном автомобильный и железнодорожный транспорт). В 2023 г. среднедушевые валовые выбросы по СФО (327,6 кг/чел.) превышали общероссийские (124,6 кг/чел.) более чем в два с половиной раза: выбросы в Сибири от передвижных и стационарных источников составляют 55,4 и 272,2 кг/чел. соответственно при среднероссийских показателях 33,5 и 91,2 кг/чел.² Можно сделать вывод, что наиболее неблагоприятное влияние на атмосферный воздух оказывают стационарные источники выбросов.

По величине выбросов от автомобильного транспорта в 2023 г. в худшем положении оказались Новосибирская область, Красноярский и Алтайский края (свыше 10 % в совокупных выбросах от передвижных источников СФО), причем на Алтайский и Красноярский края приходится более половины общего объема выбросов от передвижных источников в СФО; по величине выбросов от стационарных источников в 2023 г. лидерами являются Красноярский край, Кемеровская и Иркутская области (свыше 10 %).

Среди природных факторов загрязнения атмосферы выделяют пожары, потенциал загрязнения атмосферы (ПЗА), деградацию почв, пылевые и песчаные бури и прочие. Для Сибирского федерального округа в силу особенностей экосистемы актуальными считаются первые два фактора. Лесные пожары оказывают огромное воздействие на экосистему всей Сибири: гибнут растения, повреждается почва, умирают микроорганизмы, живущие в ней и, что самое плохое, происходит задымление и загрязнение атмосферы углекислым и угарным газом. Задымление нижних слоев атмосферы негативно влияет на здоровье людей (Цветков, 2019).

Ученые Красноярского научного центра СО РАН и немецкого Института преобразования химической энергии общества Макса Планка провели исследование и оценили объемы выбросов парниковых газов в атмосферу при лесных пожарах в Сибири. Во время интенсивного горения леса концентрация угарного газа по сравнению с фоновым содержанием в воздухе повышается почти в 30 раз, метана – в два раза, углекислого газа – на 8 %. Пожары и последующее задымление ведут к росту объема парниковых газов, что усиливает парниковый эффект.

Потенциал загрязнения атмосферы представляет собой совокупность климатических и метеорологических факторов, от которых непосредственно за-

² Рассчитано по данным: Охрана окружающей среды в России. 2024: стат. сб. / Росстат. М., 2024. 118 с.

Таблица 2

Показатели выбросов в атмосферный воздух по основным загрязняющим веществам в регионах Сибирского ФО в 2023 г.

Table 2

Indicators of emissions for the main pollutants in the regions of the Siberian Federal District in 2023

Регионы РФ	Твердые вещества		SO ₂		CO		NO ₂	
	доля в выбросах РФ, %	на душу насел., кг/чел.	доля в выбросах РФ, %	на душу насел., кг/чел.	доля в выбросах РФ, %	на душу насел., кг/чел.	доля в выбросах РФ, %	на душу насел., кг/чел.
РФ	100	23,22	100	44,49	100	68,93	100	26,35
СФО	15,41	31,48	33,83	132,45	11,82	71,67	11,31	26,22
Республика Алтай	0,05	8,54	0,01	2,41	0,04	17,55	0,02	3,18
Республика Тыва	0,08	7,68	0,02	3,74	0,03	7,91	0,07	7,52
Республика Хакасия	0,50	32,35	0,31	38,44	0,56	107,54	0,27	19,78
Алтайский край	1,26	20,13	0,45	13,67	0,59	28,02	0,81	14,62
Красноярский край	3,23	38,57	26,28	615,19	4,03	142,80	2,84	38,54
Иркутская область.	3,37	48,87	3,39	94,11	2,64	113,61	2,37	39,04
Кемеровская область	4,51	59,79	1,47	37,31	2,71	106,63	2,58	38,80
Новосибирская область	1,17	14,30	0,67	15,61	0,45	16,32	1,16	15,96
Омская область	0,88	16,34	0,62	22,08	0,21	11,52	0,79	16,55
Томская область	0,35	11,18	0,04	2,23	0,56	53,79	0,41	14,98

Примечание: выделены валовые выбросы на душу населения, превышающие среднероссийские показатели.

Источник: составлено авторами по данным Информации об охране атмосферного воздуха. Росприроднадзор. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: <https://https.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-protect/> (дата обращения: 11.01.2024).

всят условия рассеивания выбросов в атмосфере и длительность ее самоочищения. При условиях континентального климата и особенностях рельефа ПЗА Сибирского ФО значительно выше, чем в западных регионах России: климатические и географические условия препятствуют рассеиванию неблагоприятных примесей и способствуют образованию облаков смога. Таким образом, можно сделать вывод, что на качество атмосферного воздуха на территории СФО оказывают сильное неблагоприятное воздействие как антропогенные, так и природные факторы.

Загрязнение атмосферного воздуха влечет развитие у человека пульмонологических, онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний.

Пульмонологические заболевания, вызванные загрязнением атмосферного воздуха, включают бронхит, пневмонию, бронхиальную астму, фиброз легких, легочную гипертензию, инфаркт легкого и др. (см.: Охрана окружающей..., 2024). Несмотря на постепенное сокращение ежегодных объемов валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, скопление вредных веществ в воздухе продолжает расти, что приводит к росту числа случаев болезней органов дыхания. В 2022 г. превышение средней заболеваемости по округу наблюдалось в таких регионах, как Красноярский край, Новосибирская, Омская и Томская области, из которых на территории последних трех концентрация загрязняющих веществ в населенных пунктах превышает предельно допустимое значение (ПДК) (см. табл. 2).

Загрязнение атмосферы все чаще приводит к *онкологическим заболеваниям*, из-за чего наблюдается общий рост смертности по округу. К развитию рака приводят систематическое отравление организма кадмием, бензолом, бензапиреном, окисью этилена, кремния, которое сопровождает производство алюминия и кокса, стальное и чугунное литье, а также каучуковое и резиновое производство (Канина, 2021; Артамонова и др., 2012). В 2022 г. заболеваемость злокачественными новообразованиями среди населения Сибирского ФО составила 1185 на 100 тыс. человек (т. е. около 1,19 % населения болели онкологией, тогда как общероссийский показатель – 1,12 %).

Сердечно-сосудистые заболевания. Содержание в воздухе оксида азота вызывает инфаркт и нарушения работы сердца (обострение ишемической болезни), загрязненный воздух приводит к кислородному голоданию, повышению тромбоцитов в крови, замедлению кровообращения и, как следствие, высокому артериальному давлению. До 2019 г. в Сибирском ФО наблюдался рост числа случаев заболеваний сердечно-сосудистой системы, а в 2020 г. их количество резко сократилось, однако самих заболеваний не стало меньше, из-за пандемии уменьшилось только число выявленных случаев. В 2019 г. показатель заболеваемости по округу (4,32 случая на 100 человек) превышал общероссийский уровень (3,92 случая на 100 человек). После 2020 г. количество инфарктов, как самых распространенных последствий пандемии, резко возросло, однако статистика стала квалифицировать смертность от инфарктов как смертность от ковида. Между тем заболевания кровеносной системы и кроветворных органов являлись причиной смерти по причинам болезней в почти 45–50 % случаев летального исхода по СФО и до пандемии (см. рисунок).



Число умерших в СФО по причине болезней разных видов на 100 тыс. чел.

Number of deaths in the Siberian Federal District due to various types of diseases per 100 thousand people

Примечание: статистика по заболеваниям сердечно-сосудистой системы после 2020 г. несопоставима с предыдущими годами по причине ковида, поэтому на графике не приводится.

Источник: составлено авторами по данным: Здравоохранение в России. 2023: стат. сб. / Росстат. М., 2023. 179 с.; Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). Государственная статистика. 2024. URL: <https://www.fedstat.ru> (дата обращения: 22.12.2024).

Для исследования влияния загрязнения атмосферного воздуха в сибирских регионах были использованы статистические данные за период с 2005 по 2022 г. десяти регионов Сибирского ФО (Республика Алтай, Тыва и Хакасия, Алтайский и Красноярский края, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская и Томская области). Построена регрессионная модель с фиксированными эффектами на основе панельных данных. Преимущества данного подхода заключаются в широком охвате территории округа и возможности использования сопоставимых показателей для проведения эконометрического анализа. Использование данного подхода можно считать обоснованным, поскольку он позволяет получить комплексное представление о проблеме загрязнения атмосферного воздуха в СФО и его влиянии на общественное здоровье.

В качестве объясняемой переменной, характеризующей уровень общественного здоровья, был выбран показатель *смертности* как в целом, так и от отдельных причин. В качестве объясняющих переменных были выбраны следующие показатели:

- *доля инвестиций в основной капитал*, направленных на охрану окружающей среды и эффективное использование природных ресурсов, в ВРП;
- *выбросы загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу от стационарных источников*, на единицу ВРП (удельные);

- выбросы загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу от передвижных источников, на единицу ВРП (удельные);
- уловленные выбросы загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу от стационарных источников, на единицу ВРП (удельные);
- доля городского населения (предполагается, что, с одной стороны, увеличение численности городского населения приводит к увеличению выбросов от транспортных средств, производственных предприятий, отопительных котлов и т. д., что негативно влияет на экологическую ситуацию в городах, также увеличивается риск хронических заболеваний, таких как болезни сердечно-сосудистой системы, ожирение и пр., из-за чего растет смертность. С другой стороны, повышение численности городского населения стимулирует развитие экономики и социальной инфраструктуры, рост числа медицинских, спортивных и культурных учреждений, доступность медицинских услуг);
- численность врачей всех специальностей и число больничных коек на 10 тыс. человек населения (включение этих двух показателей в модель позволяют оценить уровень доступности медицинских услуг в регионах и его влияние на смертность по выделенным классам);
- заболеваемость с диагнозом алкоголизма (включая случаи алкогольного психоза) и наркоманией на 100 тыс. человек населения (рассматривается гипотеза, что группы населения, имеющие вредные привычки, в большей степени подвержены риску ухудшения здоровья и снижения иммунитета в результате загрязнения атмосферного воздуха);
- число случаев лесных пожаров на 100 тыс. человек населения (показатель позволяет оценить влияние природных факторов загрязнения атмосферы на выбранные зависимые переменные).

В целом были рассмотрены 10 объясняющих переменных и построены четыре регрессионные модели, объясняющие *смертность* от всех причин и по выделенным классам (болезней органов дыхания, новообразований, патологий сердечно-сосудистой системы). Среди выбранных факторов сильную корреляцию со смертностью от всех причин показали удельные выбросы загрязняющих атмосферных веществ, отходящих от стационарных источников (0,46).

После проверки на мультиколлинеарность количество регрессоров уменьшилось и были получены характеристики регрессионного уравнения, представленные в табл. 3.

Коэффициент детерминации построенного уравнения регрессии смертности от всех причин, превышающий 0,5, и высокая статистическая значимость всех полученных оценок дают основания полагать, что смертность от всех причин по регионам в значительной степени зависит от приведенных факторов.

Среди полученных оценок интерес представляет отрицательное влияние доли городского населения на смертность от всех причин: подтвердилась гипотеза о том, что урбанизация имеет двойственное значение. С одной стороны, повышение численности городского населения стимулирует экономическое и социальное развитие, в результате чего растет качество жизни населения и увеличивается доступность медицинских услуг, о чем также свидетельствует кор-

Таблица 3

Характеристики регрессионного уравнения смертности от всех причин

Table 3

Characteristics of the all-cause mortality regression equation

Характеристики	Оценка коэффициентов	Стандартная ошибка	p-value
Константа	4,7993	0,6472	0,0000
Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, исходящих от передвижных источников	0,0481	0,0121	0,0001
Число случаев лесных пожаров на 100 тыс. чел. населения	0,0128	0,0047	0,0076
Численность врачей всех специальностей на 10 тыс. чел. населения	–0,2389	0,0653	0,0004
Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, исходящих от стационарных источников	0,0726	0,0117	0,0000
Доля городского населения	–0,3597	0,1590	0,0251
Коэффициент детерминации (R ² скорректированный)	0,51		
Определитель корреляционной матрицы объясняющих переменных	0,35		

Источник: расчеты авторов.*Source:* authors' calculations.

реляция между численностью врачей всех специальностей и долей городского населения, которая составила 0,29. С другой стороны, положительная корреляция между долей городского населения и выбросами загрязняющих веществ от стационарных источников (0,35) означает, что с увеличением доли городского населения выбросы от стационарных источников также увеличиваются. Причинами могут быть большая концентрация промышленности, так как большие города часто становятся центрами промышленности и коммерции, и увеличенное энергопотребление, поскольку городское население обычно потребляет больше энергии для таких целей, как освещение, отопление и кондиционирование воздуха. Это может привести к увеличению выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников.

Заключение

Результаты проведенного исследования актуализируют проблемы загрязнения атмосферного воздуха в Сибирском федеральном округе и количественно оценивают его влияние на общественное здоровье.

Решение вышеобозначенных проблем требует незамедлительного принятия ряда управленческих решений, прежде всего в сфере институциональных изменений в природоохранном комплексе, что предполагает совершенствование правовых норм в законодательстве, касающихся охраны атмосферного воздуха. Многое уже делается в этом направлении.

В рамках национального проекта «Экология» реализуется федеральный проект «Чистый воздух». В 2022 г. начат эксперимент по квотированию выбросов парниковых газов на Сахалине, результаты которого планируется использовать и в сибирских регионах. В 2018 г. стартовал эксперимент по квотированию выбросов загрязняющих атмосферу веществ. Его цель – к 2030 г. вдвое сократить количество опасных загрязняющих выбросов по сравнению с показателями 2020 г. Среди 29 городов – участников эксперимента больше половины (19) сибирских городов.

Наводится порядок в экологическом нормировании, так, например, снижение в 2022 г. показателей предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих атмосферу веществ значительно увеличило число городов Приоритетного списка³ до 40 (из них 21 город из Сибирского ФО) в 2023 г. (в 2020 г. их было всего 15), что позволило обострить внимание к проблеме загрязнения атмосферного воздуха в сибирских городах (Государственный доклад..., 2023).

Однако еще многое предстоит сделать. Необходимо совершенствование структуры органов управления природоохранной деятельностью (возврат к прошлой утраченной практике существования самостоятельного отдельного министерства по охране окружающей среды и экологических фондов), организация системы мониторинга и отчетности за выбросы загрязняющих атмосферу веществ (отказ от практики декларирования объемов загрязнения самими предприятиями).

Было бы полезным регулярное проведение проверки передвижных загрязнителей на соответствие их выбросов техническим нормативам во время ежегодных технических осмотров. Нужна конкретизация и введение в практику механизмов стимулирования сокращения выбросов: введение квот на выбросы, повышение ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). В настоящее время индексирование ставок платежей отстает от инфляции (в 2023 г. ставки экологических платежей были проиндексированы на 26 % к уровню 2016 г., в то время как дефлятор ВВП за этот же период составил 178 %) ⁴.

Предлагается дальнейшее совершенствование нормирования атмосферных выбросов. Необходим пересмотр нормативов, заложенных в справочниках по наилучшим доступным технологиям (НДТ). Нужна доработка информационно-тех-

³ Росгидромет составляет ежегодно Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

⁴ Постановление Правительства РФ от 20.03.2023 № 437 «О применении в 2023 году ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду». URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/79773.html> (дата обращения: 11.01.2025).

нических справочников с учетом показателей энерго- и ресурсоэффективности используемых технологий, каждая НДТ должна иметь низкие показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Для внедрения НДТ, оказывающих минимальное воздействие на окружающую природную среду, необходимы так называемые «зеленые» инвестиции. Необходимы новейшие механизмы реализации и стимулирования природоохранных затрат: налоговые льготы при внедрении НДТ с минимальными выбросами, освобождение предприятий от платы за НВОС в размере осуществленных инвестиций, ускоренная амортизация основных природоохранных фондов, рынок «зеленых» облигаций и сертификатов.

К сожалению, улучшения ситуации в ближайшей перспективе не предвидится. По мнению специалистов, не хватает финансовых средств даже в рамках национального проекта «Экология»: в 2019 и 2020 гг. предназначенные по проекту деньги на региональные экологические объекты до адресатов так и не дошли из-за отсутствия в Минприроды правил предоставления бюджетных трансферов, а также произошло секвестирование расходов проекта из-за экономических проблем, связанных с пандемией и политической ситуацией⁵.

Также, по мнению ведущих российских экономистов, необходима серьезная перестройка всей системы здравоохранения, пережившей неудачную оптимизацию в 2010–2019 гг. Нужно существенное увеличение его финансирования, долю здравоохранения в ВВП с 5 % в настоящее время следует увеличить к 2030 г. до уровня развитых стран – 10 % (Аганбегян, 2023). Предлагаемые управленческие решения актуальны для всех регионов России, но наибольшую актуальность они приобретают именно в сибирских регионах, где общественное здоровье наиболее уязвимо вследствие неблагоприятных экологических и климатических условий.

Список литературы

1. **Аганбегян А. Г.** О преобразовании социально-экономической системы России: что хотели и что получилось // Мир перемен. 2023. № 2. С. 17–44.
2. **Артамонова Г. В., Шаповалова Э. Б., Максимов С. А., Скрипченко А. Е., Огарков М. Ю.** Окружающая среда как фактор риска развития ишемической болезни сердца в урбанизированном регионе с развитой химической промышленностью // Кардиология. 2012. № 10. С. 86–90.
3. **Бурматова О. П., Сумская Т. В.** Прогнозирование заболеваемости населения в условиях загрязнения атмосферного воздуха // Регион: экономика и социология. 2017. № 2. С. 287–307. DOI: 10.15372/REG20170214
4. **Гильмундинов В. М., Казанцева Л. К., Тагаева Т. О., Кугаевская К. С.** Загрязнение природной среды и общественное здоровье в России // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2012. № 12(3). С. 63–74.

⁵ РБК: Бизнес. 25.05.2020: Производители предупредили Мишустина о рисках срыва нацпроекта «Экология» / Подобедова Л. URL: <https://www.rbc.ru/business/25/05/2020/5ec6a0b39a7947d276ceca8f> (дата обращения: 11.01.2025).

5. **Гичев Ю. П.** Экологическая обусловленность основных заболеваний и сокращения продолжительности жизни. Новосибирск: СО РАМН, 2000. 90 с.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в субъектах Российской Федерации в 2022 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. 2023. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (дата обращения: 27.02.2024).
7. **Евсеева Г. П., Пичугина С. В., Яковлев Е. И., Пепеляева Л. Р.** Экологическое воздействие качества окружающей среды Хабаровского края на уровень заболеваемости детского населения // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 4. С. 93–100. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-4-93-100
8. **Канина А. Р.** Влияние загрязненного воздуха на здоровье человека // The Scientific Heritage. 2021. Vol. 78. P. 15–16. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-78-2-15-16
9. **Лисицын Ю. П., Улумбекова Г. Э.** Общественное здоровье и здравоохранение. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. 544 с.
10. **Ляпин В. А., Казаковцев В. П., Семенова Н. В.** Особенности заболеваемости населения крупного промышленного города // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12869> (дата обращения: 16.12.2024).
11. **Маренко Ю. А., Ларионов В. Г.** Виды антропогенного загрязнения окружающей природной среды и его влияние на здоровье населения городов как фактор национальной безопасности // Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки. 2014. № 14 (1). С. 27–34.
12. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год / ред.: Г. М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2023. 215 с. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения: 16.03.2024).
13. Охрана окружающей среды в России. 2024: стат. сб. / М.: Росстат, 2024. 118 с.
14. **Ревич Б. А., Сидоренко В. Н.** Экономические последствия воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения. М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. 56 с.
15. **Цветков П.** Как лесные пожары влияют на окружающую среду? Красноярск: Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2019. URL: https://ksc.krasn.ru/news/forest_fires_environment (дата обращения: 14.03.2024).
16. **Яблоков А. В.** Россия: здоровье природы и людей. М.: Яблоко, 2007. 224 с. URL: <https://rus-green.ru/news/11716> (дата обращения: 10.01.2025).
17. **Ballester J.** Heat-related Mortality in Europe During the Summer of 2022. / Quijal-Zamorano M., Méndez Turrubiates R. F., Pegenaute F., Hermann F. R., Robin J. M., Basagaña X., Tonne C., Antó J. M., Achebak H. // Nature Medicine. 2023. Vol. (29). P. 1857–1866. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37429922/> (дата обращения: 11.01.2025).
18. **Cicoira M.** Ambient air pollution as a new risk factor for cardiovascular diseases: Time to take action // Eur. J. Prev. Cardiol. 2018. P. 816–817. DOI: 10.1177/2047487318770827. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29651882/> (accessed date: 06.01.2025).

19. **Cohen A., Brauer M., Burnett R., et al.** Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 // *Lancet*. 2017. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28408086/> (accessed date: 11.01.2025).
20. **Dockery D. W., Pope 3rd C. A., Xu X., Spengler J. D., Ware J. H., Fay M. E., Ferris Jr B. G., Speizer F. E.** An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities // *N. Engl. J. Med.* 1993. DOI: 10.1056/NEJM199312093292401. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8179653/> (accessed date: 12.01.2025).
21. **Hadley M., Baumgartner J., Vedanthan R.** Developing a clinical approach to air pollution and cardiovascular health. // *Circulation*. 2018. 725–742. DOI: 10.1161/circulationaha.117.030377 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29440198/> (accessed date: 11.01.2025).
22. **Kloog I., Zanobetti A., Nordio F., Coull B. A., Baccarelli A. A., Schwartz J.** Effects of airborne fine particles (PM_{2.5}) on deep vein thrombosis admissions in the northeastern United States. DOI: 10.1111/jth.12873 // *J. Thromb Haemost.* 2015. 13 (5). 768–774. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25678264/> (дата обращения: 06.01.2025).
23. **Shahriyari H. A., Nikmanesh Y., Jalali S.** Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Disease // *Toxin Reviews*. 2022. Vol. 41(2). P. 606–617. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1080/15569543.2021.1887261> (accessed date: 11.01.2025).
24. **Zanobetti A., Dominici F., Wang Y., Schwartz J.** A national case-crossover analysis of the short-term effect of PM_{2.5} on hospitalizations and mortality in subjects with diabetes and neurological disorders. DOI: 10.1186/1476-069X-13-38. // *Environ Health*. 2014. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24886318/> (accessed date: 11.01.2025).

References

1. **Gichev Yu. P.** Environmental determinacy of major diseases and reduction of life expectancy. Novosibirsk, SB RAMS, 2000, 90 p.
2. **Marenko Yu. A., Larionov V. G.** Types of anthropogenic pollution of the natural environment and its impact on the health of the urban population as a factor of national security. *Bulletin of NSU. Series: Social and economic sciences*, 2014, no. 14(1), pp. 27–34. (in Russ.)
3. **Lisitsyn Yu. P., Ulumbekova G. E.** Public health and healthcare / 3rd ed., revised. and additional. Moscow, GEOTAR-Media, 2013, 544 p. (in Russ.)
4. **Gilmundinov V. M., Kazantseva L. K., Tagaeva T. O., Kugaevskaya K. S.** Environmental pollution and public health in Russia. *Bulletin of the Novosibirsk State University. Series: Social and Economic Sciences*, 2012, no. 12 (3), pp. 63–74. (in Russ.)
5. **Yablokov A. V.** Russia: health of nature and people. Moscow: «Yabloko» Publishing House, 2007, 224 p. URL: <https://rus-green.ru/news/11716> (date of access 10.01.2025). (in Russ.)

6. **Lyapin V. A., Kazakovtsev V. P., Semenova N. V.** Features of morbidity of the population of a large industrial city. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12869> (date of access 16.12.2024). (in Russ.)
7. **Ballester J., Quijal-Zamorano M., Méndez Turrubiates R. F., Pegenaute F., Hermann F. R., Robin J. M., Basagaña X., Tonne C., Antó J. M., Achebak H.** Heat-related Mortality in Europe During the Summer of 2022. *Nature Medicine*, 2023, vol. 29, pp. 1857–1866. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37429922/> (date of access 11.01.2025).
8. **Revich B. A., Sidorenko V. N.** Economic consequences of the impact of polluted environment on public health. Eds Zakharov V. M., Bobylev S. N. Moscow, Akropol, CEPR, 2007, 56 p. (in Russ.)
9. **Burmatova O. P., Sumskaya T. V.** Forecasting population morbidity in conditions of air pollution. *Region: economics and sociology*, 2017, no. 2, pp. 287–307. DOI: 10.15372/REG20170214. (in Russ.)
10. **Eyseeva G. P., Pichugina S. V., Yakovlev E. I., Pepelyaeva L. R.** Ecological impact of the quality of the environment of Khabarovsk Krai on the level of morbidity of the child population. *Regional problems*, 2018, vol. 21, no. 4, pp. 93–100. DOI: 10.31433/1605-220X-2018-21-4-93-100 (in Russ.)
11. **Shahriyari H. A., Nikmanesh Y., Jalali S.** Air Pollution and Human Health Risks: Mechanisms and Clinical Manifestations of Cardiovascular and Respiratory Disease. *Toxin Reviews*, 2022, vol. 41 (2), pp. 606–617. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1080/15569543.2021.1887261> (date of access 11.01.2025).
12. **Zanobetti A., Dominici F., Wang Y., Schwartz J.** A national case-crossover analysis of the short-term effect of PM_{2.5} on hospitalizations and mortality in subjects with diabetes and neurological disorders. *Environ Health*, 2014. DOI: 10.1186/1476-069X-13-38. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24886318/> (date of access 11.01.2025).
13. **Cohen A., Brauer M., Burnett R. et al.** Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, 2017. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28408086/> (date of access 11.01.2025).
14. **Hadley M., Baumgartner J., Vedanthan R.** Developing a clinical approach to air pollution and cardiovascular health. *Circulation*, 2018, pp. 725–742. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.030377 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29440198/> (date of access 11.01.2025).
15. **Cicoira M.** Ambient air pollution as a new risk factor for cardiovascular diseases: Time to take action. *Eur. J. PrevCardiol*, 2018, pp. 816–817. DOI: 10.1177/2047487318770827 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29651882/> (date of access 06.01.2025).
16. **Dockery D. W., Pope 3rd C. A., Xu X., Spengler J. D., Ware J. H., Fay M. E., Ferris Jr B. G., Speizer F. E.** An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *NEJM*, 1993. DOI: 10.1056/NEJM199312093292401; URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8179653/> (date of access 12.01.2025).

17. **Kloog I., Zanobetti A., Nordio F., Coull B. A., Baccarelli A. A., Schwartz J.** Effects of airborne fine particles (PM_{2.5}) on deep vein thrombosis admissions in the northeastern United States. *JThrombHaemost*, 2015. DOI: 10.1111/jth.12873 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25678264/> (date of access 06.01.2025).
18. Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2022. Ed. G. M. Chernogaeva. Moscow, ROSHYDROMET, 2023, 215 p. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (date of access 16.03.2024).
19. State report «On the state and protection of the environment in the constituent entities of the Russian Federation in 2022» / Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. 2023. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (date of access 27.02.2024). (in Russ.)
20. **Tsvetkov P.** How do forest fires affect the environment? Krasnoyarsk, V. N. Sukachev Forest Institute SB RAS, 2019. URL: https://ksc.krasn.ru/news/forest_fires_environment (date of access 14.03.2024). (in Russ.)
21. Environmental protection in Russia. 2024: Stat. collection; Rosstat. Moscow, 2024, 118 p. (in Russ.)
22. **Kanina A. R.** The impact of polluted air on human health. *The Scientific Heritage*, 2021, vol. 78, pp. 15–16. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-78-2-15-16.
23. **Artamonova G. V., Shapovalova E. B., Maksimov S. A., Skripchenko A. E., Ogarkov M. Yu.** Environment as a risk factor for the development of coronary heart disease in an urbanized region with a developed chemical industry. *Cardiology*, 2012, no. 10, pp. 86–90. (in Russ.)
24. **Aganbegyan A. G.** On the transformation of the socio-economic system of Russia: what they wanted and what happened. *World of Changes*, 2023, no. 2, pp. 17–44. (in Russ.)

Информация об авторах

Тагаева Татьяна Олеговна, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН; профессор кафедры экономической теории Новосибирского государственного университета
РИНЦ: 71056
SCOPUS: 6507464776
Research ID: AAA-4504-2021

Казанцева Лидия Кузьминична, кандидат исторических наук, ведущий инженер Института экономики и организации промышленного производства СО РАН
РИНЦ: 155126
SCOPUS: 56500282000

Савина Анжелика Ивановна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН; доцент кафедры менеджмента Новосибирского государственного университета
РИНЦ: 426356

Масютина Анастасия Евгеньевна, бакалавр Новосибирского государственного университета

Information about the Authors

Tatiana O. Tagaeva, Doctor of Economics, Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Economics and Industrial Production Organization SB RAS; Professor of the Department of Economic Theory, Novosibirsk National Research State University (Novosibirsk, Russian Federation)

RSCI: 71056

SCOPUS: 6507464776

Research ID: AAA-4504-2021

Lidiya K. Kazantseva, PhD in History, Leading Engineer, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)

RINTS: 155126

SCOPUS: 56500282000

Anzhelika I. Savina, PhD in Economics, Senior Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor, Department of Management, Novosibirsk National Research State University (Novosibirsk, Russian Federation)

RINTS:426356

Anastasia E. Masyutina, Bachelor, Novosibirsk National Research State University (Novosibirsk, Russian Federation)

*Статья поступила в редакцию 15.01.2025;
одобрена после рецензирования 15.02.2025; принята к публикации 25.02.2025*

*The article was submitted 15.01.2025;
approved after reviewing 15.02.2025; accepted for publication 25.02.2025*