



© Коллектив авторов, 2023
УДК 614.7:574.3

Оценка риска для здоровья населения при загрязнении воздуха в условиях проведения ликвидационно-рекультивационных работ на угольной шахте

В.В. Кислицына, Д.В. Суржилов, Ю.С. Ликонцева, Р.А. Голиков, Д.В. Пестерева

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, д. 23, г. Новокузнецк, 654041, Российская Федерация

Резюме

Введение. В Кузбассе существует острая необходимость в рекультивации нарушенных земель для уменьшения их неблагоприятного влияния на окружающую среду.

Цель исследования: определить риск для здоровья населения от влияния загрязнения воздушной среды в условиях проведения ликвидационно-рекультивационных работ на угольной шахте.

Материалы и методы. Для исследования использован том предельно допустимых выбросов ликвидированной угольной шахты. Оценка распространения и воздействия загрязняющих веществ проведена в 40 расчетных точках, выбранных на основе карты города Прокопьевска Кемеровской области. Рассчитаны максимальные и средние концентрации загрязняющих примесей. Значения канцерогенного риска и рисков неканцерогенных эффектов определены с использованием Руководства Р 2.1.10.1920–04, рисков хронической интоксикации – на основании методики А.П. Щербо и соавт. Проведено сопоставление рассчитанных значений рисков с их приемлемыми уровнями. Рассчитаны значения рисков с учетом влияния фоновых концентраций веществ.

Результаты. В перечень приоритетных загрязняющих веществ вошли неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния 20–70 %, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, углерод (сажа), оксид углерода, неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния менее 20 %. Превышений расчетных максимальных и средних концентраций загрязняющих примесей, поступающих в воздушную среду города при проведении рекультивационных работ на закрытой угольной шахте, не обнаружено во всех расчетных точках. Индексы опасности при острых воздействиях загрязняющих веществ превышают приемлемый уровень в трех точках, расположенных ближе к источникам. Канцерогенные риски не превышают уровень приемлемого риска во всех точках. Суммарные риски хронической интоксикации превышают приемлемое значение в двух точках в 1,2 и 1,75 раза соответственно. Индексы опасности с учетом фона превышают приемлемый уровень во всех точках воздействия в 1,448–2,603 раза. Канцерогенный риск с учетом фона находится на уровне приемлемого риска. Основными критическими органами и системами, на которые оказывается наибольшее воздействие, являются органы дыхания и кровь. Суммарные риски хронической интоксикации, определенные с учетом влияния фоновых концентраций атмосферных загрязнителей, превышают приемлемый уровень по всем точкам в 3,15–5,40 раза.

Заключение. Рекультивационные работы не оказывают существенного воздействия на воздушную среду и здоровье населения города Прокопьевска. Суммарные риски хронической интоксикации и индексы опасности превышают приемлемый уровень в селитебных зонах, расположенных в непосредственной близости к площадке рекультивации. Высокие уровни индексов опасности и суммарных рисков хронической интоксикации во всех расчетных точках, рассчитанные с учетом фона, определяются общей неблагоприятной экологической ситуацией в городе с интенсивным развитием угольной промышленности.

Ключевые слова: угольная шахта, ликвидация горных выработок, рекультивационные работы, загрязнение воздуха, фоновые концентрации, риски для здоровья.

Для цитирования: Кислицына В.В., Суржилов Д.В., Ликонцева Ю.С., Голиков Р.А., Пестерева Д.В. Оценка риска для здоровья населения при загрязнении воздуха в условиях проведения ликвидационно-рекультивационных работ на угольной шахте // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 6. С. 54–62. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-6-54-62>

Assessing Population Health Risks Posed by Air Pollution Related to Coal Mine Reclamation

Vera V. Kislytsyna, Dmitry V. Surzhikov, Julia S. Likontseva, Roman A. Golikov, Dina V. Pestereva

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases,
23 Kutuzov Street, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

Summary

Introduction: There is an urgent need for reclamation of abandoned coal mine lands in Kuzbass to reduce their adverse effects on the environment.

Objective: To assess risks to public health posed by air pollution associated with coal mine liquidation and land reclamation.

Materials and methods: We used data on the volume of maximum permissible emissions of the abandoned coal mine area for 2019 to assess the spread and exposure to pollutants at 40 points selected on the map of the city of Prokopyevsk, Kemerovo Region, and to estimate the maximum and mean concentrations of the contaminants. The values of carcinogenic risk and risks of non-carcinogenic effects were calculated in compliance with the Russian Guidelines R 2.1.10.1920–04, Human Health Risk Assessment from Environmental Chemicals, while risks of chronic toxicity were assessed using methods by Shcherbo et al. The calculated risk values were then compared with their acceptable levels. Risks were also assessed with account for the contribution of background concentrations of chemicals.

Results: The list of priority pollutants included inorganic dust containing 20–70 % SiO₂, nitrogen dioxide, nitrogen oxide, sulfur dioxide, carbon (soot), carbon monoxide, and inorganic dust containing < 20 % SiO₂. The estimated maximum and mean concentrations of airborne pollutants during mine reclamation activities were not exceeded at any exposure point. Hazard indices for acute exposures to pollutants exceeded the acceptable level at three points located closer to the sources. Carcinogenic risks did not exceed the level of acceptable risk at any point. Total risks of chronic toxicity were 1.2 and 1.75 times higher than acceptable at two points. Hazard indices estimated with account for the background

levels of pollutants were 1.448–2.603 times higher than the acceptable level at all exposure points. The carcinogenic risk assessed taking into account the background levels was found to be acceptable. The most affected (target) critical organs and systems were respiratory organs and blood. Total risks of chronic poisoning assessed with account for background concentrations of ambient air pollutants exceeded the acceptable level by 3.15–5.40 times at all points.

Conclusions: Reclamation activities have no significant effect on ambient air quality and health of the population of Prokopyevsk. Total risks of chronic toxicity and hazard indices exceed acceptable levels in residential areas located close to the reclamation site. High hazard indices and total risks of chronic toxicity established at all exposure points taking into account background concentrations of contaminants, are determined by generally poor environmental conditions in the city with the intensively developing coal industry.

Keywords: coal mine, mine liquidation, land reclamation, air pollution, background concentrations, health risks.

For citation: Kislitsyna VV, Surzhikov DV, Likontseva JS, Golikov RA, Pestereva DV. Assessing population health risks posed by air pollution related to coal mine reclamation. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(6):54–62. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-6-54-62>

Введение. Кузбасс является крупнейшим угледобывающим регионом России, уникальным по качеству угля и его запасам. Угледобыча играет важную роль в экономике региона и тесно связана с металлургической и энергетической отраслями промышленности, также широко представленными в Кемеровской области [1]. Однако добыча угля сопряжена с рядом проблем, приводящих к экологическому риску и представляющих серьезную опасность для окружающей среды и здоровья населения [2, 3]. Негативное влияние угледобывающих предприятий на экологию региона проявляется в изъятии из землепользования и нарушении земель, загрязнении их отходами добычи и переработки угля. При закрытии нерентабельных шахт происходит изменение их антропогенного воздействия на природную среду с проявлением таких негативных явлений, как интенсификация сдвижения массива горных пород и земной поверхности, образование провалов и просадок [4, 5]. Согласно данным Южно-Сибирского межрегионального управления Росприроднадзора, площадь нарушенных земель в границах Кемеровской области при разработке месторождений полезных ископаемых по состоянию на начало 2021 года составила 108 074 тыс. га¹.

На территории Кузнецкого угольного бассейна существует острая необходимость в рекультивации нарушенных земель и ликвидации негативного воздействия предприятий угледобывающего и углеперерабатывающего комплекса на экологическую ситуацию в регионе [6, 7]. В Кузбассе находятся 82 потенциально опасных объекта – наследия накопленного ущерба окружающей среде после проведенной реструктуризации угольной промышленности [8]. Многие из них сосредоточены на территории Прокопьевско-Киселевского каменноугольного промышленного района [9].

Оценке влияния предприятий угледобычи на экологическую ситуацию в Кузбассе, загрязнения воздушной среды, проблем деградации природных ресурсов региона, влияния атмосферных выбросов угольных шахт на здоровье жителей области посвящено значительное количество научных работ [10–14]. При этом проблеме оценки риска для здоровья населения от воздействия загрязняющих примесей, поступающих в атмосферу при проведении рекультивационных работ на ликвидированных угольных предприятиях, до сих пор не уделялось особого внимания, что определяет актуальность настоящего исследования.

Цель исследования – определить риск для здоровья населения от влияния загрязнения воздушной среды в условиях проведения ликвидационно-рекультивационных работ на угольной шахте.

Материалы и методы. Площадка ликвидации горных выработок шахты имени Ворошилова располагается в городе Прокопьевске Кемеровской области. Город Прокопьевск имеет сложную планировку, исторически сложившуюся по принципу «шахта-поселок», которая проявляется в хаотичном размещении предприятий, чередовании жилых и промышленных застроек с зонами нарушенных земель. Также сложность представляет наличие в пределах городской черты выходов угольных пластов, разработка которых открытым и подземным способами привела к тому, что значительная часть территории города нарушена, заполнена отвалами пород и терриконами, как правило, прошедшими этап самовозгорания, зонами провалов. Карьерные выемки и отвалы вскрышных пород значительны и загрязняют пылью близлежащие земли [4]. Общая площадь нарушенных земель в административных границах Прокопьевска составляет 2482 тыс. га (12,5 % от общей площади земель).

Шахта имени Ворошилова являлась одним из крупнейших предприятий Кузбасса, добывающих высококачественные коксующиеся угли, была закрыта в 2013 году. Шахта находится в центре жилого массива города Прокопьевска и граничит с действующей шахтой имени Дзержинского, законсервированными шахтами «Коксовая», «Красногорская» и ликвидированной шахтой имени Калинина. Численность населения города составляет 190 тыс. человек. Для исследования использовался том предельно допустимых выбросов (том ПДВ) площадки закрытой угольной шахты от 2019 г. Предельно допустимые выбросы предприятия – это нормативы вредных выбросов веществ, которые регламентируют максимально допустимый объем и состав вредных веществ, выбрасываемых данным предприятием в атмосферный воздух. Том ПДВ содержит необходимые для расчетов данные: перечень загрязняющих веществ, объемы выбросов, высоты и диаметры источников выбросов, скорости выхода газовоздушной смеси из устьев источников, температуры отходящих газовоздушных смесей. Источниками загрязнения атмосферного воздуха при проведении рекультивации являются работа бульдозера CATD9R и экскаватора Hitachi ZX1900;

¹ Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2021 году. Кемерово, 2022. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://ecokem.ru/wp-content/uploads/2022/04/doclad_2021.pdf (дата обращения: 10 апреля 2023 г.).

разгрузка вскрыши, плодородного слоя почвы и глины; транспортировка материалов автосамосвалами «БелАЗ-75131» и «БелАЗ-7555».

Расчетные максимальные и средние концентрации загрязняющих примесей, поступающих в атмосферный воздух при проведении рекультивационных работ, определены в 40 точках воздействия концентраций (ТБК), выбранных на основе карты города в селитебных зонах, расположенных в основном ближе к источникам выбросов, и с учетом розы ветров. Преобладающими направлениями ветров являются южное и юго-западное. ТБК располагались на расстоянии 210–13 000 м от источников загрязнения с началом жилой застройки. Расчеты концентраций загрязняющих веществ в ТБК выполнены с использованием программы «ЭКОцентр – Стандарт» с учетом приказа Минприроды России от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»².

Канцерогенный риск и риск развития неканцерогенных эффектов определены согласно Руководству 2.1.10.1920–04³. Верхней границей допустимого канцерогенного индивидуального риска считается 1×10^{-4} . Риск неканцерогенных эффектов оценивался на основе расчетов коэффициентов и индексов опасности для острых и хронических токсических эффектов. Приемлемое значение индекса опасности равняется 1. Риск хронической интоксикации (вероятность получения заболевания хронического характера, обусловленная длительным воздействием химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе) определен согласно методике А.П. Щербо и соавт.⁴ Приемлемое значение суммарного риска хронической интоксикации составляет 0,02. При расчетах период экспозиции принимался за 30 лет для неканцерогенных эффектов, 70 лет – для канцерогенных (при условии сохранения уровня средних концентраций загрязняющих веществ в течение этого времени).

Также в работе были рассчитаны значения уровней рисков с учетом влияния фоновых концентраций загрязняющих примесей. Фоновая концентрация вещества (фон) – характеристика загрязнения атмосферы, которая создается всеми источниками выбросов на территории, исключая источник, для которого рассчитан фон. За фоновую концентрацию принимается статистически достоверная максимальная разовая концентрация примесей, значение которой превышает в 5 % случаев⁵. Фоновые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе представлены в томе ПДВ. Мониторинг качества атмосферного воздуха на территории города Прокопьевска осуществляется на двух стационарных постах Кемеровским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей

среды – филиалом федерального государственного бюджетного учреждения «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», предоставившим значения средних фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Результаты. Суммарные выбросы от источников площадки ликвидации шахты составляют 571,2 т/год (18,6 г/с). Наибольшие объемы выбросов выявлены у неорганической пыли, содержащей диоксид кремния в количестве 20–70 % – 235,0 т/г (14,1 г/с), и диоксида азота – 184,3 т/г (2,1 г/с). Референтные концентрации веществ (RfC) составили: у диоксида азота – 0,04 мг/м³, оксида азота – 0,06 мг/м³, углерода (сажи) – 0,05 мг/м³, диоксида серы – 0,05 мг/м³, оксида углерода – 3 мг/м³, пыли неорганической ($\text{SiO}_2 < 20\%$) – 0,05 мг/м³, пыли неорганической ($\text{SiO}_2 20\text{--}70\%$) – 0,1 мг/м³. Индексы неканцерогенной опасности составили: у неорганической пыли с долей содержания диоксида кремния 20–70 % – 450 824, у диоксида азота – 353 497, у оксида азота – 57 443, у диоксида серы – 21 287, у углерода (сажи) – 14 135, у оксида углерода – 1441, у неорганической пыли с содержанием диоксида кремния менее 20 % – 39. Суммарный индекс неканцерогенной опасности составил 898 666, основной удельный вес имеют неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния 20–70 % (50,17 %) и диоксид азота (39,34 %). Расчет канцерогенного риска проводился от воздействия одного вещества – углерода (сажи). Фактор канцерогенного потенциала при ингаляционном воздействии (Sfi) углерода составил $0,0155 \text{ (мг/(кг} \times \text{сут))}^{-1}$, индекс канцерогенной опасности составил 99.

Рассчитанные максимальные концентрации загрязняющих веществ, попадающих в воздушную среду города от площадки ликвидации шахты, находятся в диапазоне от 0,0004 мг/м³ (ТБК № 39) у неорганической пыли, содержащей диоксид кремния в количестве ниже 20 %, до 0,270 мг/м³ (ТБК № 2) у неорганической пыли с содержанием диоксида кремния 20–70 %. Максимальные концентрации, выраженные в долях ПДК (ПДКм.р.)⁶, у выбранных неканцерогенных веществ варьируются от 0,00001 у неорганической пыли с содержанием диоксида кремния менее 20 % в ТБК № 38–40 до 0,910 у неорганической пыли с долей содержания диоксида кремния 20–70 % в ТБК № 2. Максимальные концентрации сажи находятся в интервале от 0,0001 мг/м³ (ТБК № 39) до 0,015 мг/м³ (ТБК № 2). Во всех расчетных точках не выявлено превышения ПДКм.р. загрязняющих веществ.

Максимальные концентрации, рассчитанные с учетом воздействия фоновых концентраций атмосферных примесей, определены в интервале от 4×10^{-6} мг/м³ у неорганической пыли с содер-

² Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273

³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920–04. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава РФ.; 2004

⁴ Щербо А.П., Киселев А.В., Негриенко К.В., Мироненко О.В., Филатов В.Н. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска. СПб.: СПбМАПО, 2002. 376 с

⁵ Руководство по контролю загрязнения атмосферы: РД 52.04.186–89. Введен 01.07. 1991

⁶ Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685–21. Введен 01.03.2021.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-6-54-62>
Original Research Article

жанием диоксида кремния менее 20 % в ТВК № 39 до 4,42 мг/м³ у оксида углерода в ТВК № 2. Расчетные максимальные концентрации сажи с учетом фона находятся в диапазоне от 0,048 мг/м³ в ТВК № 39 до 0,083 мг/м³ в ТВК № 2. Кратности превышения ПДКм.р. неканцерогенных веществ с учетом фона варьируются от 1×10^{-5} у неорганической пыли с содержанием диоксида кремния менее 20 % в ТВК № 38–40 до 0,97 у диоксида азота в ТВК № 2. По всем веществам во всех ТВК не наблюдается превышений ПДКм.р. с учетом фона.

Средние концентрации загрязняющих веществ находятся в диапазоне от 1×10^{-9} мг/м³ (ТВК № 37–40) у неорганической пыли, содержащей диоксид кремния в количестве менее 20 %, до 0,025 мг/м³ у диоксида азота в ТВК № 2. Средние концентрации сажи находятся в диапазоне от 0,00001 мг/м³ (ТВК № 38–40) до 0,002 мг/м³ (ТВК № 2). Кратности превышения ПДКс.с. неканцерогенных веществ варьируются от 5×10^{-9} у неорганической пыли с содержанием диоксида кремния менее 20 % в ТВК № 39–40 до 0,610 у диоксида азота в ТВК № 2.

Таблица 1. Значения индексов опасности по точкам воздействия

Table 1. Values of hazard indices by exposure points

№ ТВК / EP No.	Индекс опасности для острых воздействий / Hazard index for acute exposures	Индекс опасности для хронических воздействий / Hazard index for chronic exposures	Индекс опасности с учетом фона / Hazard index with account for the background
1	4,22	0,628	2,391
2	7,83	0,925	2,603
3	1,47	0,278	2,205
4	0,71	0,344	2,215
5	0,46	0,206	2,161
6	0,32	0,073	2,091
7	0,32	0,073	2,111
8	0,32	0,073	2,091
9	0,14	0,019	2,045
10	0,10	0,013	2,045
11	0,18	0,024	2,047
12	0,21	0,031	2,047
13	0,50	0,132	2,115
14	0,10	0,010	2,045
15	0,10	0,013	2,045
16	0,16	0,036	2,047
17	0,18	0,063	2,074
18	0,22	0,067	2,111
19	0,22	0,065	2,111
20	0,24	0,099	2,113
21	0,38	0,159	2,142
22	0,22	0,063	2,074
23	0,27	0,038	2,049
24	0,18	0,032	1,937
25	0,14	0,031	1,844
26	0,57	0,266	2,198
27	0,40	0,162	2,142
28	0,38	0,071	2,113
29	0,32	0,065	2,091
30	0,14	0,031	2,047
31	0,11	0,016	2,045
32	0,14	0,016	2,045
33	0,22	0,034	2,047
34	0,24	0,036	2,047
35	0,24	0,036	2,047
36	0,10	0,013	2,045
37	0,10	0,007	2,038
38	0,10	0,007	2,035
39	0,07	0,008	1,448
40	0,07	0,010	1,483

Примечание: ТВК – точки воздействия концентраций.

Abbreviation: EP, exposure point.

По всем веществам во всех ТВК не наблюдается превышений ПДКс.с.

Средние концентрации загрязняющих веществ, рассчитанные с учетом фона, находились в пределах от 1×10^{-9} мг/м³ у неорганической пыли, содержащей диоксид кремния в количестве ниже 20 % в ТВК № 37–40, до 2,02 мг/м³ у оксида углерода в ТВК № 2. Средние концентрации сажи с учетом фона варьируются от 0,020 мг/м³ в ТВК № 39 до 0,031 мг/м³ в ТВК № 2. По всем веществам во всех ТВК не наблюдается превышений ПДКс.с. учетом фоновых концентраций.

В табл. 1 представлены результаты расчетов индексов опасности для острых и хронических воздействий загрязняющих веществ, а также индексы опасности, определенные с учетом фоновых воздействий загрязняющих веществ.

Наибольшие индексы опасности для острых воздействий загрязняющих веществ составили 4,22 в ТВК № 1; 7,83 – в ТВК № 2; 1,47 – в ТВК № 3, превышая приемлемый уровень, равный 1. Таким образом, для населения, проживающего в этих районах, вероятно развитие неблагоприятных эффектов при ежедневном поступлении веществ на таком же

Таблица 2. Значения рисков по точкам воздействия

Table 2. Risks values by exposure points, expressed as shares of acceptable risk

№ ТВК / EP No.	Суммарный риск хронической интоксикации / Total risk of chronic toxicity		Канцерогенный риск / Carcinogenic risk	
	без учета фона / without the background	с учетом фона / with account for the background	без учета фона / without the background	с учетом фона / with account for the background
1	0,024	0,100	4×10^{-7}	1×10^{-4}
2	0,035	0,108	9×10^{-7}	1×10^{-4}
3	0,011	0,094	4×10^{-7}	1×10^{-4}
4	0,013	0,094	4×10^{-7}	1×10^{-4}
5	0,008	0,092	2×10^{-7}	1×10^{-4}
6	0,003	0,090	4×10^{-8}	1×10^{-4}
7	0,003	0,090	4×10^{-8}	1×10^{-4}
8	0,003	0,090	4×10^{-8}	1×10^{-4}
9	0,0007	0,088	2×10^{-8}	1×10^{-4}
10	0,0005	0,088	1×10^{-8}	1×10^{-4}
11	0,0009	0,088	2×10^{-8}	1×10^{-4}
12	0,001	0,088	3×10^{-8}	1×10^{-4}
13	0,005	0,091	1×10^{-7}	1×10^{-4}
14	0,0004	0,088	9×10^{-9}	1×10^{-4}
15	0,0005	0,088	9×10^{-9}	1×10^{-4}
16	0,001	0,088	4×10^{-8}	1×10^{-4}
17	0,003	0,089	4×10^{-8}	1×10^{-4}
18	0,003	0,090	4×10^{-8}	1×10^{-4}
19	0,003	0,090	4×10^{-8}	1×10^{-4}
20	0,004	0,090	9×10^{-8}	1×10^{-4}
21	0,006	0,091	1×10^{-7}	1×10^{-4}
22	0,003	0,089	4×10^{-8}	1×10^{-4}
23	0,002	0,088	4×10^{-8}	1×10^{-4}
24	0,001	0,083	2×10^{-8}	1×10^{-4}
25	0,001	0,080	2×10^{-8}	1×10^{-4}
26	0,010	0,093	3×10^{-7}	1×10^{-4}
27	0,006	0,091	1×10^{-7}	1×10^{-4}
28	0,003	0,090	9×10^{-8}	1×10^{-4}
29	0,003	0,090	4×10^{-8}	1×10^{-4}
30	0,001	0,088	2×10^{-8}	1×10^{-4}
31	0,0006	0,088	1×10^{-8}	1×10^{-4}
32	0,0006	0,088	1×10^{-8}	1×10^{-4}
33	0,001	0,088	4×10^{-8}	1×10^{-4}
34	0,001	0,088	4×10^{-8}	1×10^{-4}
35	0,001	0,088	4×10^{-8}	1×10^{-4}
36	0,0005	0,088	1×10^{-8}	1×10^{-4}
37	0,0003	0,088	9×10^{-9}	1×10^{-4}
38	0,0003	0,088	4×10^{-9}	1×10^{-4}
39	0,0003	0,063	4×10^{-9}	1×10^{-4}
40	0,0004	0,065	4×10^{-9}	1×10^{-4}

Примечание: ТВК – точки воздействия концентраций.

Abbreviation: EP, exposure point.

уровне в течение жизни. В остальных точках индексы опасности находились на уровне ниже приемлемого. Индексы опасности, рассчитанные для хронических воздействий загрязняющих веществ, не превышали приемлемый уровень во всех ТВК. Индексы опасности с учетом фона находились в пределах от 2,603 в ТВК № 2 до 1,448 в ТВК № 39, превышая приемлемый уровень во всех точках воздействия.

Основными критическими органами и системами, на которые оказывается наибольшее воздействие загрязняющих веществ как без учета фона, так и с учетом фоновой нагрузки, являются органы дыхания и кровь.

Значения суммарных рисков хронической интоксикации, а также значения канцерогенных рисков, выраженные в долях от единицы, представлены в табл. 2.

Риски хронической интоксикации определены в интервале от 1×10^{-6} в ТВК № 36–40 от воздействия неорганической пыли с содержанием диоксида кремния ниже 20 % до 0,024 в ТВК № 2 от воздействия диоксида азота. Значения суммарных рисков хронической интоксикации находятся в диапазоне от 0,0003 в ТВК № 37–39 до 0,035 в ТВК № 2. Суммарные риски хронической интоксикации превышают приемлемое значение (0,02) в ТВК № 1 в 1,2 раза и в ТВК № 2 – в 1,75 раза. В остальных расчетных точках суммарные риски не превышают приемлемый уровень. Основную долю в формировании уровней суммарных рисков хронической интоксикации имеет диоксид азота (удельный вес составляет от 25,9 до 81,7 % по разным ТВК).

Риски хронической интоксикации, рассчитанные с учетом влияния фоновых концентраций атмосферных примесей, находятся в интервале от 1×10^{-9} от воздействия неорганической пыли с содержанием диоксида кремния ниже 20 % до 0,038 – от оксида углерода. Значения суммарных рисков хронической интоксикации, рассчитанные с учетом фона, находятся в диапазоне от 0,063 в ТВК № 39 до 0,108 в ТВК № 2, превышая приемлемый уровень (0,02) во всех точках воздействия в 3,15–5,40 раза. Основной удельный вес в формировании суммарного риска хронической интоксикации с учетом фона имеет оксид углерода, составляя 29,7–6,1 % в разных ТВК.

Рассчитанный канцерогенный риск находился в диапазоне от 9×10^{-7} в ТВК № 2 до 4×10^{-9} в ТВК № 38–40, не превышая уровень приемлемого риска во всех точках. Канцерогенный риск, обусловленный воздействием углерода (сажи), с учетом фона составил 1×10^{-4} во всех точках, что соответствует верхней границей допустимого канцерогенного индивидуального риска.

Обсуждение. Кузбасс, обладающий уникальными природными богатствами и значительным промышленным потенциалом, имеет большое значение для развития экономики страны. Однако высокая степень концентрации производственных объектов на территории области способствует тому, что проживающее здесь население постоянно под-

вергается влиянию высокого уровня загрязнения атмосферы [15, 16].

Стратегия социально-экономического развития Кузбасса до 2035 года, принятая в регионе в 2018 году, ориентирует на обеспечение полноценного и достойного качества жизни кузбассовцев. Одним из основных принципов Стратегии является экологичность и снижение загрязнения окружающей среды на территории Кемеровской области – Кузбасса. Поставлена главная цель: улучшение качества атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах и в наиболее загрязненных городах региона [17]. Для этого в крупных промышленных городах области разработаны комплексные программы по охране атмосферного воздуха. Восстановление огромных площадей нарушенных земель требует создания Фонда рекультивации земель Кузбасса, деятельность которого позволит уменьшить накопленный вред окружающей среде и обеспечит недропользование, совместимое с комфортным проживанием людей на территории региона. Целями создания фонда являются улучшение экологической ситуации в регионе, восстановление первоначальной ценности земли, пополнение земельных ресурсов для дальнейшего использования, в том числе в сельском хозяйстве⁷.

Важным моментом при реализации ликвидационно-рекультивационных мероприятий на угольных промышленных объектах является определение степени неблагоприятного влияния атмосферных выбросов на здоровье проживающего в таких районах населения, для чего возможно применение методологии оценки риска, дающей возможность получить количественную оценку возможного вреда здоровью [18–21]. Методология оценки риска является самым надежным и перспективным способом определения этого влияния. Практическое использование методологии оценки риска имеет значение для определения региональных особенностей формирования загрязнения воздушной среды, выявления приоритетных токсичных веществ, которые вносят наибольший вклад в нарушение состояния здоровья населения, а также для ранжирования районов города по уровням загрязнения и рискам нарушения здоровья населения, определения наиболее неблагоприятных для проживания территорий [22–25].

В настоящем исследовании выявлены основные атмосферные примеси, попадающие в воздушную среду города Прокопьевска при проведении рекультивационных работ на закрытой угольной шахте (неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния 20–70 %, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, углерод (сажа), оксид углерода, неорганическая пыль с содержанием диоксида кремния менее 20 %), а также неблагоприятные для проживания населения микрорайоны города, расположенные ближе к площадкам ликвидации горных выработок. Показано, что превышений расчетных максимальных и средних концентраций всех загрязняющих веществ, попадающих в атмо-

⁷ Закон Кемеровской области – Кузбасса «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Кемеровской области – Кузбасса на период до 2035 года» от 26 декабря 2018 года № 122-ОЗ.

ферный воздух города в ходе проведения работ, не выявлено во всех расчетных точках.

Наибольшие индексы опасности для острых воздействий составили 4,22 в ТВК № 1; 7,82 – в ТВК № 2; 1,47 – в ТВК № 3, превышая приемлемый уровень, равный 1. Канцерогенный риск не превышает уровень приемлемого риска во всех расчетных точках. Следует отметить недоучет канцерогенного риска, рассчитанного только от воздействия углерода (сажи), без учета влияния возможных канцерогенных компонентов выбросов дизельных двигателей бульдозеров и самосвалов, участвующих на постоянной основе в процессе рекультивации. Данные о таких веществах отсутствуют в томе ПДВ. Основными критическими органами и системами, на которые оказывается наибольшее воздействие, являются органы дыхания и кровь. Суммарные риски хронической интоксикации превышают приемлемый уровень в ТВК № 1, 2 в 1,2 и 1,75 раза соответственно.

Индексы опасности с учетом фона превышают приемлемый уровень во всех точках воздействия в 1,448–2,603 раза. Канцерогенный риск с учетом фона находится на уровне приемлемого индивидуального риска. Основными критическими органами и системами, на которые оказывается наибольшее воздействие загрязняющих веществ с учетом фонового воздействия, также являются органы дыхания и кровь. Суммарные риски хронической интоксикации, определенные с учетом влияния фоновых концентраций атмосферных загрязнителей, превышают приемлемый уровень во всех расчетных точках в 3,15–5,40 раза.

Заключение. Таким образом, если рассматривать только вклад деятельности по рекультивации ликвидированных горных выработок, реализуемые программы по восстановлению нарушенных земель не оказывают значительного воздействия на воздушную среду и, как следствие, на здоровье проживающего в таких районах населения. Суммарные риски хронической интоксикации и индексы опасности превышают приемлемый уровень в жилых зонах, расположенных в непосредственной близости к площадке рекультивации. Высокие уровни индексов опасности и суммарных рисков хронической интоксикации во всех расчетных точках, рассчитанные с учетом фонового воздействия загрязняющих веществ, определяют общую неблагоприятную экологическую ситуацию в городе с интенсивным развитием угольной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Логинова Е.Ю. «Кузбасс» и «уголь» в контексте совершенствования механизмов гармонизации развития // Мир экономики и управления. 2019. Т. 19. № 2. С. 89–98. doi: 10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98
2. Копытов А.И., Манаков Ю.А., Куприянов А.Н. Развитие угледобычи и проблемы сохранения экосистем в Кузбассе // Уголь. 2017. № 3. С. 72–77. doi: 10.18796/0041-5790-2017-3-72-77
3. Семина И.С., Андроханов В.А. Почвенно-экологическое обследование участков, рекультивированных отходами углеобогащения, на примере Кемеровской области – Кузбасса // Уголь. 2021. № 7. С. 57–62. doi: 10.18796/0041-5790-2021-7-57-62
4. Быкадоров А.И., Чернуха А.В., Свирко С.В. Аспекты ликвидации шахт Прокопьевско-Киселевского угольного месторождения // Уголь. 2018. № 2. С. 88–94. doi: 10.18796/0041-5790-2018-2-88-94
5. Жидков А.Н., Коженков Л.Л. Рекультивация нарушенных земель // Лесохозяйственная информация. 2019. № 3. С. 134–145. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.11
6. Харионовский А.А., Данилова М.Ю. Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 3. С. 72–77.
7. Рябов В.А., Мамасев П.С., Егорова Н.Т. Антропогенная нагрузка на природную среду как фактор, формирующий качество жизни населения индустриального Кузбасса // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 2. С. 84–90. doi: 10.24411/1816-1863-2018-12084
8. Исроилов Р.М. Проблемы, вызванные закрытием шахт, и перспективы развития угольной промышленности в Кемеровской области // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 2. С. 54–56.
9. Радионова Е.А., Слесаренко Е.В. Оценка экологической безопасности промышленных регионов (на примере Кемеровской области) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2019. Т. 15. № 3. С. 575–592. doi: 10.24891/ni.15.3.575
10. Сугак Е.В. Устойчивое развитие и экологическая безопасность регионов Сибири // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 3-1. С. 104–114.
11. Молев М.Д., Меркулова М.А. Управление экологической безопасностью региона на стадии ликвидации угольных шахт // Научный вестник МГТУ. 2013. № 7. С. 56–62.
12. Косинский П.Д., Бондарев Н.С., Бондарева Г.С. Воздействие эколого-экономических факторов на качество жизни населения техногенного региона // Фундаментальные исследования. 2016. № 11-4. С. 711–716.
13. Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Олещенко А.М. Влияние выбросов предприятий угольной промышленности на здоровье населения // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16. № 3. С. 27–32.
14. Шутько Л.Г., Самородова Л.Л. Влияние угледобывающей промышленности Кузбасса на здоровье населения региона // Уголь. 2021. № 9. С. 46–50. doi: 10.18796/0041-5790-2021-9-46-50
15. Шевелева О.Б., Зонина О.В., Слесаренко Е.В. Экологическая безопасность регионов сырьевой ориентации: инвестиционно-инновационный аспект // Уголь. 2022. № 6. С. 67–73. doi: 10.18796/0041-5790-2022-6-67-73
16. Михайлов В.Г., Киселева Т.В., Михайлова Я.С. Формирование системы управления эколого-экономической безопасностью угледобывающего региона // Уголь. 2021. № 12. С. 50–56. doi: 10.18796/0041-5790-2021-12-50-56
17. Цивилев С.Е. Грамотное развитие угольной отрасли Кузбасса – залог его достойного будущего // Горная промышленность. 2019. № 4. С. 40–43.
18. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения // Анализ риска здоровью. 2022. № 3. С. 4–20. doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01
19. Кузьмин С.В., Гурвич В.Б., Диконская О.В., Малых О.Л., Ярушин С.В. Методология оценки и управления риском для здоровья населения в системе законодательного регулирования санитарно-эпидемиологического благополучия населения // Медицина труда и промышленная экология. 2016. № 1. С. 4–8.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-6-54-62>
Original Research Article

20. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Авалиани С.Л., Синицына О.О., Шашина Т.А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования // Анализ риска здоровью. 2015. № 2. С. 4–11.
21. Май И.В., Зайцева Н.В. Показатели риска и вреда здоровью населения в системе новых механизмов мониторинга и управления качеством воздуха // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 10. С. 7–15. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-7-15
22. Сергеева М.В., Якушева М.Ю. Оценка риска влияния загрязнения окружающей среды на здоровье населения на муниципальном уровне // Гигиена и санитария. 2010. Т. 89. № 1. С. 21–23.
23. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В., Мишина А.Л., Ярушин С.В. Современные вопросы оценки и управления риском для здоровья // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 12. С. 1125–1129. doi: 0016-9900-2017-96-12-1125-1129
24. Мякишева Ю.В., Федосейкина И.В., Михайлюк Н.А., Сказкина О.Я., Алешина Ю.А., Павлов А.Ф. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на формирование риска здоровью населения экологически неблагоприятного района крупного промышленного центра // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 3. С. 44–52. doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52
25. Ревич Б.А. Планирование городских территорий и здоровье населения: аналитический обзор // Анализ риска здоровью. 2022. № 1. С. 157–169. doi: 10.21668/health.risk/2022.1.17

REFERENCES

1. Fridman YuA, Rechko GN, Loginova EYu. “Kuzbass” and “coal” in the context of perfecting development harmonization mechanisms. *Mir Ekonomiki i Upravleniya*. 2019;19(2):89–98. (In Russ.) doi: 10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98
2. Kopytov AI, Manakov YuA, Kupriyanov AN. Coal mining and issued of ecosystem preservation in Kuzbass. *Ugol’*. 2017;(3):72–77. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2017-3-72-77
3. Semina IS, Androkhonov VA. Environmental and soil survey of sites reclaimed using coal processing wastes, as exemplified by the Kemerovo region, Kuzbass. *Ugol’*. 2021;(7):57–62. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2021-7-57-62
4. Bykadorov AI, Chernukha AV, Svirko SV. Aspects of liquidation of mines of the Prokopyevsko-Kiselevsky coal deposit. *Ugol’*. 2018;(2):88–94. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2018-2-88-94
5. Zhidkov AN, Kozhenkov LL. Reclamation of disturbed lands. *Lesokhozyaystvennaya Informatsiya*. 2019;(3):134–145. (In Russ.) doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.11
6. Harionovskij AA, Danilova MYu. Reclamation of disturbed lands in the coal industry. *Vestnik Nauchnogo Tsentra*

po Bezopasnosti Rabot v Ugol'noy Promyshlennosti. 2017;(3):72–77. (In Russ.)

7. Ryabov VA, Mamasyov PS, Egorova NT. Anthropogenic load on the environment as a factor forming the quality of life of the population of the industrial Kuzbass. *Ekologiya Urbanizirovannykh Territoriy*. 2018;(2):84–90. (In Russ.) doi: 10.24411/1816-1863-2018-12084
8. Isroilov RM. The problems caused by closing of mines and prospects of development of the coal industry in the Kemerovo region. *Nauchnyye Problemy Transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 2015;(2):54–56. (In Russ.)
9. Radionova EA, Slesarenko EV. Evaluation of the environmental security of industrial regions: Evidence from the Kemerovo Oblast. *Natsional'nye Interesy: Priority i Bezopasnost'*. 2019;15(3):575–592. (In Russ.) doi: 10.24891/ni.15.3.575
10. Sugak EV. Sustainable development and ecological safety regions of Siberia. *Vestnik Altayskoy Akademii Ekonomiki i Prava*. 2019;(3-1):104–114. (In Russ.)
11. Molev MD, Merkulova MA. Environmental safety management region in the process of liquidation of coal mines. *Nauchnyy Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta*. 2013;(7):56–62. (In Russ.)
12. Kosinsky PD, Bondarev NS, Bondareva GS. Impact of ekologo-ekonomicheskikh faktorov on quality of life of the population of the technogenic region. *Fundamental'nye Issledovaniya*. 2016;(11-4):711–716. (In Russ.)
13. Surzhikov DV, Kisilitsyna VV, Oleshchenko AM. Influence of the emissions of coal industry enterprises on public health. *Meditsina v Kuzbasse*. 2017;16(3):27–32. (In Russ.)
14. Shut'ko LG, Samorodova LL. [Influence of the coal-mining industry of Kuzbass on the health of the population of the region.] *Ugol’*. 2021;(9):46–50. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2021-9-46-50
15. Sheveleva OB, Zonova OV, Slesarenko EV. Ecological safety of regions with raw material orientation: investment and innovation aspect. *Ugol’*. 2022;(6):67–73. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2022-6-67-73
16. Mikhaylov VG, Kiseleva TV, Mikhaylova YaS. Development of a system to manage the environmental and economic security of a coal mining region. *Ugol’*. 2021;(12):50–56. (In Russ.) doi: 10.18796/0041-5790-2021-12-50-56
17. Tsvilev SE. [Competent development of the coal industry of Kuzbass is the key to its worthy future.] *Gornaya Promyshlennost'*. 2019;(4):40–43. (In Russ.)
18. Zaitseva NV, Onishchenko GG, May IV, Shur PZ. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022;(3):4–20. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2022.3.01
19. Kuz'min SV, Gurvitch VB, Dikonskaya OV, Malykh OL, Yarushin SV. Methodology of assessing and evaluating public health risk in legal regulation of sanitary epidemiologic well-being of population. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya*. 2016;(1):4–8. (In Russ.)
20. Rakhmanin YA, Novikov SM, Avaliani SL, Sinitsyna OO, Shashina TA. Actual problems of environmental factors risk assessment on human health and ways to improve it. *Health Risk Analysis*. 2015;(2):4–9. (In Russ.)

Сведения об авторах:

✉ **Кислицына** Вера Викторовна – к.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>.

Суржилов Дмитрий Вячеславович – д.б.н., доцент, заведующий лабораторией экологии человека и гигиены окружающей среды; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7469-4178>.

Ликонцева Юлия Сергеевна – научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>.

Голиков Роман Анатольевич – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3112-2919>.

21. May IV, Zaitseva NV. Population health risk and harm indicators in the system of new mechanisms for air quality monitoring and management. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(10):7-15. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-10-7-15
22. Sergeyeva MV, Yakusheva MYu. Human health risk assessment of environmental pollution at the municipal level. *Gigena i Sanitariya*. 2010;89(1):21-23. (In Russ.)
23. Popova AYu, Gurvich VB, Kuzmin SV, Mishina AL, Yarushin SV. Modern issues of the health risk assessment and management. *Gigena i Sanitariya*. 2017;96(12):1125-1129. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-12-1125-1129
24. Myakisheva YuV, Fedoseikina IV, Mikhayluk NA, Skazkina OYa, Aleshina YuA, Pavlov AF. Ambient air pollution and population health risks in a contaminated area of a large industrial center. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2022;30(3):44-52. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52
25. Revich BA. Urban planning and public health: analytical review. *Health Risk Analysis*. 2022;(1):157-161. (In Russ.) doi: 10.21668/health.risk/2022.1.17

Пестерева Дина Викторовна – старший научный сотрудник лаборатории экологии человека и гигиены окружающей среды; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3013-3432>.

Информация о вкладе авторов: концепция и дизайн исследования: *Кислицына В.В., Суржилов Д.В.*; сбор и обработка данных: *Ликонцева Ю.С., Голиков Р.А.*; анализ и интерпретация результатов: *Кислицына В.В., Суржилов Д.В.*; литературный обзор: *Пестерева Д.В.*; подготовка рукописи: *Кислицына В.В., Суржилов Д.В., Пестерева Д.В.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требовало заключения этического комитета.

Финансирование: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 17.04.23 / Принята к публикации: 25.05.23 / Опубликовано: 30.06.23

Author information:

✉ Vera V. Kislitsyna, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731>.

Dmitry V. Surzhikov, Dr. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Head of the Laboratory of Human Ecology and Environmental Health; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7469-4178>.

Julia S. Likontseva, Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533>.

Roman A. Golikov, Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3112-2919>.

Dina V. Pestereva, Senior Researcher, Laboratory of Human Ecology and Environmental Health; e-mail: ecologia_nie@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3013-3432>.

Author contributions: study conception and design: *Kislitsyna V.V., Surzhikov D.V.*; data collection and processing: *Likontseva Yu.S., Golikov R.A.*; analysis and interpretation of results: *Kislitsyna V.V., Surzhikov D.V.*; literature review: *Pestereva D.V.*; draft manuscript preparation: *Kislitsyna V.V., Surzhikov D.V., Pestereva D.V.* All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare

Received: April 17, 2023 / Accepted: May 25, 2023 / Published: June 30, 2023