

## Проблемные статьи

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Бакиров А.Б.<sup>1,2</sup>, Валеев Т.К.<sup>1</sup>, Сулейманов Р.А.<sup>1</sup>, Рахматуллин Н.Р.<sup>1</sup>, Бактыбаева З.Б.<sup>1</sup>

### ПРОБЛЕМЫ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ ПРИ РАЗРАБОТКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОПЫТ ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ, СВЯЗАННОЙ С ВЫБРОСАМИ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

<sup>1</sup>Федеральное бюджетное учреждение науки «Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа;<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 450008, Уфа

**Введение.** При разработке и эксплуатации рудных месторождений существует риск неблагоприятного воздействия от возникновения эндогенных рудничных пожаров (самовозгорание руды), вследствие которых происходят выбросы в атмосферу значительных количеств вредных и ядовитых газопылевых примесей. Данное исследование проведено в связи со сложившейся неблагоприятной санитарно-эпидемиологической обстановкой на территории города Сибай Республики Башкортостан вследствие тления серосодержащей рудной породы подземного рудника. Цель исследования – оценка эколого-гигиенической ситуации, связанной с загрязнением атмосферного воздуха продуктами тления рудной породы карьера Сибайского подземного рудника.

**Материал и методы.** Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий г. Сибая была проведена на основе анализа данных мониторинговых исследований 4 независимых лабораторий (более 40 000 проб атмосферного воздуха). Расчёты и оценка риска здоровью населения проводились в соответствии с Руководством 2.1.10.1920-04. Статистическая обработка осуществлялась с использованием программы «Microsoft Excel».

**Результаты.** В период интенсивного тления рудной породы Сибайского подземного рудника в атмосферном воздухе отдельных районов города обнаружались концентрации химических веществ, превышающие гигиенические нормы (ПДК<sub>м.р.</sub>) в 30 и более раз – по диоксиду серы, 80 и более раз – по дигидросульфиду. Значения индексов опасности в отношении органов дыхания при комбинированном ингаляционном воздействии веществ: дигидросульфида, диоксида серы, оксида азота, диоксида азота колеблются в диапазоне от 0,3 (допустимый риск) до 18,4 (высокий риск). Наибольший вклад в формирование риска здоровью вносят диоксид серы (коэффициент опасности до 14) и дигидросульфид (коэффициент опасности до 6,6).

**Заключение.** Для медно-колчеданных месторождений, представленных пиритом, халькопиритом, пирротинном, существует высокая склонность к самовозгоранию – возникновению эндогенных пожаров. Тление рудной породы Сибайского подземного рудника повлекло за собой загрязнение атмосферного воздуха селитебных территорий дигидросульфидом и диоксидом серы, что способствовало формированию повышенного неканцерогенного риска для здоровья населения.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; серосодержащие соединения; атмосферный воздух; загрязнение; город Сибай; риск для здоровья населения; гигиеническая оценка.

**Для цитирования:** Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Рахматуллин Н.Р., Бактыбаева З.Б. Проблемы эндогенных пожаров при разработках рудных месторождений и опыт гигиенической оценки аварийной ситуации, связанной с выбросами серосодержащих соединений. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(9): 917-922. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-917-922>

**Для корреспонденции:** Валеев Тимур Камилевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела медицинской экологии ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», 450106, Уфа. E-mail: [valeevtk2011@mail.ru](mailto:valeevtk2011@mail.ru)

**Благодарность.** Авторы выражают благодарность специалистам ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Управления Роспотребнадзора по РБ, Главного управления МЧС России по РБ за оказанную помощь в подготовке данной публикации.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Сулейманов Р.А.; сбор и обработка материала – Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Рахматуллин Н.Р.; статистическая обработка – Валеев Т.К., Бактыбаева З.Б.; написание текста – Валеев Т.К.; редактирование – Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Рахматуллин Н.Р.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 01.07.2019

Принята к печати 23.07.19

Опубликована: октябрь 2019

Bakirov A.B.<sup>1,2</sup>, Valeev T.K.<sup>1</sup>, Suleimanov R.A.<sup>1</sup>, Rakhmatullin N.R.<sup>1</sup>, Baktybaeva Z.B.<sup>1</sup>

### PROBLEMS OF ENDOGENOUS FIRES IN THE DEVELOPMENT OF THE ORE DEPOSITS AND THE EXPERIENCE OF THE HYGIENIC ASSESSMENT OF THE EMERGENCY, THE EMISSION OF SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS

<sup>1</sup>Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation;<sup>2</sup>Bashkir State Medical University, Ufa, 450008, Russian Federation

**Introduction.** In the development and operation of ore deposits, there is a risk of adverse effects from the occurrence of endogenous mine fires (spontaneous combustion of ore), as a result of which there are emissions of significant amounts of harmful and poisonous gas-dust impurities into the atmosphere. This study was conducted in connection

with the current unfavorable sanitary and epidemiological situation in the city of Sibay of the Republic of Bashkortostan, due to the decay of sulfur-containing ore of the underground mine.

**The purpose of the study** is to assess the ecological and hygienic situation associated with air pollution by the decay products of the ore rock of the Sibai underground mine.

**Material and methods.** The assessment of the level of air pollution in residential areas of Sibai was carried out on the basis of the analysis of monitoring data of 4 independent laboratories (more than 40000 samples from atmospheric air). Calculations and assessment of public health risk were carried out in accordance with the Guidelines 2.1.10.1920-04. Statistical processing was carried out using the software "Microsoft Excel".

**Results.** During the period of an intensive decay of the ore rock of the Sibay underground mine in the atmospheric air of some areas of the city, there were found concentrations of sulfur dioxide and hydrogen sulfide exceeding hygienic standards (maximum permissible concentration) by 30 or more times and 80 or more times correspondingly. The values of hazard indices in relation to the respiratory system when combined inhalation substances: hydrogen sulfide, sulfur dioxide, nitrogen oxide, nitrogen dioxide were ranging from 0,3 (acceptable risk) to 18,4 (high risk). Sulfur dioxide (the hazard ratio to 14.0) and hydrogen sulfide (the hazard ratio to 6.6) made the greatest contribution to the formation of a health risk.

**Conclusion.** There is a high tendency to spontaneous combustion – the emergence of endogenous fires for copper-pyrite deposits represented by pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite. The decay of the ore rock of the Sibay underground mine resulted in air pollution of residential areas with hydrogen sulfide and sulfur dioxide, which contributed to the formation of an increased non-carcinogenic risk to public health.

**Key words:** heavy metals; sulfur-containing compounds; atmospheric air; pollution; Sibai city; public health risk; hygienic assessment.

**For citation:** Bakirov A.B., Valeev T.K., Suleimanov R.A., Rakhmatullin N.R., Baktybaeva Z.B. Problems of endogenous fires in the development of the ore deposits and the experience of the hygienic assessment of the emergency, the emission of sulfur-containing compounds. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(9): 917-922. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-917-922>

**For correspondence:** Timur K. Valeev, MD, Ph.D., senior researcher of the Department of medical ecology of the Ufa Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, 450106, Russian Federation. E-mail: [valeevtk2011@mail.ru](mailto:valeevtk2011@mail.ru)

**Information about authors:** Bakirov A.B. <https://orcid.org/0000-0003-3510-2595>;  
Valeev T.K. <https://orcid.org/0000-0001-7801-2675>; Suleimanov R.A. <https://orcid.org/0000-0002-4134-5828>;  
Rakhmatullin N.R. <https://orcid.org/0000-0002-3091-8029>; Baktybaeva Z.B. <https://orcid.org/0000-0003-1249-7328>

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution:** The concept and design of the study – Bakirov A.B., Valeev T.K., Suleimanov R.A.; Collection and processing of material – Valeev T.K., Suleimanov R.A., Rakhmatullin N.R.; Statistical processing – Valeev T.K., Baktybaeva Z.B.; Writing the text – Valeev T.K.; Editing – Bakirov A.B., Valeev T.K., Suleimanov R.A.; Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: July 01, 2019

Accepted: July 23, 2019

Published October 2019

## Введение

Горнодобывающая промышленность в Российской Федерации (РФ) является одной из важнейших отраслей экономического развития страны. РФ занимает первое место в мире по количеству видов добываемых полезных ископаемых и третье (после США и Китая) по общему объёму добычи [21].

В то же время в условиях разработки и последующей эксплуатации месторождений существует риск техногенного воздействия на окружающую среду, и как следствие – влияние на здоровье населения, проживающего в индустриально развитых регионах [2, 6, 7, 19, 21]. Технология добычи и обогащения руд заключается в извлечении и переработке огромных масс горных пород, из которых используется лишь небольшая часть. На территориях, прилегающих к горнорудным предприятиям, накапливается большое количество отходов добычи, содержащих тяжёлые металлы (ТМ): цинк, медь, мышьяк, свинец, марганец, кадмий, ртуть, хром и др. [2, 5, 18, 19, 22, 23]. Антропогенное воздействие горнодобывающих предприятий проявляется через набор факторов: выбросы поллютантов, сброс загрязнённых сточных вод, изъятие земель из сельскохозяйственного оборота, изменение естественного режима химизма вод и т. д. Открытая разработка полезных ископаемых с использованием взрывного способа отбойки руды в районе горнодобывающих комплексов наносит существенный урон природной среде. Технологические процессы при добыче и переработке

рудного сырья сопровождаются выбросом в атмосферу пыли, ТМ, продуктов взрывных работ и т. д. Как правило, в районах разработки рудных месторождений формируется зона аномального запыления почв. Содержание тяжёлых металлов в почве (медь, никель, цинк, кадмий, кобальт, хром, ванадий и др.) превышает природный фон в несколько десятков раз [1, 4, 5]. Загрязнение атмосферы, природных вод и верхней части почвенного покрова вредными веществами нарушает естественный процесс геоэкологической саморегуляции природной среды и может привести к быстрой и необратимой её деградации. Под влиянием системы гидрозащиты карьеров нарушается режим подземных вод в радиусе до 80 км и более [2, 21].

Заболеемость населения, проживающего в регионах с развитой горнорудной промышленностью, характеризуется ростом числа хронических неинфекционных заболеваний – болезней крови и кроветворной системы, органов пищеварения, мочеполовой системы, новообразований, врождённых аномалий [2, 4, 19, 21]. В отдельных регионах наблюдается депопуляционный процесс, и убыль населения достигает больших значений.

Наряду с множеством факторов негативного влияния горнорудных производств на природную среду и здоровье человека существует также и риск неблагоприятного воздействия от возникновения аварийных, нештатных ситуаций природно-техногенного характера (рудничные пожары от самовозгорания руды), вследствие которых происходят выбросы в атмосферу значительных количеств вредных и ядовитых газопылевых примесей,

содержащих ТМ, CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и др. [6, 8, 10, 13]. В отличие от экзогенных пожаров, возникающих на рудниках вследствие «человеческого фактора» (при коротком замыкании электрического тока, небрежного обращения с открытым огнём, горения кабеля, нарушение правил безопасности при сварочных работах и др.), эндогенные пожары возникают без прямого участия человека – при разработке месторождений полезных ископаемых с большим содержанием соединений металлов (цинка, меди, свинца, железа, никеля и др.), так называемых сульфидов [10, 13, 16, 17]. Под действием кислорода сульфиды окисляются с выделением тепла. В тех случаях, когда генерация тепла больше теплоотдачи его во внешнюю среду, массив самовозгорается. По мере повышения температуры ускоряется процесс окисления, и одновременно увеличивается теплоотдача [16, 20]. При эндогенных пожарах температура вещества повышается за счёт химических процессов.

Наиболее часто эндогенные пожары возникают от самовозгорания полезного ископаемого в отработанных карьерах, выработанных участках, завалах, где по различным причинам могло остаться полезное ископаемое, склонное к окислению. Процесс окисления и самовозгорания сульфидных руд протекает на поверхности или неглубоко от неё, поэтому плотные руды не самовозгораются до их отбойки и разрыхления. Опасности самовозгорания подвергаются разрыхлённые руды, а также массивы руды, находящиеся в целиках, разбитых трещинами, в которые проникают воздух и влага, способствующие окислению и самовозгоранию. Опасными в пожарном отношении являются участки месторождения со скоплениями отбитой руды, рудной мелочи и пыли [13, 16].

Подобная ситуация произошла и на территории размещения недействующего карьера Сибайского подземного рудника – филиала Учалинского ГОК в г. Сибай Республики Башкортостан (РБ), где в конце 2018 г. произошло самовозгорание рудной породы на бортах карьера. Вследствие этого в атмосферном воздухе отдельных территорий города появился густой туман (смог) и резкий неприятный запах. В администрацию от жителей начали поступать обращения и жалобы на недомогания и дискомфортные ощущения, вызванные задымлением и наличием едкого запаха в городе. В Сибайе был объявлен повышенный режим готовности. Городскими властями были организованы лабораторные исследования по определению уровня загрязнения атмосферного воздуха. Проведённый анализ отобранных проб воздуха показал, что в отдельных пунктах наблюдения в атмосфере были обнаружены повышенные концентрации дигидросульфида (сероводорода) и диоксида серы.

На основании письменных обращений Управления Роспотребнадзора по РБ и Главного управления МЧС по РБ специалистами Уфимского НИИ медицины труда и экологии человека было проведено исследование по оценке эколого-гигиенической ситуации территории г. Сибай.

Основными задачами данного исследования являлись:

1. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий г. Сибай, расположенных на разной удалённости от источника загрязнения.
2. Оценка возможного риска для здоровья населения, обусловленного острой ингаляционной экспозицией химических соединений из атмосферного воздуха.
3. Обоснование гигиенических рекомендаций для разработки мероприятий по улучшению экологической ситуации и снижению токсического воздействия серосодержащих соединений на организм жителей г. Сибай.

## Материал и методы

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий г. Сибай был проведён анализ данных мониторинговых исследований 3 независимых лабораторий ГБУ РБ «СОМГЗ», ГБУ РБ «УГАК», Минэкологии, размещённых на сайте администрации города [15], и данных лабораторий ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» по Республике Башкортостан. Для оценки экспозиции при кратковременном (остром) ингаляционном воздействии токсикантов использовался 95%-й перцентиль значений данных максимальных разовых концентраций. Всего в исследовании было проанализировано более 40 000 проб атмосферного воздуха. Расчёты и оценка риска здоровью населения проводились в соответствии с Руководством 2.1.10.1920-04. Статистическая обработка осуществлялась с использованием программы «Microsoft Excel».

## Результаты

Город Сибай является наиболее крупным населённым пунктом Зауралья Республики Башкортостан и одним из наиболее значимых промышленных, культурных и образовательных центров. По состоянию на 1 января 2018 г. численность населения Сибая составила 62 553 человека.

11 декабря 2018 г. в городе Сибай появился густой туман с резким неприятным запахом. По официальным данным, источником смога в городе явились два очага тления рудной породы на южном и северном бортах недействующего карьера промышленной площадки Сибайского подземного рудника – филиала ОАО «Учалинский ГОК», на глубине около 400 м.

В связи с этой ситуацией городскими властями были организованы лабораторные исследования по определению уровня загрязнения атмосферного воздуха. Мониторинг за качеством воздушной среды осуществлялся силами 4 независимых передвижных лабораторий – ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по РБ», ГБУ РБ «СОМГЗ», ГБУ РБ «УГАК», Минэкологии. Пробы атмосферного воздуха отбирались в круглосуточном режиме (каждые 2 ч) в установленных пунктах наблюдения, а также по адресам обращений жителей города.

Анализ проб воздуха показал, что в отдельных пунктах наблюдения периодически регистрировались повышенные максимальные разовые концентрации серосодержащих соединений (дигидросульфида – более 0,008 мг/м<sup>3</sup> и диоксида серы – более 0,5 мг/м<sup>3</sup>), содержание других химических примесей в атмосферном воздухе не превышало допустимые значения, за исключением единичных случаев регистрации повышенных концентраций азота диоксида (до 1,18 раза), углерода (до 5,39 раза), оксида никеля (до 1,12 раза). В отдельные периоды в пунктах наблюдения, расположенных в непосредственной близости от карьера (до 2 км), уровень загрязнения атмосферного воздуха серосодержащими соединениями характеризовался как очень высокий. Максимальные значения концентраций дигидросульфида достигали 0,65 мг/м<sup>3</sup> (превышение ПДК<sub>м.р.</sub> в 81,2 раза), диоксида серы – 15 мг/м<sup>3</sup> (превышение ПДК<sub>м.р.</sub> в 30 раз).

В пунктах наблюдения, удалённых от источника выделения вредных веществ на расстояние 2–5 км, уровень загрязнения атмосферного воздуха серосодержащими соединениями также являлся повышенным, однако их концентрации были значительно ниже.

Наиболее неблагоприятный период, связанный с загрязнением атмосферного воздуха серосодержащими соединениями в г. Сибай, наблюдался в январе-феврале



2019 г. По данным лабораторных исследований, с февраля 2019 г. в пробах воздуха в концентрациях, превышающих гигиенические нормы, обнаруживались только соединения диоксида серы, а концентрации дигидросульфида не превышали допустимые значения.

Расчёты по оценке риска показали, что значения индексов опасности в отношении органов дыхания при комбинированном остром ингаляционном воздействии веществ: дигидросульфида, диоксида серы, оксида азота, диоксида азота колеблются в диапазоне от 0,3 (допустимый риск) до 18,4 (высокий риск). Наиболее высокие уровни риска для здоровья населения были рассчитаны в период интенсивного горения рудной породы карьера, когда в атмосферном воздухе концентрация токсикантов значительно превышала допустимые значения.

Ведущий вклад в формирование рассчитанного риска здоровью вносят диоксид серы (коэффициент опасности до 14) и дигидросульфид (коэффициент опасности до 6,6). Значения индексов опасности в отношении других критических органов и систем организма при экспозиции токсикантами были незначительны.

Установленные уровни неканцерогенного риска здоровью населения, связанные с острой ингаляционной экспозицией серосодержащих соединений (диоксида серы и дигидросульфида), свидетельствуют о повышенной вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны органов дыхания и необходимости разработки управленческих решений и адресных мероприятий. Наиболее высокому риску для здоровья подвергались жители Сибая, проживающие вблизи источника загрязнения на расстоянии до 2 км.

В период неблагоприятной эколого-гигиенической обстановки в г. Сибай работала мультидисциплинарная врачебная бригада ведущих медицинских организаций РБ. За весь период в городе вели приём более 180 специалистов, которыми было принято около 19 тыс. человек, в том числе более 7 тыс. детей.

При анализе заболеваемости населения по обращаемости за медицинской помощью выявлен несколько повышенный уровень заболеваемости органов дыхания (острые респираторные заболевания верхних дыхательных путей).

Населению Сибая была оказана необходимая лечебная и консультативно-диагностическая помощь. Часть населения, проживающая в непосредственной близости от зоны выбросов, была вывезена для оздоровления и реабилитации в санаторно-курортные учреждения РФ.

После реализации мероприятий по локализации и ликвидации окислительных процессов в Сибайском карьере путём подтопления основных очагов тления рудной породы в марте 2019 г. было достигнуто снижение выделения газопаровой смеси на 95%.

С этого момента количество серосодержащих соединений (серы диоксид, дигидросульфид) в атмосферном воздухе в пунктах наблюдения практически не превышало допустимые гигиенические нормы. От жителей города прекратились обращения и жалобы в медицинские учреждения.

На протяжении всего периода неблагоприятной экологической ситуации институтом осуществлялся ежедневный анализ состояния загрязнения атмосферного воздуха и рассчитывались возможные уровни риска для здоровья жителей Сибая. Администрацией города было организовано информирование населения о складывающейся обстановке и принимаемых мерах посредством проведения брифингов, размещения официальных комментариев на сайтах города и в социальных сетях. Результаты исследо-

вания проб атмосферного воздуха публикуются ежедневно на официальном сайте администрации города [15].

## Обсуждение

Ряд месторождений рудоносных регионов нашей страны имеют потенциальную опасность к самовозгоранию руд и вмещающих пород. К ним следует отнести крупномасштабные глубоко залегающие медно-никелевые месторождения Норильско-Талнахского рудного региона, кимберлитовые месторождения Якутии, сульфидные и медные месторождения Урала, Кавказа, Сибири и Приморья, включая перспективное крупномасштабное медное Удоканское месторождение, а также рудники Кривого Рога [10]. Случаи эндогенных рудничных пожаров были зафиксированы на Николаевском и Орловском месторождениях Казахстана [14, 20], Мардауском фосфоритном месторождении в Эстонии [16], подземном руднике Гайского ГОК [3].

Сибайское медно-колчеданное месторождение было открыто в 1913 г., в 1915 г. пробита разведочная шахта, в 1948 г. основан Башкирский медно-серный комбинат – градообразующее предприятие города Сибай, которое с 2004 г. является филиалом ОАО «Учалинский ГОК». В составе Сибайского филиала находятся два крупных карьера (Сибайское и Кагаманское месторождения), подземный рудник (месторождение Новый Сибай), Сибайская обогатительная фабрика, известняковый карьер, хвостохранилища. Большую площадь занимают отвалы накопленных вскрышных пород (объемом более 600 млн тонн), обогащённых Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Ni, Co, Pb и др. Основными видами продукции, выпускаемой Сибайским филиалом ОАО «Учалинский ГОК», являются: концентрат медный, концентрат цинковый, шебель известняковый, шебель из горных пород, чугуны и стальное литьё. В 2000 г. из Сибайского карьера была добыта 100-миллионная тонна руды с начала отработки, а в 2004 г. из карьера вынута последняя тонна руды. С этого времени обогатительная фабрика Сибайского филиала работает на руде Кагаманского и Ново-Сибайского месторождений, а Сибайский карьер является закрытым. Сибайский карьер – один из самых глубоких в мире, его глубина составляет более 500 м, диаметр чаши 2 км [11, 17].

Сибайское месторождение относится к типу колчеданных и медно-колчеданных. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит и халькопирит, второстепенные – мельниковит-пирит, пирротин, магнетит и др. Аналогичными месторождениями являются Гайское (Урал) и Рио-Тинто (Испания) [11]. Склонность колчеданных руд к самовозгоранию зависит от их минералогического состава и текстурно-структурных особенностей, а также влажности и концентрации кислорода. Наиболее пожароопасными материалами являются пирит и халькопирит. Интенсивность окисления пирита в тесном контакте с халькопиритом увеличивается в несколько раз [14]. Медленное окисление пирита с выделением сернистого газа наблюдается уже при температуре 170–260 °С. Поскольку основные рудообразующие минералы Сибайского колчеданного месторождения представлены пиритом, халькопиритом, пирротином, можно предположить их высокую склонность к самовозгоранию.

Динамика уровня высокого загрязнения атмосферы Сибая вредными веществами за исследуемый период имела непостоянный характер: значения обнаруживаемых концентраций серосодержащих соединений в воздухе постоянно колебались (изменялись как в большую, так и в меньшую сторону), в отдельные периоды времени содержание токсикантов, превышающих нормы, не было заре-

гистрировано ни одной лабораторией. Установлено, что наиболее высокие концентрации серосодержащих соединений были зарегистрированы при формировании неблагоприятных метеорологических условий: штиль (ветер менее 0,5 м/с) и слабый ветер (1–4 м/с), туман и приземная температурная инверсия, повышенная влажность воздуха. При сильном (более 10 м/с) ветре, независимо от его направления, как правило, превышения ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе территорий жилой застройки не фиксировались.

Необходимо отметить, что в данном исследовании для оценки экспозиции при расчётах уровня риска здоровью населения были использованы значения только максимальных разовых концентраций поллютантов, что может свидетельствовать только об остром ингаляционном воздействии веществ. Для более полной оценки возможного ущерба здоровью населения необходимо учитывать также и эффекты хронического ингаляционного воздействия. К факторам неопределённости следует отнести и различное время оседания референтных уровней, характеризующих острое воздействие, которое не всегда соответствует принятой в РФ практике учёта максимальных разовых концентраций.

При оценке эколого-гигиенической ситуации в г. Сибай не учитывался уровень загрязнения токсикантами других объектов (почвенный покров, вода поверхностных и подземных водоисточников, продукты питания, выращенные в данном регионе, биологические среды человека и др.).

Тем не менее результаты исследования показали, что подобная ситуация, сложившаяся в Сибайе, может вызвать высокое загрязнение атмосферного воздуха токсичными веществами и способствовать формированию повышенного риска для здоровья населения.

## Заключение

Развитие горнорудной промышленности приводит к тому, что природные ландшафты этих территорий испытывают сильное техногенное воздействие. Значительные объёмы накопленных отходов на ограниченных территориях создают напряжённую экологическую ситуацию, связанную с загрязнением объектов окружающей среды [1, 2, 7, 9, 12, 22, 23].

Помимо эколого-гигиенических проблем, возникающих от действующих предприятий горнорудной промышленности, существует также риск негативного влияния от действующих, отработанных производств. Так, недействующий карьер Сибайского подземного рудника – филиала Учалинского ГОК – явился источником загрязнения атмосферного воздуха селитебных территорий серосодержащими соединениями. Из-за обезвоживания горных массивов в процессе разработки карьера, недостаточности проведения своевременных рекультивационных и восстановительных мероприятий в бортах горного массива Сибайского карьера произошло самовозгорание руды – естественный химический процесс окисления рудообразующих материалов (пирит, халькопирит и др.) с выделением больших количеств сернистого газа.

Как показали исследования, качество атмосферного воздуха города Сибай не соответствовало требованиям государственных санитарно-эпидемиологических правил и нормативов<sup>1</sup> и гигиенических нормативов<sup>2</sup>. В отдель-

ные периоды в пунктах наблюдения, расположенных в непосредственной близости от карьера (на расстоянии до 2 км), уровень загрязнения атмосферного воздуха серосодержащими соединениями характеризовался как очень высокий. В воздухе селитебных территорий города присутствовали повышенные концентрации соединений серы в виде дигидросульфида и диоксида серы. Наиболее высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха наблюдались при формировании неблагоприятных метеорологических условий (штиль, слабый ветер (1–4 м/с), туман и приземная температурная инверсия, повышенная влажность воздуха).

Рассчитанные уровни неканцерогенного риска здоровью населения, связанные с острой ингаляционной экспозицией серосодержащих соединений (диоксида серы и дигидросульфида), свидетельствуют о повышенной вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны органов дыхания и необходимости разработки управленческих решений и адресных мероприятий. Наиболее высокому риску для здоровья подвергались жители Сибая, проживающие вблизи источника загрязнения на расстоянии до 2 км.

В ходе работы институтом были предложены гигиенические рекомендации по улучшению экологической ситуации и снижению токсического воздействия серосодержащих соединений на организм жителей Сибая.

На данном этапе разработан план мероприятий по снижению рисков и уменьшению неблагоприятных последствий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха продуктами окисления руды для населения г. Сибай, и начата его реализация. Планируется проведение более углублённых исследований объектов окружающей среды (почва, поверхностные водоёмы, питьевые воды), изучение биосред человека (волосы, кровь, моча), состояния здоровья населения.

## Литература

1. Бурцева И.Г., Тихонова Т.В. Социально-экономические и экологические проблемы горнорудной промышленности Республики Коми. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2015; 3 (39): 100–10.
2. Валеев Т.К., Сулейманов Р.А., Бактыбаева З.Б., Егорова Н.Н., Рахматуллин Н.Р., Давлетнуров Н.Х. и др. Эколого-гигиеническая оценка влияния горнорудной промышленности на качество окружающей среды и здоровье населения. *Безопасность жизнедеятельности*. 2018; 5: 14–8.
3. Выброс серняка на Гайском ГОКе. Available at: <https://vgae.ru/news/events/1526-vybros-gaza-na-gayskom-goke.html>
4. Нурмадиева Г.Т., Жетписбаев Б.А. Влияние экосистемы на здоровье человека в промышленно развитых регионах Казахстана. Обзор литературы. *Наука и здравоохранение*. 2018; 4: 107–32.
5. Даукаев Р.А., Сулейманов Р.А. Эколого-гигиеническая оценка влияния предприятий черной металлургии на окружающую среду территорий Башкирского Зауралья. *Экология человека*. 2008; 7: 9–13.
6. Загрязнение атмосферного воздуха при разработке месторождений. Available at: <http://ekologyprom.ru/uchebnik-po-promyshlennoj-ekologii/113-zagryaznenie-atmosfermogo-vozduxa-pri-razrabotke.html>
7. Зверева В.П. Экологические аспекты горнорудной промышленности Дальнегорского района (Приморье). *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2005; 12 (3): 570–8.
8. Кузнецов В.С., Колосов О.Ю. Снижение загрязнения окружающей среды при проведении работ по рекультивации отвалов пустой породы. *Записки Горного института*. 2013; 203: 137–41.
9. Максимова А.М. Учёт экологического ущерба при проектировании горнорудных объектов. *Модернизация. Инновации. Развитие*. 2016; 3 (27): 125–30.
10. Матвиенко Н.Г., Воронюк А.С. Основы обеспечения безопасности освоения газоносных и склонных к самовозгоранию рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012; 1: 160–71.
11. Месторождение Сибай (Юж. Урал). Available at: [https://studopedia.ru/15\\_18462\\_mestorozhdenie-sibay-yuzh-ural.html](https://studopedia.ru/15_18462_mestorozhdenie-sibay-yuzh-ural.html)

<sup>1</sup> СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населённых мест».

<sup>2</sup> ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений».

12. Мустафин А.Г., Сабитова З.Ш., Шарипов Т.В. Экологические проблемы горнорудного региона Башкирского Зауралья и пути их решения. *Вестник Башкирского университета*. 2011; 1: 43–6.
13. Причины возникновения рудничных пожаров и факторы, влияющие на процесс самовозгорания. Available at: <https://helpiks.org/4-8810.html>
14. Самовозгорание пирита применительно условия Орловского рудника. Available at: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017035246>
15. Результаты исследования проб воздуха на территории городского округа г. Сибай. Available at: <https://sibay.bashkortostan.ru/presscenter/news/137356/>
16. Самовозгорание органических и минеральных веществ и обеспечение пожаробезопасности горных пород. Available at: <http://uverenniy.ru/samovozgoranie-organicheskikh-i-mineralnih-veshestv-i-obespech.html>
17. Сибайское медноцинковоколчеданное месторождение. Available at: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Сибайское\\_медноцинковоколчеданное\\_месторождение](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Сибайское_медноцинковоколчеданное_месторождение)
18. Стась Г.В., Смирнова Е.А. Аварийность и травматизм на горно-металлургических предприятиях. *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2015; 1: 7–11.
19. Сулейманов Р.А., Бакиров А.Б., Валеев Т.К., Рахматуллин Н.Р., Бактыбаева З.Б., Даукаев Р.А. и др. Оценка риска здоровью населения горнорудных территорий Башкортостана, связанного с качеством питьевого водоснабжения. *Анализ риска здоровью*. 2016; 4: 64–71.
20. Уразбаев С.С., Радченко Г.А., Шаламов В.М., Новомлинцев А.М., Спивак В.С., Тойбазаров М.А. Самовозгорание сульфидных руд при открытой разработке. *Безопасность труда в промышленности*. 1974; июнь: 50–2.
21. Ушаков А.С., Чмыхалова С.В. Выявление фактора влияния отходов горно-обогатительных комбинатов на состояние окружающей среды и здоровье человека с учётом их химического состава. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011; 8: 237–42.
22. Хасанова Р.Ф., Семенова И.Н., Суяндукоев Я.Т., Рафикова Ю.С., Биктимерова Г.Я., Ильбулова Г.Р. и др. Экологическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами почв промышленных зон города Сибай. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2017; 12 (212): 74–7.
23. Янтурин С.И., Сингизова Г.Ш., Абсальмов Т.А. Влияние горнорудных предприятий Башкирского Зауралья на загрязнение почв тяжёлыми металлами. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2009; 6: 654–5.
6. Air pollution in the development of deposits. Available at: <http://ekologyprom.ru/uchebnik-po-promyshlennoj-ekologii/113-zagryaznenie-atmosferного-vozduxa-pri-razrabotke.html> (accessed 3 June 2019). (in Russian)
7. Zvereva V.P. Environmental aspects of mining district, Dalnegorsk (Primorye). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2005; 12(3): 570–8. (in Russian)
8. Kuznecov V.S., Kolosov O.Yu. Reduction of environmental pollution during works on reclamation of waste rock dumps. *Zapiski Gornogo instituta*. 2013; 203: 137–41. (in Russian)
9. Maksimova A.M. The integration of environmental damage in the design of mining facilities Modernization. *Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie*. 2016; 3 (27): 125–30. (in Russian)
10. Matvienko N.G., Voronyuk A.S. Fundamentals of safety of development of gas-bearing and prone to spontaneous combustion ore deposits. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012; 1: 160–71. (in Russian)
11. Sibay deposit (South Urals). Available at: [https://studopedia.su/15\\_18462\\_mestorozhdenie-sibay-yuzh-ural.html](https://studopedia.su/15_18462_mestorozhdenie-sibay-yuzh-ural.html) (accessed 3 June 2019)
12. Mustafin A.G., Sabitova Z.Sh., Sharipov T.V. Ecological problems of mining region of Bashkir TRANS-Urals and ways of their solution. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2011; 1: 43–6. (in Russian)
13. The causes of mine fires and factors affecting the process of spontaneous combustion. Available at: <https://helpiks.org/4-8810.html> (accessed 14 June 2019). (in Russian)
14. Pyrite spontaneous combustion as applied to the conditions of the Oryol mine. Available at: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017035246> (accessed 14 June 2019). (in Russian)
15. Rezul'taty issledovaniya prob vozduxa na territorii gorodskogo okruga g. Sibaj. Available at: <https://sibay.bashkortostan.ru/presscenter/news/137356/> (accessed 3 June 2019). (in Russian)
16. Spontaneous combustion of organic and mineral substances and ensuring fire safety of rocks. Available at: <http://uverenniy.ru/samovozgoranie-organicheskikh-i-mineralnih-veshestv-i-obespech.html> (accessed 10 June 2019). (in Russian)
17. Sibayskoye copper-zinc pyrite deposit. Available at: <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/> (accessed 3 June 2019). (in Russian)
18. Stas' G.V., Smirnova E.A. Accidents and injuries at mining and metallurgical enterprises. *Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle*. 2015; 1: 7–11. (in Russian)
19. Sulejmanov R.A., Bakirov A.B., Valeev T.K., Raxmatullin N.R., Baktybaeva Z.B., Daukaev R.A. et al. Health risk assessment of mining areas of Bashkortostan associated with the quality of drinking water supply. *Analiz riska zdorov'yu [Health Risk Analysis]*. 2016; 4: 64–71. (in Russian)
20. Urazbaev S.S., Radchenko G.A., Shalamov V.M., Novomlincev A.M., Spivak V.S., Tojbazarov M.A. Spontaneous combustion of sulfide ores in open source development. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti. [Occupational Safety in Industry]*. 1974; June: 50–2. (in Russian)
21. Ushakov A.S., Chmyhalova S.V. Detection of the influence of wastes from mining and processing plants on the environment and human health, taking into account their chemical composition. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011; 8: 237–42. (in Russian)
22. Hasanova R.F., Semenova I.N., Suyundukov Ya.T., Rafikova Yu.S., Biktimerova G.Ya., Il'bulova G.R. et al. Environmental assessment of pollution of heavy metals in soils of industrial zones in the city of Sibay. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017; 12 (212): 74–7. (in Russian)
23. Yanturin S.I., Singizova G.Sh., Absalyamov T.A. The Influence of mining enterprises of the Bashkir Zauralye the contamination of soils with heavy metals. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009; 6: 654–5. (in Russian)

## References

1. Burceva I.G., Tihonova T.V. Socio-economic and ecological problems of mining industry of the Komi Republic. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. 2015; 3 (39): 100–10. (in Russian)
2. Valeev T.K., Sulejmanov R.A., Baktybaeva Z.B., Egorova N.N., Raxmatullin N.R., Davletnurov et al. Ecological-hygienic assessment of influence of mining industry on environmental quality and human health. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti [Life Safety]*. 2018; 5: 14–8. (in Russian)
3. Sulfur ejection at Gaisky GOK. Available at: <https://vgae.ru/news/events/1526-vybros-gaza-na-gayskom-goke.html> (accessed 13 June 2019). (in Russian)
4. Nurmadieva G.T., Zhetpisbaev B.A. The impact of the ecosystem on human health in the industrialized regions of Kazakhstan. Literature review. *Nauka i zdavookhranenie*. 2018; 4: 107–32. (in Russian)
5. Daukaev R.A., Sulejmanov R.A. Ekologo-hygienic estimation of influence of ferrous metallurgy enterprises on the environment of the territories of the Bashkir Zauralye. *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. 2008; 7: 9–13. (in Russian)