

А. С. Огудов^{1✉}, М. А. Креймер², Е. И. Баранова²

Комплексная оценка экологически неблагоприятных территорий в постиндустриальной фазе развития горнопромышленных районов

¹ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: ogudov.tox@yandex.ru

Аннотация. В период деиндустриализации, актуальной проблемой для горнопромышленных районов становится загрязнение атмосферного воздуха соединениями серы, выделяющихся из объектов размещения отходов переработки сульфидных руд в составе парогазовых смесей. По результатам изучения загрязнения приземного слоя атмосферы в местах локализации двух выведенных из эксплуатации хвостохранилищ, выделены приоритетные загрязнители, подлежащие контролю и отличительные черты зонального загрязнения для разных форм рельефа местности, прилегающей к источникам. В острых опытах на животных установлена частичная суммация эффектов воздействия диметилсульфоксида (ДМСО) и диметилсульфида (ДМС), в серии подострых опытов - аддитивный тип комбинированного ингаляционного действия ДМСО, ДМС и сероуглерода (CS₂). Изучены уровни, характер и структура заболеваемости двух групп детей и подростков, проживающих на разном удалении от границ источника эмиссий, выявлен повышенный риск распространения нарушений церебрального статуса у новорожденных в радиусе 1000 м от источника. Для целей информационного обеспечения эколого-гигиенических и оздоровительных мероприятий, обоснована системная технология гигиенической диагностики аэрогенного химического фактора.

Ключевые слова: Объекты размещения отходов переработки сульфидных руд, атмосферная эмиссия и токсические свойства диметилсульфоксида, диметилсульфида и сероуглерода, заболеваемость населения, системная технологии гигиенической диагностики аэрогенного химического фактора

A. S. Ogudov^{1✉}, M. A. Kramer², E. I. Baranova²

Comprehensive assessment of ecologically unfavorable territories in the post-industrial phase of mining development

¹Federal Budgetary Institution “Novosibirsk Research Institute of Hygiene” of Rospotrebnadzor,
Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ogudov.tox@yandex.ru

Abstract. During the period of deindustrialization, the problem of atmospheric air pollution with sulfur compounds released from waste disposal facilities for processing sulfide ores as part of combined-cycle gas mixtures becomes relevant for mining areas. Based on the results of the study of pollution of the surface layer of the atmosphere in the localities of two decommissioned tailings dumps, priority pollutants to be controlled and distinctive features of zonal pollution for different forms of terrain adjacent to the sources were identified. In acute animal experiments, a partial

summation of the effects of exposure to dimethyl sulfoxide (DMSO) and dimethyl sulfide (DMS) was established, in a series of subacute experiments, an additive type of combined inhalation effect of DMSO, DMS and carbon disulfide (CS₂) was established. The levels, nature and structure of morbidity of two groups of children and adolescents living at different distances from the source of emissions were studied, and an increased risk of spreading cerebral status disorders in newborns within a radius of 1000 m from the source was revealed. For the purposes of information support of ecological, hygienic and health-improving measures, the system technology of hygienic diagnostics of the aerogenic chemical factor is substantiated.

Keywords: Waste disposal facilities for processing sulfide ores, atmospheric emission and toxic properties of dimethyl sulfoxide, dimethyl sulfide and carbon disulfide, population morbidity, system technology for hygienic diagnostics of the aerogenic chemical factor

Введение

Снижение и остановка хозяйственной деятельности горнопромышленных предприятий в условиях деиндустриализации не сопровождается прекращением атмосферной эмиссии токсикантов [1]. При этом ключевое значение приобретают природно-техногенные процессы, генетически связанные с формированием природно-технических систем [2,3,4,5]. К их отличительным особенностям относится образование в накопленных отходах переработки сульфидных руд токсичных продуктов, способных вовлекаться в локальные циклы круговорота веществ. Особенно актуальной проблемой для современной постиндустриальной фазы развития горнодобывающих регионов является увеличение эмиссии соединений серы, поступающих в атмосферный воздух в составе парогазовых комплексов [6,7,8]. Существенное влияние температурного фактора на объёмы атмосферной эмиссии смесей диметилсульфоксида (ДМСО), диметилсульфида (ДМС) и сероуглерода (CS₂) из сульфидсодержащих отходов подтверждают результаты натурного моделирования [9].

Выполненное исследование фактического загрязнения приземного слоя атмосферы в районах двух выведенных из эксплуатации хвостохранилищ предприятий по переработке сульфидных руд показало, что опасность для здоровья населения представляют двухкомпонентные смеси ДМСО и ДМС и трёхкомпонентные смеси ДМСО, ДМС и CS₂, между содержанием которых в приземном слое атмосферы на разных расстояниях от источников выявлены значимые положительные корреляции [10]. Анализ литературных источников подтверждает, что ингаляционное воздействие соединений серы вызывает развитие большого спектра вредных эффектов [11,12,13,14,15,16]. Однако в доступной литературе сведения, касающиеся характера комбинированного действия смесей ДМСО, ДМС и CS₂, отсутствуют. В этой связи в технологию эколого-гигиенической диагностики аэрогенного химического фактора оправданно включить исследование эффектов комбинированного действия выделенных двух- и трёхкомпонентных смесей ДМСО и ДМС, ДМСО, ДМС и CS₂ в экспериментах на животных. Одновременно аэрогенное комбинированное воздействие требует решения проблемы диагностики заболеваемости детского населения, проживающего в ореолах загрязнения [17].

Для целей гигиенической диагностики, приоритетной регистрируемой реакцией детского населения на вредное воздействие аэрогенного химического фактора является истощенная заболеваемость, источниками информации о которой служат медицинские осмотры и обращаемость детей за медицинской помощью [18,19]. По данным литературы, аэрогенный химический фактор вызывает рост заболеваемости детей хроническими болезнями органов дыхания, крови и кроветворных органов, аллергологическими и иммунологическими заболеваниями [20, 21]. Соединения серы ингибируют процессы кроветворения и синтеза белков, обладают раздражающим, психотропным, нейротоксическим и эмбриотоксическим действием, приводит к нарушениям нервной и сердечно-сосудистой систем, функций печени и обмена веществ, иммунологической реактивности [11,12,16].

Целью исследований являлось получение и систематизация новых знаний о состоянии среды обитания и здоровья населения в постиндустриальной фазе развития горнопромышленных районов для эффективного управления эколого-гигиенической ситуацией и устранения аэрогенных рисков.

Методы и материалы

Оценка фактического загрязнения приземного слоя атмосферы смесями соединений серы в районах размещения двух выведенных из эксплуатации хвостохранилищ проведена по данным подфакельных наблюдений. Для прогнозирования уровней загрязнения использовались нелинейные модели, заданные полиномами второго и третьего порядка. Токсичность четырех смесей ДМСО и ДМС фиксированного состава исследована в серии острых опытов на крысах линии Вистар. Характер комбинированного действия ДМСО и ДМС, ДМСО, ДМС и CS₂ изучали в подострых опытах на крысах линии Вистар. Концентрации в воздушной среде ДМС, ДМСО и CS₂ определяли с помощью газоанализатора «ГАНК-4». Изучение истощенной заболеваемости 2-х групп детей 0-14 лет, проживающих на территориях с различной степенью техногенной опасности на расстояниях до 1000 м и более 1000 м от источника эмиссий, проводили по результатам анализа обращаемости за медицинской помощью и медицинских осмотров за пять лет. Статистическую обработку полученных данных и построение графиков производили с помощью ПК по стандартным прикладным программам Statistica 10.0.

Результаты

Исследование параметров атмохимической аномалии в месте локализации выведенного из эксплуатации хвостохранилища золотоизвлекательного завода показало, что опасность для здоровья населения представляют смеси ДМСО и ДМС, осреднённые концентрации которых на расстоянии 300 м от источника соответственно в 27,8 и 22,9 % проб превышали нормативные уровни. В районе размещения хвостохранилища бывшей свинцово-цинковой обогатительной фабрики приоритетным загрязнителем атмосферы являлся ДМСО, содержание которого на расстоянии 600 м от источника в 9,1% проб регистрировалось выше нор-

мативного. Содержание в атмосфере CS_2 не достигало нормативного уровня, однако находилось в прямых корреляционных связях с концентрациями ДМСО и ДМС. Это подтверждает совместное присутствие в воздушных потоках ДМСО, ДМС и CS_2 , способных к взаимному усилению эффектов воздействия. В этой связи технология гигиенической диагностики аэрогенного химического фактора включала в себя экспериментальное определение типа их комбинированного действия.

По результатам исследования токсического действия двухкомпонентных смесей ДМСО и ДМС постоянного состава в 28-дневном подостром опыте, на 14-й день ингаляционного воздействия на уровнях соответственно $0,741 \pm 0,099$ мг/м³ и $0,674 \pm 0,037$ мг/м³ у экспериментальных животных достоверно снижается возбудимость центральной нервной системы и горизонтальная двигательная активность, что является признаком нейротоксического действия. Проведенные расчеты подтвердили более чем аддитивное действие компонентов модельной смеси. При испытании более низких концентраций смеси нейротоксического эффекта в этот срок не выявлено. Однако на 28 день эксперимента обнаружено достоверное снижение горизонтальной двигательной активности в двух группах животных, подвергавшихся экспозиции смесей ДМСО и ДМС в концентрациях соответственно $0,398 \pm 0,201$ и $0,230$ мг/м³, $0,610$ и $0,086$ мг/м³. Накопление патологических изменений по ходу подострого опыта свидетельствует в пользу функциональной кумуляции ДМСО и ДМС. Это определяет необходимость при фактическом и прогнозном уровнях загрязнения атмосферного воздуха смесью ДМСО и ДМС, суммарная концентрация которых превышает примерно в 7 раз нормативные уровни, проведения исследования причинно-следственных связей между характером заболеваемости детского населения и экспозиции аэрогенного химического фактора.

Изучение токсичного действия трёхкомпонентных смесей ДМСО, ДМС и CS_2 постоянного состава в 45-дневном эксперименте на животных показало, что нейротоксический эффект воздействия среднего (соответственно, $2,614 \pm 0,15$, $3,108 \pm 0,24$ и $0,317 \pm 0,04$ мг/м³) и высокого (соответственно, $13,718 \pm 0,77$, $21,415 \pm 0,75$ и $2,016 \pm 0,14$ мг/м³) уровней концентраций ДМСО, ДМС и CS_2 характеризующегося минимумами показателя возбудимости центральной нервной системы на 14 и 45-й дни и максимумом на 30-й день. Это логично объясняется закономерной сменой фаз первичной декомпенсации, компенсации и вторичной декомпенсации. При ингаляционном воздействии относительно низкого уровня концентраций ДМСО, ДМС и CS_2 в трёхкомпонентной смеси (соответственно, $0,359 \pm 0,05$, $0,379 \pm 0,040$ и $0,058 \pm 0,01$ мг/м³), снижение возбудимости центральной нервной системы, значимых по отношению к уровню контроля, возникает только на 45-й день, что подтверждает факт накопления патологических изменений. В итоге, изучение комбинированного токсического действия ДМСО, ДМС и CS_2 в составе модельных смесей подтверждает более чем аддитивное действие компонентов.

Идентифицированная опасность аэрогенного комбинированного действия двух- и трёхкомпонентные смесей потребовала осуществления диагностики заболеваемости детского населения, проживающего в ореолах загрязнения.

По результатам анализа показателей истощенной заболеваемости детей различных возрастных групп, проживающих в горнопромышленном районе, установлено, что увеличение риска распространения других нарушений церебрального статуса у новорожденных, проживающих в радиусе 1000 м от границ источника эмиссий, может служить проявлением экодетерминированной патологии. При графическом отображении показателей сравниваемых районов диагностируется фазовый сдвиг максимумов и минимумов величин показателей истощенной заболеваемости болезнями нервной системы в группах детей, проживающих в радиусе до 1000 м и более 1000 м от объекта размещения сульфидсодержащих отходов. Сходный сдвиг наблюдается при графическом отображении минимумов и максимумов распространённости психических и поведенческих расстройств в сравниваемых группах с возрастом детей, также имеющий диагностическое значение. Полученные зависимости целесообразно использовать для целей прогнозирования уровней патологии детского возраста в группах риска при изменении качества объектов окружающей среды.

Обсуждение

По современным представлениям, методологический этап технологии состоит в формулировке проблемы, обосновании цели, основных задач, объекта и предмета исследования, построении рабочей гипотезы. Осуществляется выбор методов исследования, отвечающим задачам отдельных этапов и прогнозируется потенциальный эффект от реализации новых знаний. Второй - эмпирический этап - заключается в получении и обработке исходных данных, накоплении фактологической информации об объектах исследования, систематизации новых знаний и исследовании взаимосвязей. Этап моделирования включает постановку задач, создание и апробацию выбранных моделей с последующим переносом знания с модели на объект. На конструктивном этапе технологии определяются формы практической применения инновационной технологии, вырабатываются прогнозная гипотеза, принципы управления эколого-гигиенической ситуацией и санитарно-гигиенические меры, направленные на оптимизацию качества среды обитания и улучшение состояния здоровья детского населения.

Для достижения цели исследования, природно-технические системы, формирующиеся в период деиндустриализации горнопромышленных районов, рассматривались как развивающиеся, сложные, открытого типа, состоящие из взаимосвязанных подсистем – источника эмиссий, атмохимических аномалий и экспонируемых групп населения. Для получения информации, характеризующей состояние указанных подсистем, применялись аналитический и прогнозный типы исследований. В частности, параметры источника эмиссий исследовали с помощью методов газовой съёмки объектов размещения сульфидсодержащих отходов и натурального моделирования эмиссии соединений серы. Характеристика атмохимических аномалий включала изучение влияния природных факторов

(климатических, воздушных, рельеф местности) на процессы поступления и рассеивания в атмосферном воздухе смесей соединений серы. Информация о фактическом загрязнении приземного слоя атмосферы, получаемая в ходе подфакельных наблюдений, интегрировалась с прогнозной информацией о трендах распределения приоритетных загрязнителей и опасности их комбинированного воздействия на население. Информация об экспонируемых группах населения интегрировала данные обращаемости детей за медицинской помощью и их медицинских осмотров, моделирования пространственных и временных закономерностей изменения уровней истощенной заболеваемости и экспериментальных исследований по изучению характера изолированного и комбинированного действия основных поллютантов. Это создает возможности для эффективной реализации экологических программ и пакетов медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения.

Заключение

Таким образом, на основе применения совокупности технологий, обладающей системными свойствами, применительно к современным условиям горнопромышленных районов, значительная часть из которых пребывает в стадии деиндустриализации, сформирован информационный пакет, создающий возможности для эффективного управления эколого-гигиенической ситуацией и устранения аэрогенных рисков для здоровья населения. В ходе исследования получены научно обоснованные представления о выведенных из эксплуатации объектах размещения сульфидсодержащих отходов как источниках загрязнения атмосферы двухкомпонентными смесями ДМСО и ДМС, трёхкомпонентными смесями ДМСО, ДМС и CS₂, создающих аэрогенные риски для здоровья населения. Апробирован методологический прием исследования на основе системного подхода, позволяющий осуществить эколого-гигиеническую оценку и прогноз выведенных из эксплуатации сульфидсодержащих хвостохранилищ. Построены локальные тренды распределения в приземном слое атмосферы концентраций приоритетных загрязнителей и их смесей, создающих опасность комбинированного токсического воздействия на население, проживающее в ореолах загрязнения. Экспериментально определён характер комбинированного воздействия выделенных двух- и трёхкомпонентных смесей ДМСО, ДМС и CS₂.

Получены и систематизированы новые знания об уровне, характере и структуре заболеваемости детей различных возрастных групп, выделены болезни риска и группы риска. Результаты настоящего исследования целесообразно учитывать при планировании и реализации мероприятий, направленные на оптимизацию среды обитания и здоровья детского населения в горнопромышленных районах.

К наиболее важным из них относятся углубленные медицинские осмотры детского населения и минимизация вредного воздействия смесей соединений серы на организм. Для оптимизации качества атмосферного воздуха необходимо внедрение комплекса технических мероприятий, направленных на ограничение атмосферной миграции соединений серы из объектов размещения отходов пере-

работки сульфидных руд. К ним относится качественная консервация или рекультивация и прилегающих загрязненных территорий, использование современных технологий нейтрализации накопленных отходов и доизвлечения полезных компонентов. Строгое соблюдение режима санитарно-защитных зон, мониторинг концентраций приоритетных двух- и трёхкомпонентных смесей ДМСО, ДМС и CS_2 в атмосферном воздухе с целью контроля и проведения работ по оценке риска для здоровья населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новикова И.И., Огудов А.С., Семёнова Е.В., Чуенко Н.Ф., Бессонова М.В. Моделирование последствий воздействия объектов размещения отходов переработки сульфидных руд на окружающую среду и здоровье населения // Самарский научный вестник. 2023. Т.12, No3. С.98-104.
2. Ферсман А.Е. Геохимия, т. II. - Л.: ОНТИ, химико-теоретическое изд-во. 1934. 232 с.
3. Огудов А.С. Гигиеническая оценка состояния окружающей среды и здоровья детского населения в районах размещения предприятий по добыче и обогащению полиметаллических руд : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 1991. - 25 с.
4. Зенкевич М. Ю., Прокофьев В. Е., Янович К. В. Управляемая природно-техническая система как основа альтернативной стратегии охраны окружающей среды. Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021; 2: 131-139.
5. Суздалева А.Л. Управляемые природно-технические системы энергетических и иных объектов как основа обеспечения техногенной безопасности и охраны окружающей среды. - М.: «ИД ЭНЕРГИЯ», 2015. - 160 с.
6. Bortnikova S., Yurkevich N., Devyatova A., Saeva O., Shuvaeva O., Makas A., Troshkov M., Abrosimova N., Kirillov M., Korneeva T., Kremleva T., Fefilov N., Shigabaeva G. Mechanisms of low-temperature vapor-gas streams formation from sulfide mine waste // Science of the Total Environment. – 2019. – Т. 647. – С. 411-419.
7. Bortnikova S., Abrosimova N., Yurkevich N., Zvereva V., Devyatova A., Gaskova O., Saeva O., Korneeva T., Shuvaeva O., PalChik N., Chernukhin V., Reutsky A. Gas transfer of metals during the destruction of efflorescent sulfates from the belovo plant sulfide slag, russia // Minerals. – 2019. – Т. 9. – № 6.
8. Nordstrom D. K. 11 Special Publications 10, Soil Science Society of America. Madison, WI, 1982. P. 37-56.
9. Огудов А.С., Новикова И.И., Чуенко Н.Ф., Козырева Ф.У., Бокарева Н.А. Гигиеническая оценка атмосферной миграции серы, содержащейся в отходах переработки руд цветных и благородных металлов // Медицина труда и промышленная экология. – 2024. – Т. 64. - № 5. – С. 347-352.
10. Огудов А.С., Новикова И.И., Семенова Е.В. Гигиеническое изучение и прогноз загрязнения атмосферного воздуха соединениями серы в районах размещения сульфидсодержащих хвостохранилищ // Санитарный врач. – 2023. - №12. – С. 806-816.
11. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том III. Неорганические и элементоорганические соединения. Под ред. Н.В. Лазарева., И.Д. Гадаскиной. Л.: Химия, 1977. 608 с.
12. Токсикология сераорганических соединений [Текст] : [сборник статей] / Башкирский гос. ун-т, Ин-т органич. химии, Науч. совет по проблеме "Химия и технология сераорганич. соединений" ; [ред. коллегия: д-р мед. наук Г. А. Михайлец (отв. ред.) и др.]. - Уфа : [б. и.], 1964. - 80 с.

13. Нехорошев А.С., Захаров А. П., Дуннен А. А. и др. Разработка методов оценки риска влияния органических соединений серы на здоровье работников нефтеперерабатывающего комплекса // Профилактическая и клиническая медицина. - 2012.- № 1 (42). - С. 90-93.
14. Бейм А.М., Кондратьева И.А., Стом Д.И. Токсикологическая оценка серосодержащих соединений в многокомпонентных смесях // XIV научная сессия по химии и технологии органических соединений серы и сернистых нефтей. - Рига : Изд-во «Зинатне». - 1976. - С. 106-107.
15. Барияк И.Р., Лесюк В.С. К вопросу о влиянии диметилсульфоксида (ДМСО) на эмбриональное развитие // Фармакология и токсикология. – 1972. - №7. – С. 192-193.
16. Нехорошев А.С., Захаров А.П., Дуннен А. А., Скворцова Е.А. Проблемы профилактической токсикологии многокомпонентной полифазной смеси сероорганических соединений при малотоннажной переработке нефти // Медицина труда и экология человека. – 2015. - № 3. – С. 286-291.
17. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. - М.: 2017. - 68 с.
18. Филиппов Е.С., Киклевич В.Т., Савилов Е.Д. Детские болезни и экология: Клинико-эпидемиологические исследования в Восточно-Сибирском регионе. – Новосибирск: Наука, 2001. – 192 с.
19. Буштуева К.А., Случанко И.С. Методы и критерии оценки состояния здоровья населения в связи с загрязнением окружающей среды. - Москва: Медицина, 1979. – 160 с.
20. Боев В.М., Боев М.В., Тулина Л.М., Неплохов А.А. Детерминированные экологические факторы риска для здоровья населения моногородов // Анализ риска здоровью. – 2013. - № 2. – С. 39-44.
21. Гичев Ю.П. Экологическая обусловленность основных заболеваний и сокращения продолжительности жизни. – Новосибирск. - 2000. – 90 с.

© А. С. Огулов, М. А. Креймер, Е. И. Баранова, 2025