

Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование
Российской Федерации

2.1.6. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений

**ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА АТМОСФЕРНОЙ МИГРАЦИИ
СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНЫХ РУД**

Методические рекомендации
МР 2.1.6. -22

Роспотребнадзор, 2022

Гигиеническая диагностика атмосферной миграции соединений серы в
районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд
МР 2.1.6 ____-22

1. Разработаны коллективом авторов: ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора (И.И. Новикова, А.С. Огулов, Н.А. Зубцовская, В.С. Большаков), Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (А.Ю. Девятова, С.Б. Бортникова, Н.В. Юркевич, А.В. Еделев, О.П. Саева, С.П. Грахова, С.С. Волынки, А.Л. Макасы).

2. Утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека - Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой
_____ 2022 г.

3. Введены впервые.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения.....	4
2. Область применения.....	6
3. Метод моделирования процессов эмиссии летучих соединений серы из вещества отходов переработки сульфидных руд.....	6
4. Методика полевых и лабораторных исследований объектов хранения отходов переработки сульфидных руд.....	8
5. Методика экспериментальной оценки вероятностных суммарных эффектов воздействия смесей летучих соединений серы	9
6. Методика исследования зонального загрязнения атмосферного воздуха в районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд (на примере пгт. Комсомольск).....	10
7. Заключение	13
8.Список нормативных документов	14
9. Библиографический список.....	15
Приложение 1	18
Термины и определения.....	18
Приложение 2.....	19
Оценка содержания газов над территорией хвостохранилищ (на примере Комсомольского хвостохранилища).....	19
Приложение 3	22
Концентрации смеси летучих соединений серы в затравочных камерах	22
Приложение 4.....	24
Месторасположение точек отбора проб и концентрации летучих соединений серы при подфакельных и маршрутных наблюдениях.....	24

2.1.6. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА АТМОСФЕРНОЙ МИГРАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНЫХ РУД

Методические рекомендации МР 2.1.6. ____-22

1. Общие положения

1.1. Методические рекомендации разработаны в дополнение санитарных правил и нормативов: СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

1.2. Концепт «техногенеза», как совокупного проявления техногенных процессов рассеяния рудной минерализации, изначально разработан для описания техногенных геохимических ландшафтов в стадии эксплуатации рудных месторождений [1]. В этой стадии техногенные потоки рассеяния химических элементов, состав которых для каждого рудного месторождения специфичен, являются следствием операций производственных процессов добычи (бурение, взрывание, погрузка, транспортировка, складирование) и переработки (дробление, измельчение, грохочение, классификация, флотация, обезвоживание, обеспыливание, транспортировка) сульфидных руд [2]. В последние десятилетия, в условиях перехода горнодобывающих регионов к постиндустриальным экономическим практикам, снижение и даже остановка хозяйственной деятельности горно-обогатительных комбинатов не приводят к прекращению процессов миграции токсикантов. На постэксплуатационной стадии горнорудного техногенеза ключевое значение приобретают природно-техногенные процессы, генетически связанные с формированием природно-технических систем [3, 4]. К отличительным особенностям данной стадии горнорудного техногенеза относится образование в накопленных отходах переработки сульфидных руд токсичных минеральных и органо-минеральных продуктов, способных вовлекаться в локальные циклы круговорота веществ.

Особенно актуальной проблемой для районов размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд в настоящее время и на перспективу является увеличение эмиссии соединений серы, поступающих в атмосферный воздух в составе сложных летучих парогазовых комплексов.

Сера относится к жизненно необходимым макроэлементам, входит в состав серосодержащих аминокислот, ряда биологически активных веществ и SH-групп [5]. Местное действие на организм человека летучих соединений серы заключается в раздражении дыхательных путей, резорбтивное действие – в нарушениях углеводного и белкового обменов, угнетении окислительных процессов в головном мозге и внутренних органах. В условиях длительной экспозиции, развиваются гонадотоксические и эмбриотоксические эффекты [6]. Кратковременное ингаляционное воздействие летучих соединений серы сопровождается поражением органов дыхания, центральной нервной системы и печени [7]. При совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких соединений серы наблюдаются различные типы комбинированного действия (суммация, потенцирование, антагонизм, независимое действие), которые обусловлены физическими, химическими, физиологическими взаимодействиями компонентов смесей [8, 9]. В этой связи, в качестве необходимого этапа гигиенической диагностики воздушного фактора, состоящего в увеличении атмосферной миграции летучих соединений серы, следует рассматривать экспериментальное определение типа комбинированного действия основных компонентов сложных летучих парогазовых комплексов, специфических для постэксплуатационной стадии горнорудного техногенеза.

Алгоритм гигиенической диагностики воздушного фактора в районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд должен предусматривать проведение 4-х взаимно дополняющих этапов:

- натурное моделирование процессов эмиссии летучих соединений серы из вещества сульфидсодержащих отходов для формирования перечня приоритетных ингредиентов, подлежащих контролю;
- газовая съёмка территории неорганизованного источника для определения интенсивности атмосферной миграции различных соединений серы и физико-химического состава образующихся парогазовых комплексов;
- оценка характера комбинированного действия основных компонентов летучих парогазовых комплексов, специфических для постэксплуатационной стадии горнорудного техногенеза, в экспериментах на животных;
- подфакельные наблюдения загрязнения атмосферного воздуха в районе размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд

для получения материалов по дальности и особенностям распространения серы в составе сложных летучих парогазовых комплексов.

2. Область применения

Настоящие методические рекомендации (далее – МР) дополняют существующие подходы к гигиеническому изучению и прогнозу факторов окружающей среды в районах размещения предприятий по добыче и обогащению руд цветных и благородных металлов. МР позволяют по результатам моделирования процессов эмиссии летучих соединений серы, оценки качественного и количественного состава поступающих в приземные слои атмосферы парогазовых комплексов, экспериментального определения характера комбинированного действия их различных компонентов, выявления закономерностей зонального загрязнения атмосферного воздуха осуществить прогнозирование степени опасности атмосферной миграции соединений серы в районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд и аэрогенных рисков для здоровья населения.

МР предназначены для использования Органами и организациями Роспотребнадзора при осуществлении надзорных мероприятий за объектами хранения отходов переработки сульфидных руд цветных и благородных металлов; научно обоснованного планирования надзорных мероприятий при переходе горнодобывающих регионов к постиндустриальным экономическим практикам, проведении социально-гигиенического мониторинга, оценки риска для здоровья населения при воздействии смесей соединений серы, загрязняющих атмосферный воздух.

3. Метод моделирования процессов эмиссии летучих соединений серы из вещества отходов переработки сульфидных руд

Газовый состав воздуха над поверхностью объектов хранения отходов переработки сульфидных руд обусловлен неорганическими и биотическими процессами, протекающими в отвальных породах, поровых водах верхних уровней и неустойчивых вторичных сульфатах. Значительные объёмы разнородных парогазовых серосодержащих смесей выделяются в результате выветривания сульфидов, перемещенных на земную поверхность; окисления материала отвалов и хвостохранилищ в результате процессов жизнедеятельности сообществ микроорганизмов, населяющих техногенно-изменённую среду; преобразования серы в поровых растворах с образованием

диоксида серы в газовой фазе [10, 11, 12, 13, 14]. Наиболее интенсивное образование парогазовых комплексов происходит на участках объектов хранения отходов переработки сульфидных руд, отличающихся активными взаимодействиями в близповерхностном пространстве с объектами природной среды. При проведении микроэлектротомографии, на отмеченных участках фиксируются зоны пониженного удельного сопротивления, являющиеся каналами выхода высокоминерализованных межпоровых растворов путем капиллярного подъема. Существенное влияние температурного фактора на интенсивность процессов эмиссии из материала отходов подтверждают результаты газовой съёмки (Приложение 2).

В качестве объектов моделирования выступают хвостохранилища и отвалы сульфидсодержащих отходов, натурной моделью которых являются отобранные из них пробы отходов. Процедура моделирования состоит в следующем: в герметичную затравочную камеру объемом 200 л помещают плитку, на которой образцы отходов весом 1,0 кг нагревается до температур 25°C и 33°C, имитирующих различную интенсивность солнечной радиации в летний период. В процессе поэтапного нагрева определяют количественные характеристики эмиссии диоксида серы, сероуглерода, диметилсульфида, диметилсульфоксида и сероводорода по их концентрациям в воздухе камеры с помощью газоанализатора ГАНК-4 (НПО «ГАНК», Москва) по Методике измерений массовой концентрации серо- и азотсодержащих органических соединений в атмосферном воздухе газоанализатором ГАНК-4, №1-22-2013. По результатам моделирования, нагрев вещества отходов отвала барит-пиритовой сыпучки до 25°C сопровождается эмиссией диметилсульфида и диметилсульфоксида, уровни которых в камере превышают нормативные, для атмосферного воздуха, величины соответственно в 128,7 и 119 раза. При нагреве вещества отходов до температуры 33°C, к прогнозным загрязнителям приземного слоя атмосферы над отвалом относятся диметилсульфид, диметилсульфоксид и диоксид серы, концентрации которых в воздухе камеры определялись выше нормативных уровней соответственно в 170, 127 и 1,7 раза (таблицы 1-2 Приложения 3). При нагреве вещества отходов сульфидного флотоконцентрата до 25°C, прогнозируемая кратность превышения ПДК концентрацией диметилсульфида в приземном слое атмосферы над объектом достигает 3-х раз, уровни диметилсульфоксида и сероуглерода приближаются к нормативным величинам. Нагрева вещества отходов 33°C приводит к увеличению эмиссии диметилсульфида, диметилсульфоксида и сероуглерода,

уровни которых в камере превышают нормативные величины соответственно в 11,2 и 6,0 и 2,4 раза.

4. Методика полевых и лабораторных исследований объектов хранения отходов переработки сульфидных руд

Для оценки мощности объектов хранения отходов переработки сульфидных руд как источников загрязнения атмосферы и диагностики процессов миграции соединений серы, следует использовать метод газовой съёмки, позволяющий определить физико-химический состав и интенсивность миграции летучих парогазовых комплексов из вещества отходов в приземный слой атмосферы. Отбор проб воздуха производится на поверхности объектов хранения отходов переработки сульфидных руд и прилегающих к ним территориях. Концентрации соединений серы в приземном слое атмосферы определяются при помощи портативного газоанализатора ГАНК-4 (НПО «ГАНК», Москва) по Методике измерений массовой концентрации серо- и азотсодержащих органических соединений в атмосферном воздухе газоанализатором ГАНК-4, №1-22-2013, в безветренное солнечное время в период времени с 12.00 до 18.00. По намеченным профилям производятся замеры серосодержащих примесей в воздухе в точках через 20 м. В каждой точке устанавливается «ловушка» из 5-литровой пластиковой бутылки, по прошествии 1-го часа осуществляется измерение. Трубка газоанализатора ГАНК-4 погружается в бутылку через горлышко на расстояние 10 см от поверхности грунта, записывается три параллельных показания с последующим усреднением. По результатам детальной газовой съёмки и статистической обработки анализов, создается карта «ядра» (центральной части) атмохимической аномалии, отображающая фактическое загрязнение приземного слоя атмосферы над поверхностью неорганизованного источника (рисунки 2 и 3 Приложения 2).

Метод газовой съёмки позволяет количественно оценить влияние температурного фактора на интенсивность процессов эмиссии в материале отходов. Так, при проводимом исследовании в течение первой серии съёмки на территории хвостохранилища днем (в 12:00) по профилю I содержание диоксида серы в воздухе варьировало в пределах 0.011- 0.079 мг/м³ (рисунок 1 Приложения 2). Газовая съёмка, выполненная в 18:00, свидетельствует о существенном изменении концентраций в атмосферном воздухе диоксида серы, пробы которого отбирались в тех же точках. Следовательно, для эмиссии соединений серы критическое значение приобретает разность температур

внешней среды и вещества отходов. По мере её увеличения, возрастают выход газовой фазы из межпорового пространства и активность бактериального сообщества, которое трансформирует минеральную матрицу отходов [20].

5. Методика экспериментальной оценки вероятностных суммарных эффектов воздействия смесей летучих соединений серы

Важным дополнением методологического подхода к гигиенической диагностике воздушного фактора в районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд, является экспериментальная оценка характера комбинированного действия сложных парогазовых комплексов соединений серы, различающихся по относительному содержанию основных компонентов, в острых опытах на лабораторных животных [15, 16, 17, 18, 19]. Следует проводить 4-х часовые ингаляционные затравки белых беспородных крыс-самцов в стандартных 200-литровых затравочных камерах. Всего необходимо испытать 3-5 достоверно различающихся между собой уровней концентраций смесей соединений серы. Скорость воздушного потока при этом варьируется в зависимости от моделируемого уровня воздействия, колебания которого в течение 4-х часового опыта не должны превышать 10%. Выбор маркеров ответа организма животных следует проводить с учетом механизмов токсического действия тех компонентов в составе летучих парогазовых комплексов, концентрации которых превышают гигиенические нормативы. Диагностика токсикогенных состояний организма, адекватных интенсивности экспозиции и характеру комбинированного действия, осуществляется через 4 часа, на 2, 4 и 8-й дни после ингаляционных затравок. Перед их началом определяются фоновые величины выбранных показателей для установления физиологических уровней и равномерного распределения по группам.

По результатам проведенной серии экспериментов, к одинаковым биологическим свойствам выделенных двух- и трехкомпонентных смесей относятся нейротоксический, гепатотоксический и раздражающий эффекты. Увеличение степени выраженности нейротоксического и гепатотоксического эффектов при возрастании уровня экспозиции двухкомпонентной смеси диметилсульфоксида и диметилсульфида, подтверждает частичную суммацию нейротоксического и гепатотоксического действия компонентов. В условиях усложнения состава смесей за счет включения более токсичных газовых компонентов, характер комбинированного действия существенно изменяется. Экспозиция парогазового комплекса, включающего гигиенически значимые уровни концентраций диметилсульфида, диметилсульфоксида и сероуглерода,

сопровождается потенцированием нейротоксического эффекта компонентов. При включении в состав смеси паров диметилсульфоксида и диметилсульфида газового компонента - диоксида серы в концентрации в 1,7 раза выше ПДК, наблюдается потенцирование раздражающего эффекта испытываемой смеси.

Таким образом, характер ингаляционного воздействия соединений серы не является постоянным и изменяется в зависимости от уровней экспозиции, парогазового состава и соотношения компонентов в летучих комплексах. Наибольшую опасность для здоровья населения представляют парогазовые комплексы соединений серы, включающие в состав гигиенически значимые концентрации сероуглерода и диоксида серы, которые обладают высокой индивидуальной токсичностью и усиливают токсическое действие жидких компонентов.

6. Методика исследования зонального загрязнения атмосферного воздуха в районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд (на примере пгт. Комсомольск)

При оценке количественных показателей эмиссий, особенностей распределения в приземном слое атмосферы контролируемого спектра летучих соединений серы, следует учитывать климато-географическую характеристику местности. Комсомольское хвостохранилище располагается на территории бывшего Комсомольского золотоизвлекательного завода в п.г.т. Комсомольск Кемеровской области. Территория области расположена на стыке Западно-Сибирской равнины и гор Южной Сибири. Огромную часть территории области занимает Кузнецкая котловина, а Горная Шория - крайний юг области. На востоке располагается Кузнецкий Алатау, а на западе - Салаирский кряж. Рельеф Кузнецкой котловины в основном равнинный, хотя местами сюда простираются западные отроги Кузнецкого Алатау. Горный рельеф характерен для двух третей территории Кузбасса. Общей характерной чертой климата месторасположения объекта является его континентальность, то есть резкие колебания температуры воздуха по временам года, в течение месяца и даже суток. Так, среднегодовая температура воздуха в целом по Кемеровской области колеблется от $-1,4^{\circ}\text{C}$ до $+1,0^{\circ}\text{C}$, в пос. Комсомольск - 0°C [21]. Наиболее высокие температуры воздуха в области достигают летом - $+35-38^{\circ}\text{C}$, а самые низкие зимой доходят на юге до -54°C , на севере до -57°C . Годовая амплитуда колебаний температур превышает 90°C . Общее количество дней с осадками достаточно велико, за последние 50 лет в пос. Комсомольск оно составило 171 день. Величина

снежного покрова на территории области весьма неодинакова, как по высоте и структуре, так и по времени его образования. Высота снежного покрова зависит от количества осадков, рельефа и растительности. Преобладающими ветрами Кемеровской области являются ветры южного и юго-западного направлений. Климатогеографическая характеристика объекта расположения свидетельствует о наличии неблагоприятных условий рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, а именно – частые резкие перепады температуры, высокие летние температуры (более 30⁰С), чередование равнинной, пересеченной местности, наличие отрицательных рельефов.

Метод подфакельных наблюдений позволяет получить материалы по дальности распространения летучих парогазовых комплексов соединений серы, выделяющихся из объектов хранения отходов переработки сульфидных руд. Отбор не менее 50 проб атмосферного воздуха по каждому компоненту смесей следует проводить по направлению ветра, на расстояниях от источника эмиссии 75, 150, 300 и 600 метров, разрыв между которыми соответствует арифметической прогрессии [22] (Рисунок 1 Приложения 4).

По данным подфакельных наблюдений, имеется корреляция между параметрами загрязнения атмосферного воздуха и размерами эмиссии летучих соединений серы, полученными при натурном моделировании и газовой съёмке объекта хранения отходов переработки сульфидных руд. Различия в фактических уровнях загрязнения атмосферного воздуха на разных передвижных постах наблюдений зависели от агрегатного состояния поллютантов, погодно-климатических условий, высоты источника эмиссии и характера подстилающей поверхности, которые детерминируют выделение, перенос, накопление и рассеивание комплекса специфических веществ (таблица 1).

Таблица 1 - Осреднённые концентрации летучих соединений серы в атмосферном воздухе на различных расстояниях от источника, в мг/м³

Наименование вещества	75 м	150 м	300 м	600 м
Сероуглерод	0,0004±0,00001	0,002±0,0002	0,002±0,0002	0,001±0,0001
Диметилсульфид	0,01±0,001	0,006±0,0002	0,087±0,02	0,007±0,0002
Диметилсульфоксид	0,009±0,001	0,005±0,0001	0,105±0,02	0,007±0,0001
Диоксид серы	0,002±0,0003	0,007±0,0002	0,012±0,001	0,001±0,0001
Сероводород	0,002±0,0001	0,002±0,0003	0,002±0,0001	0,002±0,0002

Подфакельные наблюдения обнаружили значительную вариабельность концентраций летучих соединений серы в атмосферном воздухе в течение дня, что объясняется влиянием на интенсивность процессов эмиссии из вещества отходов температурного фактора. В дневные часы, при температуре воздуха 29-30°C, атмосферная миграция диметилсульфоксида, диметилсульфида, сероуглерода и диоксида серы существенно возрастает. Своих максимумов в атмосферном воздухе осреднённые концентрации указанных поллютантов достигают на расстоянии 300 метров, равном 10 высотам неорганизованного источника. Опасная скорость ветра, которая способствует накоплению в воздухе летучих соединений серы, для объектов производственной инфраструктуры рудо-перерабатывающих производств, характеризующихся относительно малым объемом и низкой температурой выделений, близка к 1-2 м/с. При сложных формах рельефа прилегающего к источнику района, максимальные уровни загрязнения приземного слоя атмосферы летучими парогазовыми комплексами создаются на подветренных склонах возвышенностей и котловин. Диметилсульфид и диметилсульфоксид, которые в стандартных условиях находятся в жидком состоянии, при отрицательных формах рельефа могут накапливаться в приземном слое атмосферы в концентрациях, в несколько раз выше нормативных уровней (таблицы 1, 2 Приложения 4). Максимальные концентрации диоксида серы и сероуглерода, которые в стандартных условиях находятся в газообразном состоянии, во всех точках отбора проб не достигали гигиенических нормативов.

Для надежной идентификации опасности летучих соединений серы для здоровья населения, проживающего в ареале вредного воздействия объектов хранения отходов переработки сульфидных руд, подфакельные исследования рекомендуется дополнять наблюдениями на маршрутных постах, расположенных в селитебной зоне. Выбор месторасположения и количества точек отбора проб в селитебной зоне, согласно «Руководству по контролю загрязнения атмосферы» (1989), определяется целями исследования и климато-географическими особенностями местности.

Отбор проб атмосферного воздуха в жилой зоне пгт. Комсомольск производился в 6-ти точках вблизи жилых домов, находящихся на ближайших расстояниях от границ хвостохранилища бывшего золотоизвлекательного завода (273-938 м) по 6-ти компасным направлениям (таблица 3, рисунок 2 Приложения 4). Всего отобрано 15-22 проб по каждому компоненту смесей на каждом маршрутном посту. По отношению к величинам ПДК_{мр}, осредненные максимально-разовых концентрации сероуглерода на всех маршрутных постах

составляла не более 0,02, диметилсульфида – не более 0,1, диоксида серы - не более 0,05, сероводорода – не более 0,16. Отмечалось превышение концентрацией диметилсульфоксида величины ОБУВ на одном маршрутном посту (ул.Лесная,11), расположенном на 273 м от границы источника эмиссии в юго-западном направлении, отбор осуществлялся при северо-восточном ветре, температуре воздуха + 32⁰С. Осредненная максимально-разовая концентрация диметилсульфоксида превышала ОБУВ в 2,1 раза (таблица 4 Приложения 4). В 7-ми пробах из 20-ти в данной точке отмечались превышения ОБУВ.

Обобщение результатов натурного моделирования, газовой съёмки и подфакельных наблюдений позволяет заключить, что приоритетными поллютантами, выделяющимися в атмосферный воздух из объектов хранения отходов переработки сульфидных руд, являются диметилсульфид и диметилсульфоксид, максимальные концентрации которых на расстоянии 300 метров от источника эмиссии достигали соответственно 0,567 мг/м³ и 0,638 мг/м³. Концентрации сероуглерода и диоксида серы, выделяющихся из вещества отходов переработки сульфидных руд в значительно меньших количествах, в приземных слоях атмосферы подвергаются рассеиванию и не представляют гигиенической значимости. Низкие параметры эмиссии сероводорода и отсутствие зональности в загрязнении атмосферного воздуха этой вредной примесью, объясняются окислительными свойствами вещества сульфидных отходов.

7. Заключение

Таким образом, актуальной гигиенической проблемой для горнорудных районов на постэксплуатационной стадии горнорудного техногенеза является формирование локальных циклов круговорота летучих соединений серы, поступающих в атмосферный воздух в составе сложных парогазовых комплексов. В районе размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд, ведущими компонентами загрязнения атмосферного воздуха являются диметилсульфид и диметилсульфоксид, гигиенически значимые уровни концентраций которых формируются в условиях отрицательных форм рельефа, интенсивной инсоляции и опасных скоростей ветра. В связи с тем, что максимальные концентрации указанных вредных примесей в атмосферном воздухе превышают гигиенические нормативы, в районах размещения объектов хранения отходов переработки сульфидных руд необходимо проведение технологических мероприятий, направленных на снижение атмосферной миграции соединений серы из вещества отходов, архитектурно-

планировочных мероприятий, обеспечивающих рациональное и безопасное функциональное использование загрязнённых территорий, организационных мероприятий, предусматривающих мониторинг состояния атмосферного воздуха и здоровья населения.

Перспективными путями снижения накоплений в горнорудных районах сульфидсодержащих отходов добычи и переработки руд цветных и благородных металлов и предотвращения их негативного влияния на среду обитания являются:

1.качественная консервация или рекультивация объектов хранения отходов переработки сульфидных руд и загрязненных территорий,

2.внедрение современных технологий нейтрализации отходов добычи и переработки сульфидных руд,

3.использование объектов хранения отходов переработки руд цветных и благородных металлов в качестве техногенных месторождений, из которых содержащиеся полезные компоненты могут доизвлекаться в промышленных масштабах,

4.соблюдение режима СЗЗ для объектов хранения отходов переработки сульфидных руд, в том числе и при прекращении хозяйственной деятельности рудо-перерабатывающих производств.

5.проведение мониторинга концентраций летучих соединений серы в атмосферном воздухе горнорудных районов с целью контроля и проведения работ по оценке риска для здоровья населения.

8.Список нормативных документов

1.Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

2.Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об охране атмосферного воздуха».

3.Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «Об охране окружающей среды».

4.Постановление Правительства РФ от 03.03.2018 N 222 (ред. от 31.05.2018) «Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон».

5. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. N 74 «О введении в действие новой редакции санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03

«Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

6. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ №2 от 28.01.2021 об утверждении санитарных правил и норм СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

7. Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.

9. Библиографический список

1. Ферсман А.Е. Геохимия, т. II. - Л.: ОНТИ, химико-теоретическое изд-во. 1934. 232 с.

2. 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.

3. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. — Свердловск: Изд. Уральского университета. 1991. 255 с.

4. 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.

5. Елосева Д.В., Неёлова О.В. Биологическая роль серы и применение ее соединений в медицине. Успехи современного естествознания. — 2014. — № 8. — С. 166-166.

6. 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.

7. Уждавини Э.Р. Токсикология органических соединений серы. Рига: Изд-во «Зинатне», 1986. 196 с.

8. Айтбаев Т.Х. и соавт. Морфологические изменения во внутренних органах белых крыс при комбинированном воздействии сероводорода и сернистого ангидрида. Вопросы гигиены труда и профзаболеваний. Алма-Ата: Нии краевой патологии, 1976. - Т. 29. — С. 15-18.

9. Челиканов К.Н. О характере комбинированного действия сероуглерода, сероводорода и сернистого газа при совместном присутствии в атмосферном воздухе. Науч. тр. Рязан. мед. ин-та. 1978. - Т. 63. – С. 45-47.

10. 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.

11. 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.

12. Nordstrom D. K. 11 Special Publications 10, Soil Science Society of America. Madison, WI, 1982. P. 37-56.

13. Плюснин А. М., Гунин В. И. Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие (на примере Забайкалья). Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО

14. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 335 с.

15. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 28.01.2021.

16. Временные методические указания по обоснованию предельной допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. № 4681-88 от 15.07.1988 г.

17. «Гигиенические критерии для обоснования необходимости разработки ПДК и ОБУВ (ОДУ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе населенных мест, воде водных объектов», ГН 1.1.701-98. М., 1998.

18. Методические рекомендации по использованию поведенческих реакций животных в токсикологических исследованиях для целей гигиенического нормирования, утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 14 апреля 1980 г. № 2166-80.

19. Методические указания к постановке исследований по изучению раздражающих свойств и обоснованию предельно допустимых концентраций

избирательно действующих раздражающих веществ в воздухе рабочей зоны, утв. утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 11 августа 1980 г. № 2196-80.

20. Бортникова С.Б., Девятова А.Ю., Шевко Е.П., Гаськова О.Л., Еделев А.В., Огудов А.С. Перенос элементов в газоаэрозольной фазе из отвалов Комсомольского золотоизвлекательного завода (Кемеровская обл.) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24. – № 1. – С. 11-22.

21. Климат Кемеровской области [Электронный ресурс] - URL: http://trasa.ru/region/kemerovskaya_clim.html (27.12.2021).

22. «Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89» (утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, Главным государственным санитарным врачом СССР 16.05.1989).

Термины и определения

1. **Отвал** - размещение на поверхности пустых (вскрышных) пород или некондиционного минерального сырья, а также хвостов обогатительных фабрик, отходов или шлаков от различных производств.
2. **Хвостохранилище** — гидротехническое сооружение для приёма и хранения отходов обогащения полезных ископаемых (хвостов).
3. **Диметилсульфид (ДМС)** — летучее серное соединение с формулой C_2H_6S ,
4. **Диметилсульфоксид (ДМСО)** - летучее серное соединение с формулой C_2H_6SO ,
5. **Сероуглерод** — летучее серное соединение с формулой CS_2 ,
6. **Диоксид серы** — летучее серное соединение с формулой SO_2 .
7. **Сероводород** — летучее серное соединение с формулой H_2S .
8. **Вредный эффект** - изменения в морфологии, физиологии, росте, развитии или продолжительности жизни организма, популяции или экологической системы, проявляющиеся в ухудшении функциональной способности, или способности компенсировать дополнительный стресс, или в увеличении чувствительности к другим воздействиям факторов окружающей среды.
9. **Поровые воды** — заключенные в микрокапиллярах отвальных пород подземные воды.
10. **Микрокапилляры** — мелкие поры, небольшие трещины, каналы, полости и другие пустоты, в которых перемещение воды происходит под действием капиллярных сил.
11. **Вторичные сульфаты** — сульфаты, образовавшиеся в результате химического выветривания или замещения ранее выделившихся минералов.
12. **Выветривание** — процесс разрушения и изменения горной породы в условиях земной поверхности под влиянием механического или химического воздействия атмосферы, грунтовых и поверхностных вод или организмов.

Оценка содержания газов над территорией хвостохранилищ (на примере Комсомольского хвостохранилища)

Комсомольское хвостохранилище расположено в 1200 м от бывшего Комсомольского золотоизвлекательного завода (КЗЗ) в бассейне ручья Екатерининский. Осаждение металла на заводе производилось цинковой пылью и основным продуктом был Au-шлам, отходы извлечения золота в виде пульпы с 1964 г. сбрасывались в хвостохранилище. Площадь хвостохранилища 146 тыс. м², объем около 810 тыс. м³. Количество накопленного материала около 1.1 млн. м³.

Газовая съемка велась по разным профилям в разное время суток. Полученные результаты показаны на рисунке 1.

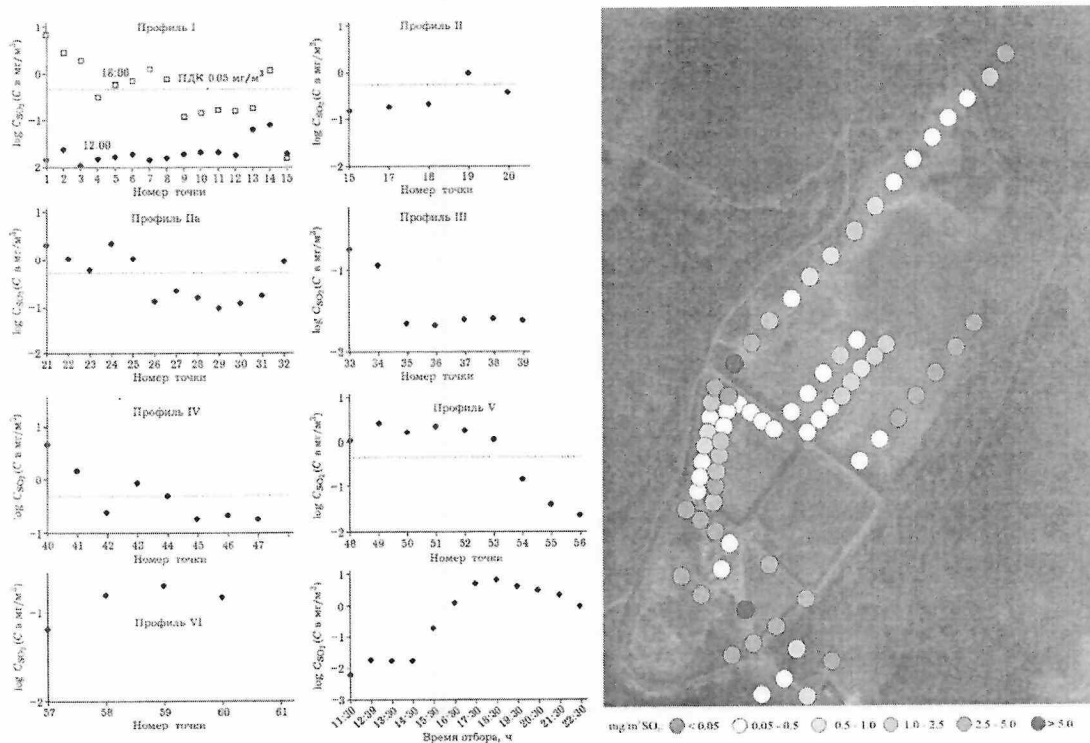


Рисунок 1 - Результаты полевых измерений методом газовой съёмки диоксида серы в приземном слое атмосферы над хвостохранилищем КЗЗ. Пунктиром показаны значения ПДК_{мр}

Газовая съемка показала большие разбросы в содержании диоксида серы над хвостохранилищем, кратность превышения ПДК достигала более 10 раз. Это важно в прикладном плане, с эколого-гигиенической точки зрения, т.к. объекты хранения отходов рудоперерабатывающих производств расположены внутри населенных пунктов (в данном случае хвостохранилище входит в черту п.г.т. Комсомольск). Данные по составу воздуха, причем основываясь на

максимальных замеренных значениях, необходимо учитывать при разработке рекомендаций по безопасному обращению с этими и подобными отходами.

Урской отвал

Урской отвал расположен в поселке Урск, Кемеровской области, образован в 30-х годах прошлого века после извлечения золота цианированием из зоны окисления колчеданного Ново-Урского месторождения. Отходы переработки складированы в пойме ручья в два насыпных отвала (баритовый и пиритовый) без защитных технических сооружений или дамб. В результате сформированы насыпи высотой 10-12м.

Газовая съемка проводилась так же по разным профилям, измерения проводились для 4 газов (ДМС, ДМСО, сероуглерод, диоксид серы). Результаты измерений показаны на рисунке 2.

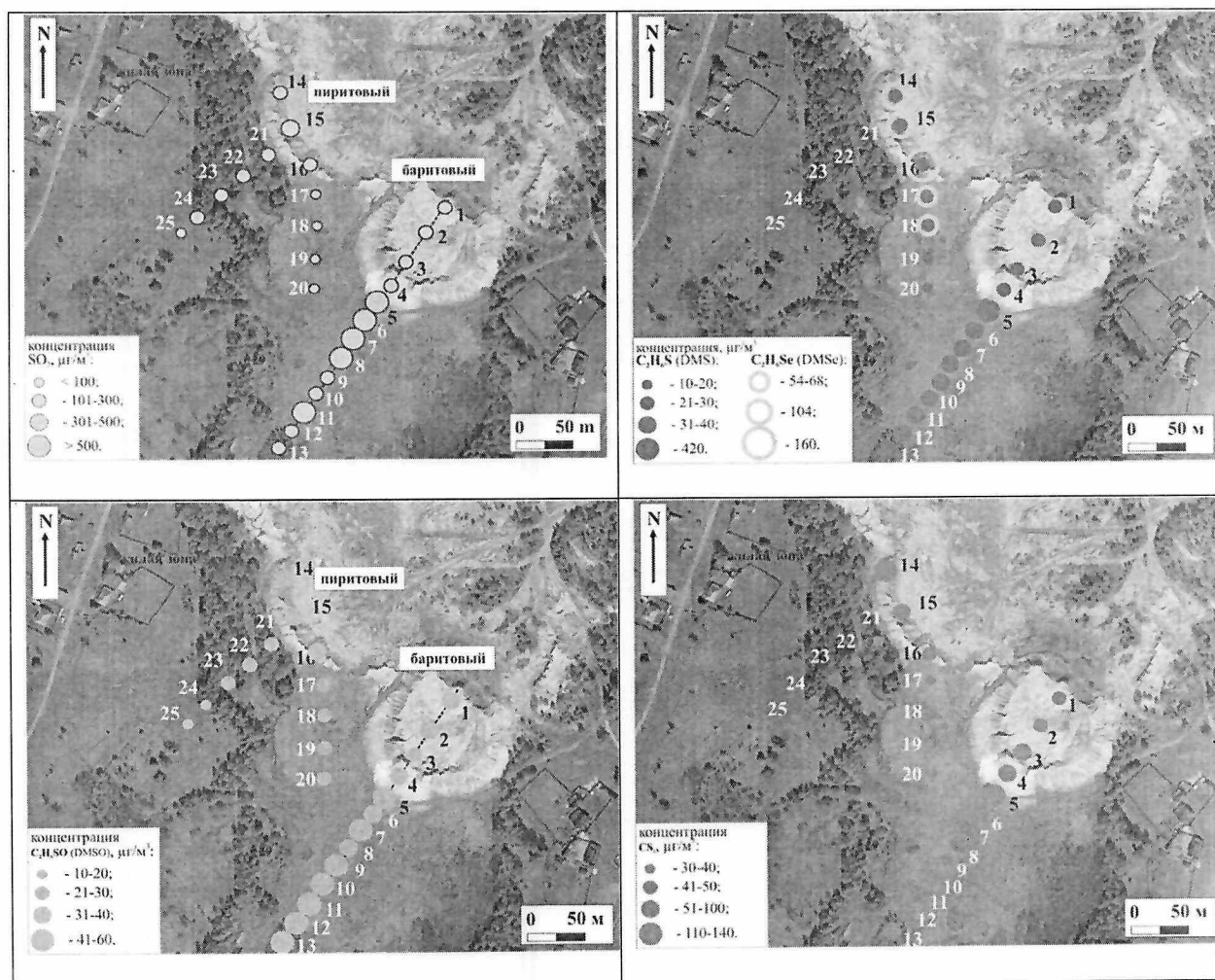


Рисунок 2 - Содержания серосодержащих газов в приземном слое атмосферы в районе размещения отвалов Ново-Урского месторождения

Берикульский отвал кеков цианирования сульфидного флотоконцентрата

Кеки цианирования являются отходами Берикульского золотоизвлекательного завода (БЗЗ, пос. Новый Берикуль, Тисульский район, Кемеровская область), где перерабатывались главным образом руды Старо-Берикульского месторождения. Отходы цианирования флотоконцентрата (кеки) после обезвреживания складировались вдоль берега р. Мокрый Берикуль в виде насыпного отвала длиной 245 м и высотой от 3 до 6 м. За 1942–1962 гг. было накоплено около 70 тыс. т отходов. Сульфидсодержащие отходы использовались также при отсыпке дороги, ведущей к новому хвостохранилищу. Объем этой части кеков точно неизвестен, но значительно больше массы отвала. Отходы хранились под открытым небом в течение 50 лет в условиях резко-континентального климата юга Западной Сибири. С 2004 года Берикульские кеки складированы в южной части Комсомольского хвостохранилища.

Газовая съемка происходила только над территорией отвала без использования профилей, измерения проводились для 4 газов (ДМС, ДМСО, сероуглерод, диоксид серы). Результаты измерений показаны на рисунке 3.

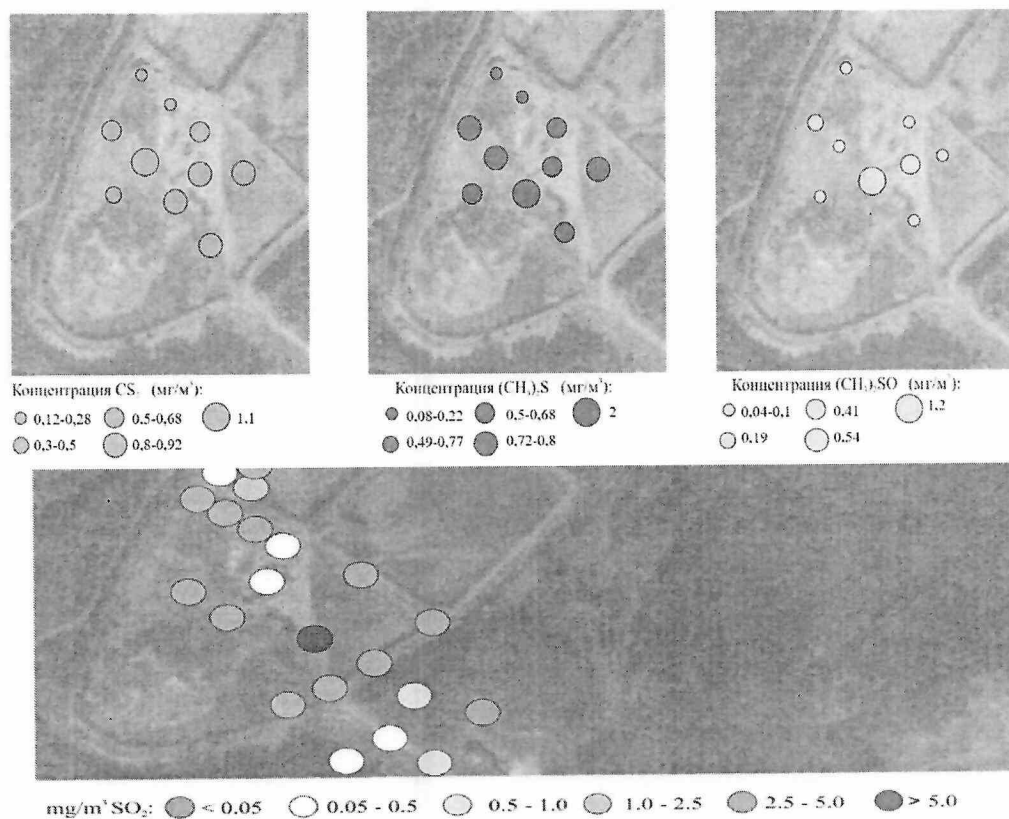


Рисунок 3 - Содержания летучих соединений серы в приземном слое атмосферы над Берикульским отвалом

Приложение 3

Концентрации смеси летучих соединений серы в затравочных камерах

Таблица 1 - Концентрации летучих соединений серы в затравочной камере при температуре нагрева вещества отходов Урского отвала барит-пиритовой сыпучки 25°C

Наименование вещества	Химическая формула	ПДК _{мр} или ОБУВ (мг/м³)	Концентрация в камере, мг/м³	Кратность превышения ПДК
Сероуглерод	CS ₂	0,03	0,002	0
Диметилсульфид	C ₂ H ₆ S	0,08	10,3	128,7 раз
Диметилсульфоксид	(CH ₃) ₂ SO	0,1	11,9	119,0 раз
Диоксид серы	SO ₂	0,5	0,0	0
Сероводород	H ₂ S	0,008	0,001	0

Таблица 2 - Концентрации летучих соединений серы в затравочной камере при температуре нагрева вещества отходов Урского отвала барит-пиритовой сыпучки 33°C

Наименование вещества	Химическая формула	ПДК _{мр} или ОБУВ (мг/м³)	Концентрация в камере, мг/м³	Кратность превышения ПДК
Сероуглерод	CS ₂	0,03	0,002	0
Диметилсульфид	C ₂ H ₆ S	0,08	13,6	170,0 раз
Диметилсульфоксид	(SH ₃) ₂ SO	0,1	12,7	127,0 раз
Диоксид серы	SO ₂	0,5	0,852	1,7 раз
Сероводород	H ₂ S	0,008	0,002	0

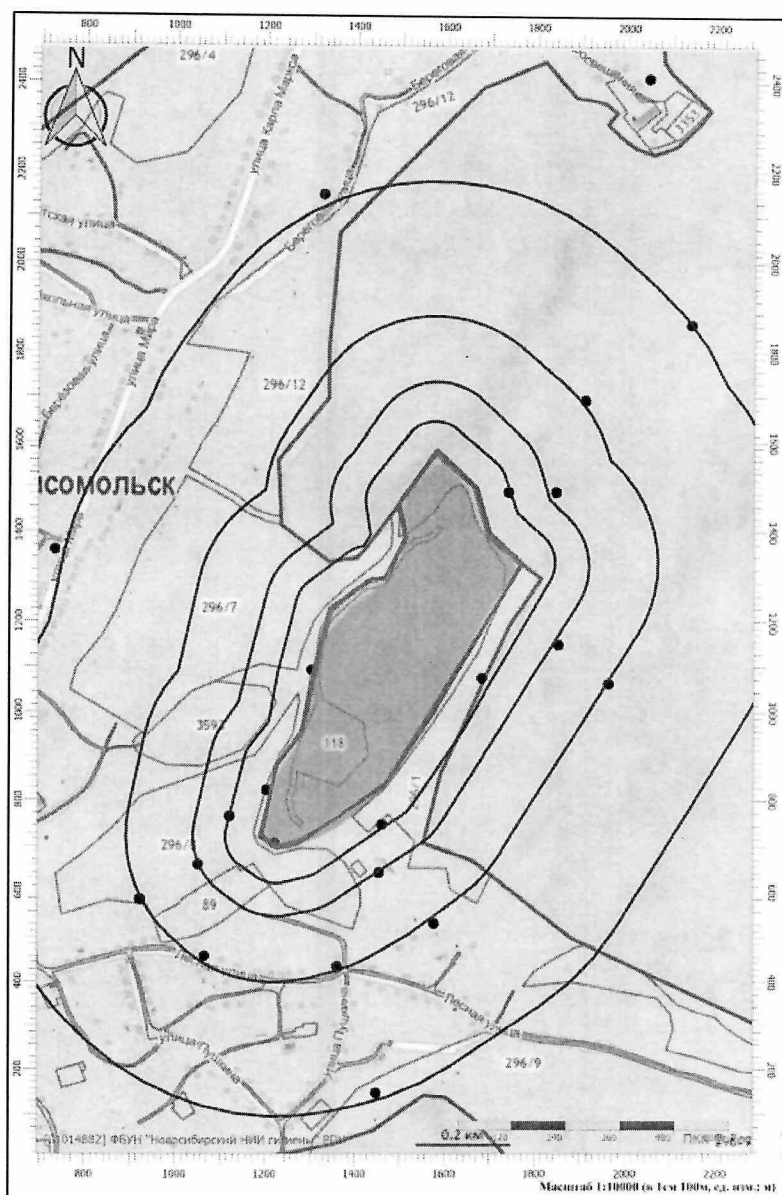
Таблица 3 - Концентрации летучих соединений серы в затравочной камере при температуре нагрева вещества отходов сульфидного флотоконцентрата Комсомольского золотоизвлекательного завода 25°C

Наименование вещества	Химическая формула	ПДК _{мр} или ОБУВ (мг/м³)	Концентрация в камере, мг/м³	Кратность превышения ПДК
Сероуглерод	CS ₂	0,03	0,029	0
Диметилсульфид	C ₂ H ₆ S	0,08	0,24	3,0 раза
Диметилсульфоксид	(SH ₃) ₂ SO	0,1	0,07	0
Диоксид серы	SO ₂	0,5	0,0	0
Сероводород	H ₂ S	0,008	0,0	0

Таблица 4 - Концентрации летучих соединений серы в затравочной камере при температуре нагрева вещества отходов сульфидного флотоконцентрата Комсомольского золотоизвлекательного завода 33°C

Наименование вещества	Химическая формула	ПДК _{мр} или ОБУВ (мг/м ³)	Концентрация в камере, мг/м ³	Кратность превышения ПДК
Сероуглерод	CS ₂	0,03	0,072	2,4 раз
Диметилсульфид	C ₂ H ₆ S	0,08	0,9	11,2 раз
Диметилсульфоксид	(SH ₃) ₂ SO	0,1	0,6	6,0 раз
Диоксид серы	SO ₂	0,5	0,004	0
Сероводород	H ₂ S	0,008	0,0012	0

Месторасположение точек отбора проб и концентрации летучих соединений серы при подфакельных и маршрутных наблюдениях



Условные обозначения

 Радиусы отбора проб
(75 м, 150 м, 300 м, 600 м)
 Хвостохранилище

 Точка отбора проб

Рисунок 1 - Точки отбора проб атмосферного воздуха на содержание соединений серы, выделяющихся из объекта хранения отходов переработки сульфидных руд (пгт. Комсомольск)

Таблица 1- Загрязнение атмосферного воздуха диметилсульфидом (мг/м³) на различных расстояниях от хвостохранилища (подфакельные наблюдения)

Показатели	Расстояние в метрах			
	75	150	300	600
Максимальная разовая концентрация	0,036	0,009	0,567	0,009
Осреднённая максимальная разовая концентрация (M±m)	0,01±0,001	0,006±0,0002	0,087±0,02	0,007±0,0002
Стандартное отклонение (σ)	0,01	0,001	0,134	0,0009
Количество проб (n)	50	50	50	50
Повторяемость концентраций больше ПДК или ОБУВ (в %)	0	0	35	0
Кратность превышения ПДК (ОБУВ) максимальной концентрацией	0	0	7,1	0
Кратность превышения ПДК (ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	1,1	0

Таблица 2 - Загрязнение атмосферного воздуха диметилсульфоксидом (мг/м³) на различных расстояниях от хвостохранилища (подфакельные наблюдения)

Показатели	Расстояние в метрах			
	75	150	300	600
Максимальная разовая концентрация	0,035	0,007	0,638	0,009
Осреднённая максимальная разовая концентрация (M±m)	0,009±0,001	0,005±0,0001	0,105±0,02	0,007±0,0001
Стандартное отклонение (σ)	0,01	0,001	0,145	0,001
Количество проб (n)	50	50	50	50
Повторяемость концентраций больше ПДК или ОБУВ (в %)	0	0	37,5	0
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) максимальной концентрацией	0	0	6,4	0
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	1,05	0

Таблица 3 - Месторасположение точек отбора проб в селитебной зоне

№ точки	Координаты	Высота отбора проб	Расстояние от хвостохранилища	Комментарий
1	N55°38'17,1800" E88°11'15,1544"	1,5м	633 м	в северо-восточном направлении от хвостохранилища, шт. Комсомольск, ул. Мира, 23
2	N55°38'06,1257" E88°11'09,0518"	1,5м	619 м	в западном направлении от хвостохранилища, шт. Комсомольск, ул. Мира, 3
3	N55°37'50,1754" E88°11'29,9859"	1,5м	273 м	в юго-западном направлении от хвостохранилища, шт. Комсомольск, ул. Лесная, 11
4	N55°37'48,5584" E88°11'48,7957"	1,5м	281 м	в южном направлении от хвостохранилища, шт. Комсомольск, ул. Лесная, 21
5	N55°38'43,8015" E88°11'48,2163"	1,5м	602 м	в северном направлении от хвостохранилища, шт. Комсомольск, ул. Березовая, 2
6	N55°38'54,7957" E88°13'31,8826"	1,5м	938 м	в северо-восточном направлении от хвостохранилища, шт. Комсомольск, ул. Просвещения, 4

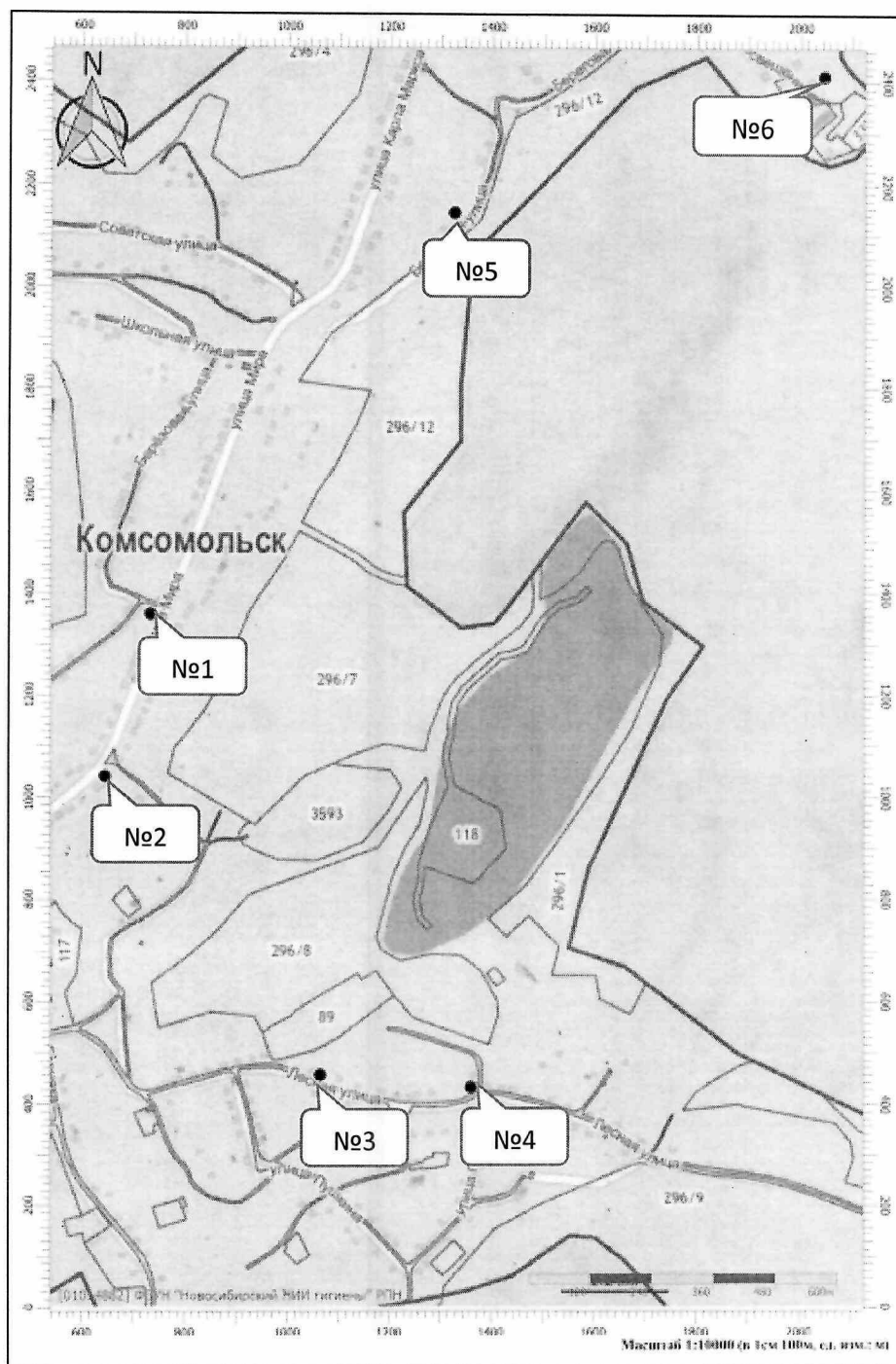


Рисунок 2 - Точки отбора проб атмосферного воздуха на содержание соединений серы, выделяющихся из объекта хранения отходов переработки сульфидных руд (селитебная зона пгт. Комсомольск)

Таблица 4 - Концентрации летучих соединений серы в атмосферном воздухе селитебной зоны (пгт. Комсомольск)

Вещество	№ точки					
Сероуглерод	1	2	3	4	5	6
Осреднённая максимальная разовая концентрация (М±m)	0,00046 ±0,00002	0,00062 ±0,00002	0,00061 ±0,00001	0,00045 ±0,00002	0,00039 ±0,00002	0,00041 ±0,00002
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	0	0	0	0
Диметилсульфид	1	2	3	4	5	6
Осреднённая максимальная разовая концентрация (М±m)	0,00803 ±0,0008	0,00844 ±0,0008	0,02906 ±0,001	0,00704 ±0,0006	0,0066 ±0,0008	0,004 ±0,0004
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	0	0	0	0
Диметилсульфоксид	1	2	3	4	5	6
Осреднённая максимальная разовая концентрация (М±m)	0,00405 ±0,0004	0,00406 ±0,0004	0,21765 ±0,07	0,00506 ±0,0004	0,00606 ±0,0005	0,00226 ±0,0003
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	2,176	0	0	0
Диоксид серы	1	2	3	4	5	6
Осреднённая максимальная разовая концентрация (М±m)	0,025 ±0,00	0,025 ±0,00	0,025 ±0,00	0,025 ±0,00	0,025 ±0,00	0,025 ±0,00
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	0	0	0	0
Сероводород	1	2	3	4	5	6
Осреднённая максимальная разовая концентрация (М±m)	0,00116 ±0,0009	0,00125 ±0,0009	0,00105 ±0,0008	0,00092 ±0,00004	0,00125 ±0,0009	0,00133 ±0,0009
Кратность превышения ПДК (или ОБУВ) осреднённой концентрацией	0	0	0	0	0	0