

печатать  
24.10.2018г.

На правах рукописи

**Козырь Дмитрий Александрович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ**

05.23.19 - экологическая безопасность строительства и городского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Макеевка – 2018

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк.

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
**Высоцкий Сергей Павлович**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор,  
**Дрозд Геннадий Яковлевич**,  
профессор кафедры «Промышленное, гражданское строительство и архитектура» Института строительства, архитектуры и ЖКХ ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля»

доктор технических наук, доцент,  
**Копылов Андрей Борисович**  
профессор кафедры Геотехнологий и строительства подземных сооружений ФГБОУ ВО «Тулский государственный университет»

**Ведущая организация:** Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор», г. Донецк

Защита состоится «26» декабря 2018 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 01.023.03 при ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина 2, зал ученого совета. Тел. факс: +38(0623) 22-77-19, e-mail: [d01.023.03@donnasa.ru](mailto:d01.023.03@donnasa.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д 01.023.03

Башева Татьяна Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время на территории Донецкого региона насчитывается более 600 породных отвалов (ПО), из которых около 140 горящих. Горение ПО с выбросом пыли и токсичных газов, самовозгорание породы, обвалы и даже взрывы горящих породных отвалов (ГПО) несут угрозу жизни людей и наносят существенный материальный ущерб. В Донецком регионе значительная часть всех ПО находится в черте горнопромышленных агломераций (ГПА). В ряде случаев в пределах их санитарно-защитной зоны (СЗЗ) находится селитебная территория. При анализе расчета рассеивания ГПО шахты «Октябрьский рудник» в г. Донецке зарегистрировано превышение санитарных нормативов на границе СЗЗ по загрязняющему веществу - сероводороду. Зона влияния ГПО достигает 10 км. Близость селитебной территории к ГПО оказывает негативное воздействие на здоровье населения - показатели общей заболеваемости в районе размещения таких отвалов, превышают показатели в районе отдаленном от них почти в 2 раза.

С целью раннего выявления очагов самовозгорания и своевременного принятия мер по предупреждению горения пород, необходим контроль их теплового состояния. В настоящее время температурная съемка, в соответствии с действующей «Инструкцией по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов», проводится с помощью контактных термометров на глубинах от 0,5 до 2,5 м. При использовании контактной методики, из-за редкой сети точек измерения температуры, невозможно достоверно определить количество, форму и площадь очагов самовозгорания. Кроме этого, из-за недоступности к очагам горения отсутствует возможность измерения их температуры контактным способом.

Для выбора оптимального комплекса мероприятий по предупреждению и ликвидации пожаров, снижению выбросов в атмосферу вредных веществ необходим своевременный мониторинг стадий развития процесса горения отвальных пород с помощью дистанционных методов. С развитием пожара затраты на его тушение значительно возрастают. Поэтому важным является своевременно выявить, локализовать и ликвидировать пожар. Отсутствие научно обоснованных и законодательно утвержденных, современных методов, позволяющих оперативно, точно и безопасно определить тепловое состояние ПО и обеспечить своевременное выполнение требований экологической безопасности в ГПА обуславливает актуальность проведения исследований для совершенствования систем мониторинга экологической безопасности ГПО с использованием дистанционных методов.

**Степень разработанности темы.** Вопросы мониторинга экологической безопасности ПО рассмотрены в работах, ведущих в данной отрасли, ученых: Анупмы Пракаш (Anupma Prakash), Грекова С.П., Зборщика М.П., Зубовой Л.Г., Клаудии Куенцер (Claudia Kuenzer), Костенко В.К., Ксавье Квероль (Xavier Querol),

Манфреда Вуттке (Manfred W Wuttke), Осокина В.В., Пашковского П.С., Проскурни Ю.А., Саранчука В.И. и т.д.

Существующий опыт использования дистанционных методов мониторинга свидетельствует об их перспективности для обеспечения экологической безопасности ПО. Тем не менее, в настоящее время отсутствуют утвержденные методики контроля уровня экологической безопасности ПО с использованием дистанционных методов, а существующая научно-практическая база недостаточна для их использования.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Данная работа выполнена на основании тематического плана научно-исследовательских работ ДонНТУ №-14 «Совершенствование средств контроля температуры при обеспечении экологической безопасности породных отвалов горных предприятий» (№ госрегистрации 0114U000405), в которой автор принимал участие в качестве ответственного исполнителя.

**Цель работы:** теоретическое и экспериментальное обоснование повышения уровня экологической безопасности породных отвалов горнопромышленных агломераций за счет совершенствования систем мониторинга их теплового состояния с использованием дистанционных методов.

**Задачи исследования:**

- **обосновать** применение дистанционных методов мониторинга теплового состояния ПО для повышения уровня экологической безопасности ГПА;
- **исследовать** основные теплофизические характеристики при дистанционном контроле температуры и **описать** их уравнением критериального вида;
- **определить** влияние расстояния, ракурса тепловизионной съемки, формы очагов самовозгорания ПО и степени метаморфизма угля на фиксируемую дистанционными методами энергетическую светимость;
- **установить** приоритетные направления сокращения эмиссий загрязнителей на поверхности ГПО для обеспечения экологической безопасности ГПА;
- **обосновать** механизм образования токсичных компонентов выбросов при горении ПО;
- **определить** предельные расстояния дистанционного контроля теплового состояния ПО и его периодичность;

**Объект исследования** – загрязнение атмосферы токсичными газами при горении ПО горнопромышленных агломераций.

**Предмет исследования** – исследование процессов выделения вредных веществ при окислении отвальной массы, оценка теплового состояния породных отвалов и мониторинг их экологической безопасности.

**Методы исследования** – при выполнении диссертационной работы был использован комплексный метод исследования: анализ и обобщение

информационных источников; теоретические исследования процесса дистанционного контроля температуры; моделирование изменения основных теплофизических характеристик при дистанционном контроле температуры; экспериментальные исследования влияния расстояния, ракурса тепловизионной съемки, формы очага самовозгорания на фиксируемую, с помощью дистанционных методов температуру; натурные исследования эмиссий токсичных газов с поверхности отвала; использование методов математической статистики для проверки достоверности полученных результатов. Используемые в лабораторных и натурных исследованиях тепловизоры метрологически обеспечены. Относительная погрешность измерения энергетической светимости тепловизором - 2% (паспортные данные). Для измерения концентраций загрязняющих веществ использовался газоанализатор ОКСИ-5М-5Н (свидетельство о поверке №84090/39 до 21.05.19). Относительная погрешность измерения концентраций токсичных газов - 5%.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Результаты исследований влияния расстояния, ракурса съемки, формы очагов самовозгорания и степени метаморфизма углей на дистанционный мониторинг экологической безопасности ПО.

2. Уравнение критериального вида, описывающее влияние теплофизических характеристик породы и атмосферы на отвод тепла от очагов самовозгорания на ПО при дистанционном контроле их теплового состояния.

3. Метод оценки уровня экологической безопасности ПО.

**Научная новизна полученных результатов** состоит в следующем:

1. Впервые **обоснован** дистанционный метод мониторинга теплового состояния поверхности ПО с различной степенью экологической опасности с оптимальной периодичностью (1 раз в месяц) с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

2. Впервые **получено** уравнение в критериальном виде, описывающее влияние теплофизических характеристик отвальной массы и атмосферы на отвод тепла от очага самовозгорания на отвалах горной породы.

3. **Установлено**, что температурный контраст между очагом самовозгорания и тепловизором обратно пропорционален расстоянию в степени 1,8.

4. **Обоснован** метод определения стадии горения ПО по соотношению концентраций диоксида углерода к оксиду углерода и степени использования кислорода.

5. **Раскрыт** механизм генерации сероводорода на поверхности ГПО, обусловленный реакцией сернистой кислоты с пиритом породы, при этом увеличение относительной влажности атмосферы сопровождается повышением степени генерации сероводорода.

### **Практическое значение полученных результатов.**

1. Внедрение дистанционных методов контроля теплового состояния ПО с учетом влияния основных факторов воздействия на дистанционный контроль позволит **повысить** уровень экологической безопасности ПО за счет своевременного предотвращения самовозгорания.

2. **Установлена** периодичность теплового контроля очагов самовозгорания на ПО – 1 раз в месяц.

3. Экспериментально **установлено**, что выбросы в атмосферу от низкотемпературных зон эрозии на поверхности ПО, занимающие площадь 20-25% поверхности отвала, составляют до 50% от общего вклада в загрязнение по всем загрязняющим веществам.

4. Применение дистанционных методов контроля температуры для температурной съемки ПО **сокращает** затраты на их выполнение в 5 раз по сравнению с действующей технологией.

5. Результаты диссертационного исследования (результаты лабораторных и натурных исследований, уравнение критериального вида, периодичность контроля) включены в Программу экологической безопасности ДНР (акт внедрения №1 от 7.05.2018 г), в Программу развития ОП «Шахта имени С.М. Кирова» ГП «Макеевуголь», в методику контроля теплового состояния породных отвалов, разработанную НИИГД «Респиратор». Основные научные разработки автора используются в учебном процессе ГОУ ВПО «ДонНТУ» для студентов направлений 20.03.01 «Техносферная безопасность», 05.03.06 «Экология и природопользование».

**Личный вклад соискателя.** Определены цели и поставлены задачи исследования совместно с научным руководителем; проведен обзор публикаций по современному состоянию мониторинга экологической безопасности отвалов горных пород; подготовлены основные публикации по теме диссертационной работы; проведены лабораторные и натурные исследования основных параметров дистанционного контроля теплового состояния ПО, а также выбросов токсичных газов при их горении; усовершенствована система мониторинга теплового состояния поверхности ПО с использованием БПЛА.

**Степень достоверности результатов и апробация результатов диссертационной работы.** Достоверность результатов обеспечена хорошей сходимостью результатов лабораторных и натурных исследований.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на: II международном научно-практическом семинаре «Повховские научные чтения» (г. Донецк, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Вентиляція підземних споруд та промислова безпека в XXI столітті» (г. Донецк, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Проблеми екологічної безпеки» (г. Кременчуг, 2014 г.); VIII научно-теоретической конференции «Екологія

людини» (г. Житомир, 2014 г.); Международной научно-технической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды» (г. Белгород, 2015 г.); Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); I-ой международной научно-практической конференции «Экологическая ситуация в Донбассе: проблемы безопасности и рекультивации повреждённых территорий для их экономического возрождения» (г. Донецк, 2016 г.); Международной научно-технической интернет-конференции «Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов» (г. Тула, 2017 г.); Всероссийской научной конференции «Проблемы социально-экономической географии и природопользования» (г. Ростов-на-Дону, 2017 г.); VII международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях» (г. Белгород, 2017 г.); XII Международной конференции аспирантов и студентов «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» (г. Донецк, 2018 г.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 18 научных работах, общим объемом 4,20 п.л., лично автором – 3,42 п.л., в том числе 2 работы опубликованы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных журналов, утвержденный ВАК МОН Украины, 3 работы – в рецензируемых научных изданиях, утвержденным перечнем ВАК МОН ДНР, 13 работ – в сборниках трудов международных и региональных научно-практических конференций а также других изданий (6 – в изданиях, индексируемых в базе данных РИНЦ (РФ)).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Материалы диссертации изложены на 192 страницах, в том числе на 124 страницах основного текста, 31 полных страницах с рисунками и таблицами, 19 страницах списка литературных источников, 18 страницах приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновано состояние проблемы, отмечена актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет диссертационной работы, приведены научная новизна, практическая ценность полученных результатов, сведения об апробации проведенных исследований и публикациях научных работ.

**Первый раздел** посвящен анализу уровня экологической безопасности ПО горнопромышленных агломераций. Выполнен анализ основных причин самовозгорания ПО. Рассмотрены используемые в настоящее время методы

мониторинга экологической безопасности ПО. Выполнен анализ результатов исследований продуктов горения ПО. Действующий контактный метод контроля теплового состояния ПО, а также его периодичность (1 раз в год) не позволяют своевременно проводить мероприятия по предотвращению самовозгорания очагов на ПО. Мировой и отечественный опыт использования дистанционных методов теплового контроля ПО не учитывает влияние основных факторов воздействия на фиксируемую дистанционными методами энергетическую светимость (расстояние от очага самовозгорания до тепловизора, размеры очага самовозгорания, ракурс дистанционной съемки, теплопроводные свойства породы и атмосферы). Это не позволяет своевременно выявлять низкотемпературные очаги самонагревания. Анализ результатов работ, посвященных рассматриваемой проблеме позволил сформулировать цель и задачи диссертационного исследования.

**Во втором разделе** выполнен анализ влияния основных факторов, оказывающих воздействие на фиксируемую дистанционными методами энергетическую светимость. Результаты анализа теоретических принципов определения теплового состояния ПО с помощью дистанционных методов позволили обосновать параметры влияния основных факторов на фиксируемую дистанционными методами энергетическую светимость. На основные факторы дистанционного контроля влияют ослабление излучения атмосферой, турбулентность атмосферы, ракурс дистанционной съемки и теплофизические характеристики породы и атмосферы при дистанционном контроле температуры.

Учитывая сложность процессов теплообмена между очагом самовозгорания и средой (породой и атмосферой) для их описания применен метод анализа размерностей с учетом дополнения Хантли. Это позволило разработать уравнение критериального вида, которое учитывает основные теплофизические характеристики породы и атмосферы, влияющие на дистанционное измерение температуры очагов самовозгорания на ПО (таблица 1).

Таблица 1 - Параметры взаимодействия очага самовозгорания с окружающей средой и тепловизором

Параметр	$L_x$	$L_y$	$L_z$	$T$	$Q$	$\tau$	$n$
$\alpha_a$	-	-	-2	-1	1	-1	1
$\alpha_{II}$	-2/3	-2/3	-2/3	-1	1	-1	a
$\lambda_a$	-	-	-1	-1	1	-1	b
$\lambda_{II}$	-1/3	-1/3	-1/3	-1	1	-1	c
$L$	-	-	1	-	-	-	d
$d$	1/3	1/3	1/3	-	-	-	e
$V$	1/2	1/2	-	-	-	-1	к



где  $\alpha_a$  – фиксируемый коэффициент теплоотдачи в атмосферу, Дж/м<sup>2</sup>\*К\*с;

$\alpha_{\pi}$  – коэффициент теплоотдачи к породе, Дж/м<sup>2</sup>\*К\*с;

$\lambda_a$  – коэффициент теплопроводности атмосферы, Дж/м\*К\*с;

$\lambda_{\pi}$  – коэффициент теплопроводности породы, Дж/м\*К\*с;

$L$  – расстояние от очага самовозгорания до тепловизора (расстояние дистанционной съемки), м;

$d$  – эквивалентный диаметр очага самовозгорания, м;

$T$  – температура очага самовозгорания, К;

$Q$  – тепловой поток, Дж/с;

$V$  – скорость потоков воздуха, м/с;

$\tau$  – длительность процесса съемки, с;

$n$  – показатель степени влияния основных факторов.

Уравнение фиксируемого коэффициента теплоотдачи от очага самовозгорания в атмосферу имеет вид:

$$\alpha_a = \alpha_{\pi}^{0,5} * \lambda_a^{0,17} * \lambda_{\pi}^{0,33} * L^{-1,83} * d^{1,33}. \quad (1)$$

Критерии Нуссельта от очага самовозгорания в атмосферу ( $Nu_a$ ) и к породе ( $Nu_{\pi}$ ) равны соответственно:

$$Nu_a = \frac{\alpha_a L}{\lambda_a}, \quad (2)$$

$$Nu_{\pi} = \frac{\alpha_{\pi} d}{\lambda_{\pi}}. \quad (3)$$

Приведенное к критериальному виду уравнение (1) примет вид:

$$Nu_a = Nu_{\pi}^{0,5} \left( \frac{\lambda_{\pi} d}{\lambda_a L} \right)^{0,83}. \quad (4)$$

Впервые установлено, что значение критерия Нуссельта от очага самовозгорания в атмосферу, характеризующее отвод тепла излучением, пропорционально квадратному корню из критерия Нуссельта, характеризующего отвод тепла к породе и, соответственно, зависит от теплопроводных свойств породы и атмосферы. С использованием уравнения критериального вида и закона Стефана-Больцмана установлена величина температурного контраста между очагом самовозгорания и тепловизором ( $\Delta T$ ). Обозначим:

$$\Delta T = T_{\pi} - T_a, \quad (5)$$

$$\alpha_a = \sigma(T_{\pi}^4 - T_a^4), \quad (6)$$

где  $\sigma$  - постоянная Стефана — Больцмана ( $\text{Дж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ ).

Получим:

$$\alpha_a = \sigma \Delta T * T_{\text{п}}^3 \left( 1 + \left( \frac{T_a}{T_{\text{п}}} \right)^3 + \left( \frac{T_a}{T_{\text{п}}} \right)^2 + \frac{T_a}{T_{\text{п}}} \right), \quad (7)$$

$$\Delta T = \frac{\left( \frac{\alpha_{\text{п}} d}{\lambda_{\text{п}}} \right)^{0,5} \left( \frac{\lambda_{\text{п}} d}{\lambda_a L} \right)^{0,83} \lambda_a}{T_{\text{п}}^3 \left( 1 + \left( \frac{T_a}{T_{\text{п}}} \right)^3 + \left( \frac{T_a}{T_{\text{п}}} \right)^2 + \frac{T_a}{T_{\text{п}}} \right) L \sigma}. \quad (8)$$

Таким образом, температурный контраст ( $\Delta T$ ) позволяет определить влияние основных факторов на фиксируемую энергетическую светимость дистанционного контроля теплового состояния ГПО.

**В третьем разделе** приведены результаты лабораторных исследований температурного состояния объекта, определенного с применением дистанционного способа контроля температуры (рисунок 1).

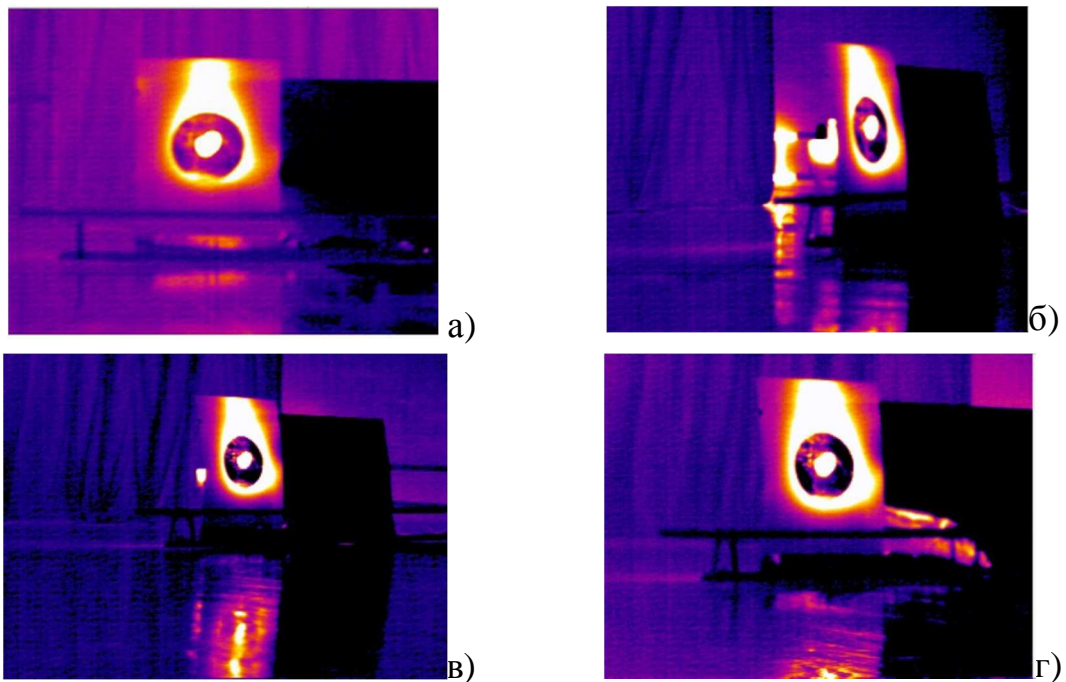


Рисунок 1 – Фотографии лабораторных исследований объекта тепловыделения при расстоянии 9 м и ракурсах  $90^{\circ}$  (а),  $30^{\circ}$  (б),  $45^{\circ}$  (в),  $60^{\circ}$  (г)

Исследования выполнены по разработанной в настоящей работе методике посредством тепловизора Land Cyclops Ti-814 в помещении, где на высоте от уровня пола 0,5 м, устанавливали вертикально нагревательный элемент. Для получения равномерно нагретой поверхности большей площади, к нагревательному элементу устанавливали лист из жести с экранами различной формы (круг, овал, прямоугольники горизонтальный и вертикальный, щели горизонтальная и

вертикальная). При этом площадь всех экранов была постоянной и равнялась  $0,5 \text{ м}^2$ . Тепловизионную съемку объекта тепловыделения проводили с увеличением дистанции съемки от 3 до 27 м с шагом 3 м, при скорости потока воздуха (0,5, 1,8 и 2,8 м/с) и ракурса съемки ( $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ).

Установлено, что при увеличении расстояния дистанционной съемки энергетическая светимость очага тепловыделения снижается (рисунок 2).

Снижение энергетической светимости с увеличением расстояния дистанционной съемки также происходит при использовании различных экранов (рисунок 3).

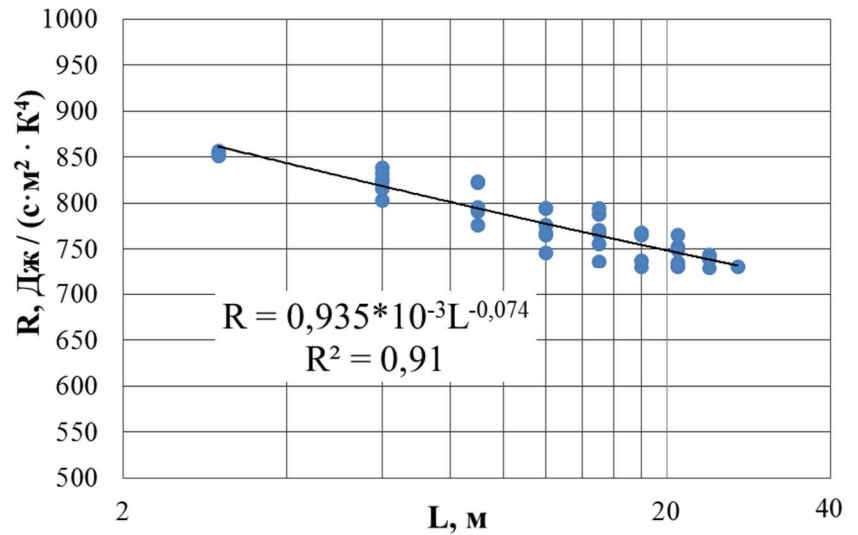


Рисунок 2 - Зависимость энергетической светимости (R) от расстояния съемки (L) при ракурсе  $90^\circ$

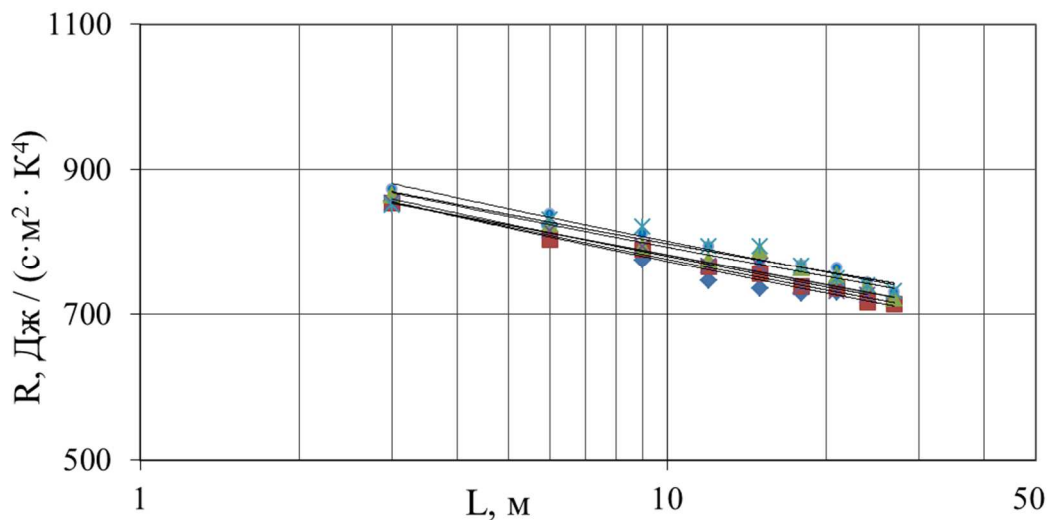


Рисунок 3 - Зависимость энергетической светимости (R) от расстояния съемки (L) при использовании различных экранов (ракурс съемки  $90^\circ$ )

- ▲ - прямоугольник горизонтальный;      ■ - прямоугольник вертикальный;
- ◆ - овал;      \* - щель горизонтальная;
- × - щель вертикальная;      ● - круг.

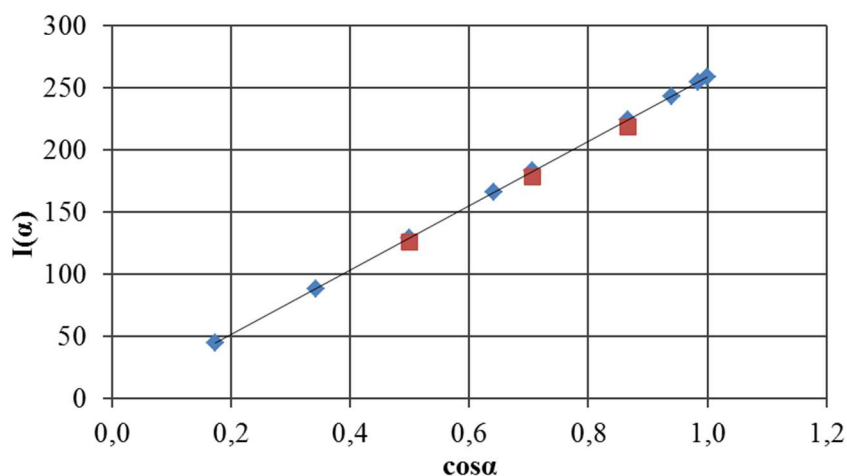
При этом также установлено, что использование экранов различной формы не влияет на величину энергетической светимости. Поэтому изменение формы очага самовозгорания в тепловизионных исследованиях ПО не будет оказывать влияния на фиксируемую энергетическую светимость. В результате лабораторных исследо-

ваний также установлено, что влияние ракурса съемки на фиксируемую температуру полностью соответствует закону Ламберта. Энергетическая сила света, полученная при проведении лабораторных исследований, соответствует энергетической силе света, полученной из закона Ламберта (рисунок 4).

При увеличении скорости потоков воздуха до

0,5 м/с энергетическая светимость уменьшилась на 4 %, при дальнейшем увеличении скорости до 1,8 м/с – уменьшилась на 20 %, а при увеличении скорости до 2,8 м/с – уменьшилась на 29%. Влияние турбулентности на энергетическую светимость согласуется с теоретическими принципами. Анализ результатов лабораторных исследований был выполнен с использованием величины температурного контраста. При выполнении лабораторных исследований установлено, что температурный контраст ( $\Delta T$ ) между очагом тепловыделения и тепловизором обратно пропорционален расстоянию съемки ( $L$ ) в степени 1,8.

**Четвертый раздел** посвящен результатам натурных исследований температурного состояния ПО с помощью дистанционных методов контроля (рисунок 5).



◆ Закон Ламберта ■ экспериментальные исследования  
Рисунок 4 - Зависимость энергетической силы света ( $I(\alpha)$ , Вт/(см\*ср)) от ракурса тепловизионной съемки

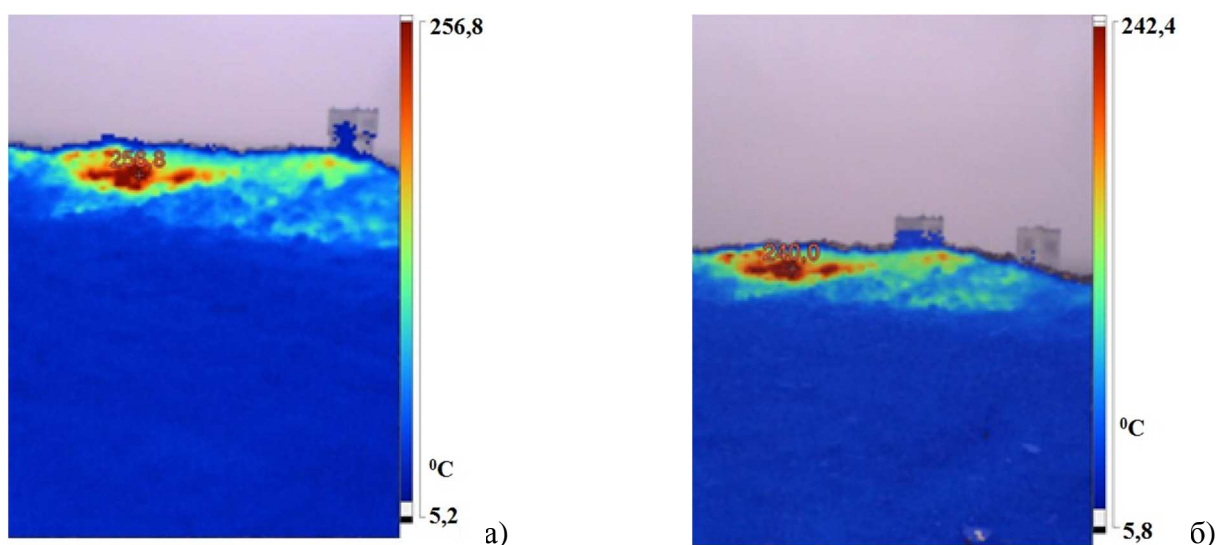


Рисунок 5 – Фотографии тепловизионной съемки на отвале шахты «Октябрьский рудник» (распределение температур: 3-256,8 °C (а); 3-242,4 °C (б)).

Натурные исследования теплового состояния ПО были выполнены по разработанной в настоящей работе методике с применением тепловизора Fluke Ti-125 на ПО шахт Донбасса: шахта им. М. И. Калинина, шахта Октябрьский рудник, шахта им. Ленина, шахта им. Кирова и шахта 13-бис.

При подготовке к тепловизионной съемке ПО определялись коэффициенты излучения и отражения инфракрасного излучения. В ходе анализа полученных данных тепловой съемки, выявлялись участки с аномальной температурой.

Установлено, что при увеличении расстояния тепловизионной съемки энергетическая светимость при натуральных исследованиях, так же как и при лабораторных исследованиях уменьшается по степенному закону (рисунок 6). При этом температурный контраст ( $\Delta T$ ), определенный при натуральных и лабораторных исследованиях обратно пропорционален расстоянию ( $L$ ) в степени 1,8 (рисунок 7).

Влияние ракурса при натуральных исследованиях, соответствует закону Ламберта. Натурные исследования показали, что распределение энерги-

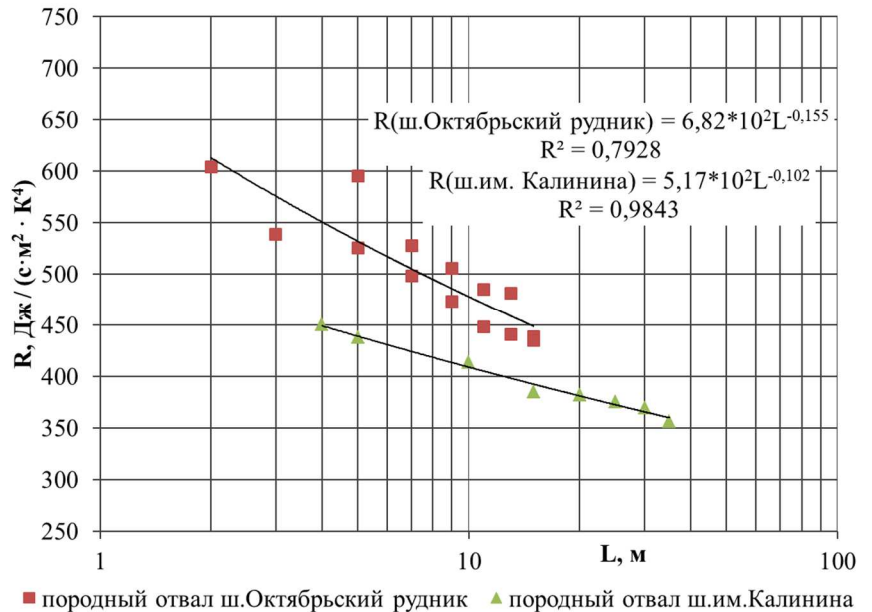


Рисунок 6 - Зависимость энергетической светимости ( $R$ ) от расстояния съемки ( $L$ ) при ракурсе  $90^\circ$

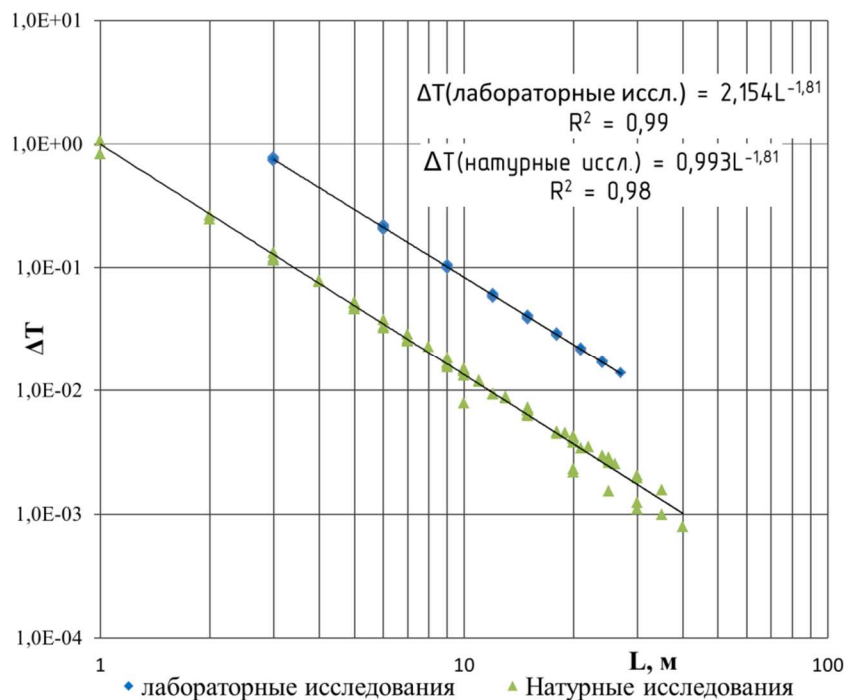


Рисунок 7 - Зависимость температурного контраста ( $\Delta T$ ) очага нагревания от расстояния съемки ( $L$ , м).

ческой светимости очага самовозгорания на ПО при увеличении расстояния дистанционной съемки соответствует энергетической светимости, полученной при использовании уравнения критериального вида, что говорит об его адекватности. Экспериментально установлено, что в местах эрозии поверхности породных отвалов угольных шахт происходит низкотемпературное окисление отвальной массы. Окисление происходит на горящих и не горящих ПО (рисунок 8).

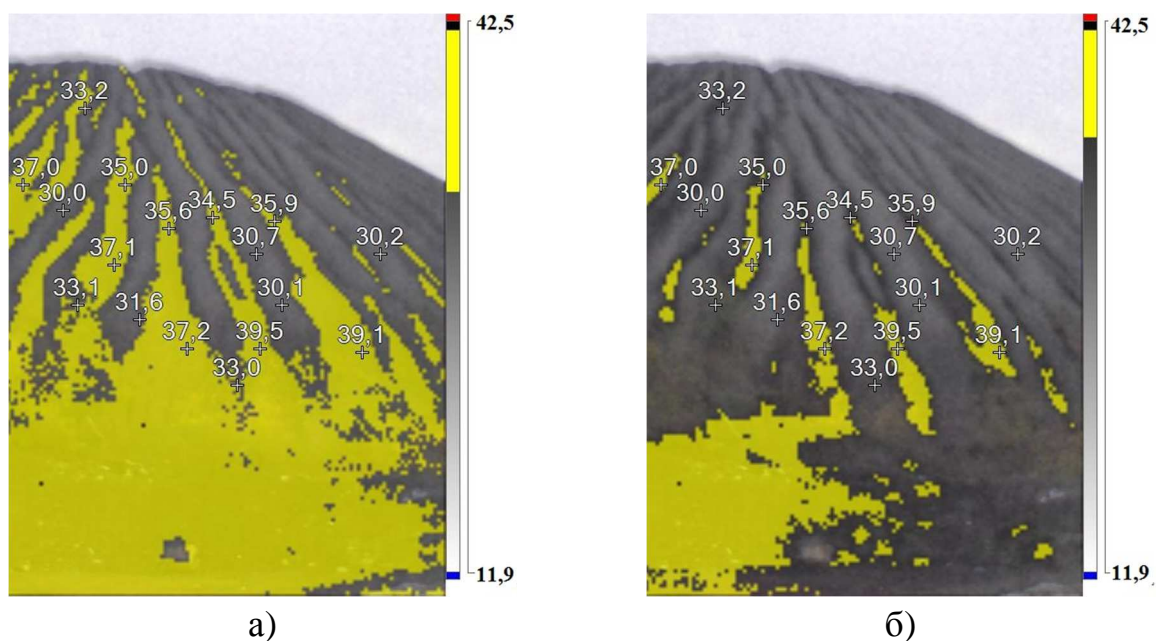


Рисунок 8 – Фотографии тепловизионной съемки на не горящем ПО шахты 13-я бис (распределение температур:  $33^{\circ}\text{C}$  –  $42,5^{\circ}\text{C}$  (а);  $35^{\circ}\text{C}$  –  $42,5^{\circ}\text{C}$  (б)).

Диапазон повышения температуры в местах эрозии на обследованных отвалах составлял  $1...6^{\circ}\text{C}$ , а площадь участков с повышенной температурой составляла  $20...25\%$ .

Для выявления очагов самовозгорания в дополнении к дистанционному контролю теплового состояния ПО целесообразно осуществлять контроль состава их выбросов. Для изучения состава выбросов ГПО выполнены инструментальные измерения очагов самонагревания и самовозгорания на отвале шахты им. Калинина. При инструментальных измерениях использовалась труба высотой 1,5 м и диаметром 0,15 м, которая повысила чувствительность измерений концентрации токсичных выбросов за счет уменьшения влияния разбавления выбросов.

Измерения проводились на выявленных ранее с применением дистанционных методов очагах самовозгорания с учетом требований техники безопасности.

Проведенные исследования показали, что участки эрозии поверхности ПО, вследствие активизации в них окислительных процессов, представляют собой места повышенного негативного воздействия на окружающую среду из-за усиленного

образования загрязняющих веществ. Концентрация загрязняющих веществ в местах эрозии составляла: 4..8 ПДК  $\text{SO}_2$ , 2..10 ПДК  $\text{NO}_2$ , 10..15 ПДК  $\text{CO}$ . Анализ результатов исследований показал, что имеет место превышение ПДК следующих загрязняющих веществ в выбрасываемых при горении ПО газах: диоксид азота – до 20 ПДК; оксид углерода – до 140 ПДК; диоксид серы – до 30 ПДК.

Расчет рассеивания выбросов загрязняющих веществ при горении ПО шахты им. Калинина показал превышение ПДК на границе СЗЗ и селитебной территории: по диоксиду серы (2,87 ПДК на селитебной территории, 1,44 ПДК на СЗЗ), по суммарному действию оксида азота и диоксида серы (4,30 ПДК на селитебной территории, 2,17 ПДК на СЗЗ), по оксиду азота (1,2 ПДК на селитебной территории, 0,75 ПДК на СЗЗ), сероводороду (15,89 ПДК на селитебной территории, 20,8 ПДК на СЗЗ), по суммарному действию сероводорода и диоксида серы (21,8 ПДК на СЗЗ, 15,95 ПДК на селитебной территории). Расчетная зона влияния ПО шахты им. Калинина составляет около 37 км.

Установлено, что выбросы от зон эрозии составляют около 50%, от общего вклада в загрязнение по всем загрязняющим веществам. Выбросы токсичных газов на относительно больших площадях поверхности ПО, подверженных эрозии (25%) при температуре поверхности превышающей фоновую на  $1..6^{\circ}\text{C}$  позволили установить приоритетность проведения мероприятий по предупреждению самовозгорания пород.

ПО характеризуются непостоянством состава, оценить стадию их окисления по степени горения топлива практически невозможно. Критерием оценки стадии окисления ПО является степень использования кислорода воздуха ( $\text{O}_2$ ), который необходим для горения породного массива (рисунок 9).

Стадия окисления очагов самовозгорания оценивалась при помощи отношения измеренных концентраций диоксида и оксида углерода ( $\text{CO}_2/\text{CO}$ ) и степени использования  $\text{O}_2$  ( $\alpha_{\text{O}_2}$ ):

$$\alpha_{\text{O}_2} = \frac{C_{\text{O}_2} - C_{\text{O}_2\text{изм}}}{C_{\text{O}_2\text{изм}}}, \quad (9)$$

где  $C_{\text{O}_2}$  – средняя концентрация  $\text{O}_2$  в воздухе, %, об.;

$C_{\text{O}_2\text{изм}}$  – величина измеренной концентрации  $\text{O}_2$  в дымовых газах очага самовозгорания, %, об.

Исследование использования кислорода воздуха для окисления угля и пиритов ПО позволило определить направление процесса горения.

При развитии процесса в очаге самовозгорания, энергия активации процесса меньше и активное горение происходит с меньшим избытком кислорода.

При этом степень использования кислорода воздуха больше.

При уменьшении температуры в очаге для знаковой реализации процесса требуется большой избыток кислорода или имеет место меньшая степень его использования. Степень использования  $O_2$  также определяется отношением  $CO_2/CO$  и характеризует направление процесса окисления породы. Результаты измерений показали, что по мере окисления породы возрастает концентрация диоксида углерода и степень использования  $O_2$  ( $R^2 = 0,95$ ):

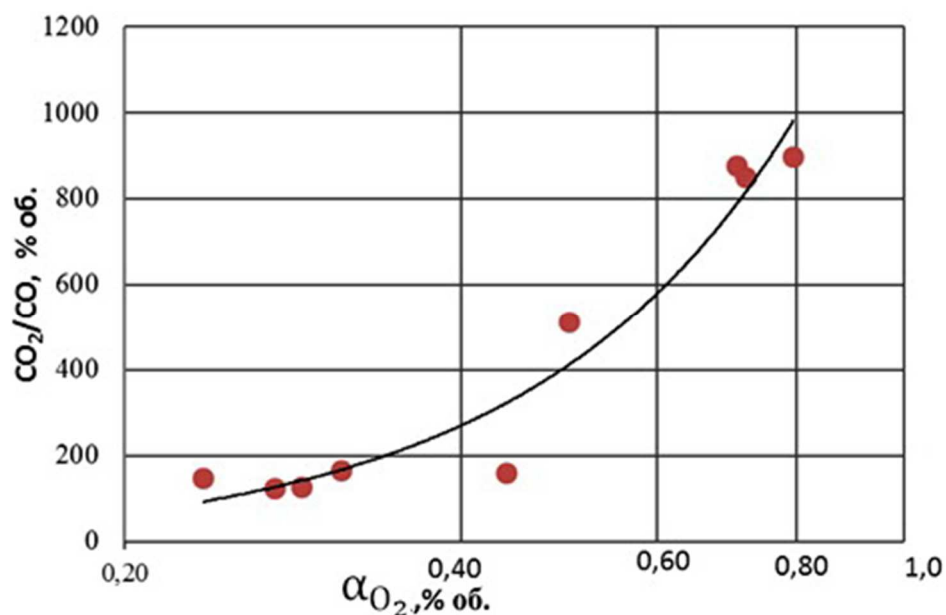


Рисунок 9 - Зависимость изменения  $CO_2/CO$  от  $\alpha_{O_2}$

$$\frac{CO_2}{CO} = 1301\alpha_{O_2}^2 + 247\alpha_{O_2} - 37. \quad (10)$$

При анализе данных исследований установлено, что до уровня степени использования кислорода 0,4 происходит его умеренный рост, а после этого уровня наблюдается ускоренный рост степени использования кислорода и отношения  $CO_2/CO$ , что характеризует переход от процесса самонагрева к самовозгоранию породного массива.

Самым токсичным газом, выделяемым при горении ПО, является сероводород ( $H_2S$ ). Учитывая ПДК сероводорода ( $0,008 \text{ мг/м}^3$ ), он в 63 раза токсичнее диоксида серы ( $0,5 \text{ мг/м}^3$ ) и в 25 раз токсичнее оксидов азота ( $0,2 \text{ мг/м}^3$ ).

Для объяснения механизма генерации сероводорода, являющегося основным токсикантом в газовых выбросах, в натуральных условиях на горящем ПО шахты им. Калинина выполнены натурные исследования по определению влияния увлажнения породы на увеличение концентрации сероводорода. Экспериментально установлено, что при увеличении относительной влажности воздуха наблюдается повышение концентрации сероводорода.

Концентрация сероводорода ( $C_{H_2S}, \text{ppm}$ ) при увеличении относительной влажности ( $h, \%$ ) изменялась по зависимости с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,87$  (рисунок 10):



$$C_{H_2S} = 1,55 \times 10^{-2} h^{1.67}. \quad (11)$$

Экспериментально обоснован процесс генерации сероводорода на поверхности горящих ПО. Учитывая стратификацию газов по их плотности, часть диоксида серы находится у поверхности ПО. Атмосферная влага, образующаяся при осадках (туман, дождь, снег) реагирует с диоксидом серы:



Учитывая повышенную плотность образовавшейся сернистой кислоты, она конденсируется у поверхности ПО. Сернистая кислота, реагируя с сульфидом в составе породы, образует сероводород:

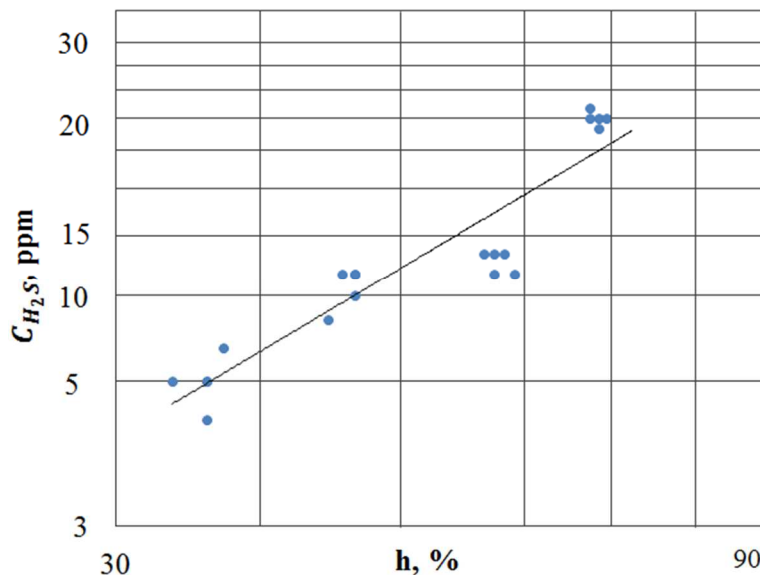


Рисунок 10 - Зависимость концентрации сероводорода ( $C_{H_2S}$ , ppm) от относительной влажности воздуха ( $h$ , %)



При взаимодействии выбросов сероводорода и диоксида серы по известному процессу Клауса образуется элементарная сера. При этом на поверхности ПО возникает налет серы.



Учитывая высокую токсичность сероводорода, при тушении поверхностных очагов на ГПО необходимо в первую очередь предусматривать мероприятия по его нейтрализации. Так, например, для нейтрализации сероводорода рекомендуется обработка очагов самовозгорания с использованием раствора извести.

**В пятом разделе** разработаны предложения по совершенствованию системы мониторинга экологической безопасности ПО. Угли разной стадии метаморфизма избирательно проявляют интенсивность самовозгорания на разных стадиях горения ПО (рисунок 11). Установлено, что при тепловизионной съемке ПО, образованных при добыче углей высокой стадии метаморфизма (Донецкий и Подмосковский бассейны) фиксируемый коэффициент теплоотдачи в атмосферу выше, чем при

съемках ПО, образованных при добыче углей ранней стадии метаморфизма (Печорский и Челябинский бассейны). Для ПО, образованных при добыче углей высокой стадии метаморфизма (Донецкий и Подмосковный бассейны) расстояние дистанционного контроля больше, чем для ПО, образованных при добыче углей ранней стадии метаморфизма (Печорский и Челябинский бассейны). Так расстояние дистанционного контроля ПО с фиксируемым коэффициентом теплоотдачи к атмосфере  $1,08 \cdot 10^{-4}$  Дж/(м<sup>2</sup>\*К\*с) для Подмосковского бассейна равно 143 м, для Донбасса – 133 м, для Печорского бассейна 125 м, а для Челябинского бассейна – 122 м. Анализ выбросов оксида углерода показал, что горение ПО, образованных при добыче углей ранней стадии метаморфизма (Печорский и Челябинский бассейны), приводит к более значительным выбросам, чем при горении ПО, образованных при добыче углей высокой стадии метаморфизма (Донецкий и Подмосковный бассейны).

Выявление очагов самовозгорания с помощью дистанционного контроля температуры может проводиться с использованием тепловизора как в ручном режиме, так и с использованием БПЛА. Массовое производство БПЛА, наиболее приближенных к требуемым техническим условиям использования, а также стабильных в управлении и в работе, делает их использование целесообразным. БПЛА позволяют обеспечить своевременное обнаружение очагов тепловыделения на начальной стадии горения.

Для предотвращения самовозгорания и тушения отдельных поверхностных очагов горения применяют засыпку изолирующими материалами, которые ограничивают приток кислорода к окисляющимся поверхностям. Недостатком этого метода предупреждения является консервация отвала на период проведения работ по тушению. Кроме этого при тушении очагов в труднодоступных местах возможно

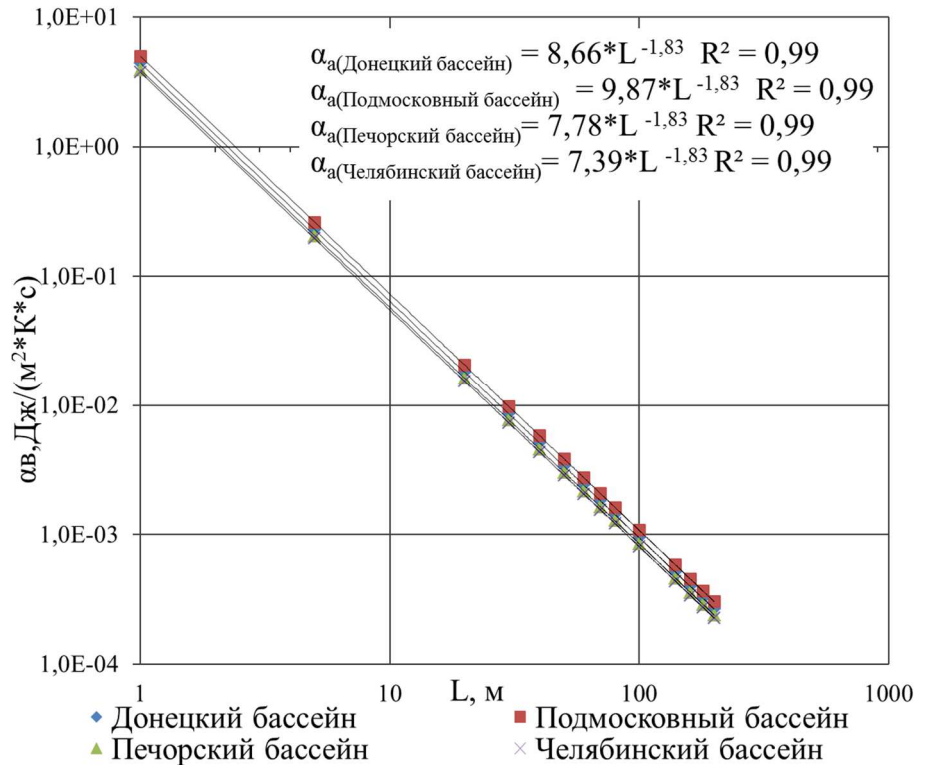


Рисунок 11 – Влияние расстояния между объектом тепловыделения и тепловизором ( $L$ , м) на фиксируемый коэффициент теплоотдачи в атмосфере ( $\alpha_v$ , Дж/(м<sup>2</sup>\*К\*с))

нарушение их теплового режима, что может привести к образованию новых очагов. При использовании БПЛА можно избежать этого недостатка. БПЛА вертолетного типа (например «Ворон 700») притормаживает в воздухе над очагом самовозгорания и сбрасывает на него изолирующие материалы. В качестве изолирующих материалов предлагается смесь, состоящая из глины, карбоната кальция и флокулянта. Смесь сбрасывают на очаг самовозгорания, выявленный с помощью дистанционного температурного мониторинга. Использование БПЛА позволяет оперативно локализовать и ликвидировать очаги самовозгорания на ранней стадии.

Ущерб, наносимый окружающей среде и здоровью населения, а также стоимость проводимых мероприятий по тушению очагов на поздней стадии горения превышает стоимость мониторинга теплового состояния породных отвалов.

Затраты на температурную съемку, дистанционный мониторинг, мероприятия по снижению температуры, расчет выбросов в атмосферный воздух и экологический ущерб от выбросов загрязняющих веществ с поверхности ГПО (З, руб/год) равны:

$$Z = An + \frac{B}{n}, \quad (15)$$

$$\frac{dZ}{dn} = A - \frac{B}{n^2}, \quad (16)$$

где А-затраты на температурную съемку и меры по снижению температуры, руб.;

В – предотвращенный экологический ущерб, руб.;

n – частота замеров, год<sup>-1</sup>.

Годовая периодичность замеров (τ, год<sup>-1</sup>) будет равна:

$$\tau = 12 \sqrt{\frac{A}{B}}. \quad (17)$$

По данным температурных съемок и налогового кодекса ДНР экологический ущерб за выбросы в атмосферу при горении одного ПО составляет около 3500 тыс. руб./год. Стоимость одной дистанционной съемки составляет 41 тыс. руб. Учитывая экономическое обоснование периодичности и время достижения углем температуры самовозгорания, мониторинг теплового состояния ПО рекомендуется проводить с периодичностью 1 раз в месяц. Сопоставление стоимости выполнения работ по температурной съемке и определению выбросов токсичных газов с ПО при использовании существующей и новой технологии показало, что предлагаемая технология дистанционной температурной съемки и определения выбросов токсичных газов с поверхности ПО позволяет снизить стоимость работ в 5 раз.

## ВЫВОДЫ

К основным результатам работы относятся следующие положения:

1. Теоретически и экспериментально **доказано**, что эффективным способом повышения уровня экологической безопасности породных отвалов горнопромышленных агломераций является дистанционный мониторинг теплового состояния поверхности действующих и не действующих, горящих и не горящих ПО в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов, оснащенных приборами тепловизионной съемки.

2. Влияние теплофизических характеристик породы и атмосферы на отвод тепла от очагов самовозгорания на отвалах горной породы **описано** уравнением в критериальном виде. Адекватность этого уравнения подтверждена результатами натуральных исследований.

3. **Обоснованы** и **установлены** предельные расстояния и периодичность дистанционного мониторинга теплового состояния поверхности ПО для углей разной степени метаморфизма.

4. Экспериментально **установлено**, что выбросы в атмосферу от низкотемпературных зон эрозии на поверхности породных отвалов, занимающие площадь 20-25% поверхности отвала, составляют до 50% от общего вклада в загрязнение по всем загрязняющим веществам.

5. **Установлено**, что увеличение относительной влажности атмосферы сопровождается повышением степени генерации наиболее токсичного компонента газовых выбросов - сероводорода в низкотемпературных зонах на поверхности горящих породных отвалов.

6. **Предложен** метод определения стадии горения породных отвалов по соотношению концентраций диоксида углерода к оксиду углерода и по степени использования кислорода.

7. **Установлено**, что значение критерия Нуссельта от очага самонагрева в атмосферу ( $Nu_a$ ), характеризующее отвод тепла излучением, пропорционально квадратному корню из критерия Нуссельта, характеризующего отвод тепла к породе ( $Nu_p$ ) и, соответственно зависит от теплопроводных свойств породы и атмосферы.

8. **Проанализирован** механизм развития самовозгорания ПО и обоснована необходимость предотвращения выбросов загрязняющих веществ на ранней стадии горения отвалов.

9. Теоретически **обосновано** и **подтверждено** лабораторными и натурными исследованиями влияние расстояния, ракурса съемки и формы очагов самовозгорания на фиксируемую энергетическую светимость и температурный контраст при дистанционных методах контроля.

10. Результаты диссертационного исследования включены в Программу экологической безопасности ДНР, в Программу развития ОП «Шахта имени С.М. Кирова» ГП «Макеевуголь», в методику НИИГД «Респиратор» о контроле теплового состояния породных отвалов. Основные научные разработки автора используются в учебном процессе ГОУ ВПО «ДонНТУ» для студентов направлений 20.03.01 «Техносферная безопасность», 05.03.06 «Экология и природопользование».

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в рецензируемых научных изданиях, утвержденных перечнем ВАК МОН ДНР:

1. Высоцкий, С. П. Мониторинг теплового состояния породных отвалов с использованием дистанционных методов контроля [Текст] / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Вестник Академии гражданской защиты: научный журнал. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2018. – Вып. 1 (13) – С. 59 – 69. *(обоснована система мониторинга теплового состояния поверхности породных отвалов с использованием БПЛА).*

2. Высоцкий, С. П. Контроль экологического состояния породных отвалов [Электронный ресурс] / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка: ДонНАСА, 2018. – Вып. 2018-3 (131). – С. 12 - 18. – Режим доступа: [http://www.donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2018/vestnik\\_2018-3\(131\).pdf](http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2018/vestnik_2018-3(131).pdf) *(установлено, что температурный контраст обратно пропорционален расстоянию в степени 1,8; предложен метод оценки стадии горения путем измерения отношения концентраций диоксида и оксида углерода и степени использования O<sub>2</sub> на очагах самовозгорания).*

3. Высоцкий, С. П. Исследование процессов генерации выбросов токсичных газов на породных отвалах [Текст] / С. П. Высоцкий, Д. А. Козырь // Вестник Академии гражданской защиты: научный журнал. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2018. – Вып. 3 (15). – С. 68 – 74. *(установлено, что процесс генерации сероводорода на поверхности горящих породных отвалов обусловлен реакцией сернистой кислоты с пиритом породы).*

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных ВАК МОН Украины:

4. Козир, Д. О. Аналіз впливу зовнішніх факторів на результати температурного контролю теплового стану породних відвалів [Текст] / Д. О. Козир // Проблеми екології: Загальнодержавний науково-технічний журнал. - Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», - № 2 (32). 2013. – С. 69 – 75. *(приведены результаты*

*лабораторных исследований влияния основных факторов на расстояние дистанционной съемки)*

5. **Козырь, Д. А.** Анализ влияния внешних факторов на результаты тепловизионного контроля очагов горения на породных отвалах [Текст] / Д. А. Козырь, В. К. Костенко, Е. Л. Завьялова, Б. Б. Бандурян // Науковий вісник УкрНДІПБ № 2 (28), 2013. - С. 194-203. *(экспериментально исследовано влияние внешних факторов на результаты температурного контроля очагов горения на породных отвалах при применении дистанционных средств и способов).*

**- публикации по материалам конференций и в других изданиях:**

6. Высоцкий, С. П. Дистанционный контроль теплового состояния породных отвалов [Текст] / С. П. Высоцкий, **Д. А. Козырь**// Научный вестник НИИГД «Респиратор», научно-технический журнал. - Донецк, - №3(55). 2018. – С. 84-90. *(разработано уравнение в критериальном виде, которое учитывает основные факторы, влияющие на дистанционное измерение температуры очагов самовозгорания на породных отвалах).*

7. **Козырь, Д. А.** Оценка влияния ракурса съемки на результаты тепловизионной съемки очагов горения на породных отвалах [Текст] / Д. А. Козырь // Труды Второго международного научно-практического семинара «Повховские научные чтения». Под общ. ред. Ступина А. Б. - Донецк: ДонНУ, 2012. – С. 50-53. *(исследованы теоретические предпосылки влияния ракурса на показатели дистанционного контроля температуры).*

8. **Козырь, Д. А.** Влияние ракурса съемки на результаты тепловизионной съемки очагов горения на породных отвалах [Текст] / Д. А. Козырь // Вентиляція підземних споруд та промислова безпека в ХХІ столітті. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції - Донецьк: ДонНТУ, 2012. - С. 100-103. *(проведен сравнительный анализ результатов лабораторных исследований и теоретических предпосылок влияния ракурса дистанционной съемки).*

9. **Козырь, Д. А.** Процессы окисления в зонах эрозии отвалов угольных шахт [Текст] / Д. А. Козырь, В. К. Костенко // Збірник праць Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екологічної безпеки» - Кременчук: КрНУ, 2014. - С. 60 - 62. *(при натурных исследованиях породных отвалов выявлены зоны низкотемпературного окисления)*

10. **Козир, Д. О.** Процеси ерозії в зонах окислення відвалів вугільних шахт [Текст] / Д. А. Козырь, В. К. Костенко // Екологія людини. Збірник матеріалів VIII-ої науково-теоретичної конференції - м. Житомир, 3 грудня 2014 р. - С. 47-49. *(установлено, что зоны эрозии занимают до 25 % площади отвала).*

11. **Козырь, Д. А.** Обоснование методики дистанционного измерения температуры поверхности источников горения и самонагрева на породных отвалах угольных шахт [Текст] / Д. А. Козырь// Энерго- и ресурсосберегающие

экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 24–25 нояб., 2015 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 49-58. *(экспериментально исследовано влияние внешних факторов на результаты температурного контроля очагов горения на породных отвалах при применении дистанционных средств и способов)*.

12. **Козир, Д. О.** Удосконалення методики дистанційної теплової зйомки породних відвалів вугільних шахт [Текст] /Д. О. Козир, В. К. Костенко, Є. В. Качкар, А. О. Майборода // Надзвичайні ситуації: безпека та захист. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси: ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. – С. 75-79. *(приведены результаты лабораторных исследований)*.

13. **Козырь, Д. А.** Обоснование методики теплового неразрушающего контроля поверхности источников горения и самонагревания на породных отвалах угольных шахт [Текст] / Д. О. Козир, В. К. Костенко // Проблемы недропользования: Сборник научных трудов. Часть 2. Санкт-петербургский горный университет. СПб. 2016. – С. 104-106. *(приведены результаты лабораторных и натурных исследований очагов тепловыделения)*.

14. **Козырь, Д. А.** Обоснование методики теплового неразрушающего контроля промышленных отходов угольных шахт [Текст] / Д. А. Козырь // Экологическая ситуация в Донбассе: проблемы безопасности и рекультивации повреждённых территорий для их экономического возрождения: Доклады Международной научно-практической конференции. 12-13 февраля 2016 года. Научное издание. – Москва, Донецк: Изд-во МНЭПУ, 2016. - С. 72-74. *(проведен сравнительный анализ лабораторных и натурных исследований)*.

15. **Козырь, Д. А.** Процессы окисления в зонах эрозии породных отвалов [Текст] / Д. А. Козырь // Проблемы социально-экономической географии и природопользования: сборник трудов Всероссийской научной конференции (Ростов-на-Дону, 1 декабря 2017 г.) / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – С. 198 - 201. *(обосновано влияние очагов низкотемпературного окисления на окружающую среду)*.

16. **Козырь, Д. А.** Обоснование методики дистанционного температурного контроля поверхности источников горения и самонагревания на породных отвалах угольных шахт [Текст] / Д. А. Козырь // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов: 2-я Международная научно-техническая интернет-конференция. Под общей редакцией И. А. Басовой: сборник научных трудов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017 г. - С. 302-308. *(подтверждены лабораторными и натурными исследованиями теоретические предпосылки влияния основных внешних факторов на дистанционную съемку)*.

17. **Козырь, Д. А.** Влияние геометрических параметров очага самовозгорания на результаты дистанционного контроля температуры породных отвалов [Текст] / Д.А. Козырь // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сборник материалов XII Международной конференции аспирантов и студентов. ДОННТУ, ДонНУ. – Донецк: ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2018. – С.153-155. *(обосновано влияние формы очага самовозгорания на фиксируемую энергетическую светимость при тепловом контроле породных отвалов).*

18. **Козырь, Д. А.** Усовершенствование методов контроля температуры при обеспечении экологической безопасности породных отвалов угольных предприятий [Текст] / Д.А. Козырь // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: Материалы VII Междунар. науч. конф. 24-26 октября 2017 г. – Белгород: Изд-во «ПОЛИТЕРРА», 2017. – С. 339 - 342. *(обосновано влияние ракурса, расстояния съемки на фиксируемую температуру при тепловом контроле породных отвалов).*

## АННОТАЦИЯ

**Козырь Дмитрий Александрович. Совершенствование систем мониторинга экологической безопасности породных отвалов с использованием дистанционных методов.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.19 – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. – ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – Макеевка, 2018 г.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности породных отвалов (ПО) горнопромышленных агломераций за счет совершенствования систем мониторинга теплового состояния ПО с использованием дистанционных методов.

В работе выполнен обзор причин самовозгорания ПО. Рассмотрены используемые в настоящее время методы мониторинга экологической безопасности ПО.

Выполнен анализ влияния основных факторов, оказывающих воздействие на фиксируемые дистанционными методами тепловые характеристики очага самовозгорания. Разработано уравнение в критериальном виде, которое учитывает теплофизические характеристики породы и атмосферы, влияющие на отвод тепла от очагов самовозгорания на отвалах горной породы.

В результате лабораторных и натурных исследований изучено влияние расстояния, ракурса съемки и формы очагов тепловыделения на фиксируемую энергетическую светимость и температурный контраст между источником



излучения и тепловизором. Натурные исследования выполнены на ПО пяти шахт Донбасса.

Предложена оценка стадии горения ПО по газовым характеристикам его выбросов. Впервые экспериментально установлена и обоснована причина влияния относительной влажности атмосферы на степень генерации сероводорода на поверхности ПО.

Разработаны предложения по совершенствованию систем мониторинга экологической безопасности ПО с помощью дистанционных методов (тепловизионная техника и беспилотные летательные аппараты). Установлена периодичность дистанционного контроля теплового состояния ПО – 1 раз в месяц. Предложенная технология дистанционной температурной съемки и определения выбросов токсичных газов с поверхности ПО позволяет снизить стоимость работ по сравнению с существующей технологией в 5 раз.

Результаты диссертационного исследования включены в Программу экологической безопасности ДНР, в Программу развития ОП «Шахта имени С.М. Кирова» ГП «Макеевуголь», в методику контроля теплового состояния породных отвалов, разработанную НИИГД «Респиратор». Основные научные разработки автора используются в учебном процессе ГОУ ВПО «ДонНТУ» для студентов направлений 20.03.01 «Техносферная безопасность», 05.03.06 «Экология и природопользование».

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, породный отвал, самовозгорание, тепловизор, беспилотные летательные аппараты, токсичные газы, контроль теплового состояния, мониторинг, дистанционные методы.

## ABSTRACT

Kozyr Dmitry Alexandrovich. **Improving monitoring systems for environmental safety of waste rock dumps using remote sensing methods.** - Manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences degree. Specialty 05.23.19 - Ecological safety of construction and municipal facilities. – Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. - Makeevka, 2018

Thesis is devoted to increasing the level of ecological safety of waste rock dumps of mining agglomerations by improving the systems for monitoring the thermal state of waste rock dumps using remote sensing methods.

The paper reviewed the causes of spontaneous combustion of waste rock dumps. The currently used methods for monitoring environmental safety of waste rock dumps are considered.

The analysis of the influence of the main factors affecting the thermal characteristics of the spontaneous combustion center detected by remote sensing methods has been

performed. A criterion equation has been developed that takes into account the thermophysical characteristics of the rock and atmosphere that affect the heat removal from the spontaneous combustion sites at the waste rock dumps.

As a result of laboratory and field studies, the effect of distance, angle of shooting and the shape of heat sources on the recorded energy luminosity and temperature contrast between the radiation source and the thermal imager has been studied. Field studies were performed on waste rock dumps of five mines of Donbass.

An assessment is made of the stage of burning of the waste rock dump according to the gas characteristics of its emissions. For the first time, the reason for the influence of the relative humidity of the atmosphere on the degree of generation of hydrogen sulfide on the surface of waste rock dumps was experimentally established and substantiated.

Developed proposals for improving the monitoring systems of environmental safety of waste dumps using remote sensing methods (thermal imaging equipment and unmanned aerial vehicles). The frequency of remote control of the thermal state waste rock dumps has been established - once a month. The proposed technology of remote temperature shooting and determination of emissions of toxic gases from the surface of the waste blade can reduce the cost of work compared to the existing technology by 5 times.

The results of the dissertation research are included in the Donetsk People's Republic ecological safety program, in the development program of the «Mine named after S.M. Kirov» (Makeevugol), in the method of controlling the thermal state of waste rock dumps, developed by the «Respirator» State Scientific Research Institute of mine-rescue work.

The main scientific developments of the author are used in the educational process of the Donetsk National Technical University for students of directions 20.03.01 «Technosphere safety», 05.03.06 «Ecology and environmental management».

**Keywords:** environmental safety, waste rock dump, spontaneous combustion, thermal imager, unmanned aerial vehicles, toxic gases, control of thermal state, monitoring, remote sensing methods.