



ЖУРАВЛЕВА НАТАЛЬЯ ВИКТОРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ  
ВЛИЯНИЯ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ КУЗНЕЦКОГО  
УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ  
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

25.00.36 – Геоэкология

(горно-перерабатывающая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в Институте углехимии и химического материаловедения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН)

Научный консультант: член-корреспондент РАН, директор ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН Зинфер Ришатович Исмагилов

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Шпирт Михаил Яковлевич, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН»;

доктор технических наук Сидорова Галина Петровна, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»;

доктор технических наук, профессор Ефимов Виктор Иванович, профессор кафедры «Государственное и муниципальное управление в промышленных регионах» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Ведущая организация: ФГБУН Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, г. Пермь

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.10 при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6, строение 2, ауд. .

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на сайте НИТУ «МИСиС» <http://misis.ru/science/dissertations/2017/>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



С.А. Эпштейн

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность работы.**

Особенности экологической обстановки в Кузбассе обусловлены высокой техногенной нагрузкой на территорию, связанной преимущественно с функционированием предприятий горного, горно-перерабатывающего и теплоэнергетического комплексов. Влияние на окружающую среду предприятий этих комплексов в рамках всего региона трудно дифференцировать. Наибольшую нагрузку на окружающую среду оказывают угледобывающие и углеперерабатывающие предприятия региона. По оценкам Минприроды России Кемеровская область входит в список наиболее проблемных субъектов Российской Федерации в части суммарного нанесенного экологического ущерба.

К числу основных экологических проблем региона относятся: загрязнение атмосферного воздуха; загрязнение и истощение водных объектов; несовершенство системы обращения с отходами производства и потребления; загрязнение и деградация почвенно-земельных ресурсов. При этом сценарий долгосрочного социально-экономического развития Кемеровской области показывает дальнейшее увеличение техногенной нагрузки на все компоненты природной среды.

С другой стороны, существенное изменение природоохранного законодательства обязывает угледобывающие и перерабатывающие предприятия осуществлять: государственную экологическую экспертизу документации; комплексную оценку воздействий на окружающую среду; нормирование допустимых загрязняющих веществ на уровне наилучших доступных технологий; оснащение источников негативного воздействия средствами автоматизированного контроля; разработку программ экологического контроля и повышения экологической эффективности; отчетность об объемах воздействия на окружающую среду и др. Выполнение новых требований должно обеспечиваться высококачественным экологическим управлением на предприятиях и государственным экологическим контролем и надзором. Отмеченное предполагает наличие надежного, научно-обоснованного информационного и методического обеспечения методов оценки влияния добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды.

На сегодняшний день работы по оценке экологической нагрузки на окружающую среду угледобывающими и углеперерабатывающими предприятиями проводятся по традиционным схемам, которые не изменялись десятки лет и во многом не соответствуют современным требованиям. Практически отсутствуют

методические подходы по анализу многокомпонентных природных систем для дифференцированного количественного определения отдельных показателей загрязнения. Возможности современных физико-химических методов анализа, существенно повышающих точность, надежность и информативность исследований объектов окружающей среды, сегодня еще слабо используются в экологическом контроле.

Таким образом, обоснование и разработка новых методических, технических и организационных решений по созданию и совершенствованию инструментов эффективного контроля и мониторинга окружающей среды имеет важное значение для обеспечения экологической безопасности и эффективного проведения природоохранных мероприятий в угледобывающих регионах.

**Цель диссертационной работы** заключается в обосновании и разработке методов, подходов и инструментов, обеспечивающих комплексное и системное определение загрязняющих веществ, оказывающих негативное влияние на окружающую природную среду при добыче и переработке углей (на примере Кузнецкого угольного бассейна).

**Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:**

- научное обоснование перечня загрязняющих веществ, образующихся при добыче, переработке углей, для целей совершенствования мониторинга окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и эффективного осуществления природоохранных мероприятий;
- проведение анализа и выбор наиболее эффективных методов оценки концентраций токсичных неорганических и органических загрязняющих веществ в углях и объектах окружающей среды в зоне действия предприятий по добыче и переработке углей;
- комплексная оценка токсичности промышленных отходов угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности, включающая определение валового содержания элементов, их подвижных и водорастворимых форм, токсичных органических соединений, биотестирование отходов;
- установление взаимосвязей между валовым содержанием токсичных элементов и их подвижными формами, определение ряда активности водорастворимых форм токсичных элементов в отходах добычи и переработки углей;
- разработка методики определения 2,4,6-тринитротолуола (ТНТ) и его метаболитов в объектах окружающей среды и оценка уровней их концентраций в зоне влияния горнодобывающих предприятий;

- изучение распределения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в объектах окружающей среды в зоне влияния предприятий отрасли и обоснование подходов к оценке техногенной нагрузки на окружающую среду;
- установление границ применимости методики определения гранулометрического состава тонкодисперсных угольных материалов методом лазерной дифракции для целей экологического мониторинга и технологического контроля;
- изучение экологически значимых характеристик (содержания тяжелых углеводородов, серосодержащих соединений) газа, добываемого из угольных пластов;
- реализация разработанных методических, технических и организационных решений для информационного обеспечения экологической безопасности промышленных предприятий, а также деятельности органов государственного экологического контроля и надзора регионального и муниципального уровней.

#### **Научные положения, представленные к защите:**

1. Оценка влияния процессов добычи и переработки углей на экологическое состояние природной среды должна производиться на основе научно обоснованного перечня загрязняющих веществ, образующихся при функционировании угольных предприятий, который должен включать помимо показателей, традиционно используемых в экологическом контроле, такие загрязняющие вещества, как ПАУ, взвешенные частицы размерами менее 2,5 мкм и менее 10 мкм, 2,4,6-тринитротолуол и его метаболиты.
2. Токсичность твердых отходов добычи и переработки углей определяется, прежде всего, содержанием в них подвижных и водорастворимых форм токсичных элементов и концентрацией органических веществ. При этом вскрышные и вмещающие породы угольных месторождений Кузбасса характеризуются следующим рядом активности водорастворимых форм токсичных элементов:  $Mo > Cu > V > Zn > Mn > As > Cr > Ni > Pb$ . Для золошлаковых отходов существуют тесные корреляционные связи между подвижными формами кобальта и никеля, а также валовыми и подвижными формами марганца и свинца.
3. Техногенная нагрузка на территорию в зоне влияния предприятий угольной отрасли может быть установлена на основе изучения распределения концентраций приоритетных ПАУ в почвах. При этом в качестве основного информативного показателя указанной нагрузки следует использовать концентрацию фенантрена в почвах.
4. Для оценки влияния тонкодисперсных угольных материалов на объекты окружающей среды необходимо иметь информацию о распределении частиц по

размерам, а также доле их наиболее опасных классов, для определения которых целесообразно использовать метод лазерной дифракции.

5. Для определения направлений рационального экологически безопасного использования газа угольных пластов необходимо, наряду с его теплофизическими и физико-химическими свойствами, определять компонентный состав основных загрязнителей.

**Научная новизна работы состоит:**

- в разработке программы комплексных исследований отходов добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна, включающей оценку валового содержания экологически опасных элементов, их подвижных и водорастворимых форм, содержания токсичных органических соединений;

- в установлении комплекса токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кузбасса и степени активности их водорастворимых форм;

- в установлении корреляционных связей между подвижными формами кобальта и никеля, а также между валовыми и подвижными формами марганца и свинца для золошлаковых отходов от сжигания углей;

- в определении приоритетных полициклических ароматических углеводородов в экологических объектах региона и обосновании подхода к оценке техногенной нагрузки на окружающую среду с учетом уровня концентрации фенантрена в почвах;

- в установлении ряда токсичных нитрозамещенных ароматических углеводородов (ТНТ и его метаболитов), подлежащих мониторингу в экологических объектах;

- в установлении экологических параметров газа, добываемого из угольных пластов Талдинского угольного месторождения, в частности, содержания тяжелых углеводородов, серосодержащих соединений.

**Методы исследований.** В работе использован комплекс химических и физико-химических методов исследований: атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, атомно-эмиссионная спектрометрия с испарением пробы из канала угольного электрода, атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией, атомно-абсорбционная спектрометрия «холодного пара», хромато-масс-спектрометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография, газовая и газожидкостная хроматография, лазерная дифракция, ИК-спектрометрия, сканирующая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, метод низкотемпературной адсорбции азота, энергодисперсионная рентгеновская

спектроскопия, потенциометрия, фотоколориметрия. Реализация указанных методов осуществлялась с применением как стандартизованных, так и разработанных в ходе исследований методик выполнения измерений. Для оценки токсичности объектов окружающей среды использованы методы биотестирования с применением двух тест объектов. Расчет класса опасности промышленных отходов выполнялся с использованием программного обеспечения, которое учитывает требования Федерального закона № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления".

**Обоснованность и достоверность научных положений и результатов,** приведённых в работе, подтверждаются: использованием современного аналитического оборудования с высокими метрологическими характеристиками; применением аттестованных методик, допущенных для целей экологического контроля; использованием представительного объема проб; репрезентативной статистической выборкой обрабатываемых данных; значимым уровнем корреляции между подвижными формами кобальта и никеля, а также валовыми и подвижными формами марганца и свинца в золошлаковых отходах; широкой апробацией полученных результатов и положительной оценкой их обсуждения на ряде представительных научных конференций.

#### **Практическая значимость и реализация полученных результатов.**

Разработаны методики определения гранулометрического состава тонкодисперсных угольных материалов, 2,4,6-тринитротолуола и его метаболитов в поверхностных водах и отходах. Методики используются ОАО «ЗСИЦентр» для контроля и экспертизы экологического состояния природной среды.

Полученные результаты использованы при разработке ГОСТа Р 55955-2014 «Стандартная практика определения содержания газа в угле», который применяется ОАО «ЗСИЦентр» для оценки газоносности углей.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке: Комплексной программы охраны окружающей среды и экологической безопасности города Новокузнецка (2013 г.); Программы мероприятий по сокращению выбросов бенз(а)пирена в атмосферу г. Новокузнецка (2014 г.); Программы развития ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» на 2016-2020 гг.; Планов природоохранных мероприятий Департамента природных ресурсов и экологии и Росприроднадзора по Кемеровской области.

Результаты комплексных экологических исследований отходов предприятий угольной отрасли использованы при формировании Банка данных об отходах и технологиях утилизации, обезвреживания отходов.

Методы и подходы, разработанные автором, используются для: исследования отходов переработки углей при определении направлений их дальнейшего использования (ООО «Экомаш»); измерения гранулометрического состава взвешенных частиц в промышленных выбросах углеобогачительных фабрик и угольных шламах (ООО «Сибниинуглеобогащение» и ООО «Промэнергопроект»); подтверждения экологичности сжигания пылеугольного топлива с определением концентраций ПАУ в промышленных выбросах (ЗАО «НПП «Сибэкотехника»); оценки состава и структуры микросфер зол уноса и их сорбционных свойств при извлечении нефтепродуктов из загрязненных вод (ООО «ПромИнТех»); оценки соответствия экологическим требованиям газа угольных пластов (ООО «Газпром добыча Кузнецк»).

Основные научные положения и практические решения диссертационной работы включены в учебные программы дисциплин «Методы контроля и анализа веществ», «Химия окружающей среды», «Методы экологических исследований» и др., которые используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», а также при подготовке выпускных квалификационных работ студентов в ФГБОУ ВО Новокузнецкий филиал (институт) Кемеровского государственного университета по направлению подготовки «Экология и природопользование» (профили «Геоэкология» и «Экологическое проектирование и экспертиза»).

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и региональных научных конференциях, в том числе: на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, Горный институт НИТУ «МИСиС», 2014, 2015, 2017 гг.); Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2015, 2016 гг.); Всероссийской конференции «Проблемы рационального использования отходов горнодобывающего производства» (Москва, 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе» (Новокузнецк, 2005, 2008, 2010, 2012 гг.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты» (Новокузнецк, 2003, 2006, 2009 гг.); Международном симпозиуме «Углекислотная химия и экология Кузбасса» (Кемерово, 2011-2015 гг.); Всероссийской конференции с международным участием «Масс-спектрометрия и ее при-



кладные проблемы», (Москва, 2005 г.); Научной конференции «Аналитика Сибири и Дальнего Востока» (Томск, 2008 г., Красноярск, 2012 г., Барнаул 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности: экологические, производственные, правовые, медико-биологические и социальные аспекты» (Новокузнецк, 2005 г.); Российско-американском семинаре по проблемам черного углерода «Workshop on Black Carbon» (Кемерово, 2016 г.).

**Публикации.** Основополагающими по теме диссертации являются 44 научные публикации, в том числе, 26 статей в журналах по перечню ВАК Минобрнауки России.

**Структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка цитируемой литературы из 435 источников и приложений, содержит 40 рисунков и 78 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, представлены методы исследований, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

**В первой главе** рассмотрено современное состояние методов и подходов к оценке экологического состояния и мониторинга природной среды в зоне влияния горных предприятий, в том числе угледобывающей и углеперерабатывающей отрасли.

Вопросам обеспечения экологической безопасности предприятий угольной отрасли посвящены труды Галченко Ю.П., Ефимова В.И., Ксенофонтова Б.С., Папичева В.И., Рубана А.Д., Сластунова С.В., Трубецкого К.Н. и других. Проблемы экологического мониторинга в Кузбассе отражены в работах Вашлаевой Н.Ю., Потапова В.П., Счастливецова Е.Л., Сенкуса В.В., Фальковой Г.Н., Хорошиловой Л.С. и др.

Дальнейшее развитие угледобывающих регионов Российской Федерации, в частности Кузбасса, предполагает более эффективное осуществление природоохранных мероприятий с применением современных методов оценки влияния добычи и переработки углей на объекты окружающей среды. В этой связи определение приоритетного ряда загрязняющих веществ, их состава и форм накопления в зоне влияния угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий приобретает особо важное значение для обеспечения экологической безопасности региона.

Большой вклад в изучение влияния состава и свойств углей Кузнецкого бассейна и продуктов их переработки на геоэкологическое состояние региона внесли Арбузов С.И., Кетрис М.П., Кизильштейн Л.Я., Клер В.Р., Нифантов Б.Ф., Рихванов Л.П., Середин В.В., Шпирт М.Я., Юдович Я.Э. и другие. На основе обзора научных исследований в области изучения состава углей и продуктов их переработки, вопросов экологического мониторинга угольных регионов и анализа нормативных документов по современным требованиям природоохранного законодательства научно обоснован перечень загрязняющих веществ, образующихся при добыче, переработке углей, который должен включать помимо показателей, традиционно используемых в экологическом контроле, такие загрязняющие вещества, как полициклические ароматические углеводороды, взвешенные частицы размерами менее 2,5 мкм (PM<sub>2,5</sub>) и менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>), 2,4,6-тринитротолуол и его метаболиты. Определение этих показателей является актуальным для целей совершенствования мониторинга окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и эффективного осуществления природоохранных мероприятий.

Отмечено, что в области изучения влияния состава и свойств Кузбасских углей и отходов их добычи и переработки на состояние окружающей среды имеются следующие аспекты, определяющие актуальность исследования:

- основной массив аналитических данных по элементному составу Кузбасских углей был получен в основном полуколичественными спектральными методами анализа и требует уточнения;
- вопросы определения подвижных и водорастворимых форм токсичных элементов в отходах добычи и переработки углей Кузбасса исследователями ранее не рассматривались; при оценке техногенного влияния на окружающую среду в местах складирования отходов добычи и переработки углей определение подвижных форм токсичных элементов проводится по сокращенному перечню показателей, а водорастворимые формы токсичных элементов не определяются;
- содержание токсичных полициклических ароматических углеводородов в углях, продуктах их добычи и переработки не определялось;
- отсутствует надежное методическое обеспечение оценки тонкодисперсных углеродсодержащих материалов (угольной пыли, шламов, выбросов в атмосферу углеобогачительных фабрик и др.), а также определения высокотоксичных органических загрязнителей (ТНТ и его метаболитов).

**Во второй главе** рассмотрены приоритетные органические загрязняющие вещества, подлежащие контролю в зоне действия предприятий угледобывающей

и углеперерабатывающей отрасли. Одними из важных с точки зрения экологического контроля органических веществ являются токсичные нитросодержащие соединения, к которым относится, в частности, 2,4,6-тринитротолуол.

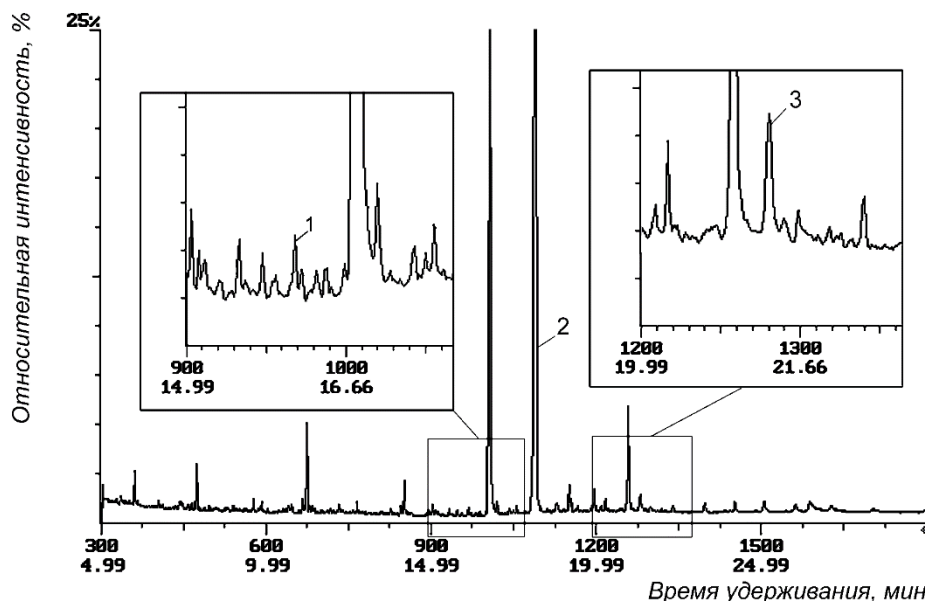
Разрушение пород с помощью энергии взрыва является универсальным и практически единственным высокоэффективным способом подготовки скальных горных пород к выемке. Крупные заряды взрывчатых веществ все шире применяются в горнодобывающей промышленности, когда одновременно взрываются заряды до 1000 т на открытых работах и до 100 т – на подземных. В Кузбассе ежегодно используется 600 тыс. тонн взрывчатых веществ. Как следствие, угледобывающие предприятия являются одними из основных источников поступления нитросоединений в окружающую среду. Наиболее важное бризантное взрывчатое вещество – 2,4,6-тринитротолуол (ТНТ). Данное соединение отличается выраженными токсическими свойствами и устойчивостью к биodeградации. Для ТНТ установлена предельно допустимая концентрация (ПДК) в водных объектах хозяйственно-питьевого назначения 0,01 мг/дм<sup>3</sup> с отнесением ко 2 классу опасности (высоко опасные). Поскольку сточные воды и отходы горных предприятий являются сложными многокомпонентными объектами, то исследование их качественного и количественного состава возможно с использованием газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ/МС), которая является одним из основных методов идентификации органических загрязнителей.

Разработана методика количественного определения ТНТ в поверхностных, сточных водах и отходах с использованием газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием; в исследованных образцах дополнительно идентифицированы 2-амино-4,6-динитротолуол (2АДНТ) и 2,4,-динитротолуол (ДНТ), которые можно отнести к продуктам метаболизма ТНТ. На рисунке 1 представлена типичная хроматограмма по полному ионному току пробы поверхностной воды, загрязненной ТНТ.

Исследования выполнялись в период 2006-2010 гг., было проанализировано 25 проб поверхностных и сточных вод, 12 проб отходов. Распределение ТНТ и его метаболитов в сточных водах угольного разреза приведено в таблице 1.

Показано, что сточные карьерные воды содержат высокие концентрации ТНТ, причем применяемые способы очистки сточных вод не всегда способствуют уменьшению их содержания. В сточных водах идентифицированы также 2АДНТ и ДНТ. При идентификации источников загрязнения окружающей среды соединениями данного класса следует учитывать также, что ТНТ может поступать в окружающую среду и при добыче железных руд. Разработанная методика и полу-

ченные в данной работе результаты позволяют ввести определение ТНТ и его метаболитов в программы мониторинга поверхностных и сточных вод, отходов в районах действия горнодобывающих предприятий Кемеровской области и РФ.



**Рисунок 1** – Типичная хроматограмма по полному ионному току пробы поверхностной воды р. Кондома (Таштагольский район), загрязненной 2,4,6-тринитротолуолом. Компоненты на хроматограмме: 1 – 2,4-динитротолуол, 2 – 2,4,6-тринитротолуол, 3 – 2-амино-4,6-динитротолуол

**Таблица 1** – Распределение ТНТ и его метаболитов в сточных водах предприятия по открытой добыче угля

Месторождение	Объект исследования	Содержание ТНТ, мг/дм <sup>3</sup>	Идентифицированные азотсодержащие соединения
Ольжерасское угольное месторождение	карьерная вода до фильтрующего массива (участок 1)	0,0091	–
	карьерная вода после фильтрующего массива (участок 1)	0,0124	–
	карьерная вода до фильтрующего массива (участок 2)	0,0690	2АДНТ, ДНТ
	карьерная вода после фильтрующего массива (участок 2)	< 0,0016	–

ПАУ относятся к стойким экотоксикантам и входят в состав органической массы углей. Содержание ПАУ в углях может достигать сотен, а в некоторых случаях до тысяч мг/кг. Эмиссия ПАУ в окружающую среду возможна на этапах добычи, складирования и транспортировки, а также при процессах высокотемпературной переработки угля. Представителем ПАУ, обладающим сильным канцерогенным действием, является бенз(а)пирен. Наиболее распространенными и устойчивыми углеводородами данного ряда являются фенантрен, флуорантен, пирен, хризен. Эти углеводороды являются преобладающими компонентами выбро-

сов систем, связанных с пиролизом органического вещества, и служат удобными трассерами для оценки загрязнения атмосферы, поверхностных вод, почв. Последние выполняют функцию своеобразного накопителя, куда ПАУ попадают в результате глобального переноса выбросов из антропогенных источников и природных поступлений в атмосферу. Поэтому почвы являются наиболее представительными объектами для исследования накопления ПАУ, наличие которых может играть индикаторную роль, отражая присутствие источника загрязнения.

Кузнецкий угольный бассейн располагает большими запасами каменных углей всех марок, от длиннопламенных до тощих. Совместно с Е.Р. Хабибулиной для исследования были выбраны пробы разных марок угля (Д, ДГ, ГЖО, Ж, К, КС, ОС), представляющие в совокупности практически полный ряд метаморфического превращения. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии определено содержание ПАУ в углях (таблица 2).

**Таблица 2 – Содержание ПАУ в пробах угля Кузнецкого угольного бассейна разной степени метаморфизма**

Соединения класса ПАУ	Содержание ПАУ, мкг/кг								
	Д	ДГ	ГЖО	ГЖО	Ж	К	КС	КС	ОС
<b>Фенантрен</b>	80,8	14,3	86,2	50,6	33,0	204,2	199,6	103,2	124,9
<b>Пирен</b>	36,9	1,2	14,0	12,6	19,6	69,2	66,2	6,7	32,1
<b>Бенз(а)антрацен</b>	32,0	9,7	21,6	5,2	7,8	16,4	34,2	4,3	3,1
<b>Хризен</b>	< 3,0	< 3,0	< 3,0	17,9	11,9	62,6	59,6	32,4	28,0
<b>Бенз(б)флуорантен</b>	< 6,0	6,2	13,0	26,0	18,8	11,0	24,8	7,6	5,6
<b>Бенз(а)пирен</b>	< 1,0	3,6	10,6	6,6	4,4	< 1,0	47,6	24,3	21,4
<b>Σ ПАУ</b>	149,7	35,0	145,4	118,9	95,5	363,4	432,0	178,5	215,1

Максимальное суммарное значение ПАУ найдено для углей марок К, КС (363,4-432,0 мкг/кг). В пробах угля обнаружен бенз(а)пирен, содержание которого находится в диапазоне 3,6-47,6 мкг/кг. Максимальные концентрации найдены для фенантрена, его доля составляет до 50 % от суммы идентифицированных ПАУ. Таким образом, фенантрен является приоритетным ПАУ для углей различных марок угля и может быть использован для оценки влияния процессов добычи и переработки углей на окружающую среду.

Для того чтобы провести сравнительную оценку уровня загрязнения территории ПАУ, необходимо оценить их фоновое содержание. Так, при обследовании 23-х проб почв на территории Таштагольского района было установлено, что содержание флуорантена составляет величину < 0,002 мг/кг, пирена – < 0,002 мг/кг,

хризена –  $< 0,001$  мг/кг во всех пробах. Фенантрен содержался в 10 пробах в диапазоне концентраций от 0,001 до 0,005 мг/кг, при его фоновой концентрации в почвах данной территории  $0,0019 \pm 0,0013$  мг/кг. В работе проведена оценка распределения ПАУ в пробах почв Кемеровской области, систематизированы результаты исследования более чем 300 образцов почв. При изучении распределения ПАУ в почвах на границах санитарно-защитных зон предприятий по добыче угля открытым и закрытым способом показано, что содержание фенантрена находится в диапазоне от 0,0012 до 0,0031 мг/кг, при этом бенз(а)пирен в почвах не обнаруживается. Другое распределение ПАУ в почвах наблюдается в зоне влияния предприятий по обогащению угля: содержание фенантрена находится в диапазоне от 0,0015 до 0,0432 мг/кг, концентрация бенз(а)пирена – от  $< 0,001$  до 0,0390 мг/кг (2 ПДК). Таким образом, предприятия по обогащению угля являются источниками поступления ПАУ в окружающую среду, в том числе канцерогенного бенз(а)пирена.

Однако наибольшее воздействие на загрязнение окружающей среды соединениями класса ПАУ оказывают процессы высокотемпературной переработки углей. Так в таблице 3 представлены уровни загрязнения фенантrenom почв различных функциональных зон Центрального района г. Новокузнецка.

**Таблица 3 – Оценка уровня загрязнения фенантrenom почв различных функциональных зон Центрального района г. Новокузнецка**

Функциональные зоны	Содержание фенантрена, мг/кг	Кратность превышения фонового значения, раз
Рекреационная зона района. пляж «Водная»	0,008	4
Санитарно-защитная зона предприятия. Кузнецкий металлургический комбинат	0,035	17,5
Территория, примыкающая к автомагистрали. Автомагистраль пр. Октябрьский - ул. Транспортная	0,155	77,5
Территория промышленной площадки Кузнецкого металлургического комбината	0,930	465
Территория полигона жидких отходов коксохимического производства Кузнецкого металлургического комбината	66000,0	$33 \cdot 10^6$

Содержание фенантрена в жидких отходах коксохимического производства составляет величину 66,0 г/кг. Данный вид отходов является источником вторичного загрязнения окружающей среды соединениями класса ПАУ. Содержание фенантрена на территории промышленной площадки предприятия, технологический цикл которого связан с эмиссией ПАУ (коксохимическое производство Кузнецкого металлургического комбината), в 465 раз превышает фоновое значение.

Показано, что содержание фенантрена в почвах связано со степенью техногенной нагрузки на территорию. Фенантрен служит удобным маркером для изучения степени загрязнения территорий соединениями класса ПАУ, поскольку обладает наибольшей химической устойчивостью во внешней среде. Методические подходы для оценки степени техногенной нагрузки на территорию с учетом концентрации фенантрена в почвах должны включать определение уровня фоновой концентрации данного соединения на территории, не испытывающей техногенного влияния, и сравнение с содержанием фенантрена на исследуемой площадке. Величина кратности превышения фонового значения концентрации фенантрена в почвах характеризует уровень техногенной нагрузки на территорию.

Распределение ПАУ по глубине и оценка категории загрязнения почв на территории промышленной площадки предприятия по высокотемпературной переработке углей приведена в таблице 4.

**Таблица 4 – Распределение ПАУ по глубине и оценка категории загрязнения почв на территории промышленной площадки предприятия по высокотемпературной переработке углей**

Соединение	Содержание ПАУ, мкг/кг				
	Глубина отбора, м				
	0,0-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0
<b>Фенантрен</b>	336,22	100,16	23,63	66,72	11,15
<b>Антрацен</b>	78,92	20,03	3,42	4,66	2,68
<b>Флуорантен</b>	1028,34	342,66	68,62	70,00	40,86
<b>Пирен</b>	1037,42	345,80	67,32	62,40	42,77
<b>Бенз(а)антрацен</b>	796,97	266,60	51,30	43,92	30,67
<b>Хризен</b>	664,7	221,30	44,71	43,01	29,88
<b>Бенз(а)пирен</b>	540,97	180,45	36,62	38,31	26,25
<b>Дибензо(а,һ)антрацен</b>	190,63	50,22	<0,02	<0,02	<0,02
<b>Бенз(Ь)флуорантен</b>	428,24	142,26	29,50	33,74	22,10
<b>Бенз(к)флуорантен</b>	381,32	120,15	27,48	9,45	15,44
<b>Бенз(ɡ,һ,і)перилен</b>	227,06	70,40	38,17	16,94	7,99
<b>Индено(1,2,3-сd)пирен</b>	299,63	98,50	45,02	23,82	14,03
<b>Суммарное содержание ПАУ</b>	6010,42	1958,53	435,79	412,97	243,82
<b>Категория загрязнения почвы</b>	Чрезвычайно опасная	Чрезвычайно опасная	опасная	опасная	допустимая

Категория загрязнения почв была установлена в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы» по кратности превышения ПДК бенз(а)пирена – вещества первого класса опасности. Показано, что технологии высокотемпературной переработки углей приводят к значительной эмиссии ПАУ в окружающую среду и загрязнению почв до чрезвычайно опасного уровня. При этом бенз(а)пирен может обнаруживаться в загрязненных почвах на глубине до 3-4 м (таблица 5). Относительное распределение индивидуальных ПАУ в почвах для такого объекта обуславливается параметрами технологического процесса переработки углей, функционировавшего ранее на данной территории.

**Таблица 5 – Содержание бенз(а)пирена в почвах и грунтах скважин на территории промышленной площадки предприятия по высокотемпературной переработке угля**

Скважина №	Содержание бенз(а)пирена, мг/кг					
	Глубина отбора, м					
	0,0-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	3,0-4,0	5,5-6,5
<b>1</b>	0,0088	0,0065	0,0146	0,098	<0,001	–
<b>2</b>	0,0196	0,153	0,287	0,0152	0,0078	<0,001
<b>3</b>	0,0057	<0,001	<0,001	<0,001	–	–
<b>4</b>	0,0082	<0,001	<0,001	<0,001	–	–
<b>6</b>	0,0086	0,0033	<0,001	<0,001	–	–
<b>10</b>	0,046	0,147	0,162	<0,001	–	–
<b>20</b>	0,640	0,200	<0,001	<0,001	–	–
<b>21</b>	0,540	0,180	0,037	0,038	0,026	–

**В третьей главе** представлены данные по оценке токсичности твердых отходов добычи и переработки углей и распределению в них валовых, подвижных и водорастворимых форм токсичных элементов и органических веществ.

#### *Исследование вскрышных и вмещающих пород*

Отходы добычи полезных ископаемых создают серьезные экологические проблемы на территории Кемеровской области. Так в 2013 г. на этой территории образовалось 2661,281 млн т отходов производства и потребления, из них 2593,780 млн т (97,46 %) приходится на отходы, образованные при добыче угля. Актуальными являются вопросы изучения состава углеотходов для оценки их токсичности и определения перечня приоритетных элементов, подлежащих экологическому мониторингу на территориях складирования. Объектами исследова-



ния являлись вскрышные (60 проб) и вмещающие породы (52 пробы), образованные при добыче угля на территории Кемеровской области. Диапазоны содержания валовых форм токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах приведены в таблице 6.

**Таблица 6 – Диапазоны содержания валовых форм токсичных элементов (мг/кг) во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса**

Наименование показателя	Виды отходов		ПДК (ОДК*) для почвы с учетом фона, мг/кг
	Вскрышные породы (n=60)	Вмещающие породы (n=52)	
<b>Ванадий</b>	33,6-145,6	30,0-145,6	150,0
<b>Медь</b>	14,2-52,0	9,8-38,4	33/66/132*
<b>Хром</b>	21,6-171,2	20,0-123,3	–
<b>Свинец</b>	10,0-51,7	2,0-22,6	32/65/130*
<b>Никель</b>	16,0-56,4	19,4-56,0	20/40/80*
<b>Кадмий</b>	0,4-0,8	0,4-2,0	0,5/1,0/2,0*
<b>Цинк</b>	46,0-137,6	8,4-68,2	55/110/220*
<b>Ртуть</b>	<0,01-1,5	<0,01-7,1	2,1
<b>Сурьма</b>	<1,0-5,0	<1,0-6,5	4,5
<b>Кобальт</b>	7,9-15,2	5,2-7,2	–
<b>Марганец</b>	304,0-1334,0	78,6-994,4	1500,0
<b>Молибден</b>	4,0-6,0	4,0-10,0	–
<b>Мышьяк</b>	3,6-12,1	4,8-18,2	2/5/10*

\* Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ для различных групп почв: песчаных и супесчаных, кислых суглинистых и глинистых (рН KCl <5,5) и близких к нейтральным и нейтральных (рН KCl >5,5).

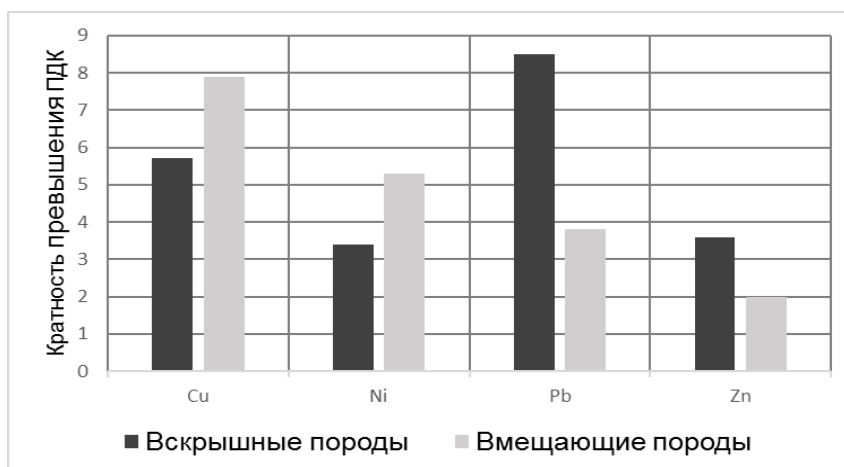
Из результатов исследований следует, что концентрации валовых форм нормируемых токсичных элементов (ванадия, меди, свинца, никеля, кадмия, цинка, марганца) не превышают ПДК и ОДК для почв, характерных для Кемеровской области. Часть вмещающих пород содержит ртуть (3,4 ПДК), сурьму (1,4 ПДК), мышьяк (1,2-1,8 ПДК) в количествах, превышающих ПДК для валовых форм элементов. Данные элементы являются углефильными и содержатся преимущественно в органической части вскрышных и вмещающих пород. Указанные отходы содержат до 30 % и более углерода. Значения ПДК валового содержания хрома, кобальта и молибдена в почвах в России в настоящее время отсутствуют, что не позволяет однозначно оценить степень загрязнения этими элементами вскрышных и вмещающих пород угледобычи. Определение валового содержания хрома, кобальта и молибдена было выполнено для оценки степени их перехода в по-

движные и водорастворимые формы. Водорастворимые формы элементов определяют способность токсичных элементов переходить в воду, способствуя загрязнению поверхностных и подземных вод. Подвижные формы элементов переходят в почвенные растворы и усваиваются растениями.

Диапазоны содержания подвижных форм токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах приведены в таблице 7. Максимальное превышение ПДК подвижных форм элементов во вскрышных породах наблюдается для Cu (5,7 ПДК), Ni (3,4 ПДК), Zn (3,6 ПДК) и Pb (8,5 ПДК). Максимальные концентрации подвижных форм тяжелых металлов во вмещающих породах превышают ПДК для Cu (7,9 ПДК), Ni (5,3 ПДК), Zn (2 ПДК) и Pb (3,8 ПДК) (рисунок 2).

**Таблица 7 – Диапазоны содержания подвижных форм токсичных элементов (мг/кг) во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса**

Наименование показателя	Виды отходов		ПДК для почвы с учетом фона, мг/кг
	Вскрышные породы (n=60)	Вмещающие породы (n=52)	
<b>Медь</b>	3,0-17,2	3,0-23,8	3,0
<b>Никель</b>	5,0-13,6	7,3-21,0	4,0
<b>Цинк</b>	19,0-82,4	6,1-49,9	23,0
<b>Свинец</b>	10,0-51,7	2,0-22,6	6,0
<b>Марганец</b>	31,0-539,0	26,0-510,8	60-140
<b>Хром</b>	<2,0-4,5	<2,0-5,4	6,0
<b>Молибден</b>	0,2-1,2	<0,05-1,8	-
<b>Кобальт</b>	0,08-0,1	0,08-0,12	5,0



**Рисунок 2 – Максимальное превышение ПДК подвижных форм токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах**

Концентрации подвижных форм кобальта и хрома во вскрышных и вмещающих породах не превышают ПДК, величина подвижной формы молибдена в почвах не нормируется. Концентрации подвижных форм марганца во вскрышных и вмещающих породах находятся в широких диапазонах. Превышение ПДК для подвижных форм марганца в отходах угледобычи предполагает включение данного элемента в программу по оценке токсичности данного вида отходов.

Диапазоны содержания водорастворимых форм токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах приведены в таблице 8.

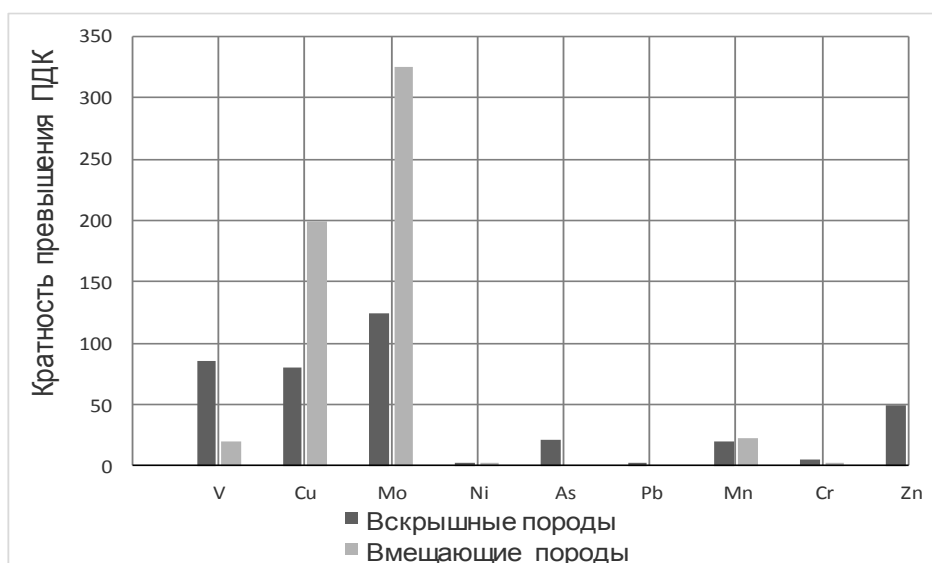
**Таблица 8 – Диапазоны содержания водорастворимых форм токсичных элементов (мг/кг) во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса**

Наименование показателя	Виды отходов		ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
	Вскрышные породы (n=60)	Вмещающие породы (n=52)	
<b>Ванадий</b>	<0,0005-0,085	<0,0005-0,02	0,001
<b>Кадмий</b>	<0,0005-0,0026	<0,0005	0,01
<b>Кобальт</b>	<0,0002-0,0015	<0,0002-0,010	0,01
<b>Сурьма</b>	<0,0005-0,015	<0,0005-0,015	0,05
<b>Медь</b>	<0,001-0,08	<0,001-0,20	0,001
<b>Молибден</b>	<0,001-0,125	<0,001-0,325	0,001
<b>Никель</b>	<0,0002-0,028	<0,0002-0,03	0,01
<b>Мышьяк</b>	<0,005-1,05	<0,005-0,01	0,05
<b>Свинец</b>	<0,0002-0,02	<0,0002-0,0009	0,006
<b>Ртуть</b>	<0,00001	<0,00001-0,0002	0,00001
<b>Марганец</b>	<0,005-0,20	<0,005-0,23	0,01
<b>Хром</b>	<0,005-0,10	<0,005-0,055	0,02
<b>Цинк</b>	<0,005-0,51	<0,005-0,23	0,01

Так как водная вытяжка выполнена из соотношения твердое вещество/ жидкость (1:1), численно содержание водорастворимых форм элементов в мг/кг равно величине в мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации водорастворимых форм токсичных элементов во вскрышных породах превышают ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов по V – до 85 ПДК, Cu - до 80 ПДК, Mo - до 125 ПДК, As – до 21 ПДК, Ni - до 3 ПДК и Zn – до 50 ПДК, Pb – до 3 ПДК, Mn – до 20 ПДК, Cr – до 5 ПДК. Аналогичное распределение наблюдается по этим же элементам и для вмещающих пород по V (20 ПДК), Cu (200 ПДК), Mo (325 ПДК), Ni (3 ПДК) и Zn (20 ПДК), Mn – (23 ПДК), Cr – (3 ПДК) (рисунок 3). Cd, Co, Sb в водорастворимых формах во вскрышных породах не проявляются. Водорастворимая форма

ртути во вскрышных породах не обнаруживается, а во вмещающих – ее максимальная концентрация достигает 20 ПДК. Таким образом, вскрышные и вмещающие породы угольных месторождений Кузбасса являются источником токсичных элементов и характеризуются активностью их водорастворимых форм, для которых установлен следующий ряд:  $\text{Mo} > \text{Cu} > \text{V} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{As} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb}$ .

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что загрязнение водных объектов Кемеровской области такими тяжелыми металлами, как V, Cu, Mo, Ni, As, Mn, Cr, Zn происходит, в том числе, за счет вымывания при фильтрации природных водных потоков через массы вскрышных и вмещающих пород.



**Рисунок 3** – Максимальное превышение ПДК водорастворимых форм токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах

### *Исследование золошлаковых отходов*

Предприятия теплоэнергетической отрасли Кузбасса оказывают существенное влияние на загрязнение окружающей среды региона. Серьезной проблемой угольной электрогенерации является образование золошлаковых отходов (ЗШО), которых в 2014 г. было произведено 2283,25 тыс. тонн, из них использовано только 96,45 тыс. тонн (4,22 %). Общая накопленная масса ЗШО превышает 88,8 млн тонн. Проблема осложняется ограниченным объемом золоотвалов и необходимостью их расширения, что приводит к отчуждению земельных ресурсов и их загрязнению. Данные о химическом составе ЗШО, содержании токсичных элементов и их способности к выщелачиванию являются основой прогноза загрязнений окружающей среды и эффективного и экологически безопасного использования этих отходов в производстве строительных материалов, дорожном строительстве и т.д.

В таблице 9 представлены диапазоны валового содержания токсичных элементов, токсичных соединений и оксидов золообразующих элементов в ЗШО от сжигания углей Кузбасса. Систематизация выполнена по числу проб  $n=59$ .

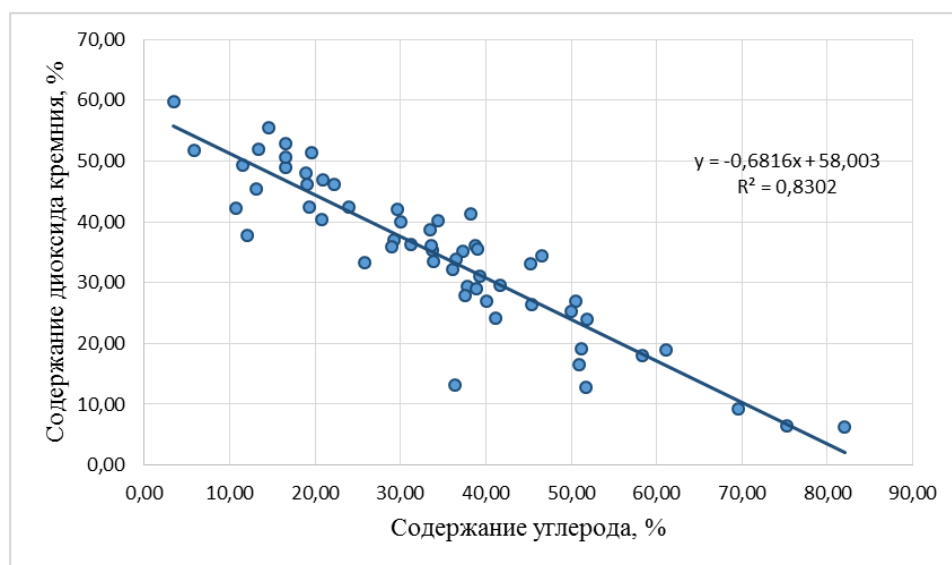
Результаты исследований показывают, что среди токсичных элементов наибольшая доля приходится на серу и марганец, которые составляют в среднем 53,8 % и 37,6 % от общего содержания токсичных элементов, соответственно; основными оксидами золообразующих элементов являются диоксид кремния (55,2 %), оксид алюминия (22,13 %) и триоксид железа (8,5 %). Остаточное содержание

**Таблица 9 – Валовое содержание токсичных элементов и соединений в золошлаковых отходах от сжигания углей Кузбасса**

Наименование показателя	Диапазоны содержания	Среднее содержание
<i>Токсичные элементы, мг/кг</i>		
<b>Кадмий</b>	0,05 – 0,40	0,32
<b>Свинец</b>	4,07 – 310,0	94,89
<b>Ванадий</b>	7,13 – 179,27	57,35
<b>Ртуть</b>	0,1 – 9,0	0,47
<b>Мышьяк</b>	0,5 – 44,0	5,07
<b>Хром</b>	5,50 – 150,68	55,36
<b>Марганец</b>	292,20 – 6585,15	1361,01
<b>Сурьма</b>	0,17 – 5,82	1,55
<b>Сера общая</b>	100,0 – 10700,0	1675,9
<b>Медь</b>	6,55 – 66,27	20,87
<b>Цинк</b>	8,0 – 180,0	29,58
<b>Никель</b>	7,67 – 44,61	25,92
<b>Олово</b>	1,00 – 6,00	3,25
<b>Кобальт</b>	2,83 – 13,54	7,44
<b>Молибден</b>	4,00 – 7,00	4,50
<i>Токсичные соединения, мг/кг</i>		
<b>Бенз(а)пирен</b>	0,001 – 0,1	0,0036
<b>Нефтепродукты</b>	20,0 – 5000,0	167,80
<b>Нитраты</b>	1,18 – 468,0	23,56
<b>Формальдегид</b>	0,05 – 6,76	1,02
<b>Фенолы</b>	0,01 – 0,05	0,011
<b>СПАВ</b>	0,2 – 10,47	0,87

углерода изменяется в широких пределах и в среднем составляет значительную величину – 33,41 %; средняя концентрация нефтепродуктов в ЗШО составляет 167,8 мг/кг; в золошлаках обнаруживаются нитраты, концентрация которых варьируется в широком диапазоне концентраций – от 1,18 до 468,0 мг/кг. Формальдегид, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) содержатся в незначительных количествах и являются нехарактерными загрязнителями для данного вида отходов; среднее содержание бенз(а)пирена (0,0036 мг/кг) почти на порядок меньше значения ПДК для почв (0,02 мг/кг).

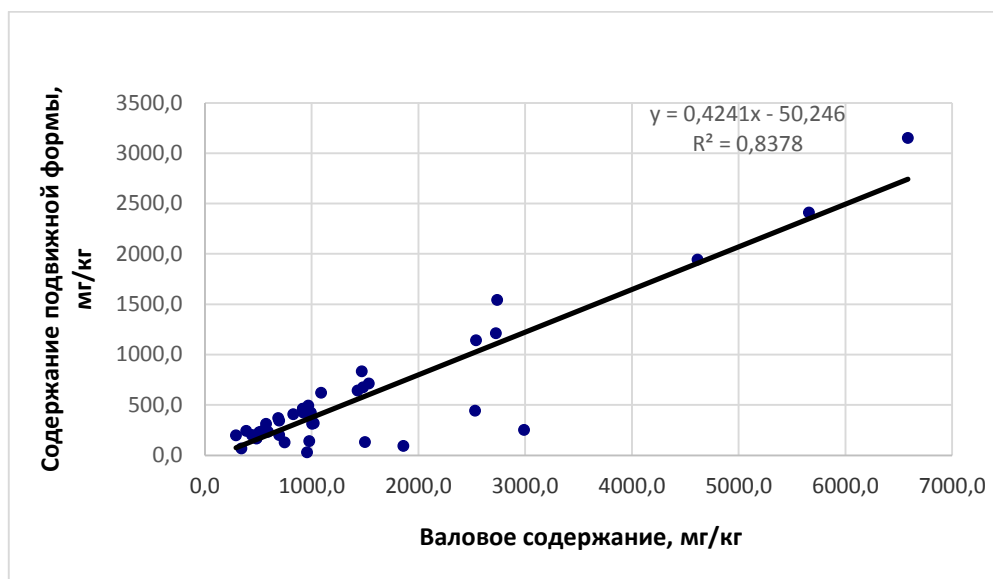
В ходе исследования взаимосвязи между содержанием отдельных элементов в золошлаках была установлена обратная корреляционная связь между углеродом и диоксидом кремния (рисунок 4) и корреляционная связь между диоксидом кремния и оксидом калия ( $r = 0,72$ ). Дополнительно было определено содержание подвижных форм токсичных элементов. Для подвижных форм элементов существует связь между содержанием кобальта и никеля ( $r = 0,85$ ), а также фтора и цинка ( $r = 0,59$ ). Кроме того, проведенный анализ данных показал наличие корреляционной связи валового содержания и подвижных форм марганца (рисунок 5) и свинца (рисунок 6), в то время как для меди и цинка она является слабой.



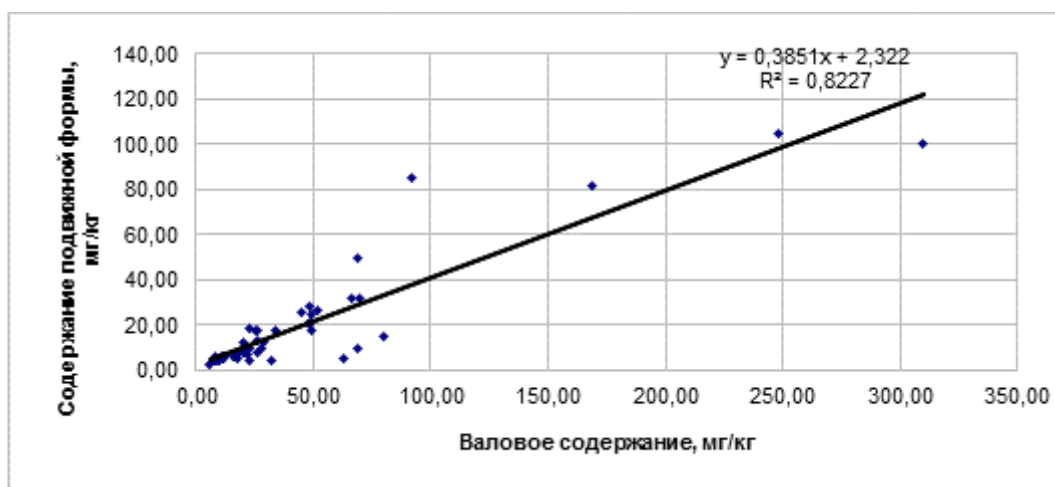
**Рисунок 4** – Зависимость содержания углерода и диоксида кремния в валовой форме в золошлаковых отходах для серии проб ( $n=59$ )

На большой выборке проб изучено распределение токсичных элементов в золошлаковых отходах в валовых, подвижных и водорастворимых формах (таблица 10) и проведена оценка потенциальной опасности золошлакоотвалов для поверхностных вод и почв. Систематизация выполнена по следующему количеству

проб: 182 – для золошлаковых отходов и шлаков котельных; 35 – для грунтовых вод; 17 – для поверхностных вод и 20 – для почв.



**Рисунок 5** – Зависимость содержания марганца в валовой и подвижной формах в золошлаковых отходах для серии проб



**Рисунок 6** – Зависимость содержания свинца в валовой и подвижной формах в золошлаковых отходах для серии проб

Показано, что золошлаковые отходы при контакте с водой являются источником токсичных элементов (ванадия, молибдена, мышьяка, никеля, цинка, марганца и хрома) в грунтовых водах на территории золошлаковых отвалов и вблизи расположенных природных водоисточников. Содержание этих элементов в наблюдательных скважинах существенно превышает предельно допустимые концентрации в воде. Установлена значительная миграция подвижных форм тяжелых металлов (медь, никель, цинк, свинец) из золошлакоотвалов в почву, несмотря на низкие концентрации никеля и цинка в валовой форме. Анализ распределения

токсичных металлов в системе «отходы – грунтовые (поверхностные) воды – почва» позволяет количественно описать поступление тяжелых металлов в окружающую среду из золы и шлака, хотя степень распределения отдельных металлов в системе различна. Полученные данные необходимо использовать при планировании природоохранных мероприятий на местах складирования золошлаковых отходов.

**Таблица 10 – Диапазоны содержания токсичных элементов в подвижной и водорастворимой формах в золошлаковых отходах и шлаках котельных Кемеровской области**

Наименование показателя	Виды отходов		ПДК для почвы с учетом фона, мг/кг
	Золошлаковые отходы	Шлаки котельных	
Подвижные формы, мг/кг			
Медь	3,5-20,4	3,0-30,0	3,0
Никель	3,0-55,0	2,5-65,0	4,0
Цинк	3,6-60,0	3,6-50,0	23,0
Свинец	2,0-104,0	2,0-101,6	6,0
Марганец	20,0-586,0	26,0-510,8	–
Хром	< 0,2-4,7	< 0,2-2,8	6,0
Молибден	0,2-6,0	0,2-5,0	–
Кобальт	< 0,4	< 0,4	5,0
Водорастворимые формы*, мг/кг			ПДК, мг/дм³
Ванадий	<0,0005-0,17	<0,0005-1,77	0,001
Кадмий	< 0,00001	< 0,00001-0,0016	0,01
Кобальт	< 0,0002-0,0009	< 0,0002-0,03	0,01
Сурьма	< 0,0005-0,006	< 0,0005-0,05	0,05
Медь	< 0,001-0,016	< 0,001-0,03	0,001
Молибден	< 0,001-0,60	< 0,001-1,05	0,0012
Никель	< 0,0002-0,27	< 0,0002-0,50	0,01
Мышьяк	< 0,005-0,50	< 0,005-0,60	0,05
Свинец	< 0,0002-0,03	< 0,0002-0,025	0,1
Ртуть	< 0,0001	< 0,0001-0,0002	0,00001
Марганец	< 0,005-0,13	< 0,005-0,44	0,01
Хром	< 0,0005-0,6	< 0,0005-0,18	0,001
Цинк	0,0075-0,136	< 0,005-0,0078	0,01

\* Водная вытяжка выполнена из соотношения твердое вещество/жидкость (1:1), содержание водорастворимых форм элементов, выраженное в мг/кг равно величине в мг/дм<sup>3</sup>.



Таким образом, изучено распределение токсичных элементов и токсичных соединений в золошлаковых отходах от сжигания углей Кузнецкого угольного бассейна. Исследованы корреляционные связи между содержанием тяжелых металлов в валовой и подвижной формах, а также взаимосвязи между содержанием отдельных элементов в золошлаковых отходах.

Золошлаки от сжигания углей Кузбасса следует, прежде всего, рассматривать как источник поступления токсичных элементов (Mn, S, As, Cr, Cu, Zn, Ni и др.) в окружающую среду. Актуальным является также мониторинг нитратов в объектах окружающей среды на территориях складирования золошлаковых отходов. Остаточный углерод в золошлаковых отходах является ценным компонентом, который можно выделять различными методами обогащения, что снизит нагрузку на окружающую среду и уменьшит риск самовозгорания на полигонах складирования.

**В четвертой главе** показано, что для оценки токсичности тонкодисперсных угольных материалов необходимо выполнять измерение распределения частиц по размерам с определением доли наиболее опасных классов. Для этих целей наиболее информативным и достоверным является метод лазерной дифракции.

Исследование гранулометрического состава угольных материалов имеет важное значение при проведении технологического, экологического и санитарно-гигиенического контроля. Утилизация отходов угольной промышленности путем создания стабильного во времени водоугольного топлива требует проведения контроля гранулометрического состава угольных шламов. Обязательным условием при совершенствовании систем очистки выбросов обогатительных фабрик, теплоэнергетических установок, пунктов погрузки – разгрузки угля является информация о размере частиц в промышленной пыли. Поиск оптимальных инженерных решений по очистке сточных вод угольных предприятий от взвешенных веществ, повышение эффективности работы шламоотстойников также требует информации о гранулометрическом составе частиц и расчете кривых осаждения. Поскольку угольные предприятия являются источником поступления взвешенных веществ в воздух рабочей зоны и атмосферный воздух, при экологическом и санитарно-гигиеническом контроле и надзоре вопросы определения размера частиц имеют большое значение. Существует также необходимость проведения инвентаризации промышленных источников выбросов в атмосферу взвешенных частиц с размерами менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2,5).

Определение гранулометрического состава порошков углей выполняется ситовым методом в соответствии с ГОСТ 2093-82. Однако при анализе образцов с

размерами частиц менее 40 мкм данный метод имеет ограничения по использованию, поэтому разработка методики определения гранулометрического состава тонкодисперсных угольных порошков актуальна, а метод лазерной дифракции может быть эффективно использован для решения данной задачи.

В качестве объектов исследований были выбраны стандартные образцы углей марки ГЖО (уголь 1), марки ОС (уголь 2), марки Г (уголь 3), измельченные до класса крупности 0-0,2 мм и подготовленные ОАО «ЗСИЦентр» к проведению межлабораторной аттестации.

Исследование однородности гранулометрического состава стандартных образцов угля проводили в классах крупности -0,074+0 мм, -0,1-0,074 мм, -0,2+0,1 мм на 20 пробах каждого образца. Для определения гранулометрического состава порошков углей использовали два метода: ситовый анализ по ГОСТ 2093-82 и лазерную дифракцию. Кроме того, были проведены определения гранулометрического состава образцов угольных шламов, выбросов пыли обогатительных фабрик. Определение гранулометрического состава порошков угля методом лазерной дифракции проводили с использованием анализатора крупности частиц Analysette 22 MicroTec plus («FRITSCH», Германия). В качестве рабочей жидкости в блоке диспергирования использовалась водопроводная вода, дополнительно очищенная системой картриджных фильтров.

Для оптимизации условий выполнения измерений методом лазерной дифракции при диспергировании в водной среде были выбраны следующие параметры: концентрация поверхностно-активного вещества в измерительном контуре, скорость циркуляции пробы через измерительную ячейку, мощность ультразвуковой обработки суспензии. Подбор оптимальных условий проведения измерений при анализе методом лазерной дифракции осуществляли как на подготовленных стандартных образцах углей, так и на пробах угольных шламов и промышленной пыли. Показано, что увеличение мощности от 0 до 18 Вт приводит к разрушению агрегатов частиц, а последующее увеличение мощности до 36 Вт способствует образованию крупных агрегатов частиц (до 1000 мкм). Однако при мощности 60 Вт агрегаты частиц вновь разрушаются.

Таким образом, мощность ультразвука блока жидкостного диспергирования оказывает значительное влияние на результат измерения порошков угольных проб и должна тщательно подбираться. Склонность частиц к агрегированию под действием ультразвукового излучения будет зависеть от химического состава пробы и наличия в ней соединений, имеющих магнитные свойства: например, присутствие оксидов железа в пробах угольных шламов или промышленных вы-

бросов. Эти же свойства образцов оказывают влияние и на оптимальную скорость циркуляции пробы через измерительную ячейку.

Важнейший параметр при измерении гидрофобных материалов в водных средах – тип и концентрация поверхностно-активного вещества в измерительном контуре. Для эффективного смачивания порошков угля был использован ПАВ-901 – препарат Dusazin 901 (Fritsch, Германия). Гидрофобный угольный порошок без добавления ПАВ образует агрегаты частиц, тогда как использование 0,05 мл ПАВ- 901 на 600 мл диспергирующей жидкости обеспечивает стабильное и воспроизводимое измерение.

Проведены сравнительные исследования по определению гранулометрического состава порошков различных марок угля методами лазерной гранулометрии и ситовым анализом по ГОСТ 2093-82. Удовлетворительные результаты получены для образцов марок ГЖО и Г во всех диапазонах определения (таблица 11).

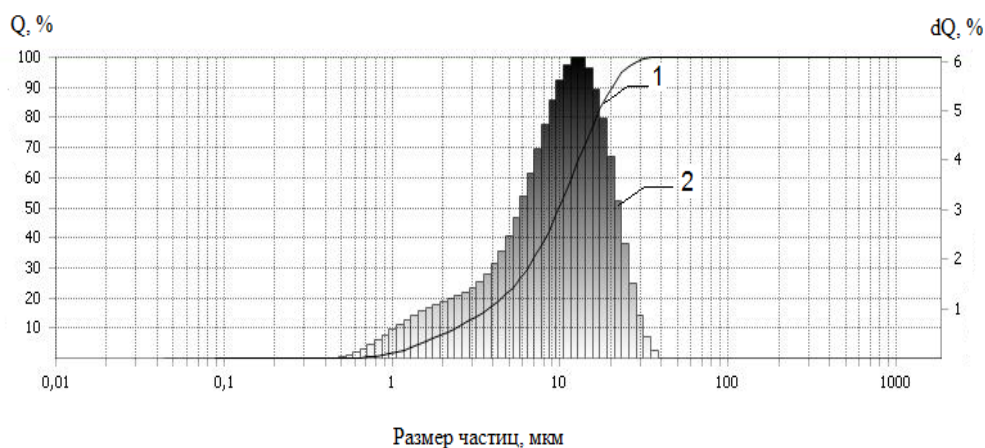
**Таблица 11 – Сводная таблица результатов определения гранулометрического состава стандартных образцов углей 1, 2 и 3 ситовым методом и методом лазерной дифракции**

Класс, мм	Разность результатов испытаний, полученных между двумя методами, % абс.	Предел воспроизводимости по ГОСТ 2093-82, R, %	Оценка разности результатов испытаний, полученных двумя методами
Уголь 1			
-0,074+0	7,3	10,5	удовлетворительно
-0,10+0,074	1,2	8,1	удовлетворительно
-0,2+0,10	6,02	8,1	удовлетворительно
Уголь 2			
-0,074+0	16,12	10,5	неудовлетворительно
-0,10+0,074	6,35	8,1	удовлетворительно
-0,2+0,10	9,84	8,1	неудовлетворительно
Уголь 3			
-0,074+0	6,21	10,5	удовлетворительно
-0,10+0,074	1,52	8,1	удовлетворительно
-0,2+0,10	3,96	8,1	удовлетворительно

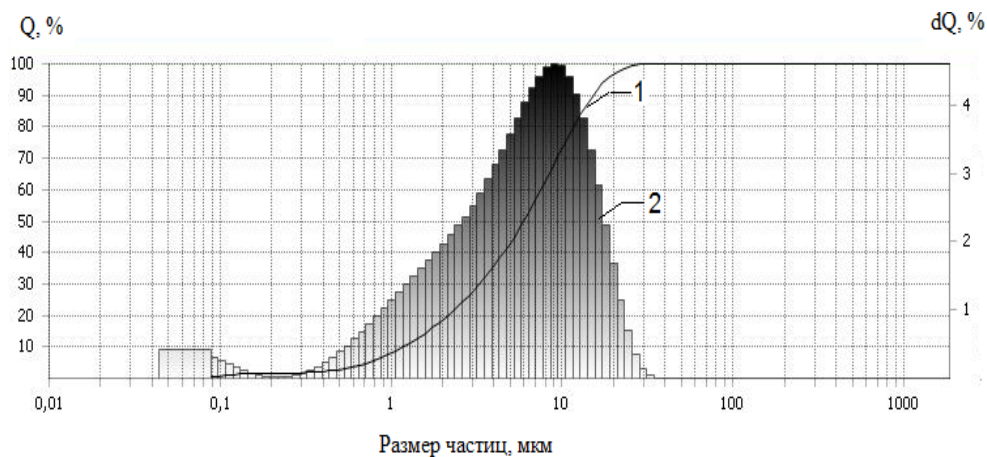
Для образцов марки ОС предел воспроизводимости между двумя методами в диапазонах -0,074+0 и -0,20+0,10 мм, установленный ГОСТ 2093-82, превышен в 1,5 раза и 1,2 соответственно.

Результаты, полученные с использованием данной методики, показывают, что в выбросах обогатительных фабрик содержатся частицы с размерами до 30,0 мкм (рисунок 7), доля частиц с размерами до 10 мкм составляет более 50 %.

Распределение частиц по размерам пробы угольного шлама представлено на рисунке 8. Проба характеризуется содержанием частиц размерами до 24,2 мкм, причем половина частиц имеет размер менее 6,0 мкм. Исследование гранулометрического состава таких проб позволяет оптимизировать технологический процесс получения из угольных шламов различной продукции (топливных брикетов, водно-угольного топлива и др.).



**Рисунок 7** – Интегральная (1) и дифференциальная (2) кривые распределения частиц по размерам угольной пыли в промышленных выбросах в атмосферу обогатительных фабрик. Параметры распределения:  $D_{10}$  – 2,4 мкм;  $D_{50}$  – 9,9 мкм;  $D_{90}$  – 20,3 мкм;  $D_{99}$  – 30,0 мкм. Обозначения:  $Q$  – объемная доля частиц, размер которых меньше текущего,  $dQ$  – доля частиц данного размера;  $D_{10}$  – размер, менее которого находятся 10 % частиц,  $D_{50}$  – 50 % частиц,  $D_{90}$  – 90 % частиц,  $D_{99}$  – 99 % частиц



**Рисунок 8** – Интегральная (1) и дифференциальная (2) кривые распределения частиц по размерам пробы угольного шлама. Параметры распределения:  $D_{10}$  – 1,2 мкм;  $D_{50}$  – 6,0 мкм;  $D_{90}$  – 15,3 мкм;  $D_{99}$  – 24,2 мкм. Обозначения параметров представлены на рисунке 7

Взвешенные вещества в сточных шахтных водах характеризуются широким распределением частиц по размерам, присутствие в них частиц особо мелких

классов (до 5 мкм) делает необходимым использование высокотехнологичных методов очистки, включая ультрафильтрацию и флотацию.

Использование метода лазерной дифракции позволяет получать достоверную информацию о распределении углеродсодержащих частиц в различных объектах на предприятиях по добыче и переработке углей. Полученные таким образом данные могут быть использованы, как для целей экологического мониторинга, так и для мероприятий по совершенствованию технологических процессов добычи и переработки углей.

**В пятой главе** представлены результаты по исследованию загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух из угольных пластов.

Выполнено определение содержания метана и  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе на границах санитарно-защитных зон (СЗЗ) передвижных дегазационных установок (ПДУ) угледобывающих предприятий, на границе СЗЗ полигона ТБО, в атмосферном воздухе населенных мест. За период с 2011 по 2013 гг. было проанализировано более 500 проб атмосферного воздуха. Диапазоны содержания метана в атмосферном воздухе составляют от 0,31 до 143,61 мг/м<sup>3</sup> (на границах СЗЗ ПДУ), от 1,08 до 3,89 мг/м<sup>3</sup> (на границе СЗЗ полигона ТБО), от 0,94 до 2,28 мг/м<sup>3</sup> (на территории населенных пунктов). Концентрации углекислого газа находятся в пределах от 0,043 до 0,065 % (на границах СЗЗ ПДУ), от 0,038 до 0,049 % (на границе СЗЗ полигона ТБО), от 0,035 до 0,038 % (на территории населенных пунктов). Для разовых проб метана, отобранных на границе СЗЗ ПДУ, найденные максимальные концентрации составляли от 119,15 до 143,61 мг/м<sup>3</sup> (при ОБУВ 50 мг/м<sup>3</sup>). Средний уровень содержания этого компонента на границе СЗЗ полигона ТБО и на территории населенных пунктов не превышает допустимой концентрации. Содержание  $\text{CO}_2$  в пробах воздуха, отобранных на границах СЗЗ ПДУ и полигона ТБО, превышает фоновый уровень углекислого газа по России (от 0,034 до 0,037 %) в 1,5 раза. В атмосферном воздухе населенных пунктов этот показатель находится в пределах фона. Таким образом, концентрация метана на границах санитарно-защитных зон угледобывающих предприятий превышает его концентрацию на территории населенных пунктов.

Природные газы угольных пластов, добываемые для использования в качестве энергоносителей, должны соответствовать нормируемым экологическим параметрам качества, определение которых предусматривает использование широкого перечня физико-химических методов исследований.

Для изучения экологических аспектов использования газа угольных пластов Талдинского месторождения в качестве топлива для двигателей внутреннего сго-

рания проведено комплексное исследование его физико-химических параметров. Типичный компонентный состав газа угольных пластов для ряда скважин данного месторождения приведен в таблице 12. Изучение компонентного состава газа в 7 скважинах Талдинского угольного месторождения и 30 скважинах Нарыкско-Осташкинской площади показало, что содержание метана в нем находится на уровне 91,95-98,26 %. Содержание тяжелых углеводородов метанового ряда варьируется в широком диапазоне концентраций (этан от 0,007 % до 2,109 %, пропан от <0,001 % до 0,401 %), содержание бутанов, пентанов, гексанов в газе незначительно или не проявляется. Значения суммарной объемной доли негорючих компонентов находятся в диапазоне 0,794-2,050 % и не превышают установленный норматив (не более 7,0 %).

**Таблица 12 – Типичный компонентный состав газа угольных пластов Талдинского метанугольного месторождения для ряда скважин (УМ-5.4, УМ-5.5, УМ-5.6, УМ-5.7, УМ-5.8, УМ-5.9, УМ-5.10)**

Компонент	Единицы измерения	Номер скважины						
		УМ-5.4	УМ-5.5	УМ-5.6	УМ-5.7	УМ-5.8	УМ-5.9	УМ-5.10
CO <sub>2</sub>	об. %	0,199	0,922	0,464	0,736	0,455	1,182	1,836
O <sub>2</sub>	об. %	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
N <sub>2</sub>	об. %	0,861	0,232	0,728	0,395	0,333	0,866	0,846
CH <sub>4</sub>	об. %	98,17	96,36	97,66	98,26	98,17	97,20	97,11
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	об. %	0,007	0,861	0,006	0,017	0,009	0,008	0,046
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	об. %	<0,001	0,157	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	об. %	<0,001	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	об. %	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	об. %	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	об. %	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	об. %	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
H <sub>2</sub>	об. %	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
He	об. %	0,003	0,008	0,004	0,006	0,006	0,002	0,001

Содержание сероводорода в газе угольных пластов Талдинского месторождения незначительно и находится в диапазоне от 0,0001 до 0,0007 мг/м<sup>3</sup>, что значительно ниже допустимого значения по ГОСТ 5542-2014 и ГОСТ 27577-00 (0,02 мг/м<sup>3</sup>). Концентрация сероводорода в газе угольных пластов Нарыкско-Осташкинской площади находится в диапазоне от 0,00015 до 0,0054 мг/м<sup>3</sup>.

Экологические характеристики газа угольных пластов на фоне высоких качественных показателей позволяют говорить о нем как об одном из самостоятельных видов автомобильного топлива. Он обладает следующими преимуществами: высокой теплотворной способностью, практически не содержит механические примеси и сернистые соединения. Низкая концентрация сернистых соединений и тяжелых углеводородов значительно повышает его технологические и экологические показатели по сравнению с природным газом газонефтяных месторождений. Программа исследований экологических показателей и физико-химических свойств газа угольных пластов, апробированная на примере Талдинского угольного месторождения, может быть применена и для других угольных месторождений России.

**В шестой главе** представлены рекомендации по применению разработанных методов и подходов для оценки влияния добычи и переработки углей на экологическое состояние природной среды.

Изучение состава отходов горной промышленности, особенно многотоннажных вскрышных и вмещающих пород, имеет важное значение для вовлечения в недропользование техногенных месторождений, повышения экономической привлекательности инвестиционных проектов, решения вопросов комплексного освоения недр. Для решения этих задач была разработана комплексная программа изучения промышленных отходов (таблица 13), которая включает исследования по следующим направлениям: предварительное исследование по определению валового содержания элементов спектральным полуколичественным методом в сложных пробах неизвестного состава; определение валовых, подвижных и водорастворимых форм токсичных неорганических веществ (V, Cd, Co, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Hg, Pb, Cr, Zn, Sb, W, фторид-, нитрат-, нитрит-, сульфат, хлорид, цианид-ионы); определение токсичных органических веществ (полициклических ароматических углеводородов, фенолов, летучих ароматических углеводородов, нефтепродуктов, СПАВ, формальдегида); идентификацию органических загрязнителей в пробах неизвестного состава; биотестирование с использованием двух тест-объектов; расчет класса опасности отхода с использованием лицензионного программного средства. В результате исследований по данной программе оценивается влияние отходов на окружающую среду (потенциальный запас токсичных элементов и веществ, возможность поглощения их растениями и поступления в поверхностные и подземные воды), предлагаются рекомендации по составу программ экологического мониторинга объектов окружающей среды в местах складирования отходов и направлениям их возможного использования. При выборе

схем исследования отходов добычи и переработки углей учитываются данные об их элементном и вещественном составе, полученные в данной работе.

**Таблица 13 – Комплексная программа изучения промышленных отходов**

Направление исследования/Определяемые показатели	Метод исследования
<i>1. Предварительное исследование по определению валового содержания элементов спектральным полуколичественным методом в сложных пробах неизвестного состава</i>	
Cu, Pb, Zn, Co, Bi, Ni, Cr, Mn, Ti, As, Mo, Ag, Ba, Li, Sb, Sn, Ge, W, Yb, Ga, Be, Nb, Sc, Sr, Cd, Fe, Al, Si, Mg, Ca, K, Na, Hg, Zr, P, V, Y	Эмиссионная спектрометрия
<i>2. Количественное определение содержания соединений в валовой, подвижной форме и водной вытяжке</i>	
Формальдегид, ацетон, метанол, СПАВ, $\text{CN}^-$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$	Абсорбционная спектроскопия
$\text{V}^{3+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Mo}^{2+}$ , $\text{As}^{3+}$ , $\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cr}^{6+}$ , $\text{Sb}^{3+}$ , $\text{W}^{6+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ и др.	Атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная спектрометрия
$\text{NO}_3^-$ , $\text{F}^-$ , pH	Потенциометрия
$\text{SO}_4^{2+}$	Гравиметрия
$\text{Cl}^-$	Титриметрия
Бенз(а)пирен и другие 16 ПАУ	Жидкостная хроматография
Фенолы, летучие ароматические углеводороды	Хромато-масс-спектрометрия
<i>3. Идентификация органических загрязнителей в пробах неизвестного состава</i>	
Органические загрязняющие вещества	Хромато-масс-спектрометрия
<i>4. Биотестирование отходов</i>	
Общая токсичность	Биотестирование с использованием двух тест-объектов
<i>5. Расчет класса опасности отхода</i>	
Класс опасности	Программное средство фирмы «Интеграл»
<i>6. Рекомендации по программам экологического мониторинга объектов окружающей среды в местах складирования отходов и направлениям их возможного использования</i>	

Разработанная комплексная программа оценки токсичности отходов добычи и переработки углей, включающая определение валовых, подвижных и водорастворимых форм токсичных элементов и органических веществ, используется в



непосредственной деятельности Управления Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзора) по Кемеровской области при определении компонентного состава и класса опасности вскрышных и вмещающих пород, золошлаковых отходов, шламов углеобогащения и других отходов. Данные, полученные по указанным видам отходов, учтены при формировании Банка данных об отходах и технологиях утилизации, обезвреживания отходов.

По разработанной программе на предприятии ООО «Экомаш» были изучены отходы высокотемпературной переработки углей с целью определения показателей для мониторинга объектов окружающей среды на территории, прилегающей к месту складирования и выбора направлений дальнейшей переработки отходов. Показано, что в пробах содержатся все 16 приоритетных ПАУ, включая высококонденсированные (бенз(а)пирен, дибенз(а,h)антрацен, бенз(k)флуорантен, бенз(в)флуорантен, бенз(g,h,i)перилен, индено(1,2,3-cd)пирен), обладающие наибольшей канцерогенной активностью. Изучен элементный состав отходов и установлено, что отходы содержат высокие концентрации ртути. Показано, что данный вид отходов относится к третьему классу – опасные. Расчет подтвержден методом биотестирования с использованием двух тест-объектов. Исследования жидких лежалых отходов позволили установить их химический состав, рассчитать класс опасности, выбрать схему переработки отходов с получением шпало-пропиточного масла.

С целью выбора направлений использования отходов, образующихся при сжигании углей, выполнено изучение микросфер зол уноса. Предложен комплекс физико-химических методов исследования, включающий определение текстурных, структурных и морфологических свойств алюмосиликатных микросфер из зол уноса различных электростанций. На основании полученных данных сделаны рекомендации по использованию: микросфер с развитой мезопористостью (Павлодарской ТЭЦ-2 и Беловской ГРЭС) для приготовления катализаторов; микросфер с перфорированной поверхностью макропористых оболочек (Павлодарской ТЭЦ-2 и Западно-Сибирской ТЭЦ) – для создания селективных сорбентов; образцов с преобладающим количеством полых ценосфер (Ново-Кемеровской ТЭЦ, Беловской и Томь-Усинской ГРЭС) – для использования в качестве наполнителя композиционных материалов с низкой плотностью.

Предложены методические подходы для оценки состава и структуры микросфер зол уноса и их сорбционных свойств при извлечении нефтепродуктов из загрязненных вод. Показана возможность применения этого материала в качестве сорбента и определена максимальная емкость микросфер по нефтепродуктам, ко-

торая составляет величину до 100 массовых %. Выполнены опыты по извлечению нефтепродуктов из модельных загрязненных вод, степень очистки воды от поверхностного слоя нефтепродуктов составляет 99,99 массовых %.

Выполнена оценка экологических аспектов вихревой технологии сжигания суспензионного угольного топлива при опытно-промышленных испытаниях (ЗАО «НПП «Сибэкотехника»). Показано, что данная технология позволяет существенно снизить выбросы вредных веществ в атмосферу. В частности, разработанная технология сжигания водоугольного топлива не приводит к образованию бенз(а)пирена, который является наиболее опасным канцерогеном.

Методика, разработанная для определения гранулометрического состава углеродсодержащих частиц, была использована при разработке проектной документации ООО «Прознергопроект» с целью выбора оптимальной технологической схемы очистки шахтных вод ООО «УК «Межегейуголь». Гранулометрические исследования состава угольной пыли в промышленных выбросах в атмосферу фабрик по обогащению угля проводились с целью оптимизации работы аспирационных установок обогатительных фабрик Кузбасса. Данная методика использована также при изучении дисперсного состава частиц твердого атмосферного аэрозоля в снеговом покрове на территории промышленной зоны г. Новокузнецка, а также в точках расположения метеорологических постов. Показано, что взвешенные вещества в снеговом покрове представлены частицами, размеры которых не превышают 35,5 мкм, при этом доля частиц с размером 10 мкм и менее составляет почти 40,0 %. Кроме того, данные частицы содержат адсорбированные соединения класса ПАУ.

Предложенные методические, организационные и технические решения были использованы при создании Комплексной программы охраны окружающей среды и экологической безопасности города Новокузнецка (2013 г.), Программы мероприятий по сокращению выбросов бенз(а)пирена в атмосферу г. Новокузнецка (2014 г.). Содержание данных программ составлено с учетом, в том числе, научно обоснованного в работе перечня загрязняющих веществ, образующихся при добыче и переработке углей. Информационное обеспечение органов государственного экологического контроля и надзора регионального и муниципального уровней по вопросам состояния окружающей среды осуществляется при проведении экологических мониторингов и экспертиз, плановых и внеплановых проверок.

**В приложениях** к диссертации приведены методики по определению гранулометрического состава тонкодисперсных угольных материалов и определению 2,4,6-тринитротолуола и его метаболитов в поверхностных водах и отходах, мате-

риалы статистической обработки данных, комплексная программа исследования отходов, а также справки о внедрении и об использовании результатов диссертационной работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основе проведенных автором теоретических и экспериментальных исследований, обоснованы и разработаны новые методические, технические и организационные решения по созданию и совершенствованию инструментов для практической оценки и прогноза экологического состояния природной среды в угледобывающих регионах, что имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для обеспечения их экологической безопасности и эффективного проведения природоохранных мероприятий.

**Основные научные результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором, заключаются в следующем:**

1. Научно обоснован перечень загрязняющих веществ, образующихся при добыче, переработке углей, который должен включать помимо показателей, традиционно используемых в экологическом контроле, такие загрязняющие вещества, как полициклические ароматические углеводороды, взвешенные частицы размерами менее 2,5 мкм (PM<sub>2,5</sub>) и менее 10 мкм (PM<sub>10</sub>), 2,4,6-тринитротолуол и его метаболиты, что является актуальным для целей совершенствования мониторинга окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и эффективного осуществления природоохранных мероприятий.

2. Разработана методика определения 2,4,6-тринитротолуола (ТНТ) и его метаболитов в объектах окружающей среды. Определена концентрация ТНТ и идентифицированы 2-амино-4,6-динитротолуол и 2,4-динитротолуол в поверхностных и сточных водах в зоне влияния горнодобывающих предприятий. Показано, что сточные карьерные воды содержат высокие концентрации ТНТ, причем применяемые способы очистки сточных вод не всегда способствуют уменьшению их содержания.

3. Изучено распределение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в объектах окружающей среды в зоне влияния предприятий отрасли. Предложен и обоснован методический подход для оценки техногенной нагрузки на окружающую среду с учетом содержания фенантрена в почвах, который должен включать определение уровня фоновых концентраций данного соединения

на территории, не испытывающей техногенного влияния, и сравнение с содержанием фенантрена на исследуемой площадке. Величина кратности превышения фонового значения концентрации фенантрена в почвах характеризует уровень техногенной нагрузки на территорию.

4. Изучено распределение токсичных элементов в золошлаковых отходах и установлены взаимосвязи между валовым содержанием элементов и их подвижными формами. Установлено, что золошлаковые отходы от сжигания Кузбасских углей характеризуются сильной корреляционной связью между подвижными формами кобальта и никеля, между валовыми и подвижными формами марганца и свинца.

5. Во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кузбасса изучено распределение токсичных элементов, для которых установлен следующий ряд активности их водорастворимых форм:  $Mo > Cu > V > Zn > Mn > As > Cr > Ni > Pb$ . Загрязнение водных объектов Кемеровской области тяжелыми металлами происходит в том числе за счет вымывания при фильтрации природных водных потоков через массы вскрышных и вмещающих пород.

6. Разработана методика определения гранулометрического состава угольных тонкодисперсных материалов методом лазерной дифракции для целей экологического мониторинга и технологического контроля. Данная методика позволяет получать достоверную информацию о распределении углеродсодержащих частиц в различных объектах (промышленных выбросах, сточных водах, шламах) на предприятиях по добыче и переработке углей и использовать ее для решения экологических задач.

7. Изучены экологически значимые характеристики газа, добываемого из угольных пластов. Показано, что содержание метана в нем находится в диапазоне от 92 до 98 %, а низкая концентрация сернистых соединений и тяжелых углеводородов значительно повышает его экологичность по сравнению с природным газом газонефтяных месторождений.

8. Разработана комплексная программа оценки токсичности отходов добычи и переработки углей Кузбасса, включающая определение валового содержания элементов, их подвижных и водорастворимых форм, содержания токсичных органических соединений, биотестирование отходов.

9. Методические, технические и организационные решения, предложенные в данной работе, использованы для информационного обеспечения экологической безопасности промышленных предприятий, а также деятельности органов

государственного экологического контроля и надзора регионального и муниципального уровней.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. **Журавлева, Н. В.** Приоритетные органические экотоксиканты в объектах окружающей среды Юга Кузбасса / Н. В. Журавлева, В. В. Сенкус // Вестник КемГУ. – № 3. – 2005. – С. 29-36.
2. **Журавлева, Н. В.** Комплексная оценка токсичности промышленных отходов предприятий Кемеровской области / Н. В. Журавлева, Т. Н. Воропаева, О. В. Иваныкина // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 6.2. – С. 86-89.
3. **Журавлева, Н. В.** Полициклические ароматические углеводороды в отходах коксохимического производства // Кокс и химия. – 2007. – № 6. – С. 35-38.
4. **Журавлева, Н. В.** Вихревая технология сжигания суспензионного водоугольного топлива. Экологические аспекты / Н. В. Журавлева, В. И. Мурко, В. И. Федяев, Д. А. Дзюба, Ю. А. Сенчурова, А. Н. Заостровский // Экология и промышленность России. – 2009. – № 1. – С. 6-9.
5. Павлович, Л. Б. Полициклические ароматические углеводороды в сточных водах коксохимического производства / Л. Б. Павлович, **Н. В. Журавлева**, Д. В. Бальцер // Кокс и химия. – 2010. – № 10. – С. 36-41.
6. Павлович, Л. Б. Исследование состава конденсатов и осадков при транспортировании металлургических газов / Л. Б. Павлович, Д. В. Бальцер, В. Г. Лупенко, Т. А. Булис, Н. М. Алексеева, **Н. В. Журавлева** // Кокс и химия. – 2010. – № 12. – С. 31-36.
7. Павлович, Л. Б. Исследование поверхностно-активных свойств биохимически очищенной воды коксохимического производства / Л. Б. Павлович, **Н. В. Журавлева**, Д. В. Бальцер, Т. А. Булис // Кокс и химия. – 2011. – № 7. – С. 37-42.
8. Потокина, Р. Р. Лабораторные методы определения газоносности угольных пластов / Р. Р. Потокина, **Н. В. Журавлева**, З. Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. – Т. 21. – № 5. – С. 519-523.
9. **Журавлева, Н. В.** Изучение распределения токсичных элементов в золошлаковых отходах предприятий топливно-энергетического комплекса Кемеровской области / Н. В. Журавлева, О. В. Иваныкина, З. Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2013. – Т. 21. – С. 479-486.

10. **Журавлева, Н. В.** Изучение физико-химических показателей природных горючих газов угольных пластов / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потоккина, З. Р. Исмагилов, Е. В. Сурин // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 5. – С. 48-53.
11. Потоккина, Р. Р. Изучение компонентного состава газа, извлеченного из угольного керна / Р. Р. Потоккина, **Н. В. Журавлева**, З. Р. Исмагилов // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 5. – С. 80-83.
12. **Zhuravlyova, N. V.** Determination of 2,4,6-Trinitrotoluene in Wastes and Sewage Water from Mining Industry by Chromato-Mass Spectrometry / N. V. Zhuravlyova, R. R. Potokina and Z. R. Ismagilov // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2013. – V. 15. – № 4. – P. 307-311.
13. **Журавлева, Н. В.** Изучение состава и структуры микросфер зол уноса Южно-Сахалинской ГРЭС и их сорбционных свойств для извлечения нефтепродуктов из загрязненных вод / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потоккина, З. Р. Исмагилов, Н. В. Шикина, Г. В. Болдырев // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 3. – С. 257-265.
14. Исмагилов, З. Р. Пористая структура углей Усинского месторождения Печорского угольного бассейна / З. Р. Исмагилов, Н. В. Шикина, **Н. В. Журавлева**, Р. Р. Потоккина, Т. Н. Теряева, М. А. Керженцев // Химия твердого топлива. 2014. – № 4. – С. 3-11.
15. **Журавлева, Н. В.** Комплексная оценка токсичности отходов горной промышленности с использованием химических, физико-химических и биологических методов / Н. В. Журавлева, З. Р. Исмагилов, О. В. Иваныкина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 352-361.
16. **Журавлева, Н. В.** Загрязнение снегового покрова полициклическими ароматическими углеводородами и токсичными элементами на примере г. Новокузнецка / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потоккина, З. Р. Исмагилов, Е. Р. Хабибулина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 445-454.
17. **Журавлева, Н. В.** Состав газа угольных пластов Талдинского месторождения / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потоккина, З. Р. Исмагилов, Е. В. Кудинов // Химия твердого топлива. – 2015. – № 2. – С. 3-9.
18. **Журавлева, Н. В.** Определение полициклических ароматических углеводородов в углях методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потоккина, З. Р. Исмагилов, Е. Р. Хабибулина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – Т. 23. – № 2. – С. 117-123.
19. Исмагилов, З. Р. Исследование алюмосиликатных микросфер из золы уноса электростанций, использующих угли Кузбасса / З. Р. Исмагилов, Н. В. Шикина,

- Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, Н. А. Рудина, В. А. Ушаков, Т. Н. Теряева** // Химия твердого топлива. – 2015. – № 4. – С. 49-57.
20. **Журавлева, Н. В.** Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кемеровской области / Н. В. Журавлева, О. В. Иваныкина, З. Р. Исмагилов, Р. Р. Потокина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 3. – С. –187-197.
  21. **Журавлева, Н. В.** Изучение распределения макро- и микрокомпонентов в золошлаковых отходах от сжигания кузбасских углей / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, З. Р. Исмагилов, Н. В. Нагайцева // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24. – № 3. – С. 347-353.
  22. **Журавлева, Н. В.** Изучение взаимосвязи строения ископаемых углей и содержания в них полициклических ароматических углеводородов / Н. В. Журавлева, Е. Р. Хабибулина, З. Р. Исмагилов, Р. Р. Потокина, С. А. Созинов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24. – № 3. – С. 355-361.
  23. **Журавлева, Н. В.** Определение гранулометрического состава угольных порошков методом лазерной дифракции / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, З. Р. Исмагилов // Химия твердого топлива. – 2016. – № 5. – С. 56-62.
  24. **Zhuravleva, N. V.** Chemical and Granulometric Composition of Particles of Solid Atmospheric Aerosol Including Black Carbon in the Snowpack on the Territory of the Industrial Zone of Novokuznetsk City / N. V. Zhuravleva, E. R. Khabibulina, Z. R. Ismagilov, O. S. Efimova, A. A. Osokina, R. R. Potokina // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24. – № 4. – С. 509-519.
  25. **Журавлева, Н. В.** Методы оценки влияния процессов добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды / Н. В. Журавлева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 102-112.
  26. **Журавлева, Н. В.** Изучение распределения макро- и микроэлементов в отходах углеобогащения / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, З. Р. Исмагилов, Н. В. Нагайцева // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – Т. 24. – № 6. – С. 761-767.

#### Прочие публикации

27. **Журавлева, Н. В.** Определение полициклических ароматических углеводородов в золошлаковых отходах / Н. В. Журавлева, Т. А. Бобкова // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, – 2005. Вып. 14. – С. 284-289.

28. **Журавлева, Н. В.** Органические загрязнители в отходах промышленных предприятий Кемеровской области / Н. В. Журавлева // ЭКО-бюллетень ИнЭкА. – 2006. – № 2. – С. 24-26.
29. **Журавлева, Н. В.** Изучение распределения полициклических ароматических углеводородов в почвах и оценка степени их техногенного влияния на окружающую среду / Н. В. Журавлева, Т. А. Бобкова // Труды II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты». Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2006. – С. 72-73.
30. **Иваныкина, О. В.** Оценка загрязнения тяжелыми металлами осадков сточных вод предприятий Кемеровской области / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // ЭКО-бюллетень ИнЭкА. – 2006. – № 5. – С. 22-24.
31. **Иваныкина, О. В.** Содержание тяжелых металлов в отходах горнодобывающей промышленности Кемеровской области / О. В. Иваныкина, Н. В. Журавлева, А. Ю. Старыгина // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – Вып. 17. – С. 174 - 179.
32. **Журавлева, Н. В.** Изучение распределения полициклических ароматических углеводородов в отходах коксохимического производства / Н. В. Журавлева // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. Вып. 18. – С. 175-180.
33. **Иваныкина, О. В.** Изучение элементного состава отходов обогащения железных руд для целей геоэкологического мониторинга / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. Вып. 19. – С. 142-147.
34. **Иваныкина, О. В.** Изучение распределения тяжелых металлов в системе отходы-вода-почва для золошлаковых отвалов Кемеровской области / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // сб. докладов Второй Международной научно-практической конференции «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе». – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. – С. 143-149.
35. **Иваныкина, О. В.** Приоритетные направления в области оценки токсичности промышленных отходов / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // Труды III Все-



- российской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты». – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2009. – С. 252-259.
36. **Журавлева, Н. В.** Полициклические ароматические углеводороды в отходах промышленных предприятий Кемеровской области / Н. В. Журавлева, О. В. Иваныкина // Труды III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты». – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2009. – С. 260-266.
  37. Иваныкина, О. В. Изучение токсичности отходов предприятий ТЭК Кузбасса / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // Экологические нормы. Правила. Информация. – 2010. – № 7. – С. 30-31.
  38. Иваныкина, О. В. Исследование химического состава многокомпонентных отходов / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // Охрана окружающей среды и природопользование. – 2010. – № 4. – С. 56-62.
  39. Иваныкина, О. В. Изучение токсичности промышленных отходов горнодобывающих предприятий Кемеровской области / О. В. Иваныкина, **Н. В. Журавлева** // Труды международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово: Сибирское отделение Российской академии наук, Кемеровский научный центр СО РАН, 2011. – С. 381-383.
  40. **Журавлева, Н. В.** Определение метана в атмосферном воздухе на границах санитарно-защитных зон промышленных предприятий / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина // Труды международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово: Сибирское отделение Российской академии наук, Кемеровский научный центр СО РАН, 2011. – С. 383-385.
  41. **Журавлева, Н. В.** Комплексное изучение химического состава жидких отходов коксохимического производства / Н. В. Журавлева, А. С. Коршиков, А. С. Морозов // Сб. докладов третьей Международной научно-практической конференции «Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе». – Новокузнецк: СибГИУ, 2012. – С. 120-129.
  42. **Журавлева, Н. В.** Изучение свойств метана угольных пластов для целей его промышленного и коммунально-бытового применений / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, З. Р. Исмагилов // Сб. науч. статей «Наукоемкие технологии разра-

- ботки и использования минеральных ресурсов». – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – С. 273-278.
43. **Журавлева, Н. В.** Изучение газоносности углей прямым и объемным методами / Н. В. Журавлева, Р. Р. Потокина, З. Р. Исмагилов // Сб. науч. статей «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – С. 283-288.
44. **Журавлева, Н. В.** Основные направления рационального природопользования при добыче и переработке углей / Н. В. Журавлева, З. Р. Исмагилов // Сб. науч. статей «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – № 2. – С. 371-376.