



ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА  
И ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ  
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА»**

**14-17 АПРЕЛЯ**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2019

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ



АО «ЛОИП»  
Лабораторное Оборудование и Приборы

КОНСТАНТА®  
приборы неразрушающего контроля

 sartorius



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНЫХ  
И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-  
СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

14-17 апреля 2019 г.

*Сборник научных трудов*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019

УДК 662.6:53

ББК 33.4

И 374

В сборнике помещены научные труды участников II Международной научно-практической конференции «Измерительная техника и технологии контроля параметров природных и техногенных объектов минерально-сырьевого комплекса (14-17 апреля 2019 г.). Материалы сборника представляют интерес для широкого круга исследователей, ученых, педагогов, специалистов, руководителей промышленных предприятий и предпринимателей, осуществляющих деятельность в аналитических и испытательных лабораториях, а также лабораториях неразрушающего контроля на: горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятиях, предприятиях нефтегазовой и отрасли, предприятиях металлургической отраслей.

The Volume contains works of the participants of the II International scientific and practical conference «Measuring equipment and control technology parameters of natural and man-made objects of mineral resources», which was held at the St. Petersburg Mining University from the 14<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> April 2019. The Volume can be of great interest for a wide range of researchers, scientists, university lecturers, specialists and managers of industrial enterprises and organisations as well as for businesspeople involved in analytical and testing laboratories, as well as non-destructive testing laboratories at: mining and mining enterprises; oil and gas industry enterprises; metallurgical industry enterprises

Редакционная коллегия: О.А. Кречеев (председатель), А.А. Нашкевич, И.Ю. Федченкова, Д.О. Нагорнов.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Часть I</b>	
<b>СТАТЬИ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ.....</b>	<b>5</b>
М.А. Сысоева Мониторинг природных и сточных вод в зоне воздействия предприятий по производству калийных и фосфатных удобрений.....	5
И.В. Курта Анализ методик оценки сейсмической безопасности при совместной отработке угольных месторождений.....	6
Ю. Г. Богданова Методы исследования золы (золошлаковых отходов) от предприятий ТЭЦ.....	10
М.В. Быкова, М.А. Пашкевич Контроль загрязнения почвогрунтов нефтью и нефтепродуктами на территории производственных объектов и снижение негативного воздействия.....	12
М.А. Васильева Магнитные насосы перистальтического действия для закладочных работ.....	14
А.Т. Гагарская Выбор природного сорбента для очистки карьерных вод при золотодобыче .....	19
К.К. Зайцева, Ю.Д. Смирнов Исследование особенностей взаимодействия растворов карбоксиметицеллюлозы с угольной пылью с целью пылеподавления в условиях деятельности угледобывающих предприятий.....	21
Д.С. Громыка Исследование применимости фиторемедиации для очистки почв от тяжелых металлов.....	23
Д.В. Исманлова Исследование способов рекультивации нефтезагрязненных земель с помощью торфяного мелиоранта.....	25
А.С. Кузнецова, Д.Д. Кондратьева Проведение эколого-геохимической суггажной съемки вдоль автомагистралей Санкт-Петербурга.....	27
И.В. Ланг Оценка эффективности очистки сточных вод карьера по добыче железных руд.....	28
Р.Р. Нурсев Оценка техногенного воздействия Коркинского угольного разреза.....	31
А.В. Сагайдак Оценка и снижение негативного воздействия техногенных массивов ООО «ПГ «Фосфорит» на природную среду .....	33
М.А. Соловьев, А.А. Михайлук, В.Ю. Петрова Исследование состава водных объектов вблизи полигона ТКО «Новоселки».....	35
М.В. Сучкова, А.С. Заманова, О.О. Кузьмицкая Проведение суггажной съемки на территории Петроградского района с использованием современных методов анализа.....	37
П.А. Харько Анализ возможности использования ионообменной смолы для очистки воды от ионов меди, цинка, железа, алюминия и марганца.....	39
А.В. Стриженок, Э.Р. Алиакберова Организация автоматизированной системы производственного экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленных объектов.....	41
И. И. Сытько Инструментально-виртуальные средства измерения характеристик случайных сигналов.....	42
С. А. Иваник, Д. А. Ильюхин, А. В. Шалыгин Роль пробоподготовки при гидрометаллургической переработке упорных золотосодержащих концентратов.....	45
А.Е. Ивкин, Е.Б. Брюховецкая Метрологическое обеспечение электромагнитных толщиномеров гальванических покрытий.....	48
Д.В. Лиманский, Р.Б. Кукильди Применение электронных систем георадиолокационного приповерхностного зондирования дистанционного определения пространственных параметров очагов возгорания углепородных отвалов.....	50
А.С. Мусихин, В.А. Сясько Стандартизация электроискрового метода неразрушающего контроля защитных лакокрасочных покрытий.....	56

<b>К.В. Гоголинский, В.А. Сясько , А.С. Уманский, А.А. Никазов, Т.И. Бобкова</b>	Контроль механических свойств портативными твердомерами: преимущества, ограничения, перспективы.....	58
<b>Е.Е. Смирнова, Е.Р. Фёдорова</b>	Повышение эффективности очистки фосфорной кислоты от фтора на основе экспериментальных исследований.....	60
<b>Е.И. Ушаков, А.А. Виноградова</b>	Неконтактные методы и средства измерения толщины нефтяной пленки на водной поверхности.....	62
<b>П.Н. Махараткин, Э.К. Абдулаев</b>	Методы и средства диагностирования узлов и агрегатов карьерных автосамосвалов.....	63
<b>Д.А. Кремчева, Э.А. Кремчев</b>	Внедрение метода 6 сигм в образовательный процесс.....	66
<b>Т.А. Нелиубина, Н.И. Смирнова</b>	Анализ состояния стандартизации в области неразрушающего контроля толщины покрытий.....	68
<b>Н.К. Кондрашева, О.В. Зырянова, А.С. Иванов, С.М. Косолапова, Е.В. Киреева</b>	Новый метод косвенной оценки смазывающих свойств топлив.....	70
<b>В.А. Сясько, А.Ю. Васильев</b>	Контроль коррозионного состояния изделий из ферромагнитных материалов технологией магнитного рассеянного потока в нефтегазовом секторе промышленности.....	72

## **Часть 2**

<b>СТАТЬИ ПОБЕДИТЕЛЕЙ ПЕРВОГО ЭТАПА КОНКУРСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ.....</b>	74	
<b>А.А. Волчихина</b>	Экологический мониторинг воздуха на алмазодобывающем предприятии ПАО «СЕВЕРАЛМАЗ».....	74
<b>В.В. Алексинович</b>	Метрологическая аттестация методики измерения толщины покрытий методом шарового истириания.....	75
<b>М.И. Гричуха</b>	Оценка применимости методик измерения в целях определения показателей качества питьевой и технической воды, используемой в гальваническом производстве.....	77
<b>В.С. Фролова</b>	Экологический мониторинг атмосферного воздуха на ПАО «Саратовский НПЗ».....	79
<b>Т.А. Яковлева</b>	Анализ результатов определения крупности частиц аналитическими методами.....	82
<b>А.С. Шамайтис</b>	Метрологическое обеспечение учёта и сведения водного баланса на источнике тепла.....	84
<b>Д.А. Ефимов, Н.И. Карапасова, Н.В. Николаева</b>	Исследование влияния минералогического состава серпентинитовых руд Шабровского и Турецкого месторождений на процессы дезинтеграции.....	86
<b>А.Э. Коротаева, А.Ю. Журова</b>	Экологический мониторинг в зоне воздействия завода по производству сжиженного природного газа на острове Сахалин.....	88

**М.А. СЫСОЕВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ КАЛИЙНЫХ И ФОСФАТНЫХ УДОБРЕНИЙ**

**Введение.** Сточные воды предприятия представляют собой раствор разных веществ, с довольно сильно отличающимися концентрациями. Для точного определения концентраций этих веществ требуется применять различные методы анализа. Предприятие по производству калийных и фосфатных удобрений, сточные воды которого исследовались в данной работе, расположено в черте города, в непосредственной близости от крупной реки (относящейся к высшей категории рыбохозяйственного водопользования). Сточные воды предприятия сбрасываются в реку без очистки, при этом наблюдаются многократные превышения ПДК. Наиболее характерными загрязняющими веществами производственных сточных вод являются азот аммония, фосфаты, сульфаты, железо общее, алюминий, фториды и марганец.

Анализ проб на железо, ион аммония проводился методом фотоэлектроколориметрии. Анализ на фосфаты с использованием спектрофотометра. Анализ на сульфаты и фториды проводился с использованием ионного хроматографа. Анализ на марганец и алюминий проводился с помощью атомно-эмиссионного спектрометра. Данные методы были выбраны как наиболее подходящие для анализа загрязняющих веществ в пробах.

**Основная часть.** В ходе работы анализировались отобранные пробы природной (фоновый створ - 500 м ниже места сброса, контрольный створ - 1000 м выше точки сброса - вне зоны влияния предприятия) и сточной воды (нулевой створ).

В каждой точке были отобраны по две пробы, одна из которых консервировалась путем добавления азотной кислоты до pH=2, другая отбиралась без консервации. Пробы отбирались в пластиковую тару. Консервированные пробы использовались для анализа проб на содержание катионов металлов.

Фотоэлектроколориметрия хорошо подходит для определения веществ невысоких концентраций, образующих окрашенные соединения. Это сравнительно высокочувствительный метод, простой, обладающий хорошей воспроизводимостью и селективностью. Разработано много методик определения и способов маскирования мешающих веществ. Анализ проб на ионы железа и ионы аммония проводился с использованием фотоэлектроколориметра «Экотест - 2020» при длине волны 502 нм (для железа в виде комплекса с орто-фенантролином) и 430 нм (для аммония с реагентом Несслера  $\text{K}_2\text{HgI}_4 \cdot \text{KOH}$ ) в кювете с толщиной поглощающего слоя 10 мм. Диапазон определяемых концентраций данным методом 0,05-2,0 мг/дм<sup>3</sup> (железо) и 0,2-3 мг/дм<sup>3</sup> (аммоний). При более высоких исходных концентрациях проводилось разбавление пробы дистиллированной водой до концентраций, предусмотренных контрольной шкалой образцов окраски. Концентрация ионов определялась по предварительно построенному градуировочному графику. Анализ на ионы железа проводили в кислой среде (pH=4-5), предварительно проведя восстановление их гидроксидами. Мешающее влияние ионов при анализе на ионы аммония устранялось путем добавления сегнетовой соли (тартрат натрия-калия) [3]. При определении концентраций фосфатов был использован спектрофотометр «DR 5000».

При атомно-эмиссионной спектрофотометрии определяется атомный состав, так как соединения в анализируемой пробе разрушаются нагреванием, соответственно метод АЭС хорошо применим для определения малых концентраций ионов металлов в пробах сточных вод. В данной работе этот метод применялся для анализа проб на содержание алюминия и марганца. Для проведения анализа готовился ряд многокомпонентных градуировочных растворов.

Для качественного и количественного определения неорганических анионов хорошо применим метод ионной хроматографии. Сигнал детектора имеет линейную зависимость от концентрации анионов. Качественный анализ проводится по времени удерживания ионов, а количественный анализ - измерением площади хроматографических пиков. Этим методом определялось содержание сульфатов и фторидов. Достоинствами ионной хроматографии являются низкие пределы обнаружения ионов, высокая селективность, быстрота проведения анализа, малый расход пробы, простота подготовки пробы. Ионную хроматографию широко применяют при анализе природных и сточных вод [4, 5].

Результаты анализа проб, отобранных из нулевого, фонового и контрольного створов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты количественного анализа проб

Вещество	С измеренными мг/дм <sup>3</sup>			ПДК, мг/дм <sup>3</sup>
	Нулевой створ	Контрольный створ	Фоновый створ	
Азот аммония	7,6	0,85	0,89	0,4
Фосфаты	16,4	< 0,1	< 0,1	0,2
Сульфаты	339,5	8	9,99	100
Железо	5,15	1,05	1,13	0,1
Алюминий	52	0,14	0,05	0,04
Фториды	3,6	0,16	0,19	0,24
Марганец	0,432	0,123	0,097	0,01

Из данных, приведенных в таблице видно, что концентрации загрязняющих веществ в нулевом створе многократно превышают значения ПДКриб.хоз по всем исследованным показателям: азот аммония - в 19 раз, фосфаты - в 82 раза, сульфаты - в 3,4 раза, железо - в 51 раз, алюминий - в 1300 раз, фториды - в 15 раз, марганец - в 43 раза. Однако в контрольном и фоновом створах также превышены показатели относительно ПДКриб.хоз по четырем веществам из семи исследованных: по азоту аммония (более, чем в два раза), по железу общему (более, чем в 10 раз), по алюминию (в 1,1 - 3,5 раза) и марганцу (в 12 раз), что свидетельствует о высоком уровне загрязнения промышленными стоками водного объекта как до зоны влияния предприятия, так и после.

**Заключение.** Из результатов проведенного анализа сточных вод предприятия мы видим, что концентрации загрязняющих веществ в нулевом створе многократно превышают ПДК. стоки предприятия нуждаются в очистке. Необходимо дальнейшее проведение мониторинга сточных вод предприятия, а также качества природных вод в точках контрольного и фонового створа в другие гидрологические фазы водного объекта.

#### Литература

1. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. М.: Стройиздат. 1977, с. 83
2. Милонов Л.В. Очистка сточных вод предприятий цветной металлургии. -М.: Металлургия. 1971. с.102
3. Справочник по аналитической химии. 5-е изд., перераб. И доп.. Лурье Ю.Ю. – М.: Химия. 1979 - 480 с.
4. Шаповалова Е.Н., Пирогов А.В.: Хроматографические методы анализа. Методическое пособие для специального курса: Московский Государственный Университет имени М.В.: Москва, 2007
5. Фритц Дж., Герьде Д., Поланд К.. Ионная хроматография, пер. с англ., М., 1984.

#### И.В. КУРТА

Воркутинский филиал Ухтинского государственного технического университета, г. Воркута

## АНАЛИЗ МЕТОДИК ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Аннотация.** Безопаснос веденис горных и добычных работ является важным фактором, позволяющим вести безаварийную добычу минерального сырья. Для достижения данной цели предприятия принимают различные мероприятия по снижению опасных факторов, к которым следует отнести взрывные работы и в качестве рассматриваемого явления распространение сейсмовзрывных волн. Первоначальный расчет по снижению опасных факторов производится на основе специально разработанной методики.

В настоящее время воздействие сейсмовзрывных волн на крепление горных выработок шахт не имеет нормативно утвержденную методику. Различные исследователи разработали методики, которые имеют ряд преимуществ, так и недостатки. В статье рассматриваются методики оценки сейсмовзрывного воздействия при совместной отработке угольных месторождений, которые, как правило, используются в России. Проведен анализ предлагаемых методик и показаны направления дальнейшего совершенствования расчетов безопасных параметров сейсмовзрывных волн на горные выработки шахт.

**Введение.** Разработка угольных месторождений, как правило, ведется открытым или подземным способом. В России имеются месторождения, которые разрабатываются с помощью совместной разработки. Одним из примеров является Талдинское каменноугольное месторождение, располагающееся в центральной части Ернаковского геолого-промышленного района Кузбасса. Ведение подземных горных работ вызывает

геодинамические процессы, которые охватывают вышележащие открытые горные выработки, вызывая оседание поверхности [4]. На рисунке 1 представлен проектный разрез с охраняемыми выработками и границами угольного разреза.

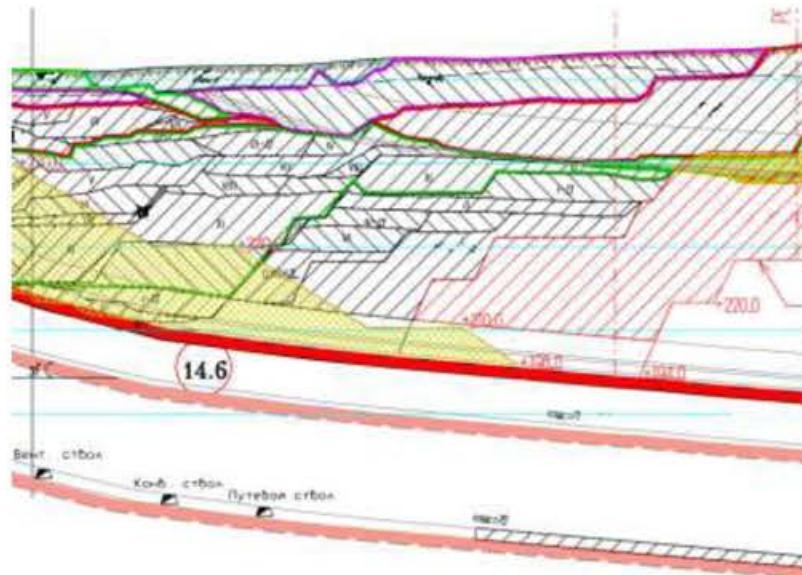


Рисунок 1. Схема расположения горных выработок шахты и разреза.

Взрывные работы на разрезах ведутся с применение эмульсионных взрывчатых веществ с высокими детонационными характеристиками [1,2,5]. Разработка месторождения открытым способом осуществляется с помощью технологии буровзрывных работ [13]. Расстояние по вертикали от горных выработок разреза до горных выработок шахты может достигать 70 м. Взрывные работы воздействуют на крепление горных выработок шахты за счет сейсмовзрывного воздействия, которое необходимо оценивать. В настоящее время разработано большое количество методик по оценке сейсмического воздействия на крепление горных выработок [3], но сравнивать полученные результаты чрезвычайно трудно друг с другом.

В российской практике нормируется векторная величина скорости колебания грунта, но в зарубежной практике рассматриваются компоненты скорости колебания грунта, которые сопоставляются с частотами колебаний. Использование критерия по компонентам скоростей колебания грунта зарубежные исследователи занижают сейсмическое воздействие. Поскольку данный критерий возник для обеспечения отсутствия трещин в штукатурке зданий. Применение данного критерия к креплению горных выработок является нецелесообразным, поскольку уменьшаются объемы взрываемой горной массы и снижается производительность горного предприятия. В ряде работ российские исследователи используют при построении зависимости М.А. Садовского компоненты скоростей колебаний грунта, а затем считают, что данная величина может отождествляться с векторной скоростью колебания грунта. С точки зрения снижения сейсмовзрывного воздействия переход от покомпонентных скоростей к векторной скорости является положительным результатом, но этот переход противоречит физической природе колебаний, векторному сложению величин, а также уменьшается допустимая масса взрываемого заряда за ступень. При этом необходимо корректировать параметры буровзрывных работ для качественного дробления горной массы [11,12].

**Материалы и методы.** В соответствии с требованиями в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах» п. 843 «Федеральных норм и правил...» (далее ФНиП), можно определить сейсмобезопасное расстояние по формуле:

$$r_c = \frac{K_f K_c}{N^{1/4}} Q^{1/3}, \quad (1)$$

где  $r_c$  - расстояние от места взрыва до охраняемого здания (сооружения), м;

$K_f$  - коэффициент, зависящий от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения);

$K_c$  - коэффициент, зависящий от типа здания (сооружения) и характера застройки;

$a$  - коэффициент, зависящий от условий взрыва;

$Q$  - масса заряда, кг.

Коэффициенты, входящие в формулу (1), имеют описательный характер и не определяются на основании фактических физико-механических свойств грунта, а также не учитывают особенности конструкций зданий и сооружений, что не позволяет выбрать подходящее значение для крепления горных выработок шахты. Используемые значения коэффициента (тип здания) относятся к поверхностным

конструкциям, а не к подземным. При этом не оценивается общий уровень сейсмического воздействия по величине скорости колебания грунта с предельно-допустимым значением.

Конструкция крепления горных выработок состоит из следующих элементов:

1. Кровля конвейерного ствола по пласту 70 крепится сталеполимерными анкерами диаметром 20 мм, длиной 2,75 м (в качестве связующего используется ампула L=1000 мм быстрого затвердевания - 1 шт. и ампула L=1000 мм медленного затвердевания - 1шт.) с использованием кровельной планки длиной 5,1 м из многожелобчатого профиля с 6-ю отверстиями для анкеров.

2. Крепление бортов производится анкерами, ампулами с твердеющим составом и с применением шайб. Длина анкера принимается 1,8 м. После выбуривания шпера вставляется ампула и рифленым концом анкера ампула доставляется ко дну шпера и включением каретки производится перемешивание составов ампулы. После отвердения состава на анкера надевается сетка «рабица» и закрепляется при помощи шайбы и гайки, закрученной на анкер. Шаг установки анкеров 1,0 м. Верхний анкер устанавливается в 0,3 м от кровли выработки.

В настоящее время основной документ ФНиП в области промышленной безопасности не дает возможности по единой методике произвести оценку сейсмовзрывного воздействия. Но указывает, что если условия взрыва не предусмотрены ФНиПом, то сейсмическое действие взрывов следует определять с привлечением специализированных организаций. Ряд организаций использует методику Магнитогорского государственного технического университета [9]. В основе оценки сейсмобезопасной скорости по рекомендациям Магнитогорского государственного технического университета лежит формула по определению допустимой скорости колебания грунта:

$$v = 0,01 \exp(\sqrt{\exp(K - P)}), \quad (2)$$

где K – класс ответственности объекта,

P – ранг охраняемого объекта.

Класс ответственности объекта меняется от 1 до 4, а ранг охраняемого объекта [9]:

$$P = 14,54 - \lg(Cp) - \Delta_{kp}, \quad (3)$$

Величина  $\Delta_{kp} = 0,64$  – поправка на наличие анкерной крепи. При использовании в расчетах формулы (3) для оценки ранга горных выработок для фактических скоростей распространения звуковых волн в массиве в диапазоне от 2000 м/с до 5000 м/с ранг всегда положительный и значение величины более 10, что приводит к отрицательной разнице  $(K - P) < 0$ . Использование классов и рангов приводит к необходимости выбора исследователем из предложенных вариантов наиболее близко подходящего к рассматриваемому по характеристикам объекта, при этом можно либо завысить или занижать величину сейсмобезопасной скорости. Зависимость (1) имеет две асимптоты при  $(K - P) \rightarrow -\infty, v \rightarrow 0$ , при  $(K - P) \rightarrow 5, v \rightarrow \infty$ . При разнице  $(K - P) = 0$  имеет место тенденция возрастания функции (рисунок 2).

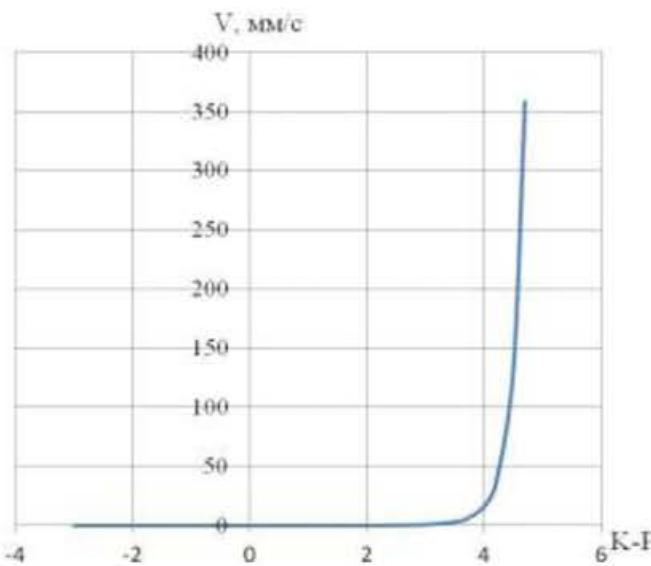


Рисунок 2. Зависимость (2), выраженная в графическом виде

Поэтому предлагаемую зависимость (2) можно применять в диапазоне  $2,5 < (K - P) < 4,2$ . Для подземных выработок данный диапазон достижим только при отрицательном ранге охраняемого объекта. Также следует отметить, что зависимость (2) не описывает сложно-напряженное состояние, возникающее при воздействии сейсмовзрывной волны.

Следующей методикой применяемой для оценки сохранности подземных сооружений приведена в работе [10] и заключается в использовании формулы:

$$V = 18,510^{-7} C_p e^{\frac{2,3}{1,16 - T}}, \quad (4)$$

где  $C_p$  – скорость продольной волны, м/с;

$T$  – время эксплуатации выработки, лет.

Но использование формулы (4) приводит к завышенным значениям предельно допустимых скоростей колебания грунта горных выработок и не учитывает способ крепления.

Также используется методика из работы [8]. Для особо ответственных сооружений длительного срока эксплуатации более 10-15 лет (стволы шахт, капитальные штолни, водоотливы) допустимой относительной объемной деформаций является величина 0,0001. Можно рассчитать предельно-допустимую скорость по формуле 5:

$$V = \frac{0,375 (C_p^2 + 4/3 C_s^2) [(1+(1-2v)\varepsilon_0)^{2/3} - 1]}{C_p [1+(1-2v)\varepsilon_0]^4} \cdot 10^2, \quad (5)$$

где  $C_p, C_s$  - скорости продольных и поперечных волн,

$v$  - коэффициент Пуассона,

$\varepsilon_0$  - относительная объемная деформация.

Имеется ряд методических рекомендаций с табулированными предельными скоростями колебаний грунта для подземных сооружений. В соответствии с «Методическими указаниями по проектированию и производству массовых взрывов при возведении подземных сооружений» [6] п. 4.5 «Оценка уровня сейсмического воздействия» допустимые скорости колебаний для особо ответственных подземных сооружений со сроком эксплуатации более 10-15 лет (сооружения I класса) для данных горно-геологических условий составляют от 4,5 см/с до 6,3 см/с. Для менее ответственных подземных сооружений со сроком эксплуатации 5-10 лет (сооружения II класса) допустимая скорость может быть повышена до 9,4-13,2 см/с. Используя методику работы [7], максимальной допустимой скоростью является величина 4,3 см/с.

**Заключение.** При расчете по разным методикам исходя из одинаковых горно-геологических и горнотехнических условий диапазон допустимых скоростей может варьироваться от 3 см/с до 15 см/с, что, в свою очередь, приведет к изменению предельно-допустимой массы ВВ от двух до четырех раз. С точки зрения использования инженерной практики для определения сейсмобезопасной скорости следует использовать методику по формуле 4 работы [7]. Поскольку в ней заложена идея о накоплении упругой энергии в горной породе (энергетическая гипотеза разрушения), согласно которой, достигнув определенной величины упругой энергии, существование раздельных частей горной породы становится целесообразнее, чем существование целого объема. В дальнейшем происходит разрушение первоначального объема тела, при этом накопленная энергия расходуется на образование новых поверхностей (на создание трещин). Заложенная идея позволяет рассчитывать сейсмовзрывное воздействие при использовании анкерной крепи в горных выработках шахты. Так как замковая часть анкера находится в ненарушенном массиве, и крепиться к породе с помощью твердеющего состава. Если порода в замковой части будет разрушаться, то анкер перестает удерживать кровельную часть выработки. Из практики ясно, что сам анкер разрушиться с помощью сейсмического воздействия невозможно. Поэтому предельно-допустимую скорость колебания грунта следует ставить на расстоянии от замковой части анкера в сторону от кровли горной выработки.

Также необходимо разработать единые методические рекомендации по оценки сейсмовзрывного воздействия на горные выработки, в которых будут отражены инженерные методы, и методы математического моделирования, по результатам которых будут приниматься решения о сейсмобезопасных параметрах буровзрывных работ.

Научный руководитель: к.т.н. А.Е. Исаков

### Литература

1. Menzhulin M.G., Khoreva A.Yu., Afanasiev P.I., Tyulkin S.A. Drilling and blasting parameters for Gavrilovo granite deposit. Gornyi Zhurnal, 2017, Issue 1, pp. 42-46
2. Korshunov G.I., Rudakov M.L., Afanasyev P.I. Justification of drilling and blasting parameters for the conditions of vostochno-beysky open-cut. International Journal of Applied Engineering Research, 2016, Volume 11, Issue 9, pp. 6168-6173
3. Korshunov G.I., Afanasev P.I., Bulbasheva I.A. Survey of seismic conditions of drilling and blasting operations near overhead electricity power lines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Volume 87, Issue 5, 052012.
4. Korshunov G., Seregin A., Afanasyev P. Degassing of coal seams based on cyclic hydrodynamic impact International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2014, Volume 3, Issue 1, pp. 171-174
5. Pavel A., Sergey K., Valentin I. The equation of state for explosive detonation products. International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2018, Volume 9, Issue 13, pp. 865-868

6. Методические указания по проектированию и производству массовых взрывов при возведении подземных сооружений. АН СССР, Апатиты. – 1990. 35 с.
7. Азаркович А.Е. Взрывные работы вблизи охраняемых объектов.// Азаркович А.Е., Шуйфер М.И., Тихомиров А.П. / М.: Недра. 1984. 213 с.
8. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра 1976. 271 с.
9. Пергамент В.Х. Интенсивность по сейсмической шкале, скорость колебаний и эквивалентные приведенные расстояния при взрывах / В.Х. Пергамент, Ю.Е. Овчаренко, Е.В. Гончаров /Спб: ЗГИ. 2001. Т.148(2). 84-90с.
10. Богацкий В.Ф. Сейсмическая безопасность при взрывных работах / В.Ф. Богацкий. В.Х. Пергамент // М., Недра. 1978. 128с.
11. Isheyskiy V.A., Yakubovskiy, M.M. Determination of strength reduction factor in blasted rocks versus the distance from the blast center (2016) Gornyi Zhurnal, (12). pp. 55-59.
12. Isheyskiy, V.A., Marinin, M.A. Determination of rock mass weakening coefficient after blasting in various fracture zones (2017) Engineering Solid Mechanics, 5 (3). pp. 199-204.
13. Vadim D., Mikhail M., Valentin I. Method of calculation of strain wave field for the boreholes blasting considering the blasting direction. International Journal of Mechanical Engineering and Technology 9(13). pp. 217-223

Ю. Г. БОГДАНОВА  
Санкт-Петербургский горный университет

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОЛЫ (ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ) ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭЦ

**Введение.** Развитие топливно-энергетического комплекса в последние десятилетия привело к обострению экологических проблем, связанных с использованием угля на ТЭЦ, поскольку остатки от его сжигания – летучая зола и шлак, практически не утилизируются и накапливаются на золоотвалах. Грамотная утилизация золошлаков делает повторное использование разнообразным – переработанные отходы добавляются при строительстве дорог, пешеходных зон, для очистки сточных вод. Шлаки применяются при возведении зданий для теплоизоляции (в чистом виде, как насыпной материал), производства бетона, керамзитобетонных блоков, силикатных кирпичей и даже керамической плитки. Перечень возможных областей постоянно растет. Также не исключено использование данного продукта в качестве вторсырья. Новые разработки предполагают более полное, практически безотходное использование. [1] Одной из важных проблем является снижение отрицательного воздействия отходов на окружающую среду, разработка ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий.

Современное использование зольных остатков:

- при производстве строительных материалов – бетоны, различные вяжущие материалы, гравий (аглопорит).
- механическая переработка – выделение ценных составляющих, например магнитной сепарацией.
- глубокая переработка – химический синтез. [2]

Перед повторным использованием отходов золы, в качестве вторичного сырья, необходимо определить ее химический состав, а, главное, класс опасности отхода. Оптимальным для дальнейшего использования отхода будет класс опасности 4 или 5.

Для проведения исследования были отобраны пробы золы, образовавшейся в процессе термического обезвреживания нефте- и биошламов в печи кипящего слоя.

Качественный и количественный анализ золы был осуществлен с помощью последовательного рентгенофлуоресцентного спектрометра XRF-1800 фирмы Shimadzu. Принцип его работы основан на анализе спектра, полученного путём воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением. Во время облучения рентгеновскими лучами атом каждого химического элемента образца излучает энергию (вторичное излучение), по спектру которой элемент может быть однозначно определен. Детектор рентгенофлуоресцентного прибора регистрирует вторичное излучение, определяет его энергию и интенсивность и представляет в виде спектра. Оценка спектра с помощью специальных алгоритмов дает возможность определить из каких элементов состоит образец, их %-ное содержание, а также толщину материала. Спектр содержит качественную и количественную информацию о тех элементах, из которых состоит образец. По пикам полученного спектра можно качественно определить, какие элементы присутствуют в образце. Информация о толщине покрытия и концентрации элементов в каждом покрытии получают из анализа спектра.

В результате анализа и его обработки был определен состав золы, который представлен в Таблице 1.

Содержание оксида кальция CaO в количествах менее 10%, а свободного Ca – менее 5% - обеспечивает равномерность изменения объема при твердении; содержание оксида магния MgO не более

5%. SO<sub>3</sub> – от 3 до 6%; суммарное содержание щелочных оксидов K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O не превышает 3% - во избежание деформаций при их реакции с заполнителями. Содержание этих оксидов нормирует ГОСТ 25818-2017, который определяет требования к химическому составу золошлаковых материалов, применяемых для производства различных видов бетонов строительных растворов [3].

Таким образом, согласно полученным результатам, содержание веществ анализируемой золы соответствует требованиям ГОСТа.

Таблица 1. Качественный и количественный состав исследуемой золы.

Вещество	Количество, %	Элемент	Количество, %
SiO <sub>2</sub>	41.34	Si	19.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.42	Fe	6.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11.24	P	2.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.15	Al	2.69
CaO	7.94	Ca	5.67
MgO	2.82	Mg	1.69
K <sub>2</sub> O	2.68	K	1.11
SO <sub>3</sub>	2.23	S	0.89
Na <sub>2</sub> O	1.31	Na	0.49
TiO <sub>2</sub>	0.96	Ti	0.58
MnO	0.90	Mn	0.70
ZnO	0.59	Zn	0.47
BaO	0.11	Ba	0.10
CuO	0.09	Cu	0.07
SrO	0.08	Sr	0.07
PbO	0.05	Pb	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	Cr	0.02
NiO	0.02	Ni	0.02
ZrO <sub>2</sub>	0.01	Zr	0.008
Rb <sub>2</sub> O	0.006	Rb	0.005
ScO <sub>2</sub>	0.004	Sc	0.003

После этого был рассчитан класс опасности золы (в соответствии с «Критериями отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду», утвержденными приказом Минприроды России от 04.12.2014 г. №536), который был подтвержден с помощью метода биотестирования [4].

В результате проведения арифметических вычислений получили значение показателя степени опасности  $K=57,38$ , что означает принадлежность исследуемого отхода к 4 классу опасности.

Метод биотестирования, который подтверждает отнесение отхода к тому или иному классу опасности, основан на регистрации различий в величине оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и testируемой пробе золы (опыт), в которой эти вещества могут присутствовать. Измерение оптической плотности суспензии водоросли позволяет оперативно контролировать изменение численности клеток в контрольном и опытном вариантах острого токсикологического эксперимента, проводимого в специализированном многокюветном культиваторе [5].

Начало исследования заключается в приготовлении водной вытяжки (соотношение твердая фаза:жидкость=1:10). После этого осуществляются последовательные разбавления образцов (кратные 10-ти), в результате которых образуются 6 вариантов testируемых проб (не разбавленная, разбавленные в 10, 100, 1000, 10000 раз и контрольная проба).

Культура водоросли *Chlorella vulgaris*, выращенная на 50% среде Тамия в культиваторе KB-05, разбавленная до оптической плотности 0,125±0,005 вносится в каждую из testируемых проб, после чего полученные образцы разливаются во флаконы-реакторы (по 4 флакона на каждый вариант testируемой воды, включая контрольную пробу).

Все 24 заправленных флакона строго по вариантам устанавливаются в предварительно включенный в сеть культиватор KBM-05. Через 22 часа культивирования проводится измерение оптической плотности суспензии водоросли во всех флаконах.

Критерием токсичности пробы воды является снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом на 20% и более в случае подавления роста тест-культуры или ее повышение на 30% и более при стимуляции ростовых процессов.

Качество тестируемой воды устанавливается на основе ее токсикологических характеристик через величину токсичной кратности разбавления вод и водных вытяжек. Для этого из результатов биотестирования разведений пробы воды, кратных трем, выбирают то разбавление, для которого рассчитанный по формуле индекс отклонения ( $I$ ) превысил критерий токсичности воды. При этом процент отклонения в величине оптической плотности по сравнению с контролем, проявляющийся в виде подавления роста, приводится со знаком (+), а его стимуляции - со знаком (-).

Если в ряду разбавлений имеются отклонения в оптической плотности как в ту, так и другую сторону, то качество воды устанавливается по наибольшей величине разбавления, для которой превышен критерий токсичности. Если критерий токсичности не превышен ни при одном разбавлении воды, включая ее исходный неразбавленный вариант, то проба считается нетоксичной.

После проведения арифметических расчетов были получены результаты, указанные в таблице 2.

Таблица 2. Результаты проведения биотестирования

Кратность разбавления пробы пробы	Оптическая плотность, $X$				$X_{cp}$	$I, d.e.$	Оказывает/не оказывает токсичное действие	TKP	Класс опасности
	1	2	3	4					
1	0,019	0,084	0,094	0,012	0,052	<b>0,78</b>	+	34	4
10	0,192	0,143	0,122	0,126	0,146	<b>0,39</b>	+		
100	0,261	0,22	0,215	0,231	0,232	0,03	-		
1000	0,245	0,213	0,235	0,188	0,220	0,08	-		
10000	0,215	0,191	0,211	<b>0,381</b>	0,206	0,14	-		
K	<b>0,336</b>	0,229	0,24	0,25	0,240				



результат исключается из расчета среднего значения  
результат, соответствующий критерию токсичности пробы

**Заключение.** В результате исследования анализируемой пробы золы можно сделать вывод о том, что она является пригодной для дальнейшей переработки. Состав отхода соответствует требованиям к материалам, применяемым в строительной промышленности. Полученные классы опасности, рассчитанный вручную и определенный с помощью метода биотестирования, совпадают. Зола относится к 4 классу опасности (малоопасные отходы) и оказывает низкую степень воздействия на окружающую природную среду.

#### Литература

1. Ефимов Н.Н., Яценко Е.А., Смолий В.А., Косарев А.С., Копица В.В. Экологические аспекты и проблемы утилизации и рециклинга золошлаковых отходов тепловых электростанций // Экология промышленного производства. 2011. № 2. С. 40 - 44.
2. Судакас Д.Г. Сланцевая зола как компонент вяжущих систем: отчет / ОАО «Гипроцемент». СПб., 2009 год.
3. ГОСТ 25818-2017 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия – Москва: Стандартинформ, 2017
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 4 декабря 2014 г. N 536 "Об утверждении Критерии отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду"
5. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления

М.В. БЫКОВА, М.А. ПАШКЕВИЧ  
Санкт-Петербургский горный университет

## КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Развитие индустрии сопровождается негативным воздействием на окружающую среду, создавая нагрузку на её компоненты. Нефтепродукты являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. Они образуются при транспортировке сырой нефти и продуктов её переработки, эксплуатации различных машин и механизмов [1]. Любые технические сооружения на промыслах являются

потенциальными источниками техногенных потоков, различающихся по составу, концентрациям и роду веществ [2]. Загрязнение почв в районах эксплуатации месторождений углеводородного сырья может происходить в процессе бурения, разрывов пласта, при транспортировке автомобильным транспортом, а также при нарушении корпусов добывающих скважин, коррозии трубопроводов и резервуаров [3]. Загрязнение почвогрунтов нефтепродуктами в районах транспортировки определяется непосредственно наличием магистральных систем трубопроводов и их большой протяженностью. В районах переработки наблюдается значительное загрязнение почв за счет разливов и утечек конденсата и смазочных масел, а также различных химических реагентов [4]. В районах хранения нефтепродуктов загрязнение происходит в основном из-за систематических утечек из резервуаров или несоблюдения технологических процессов перекачки или слива. Нефтепродукты используются во всех сферах деятельности человека. Кроме неизбежных потерь, большие потери нефтепродуктов происходят из-за плохой организации труда и слабой технологической дисциплины, а иногда и просто из-за варварского отношения к природе [5].

При проведении контроля загрязнения необходимо учитывать характер и локализацию непосредственно в зависимости от спецификации промышленного объекта, его технологических процессов и вероятности возникновения утечек и разливов. Условно можно выделить два основных этапа при комплексной оценке: полевые и лабораторные исследования степени загрязненности почвогрунтов.

Летом 2015-ого и 2017-ого годов была проведена инженерно-экологическая съемка территории отработанной промышленной площадки скважины Кумжинского газоконденсатного месторождения (Ненецкий автономный округ) и территории объекта по транспортировке и хранению нефтепродуктов (Ленинградская область) соответственно.

Полевые исследования заключались в визуальной и органолептической оценке территории и отбором проб. При этом, места участков для отбора проб устанавливались по одному и более признакам, а именно:

- территория частично или полностью лишены растительности;
- почвы имеют характерный запах нефтепродуктов различной интенсивности;
- близость производственных объектов с повышенной вероятностью возникновения утечек.

Опираясь на результаты визуальной и органолептической оценки, на территории отработанной скважины был выбран узкий участок для отбора проб, стремящийся к линии (почвенно-геоморфологический профиль длиной примерно 100 метров), пересекающий буровую площадку скважины через устье скважины и выходящий за границу площадки до кратерного озера. Всего по почвенно-геоморфологическому профилю было отобрано шесть (6) проб с интервалом между ними примерно 20 метров.

При выборе пробных площадок на территории промышленного объекта по транспортировке и хранению нефтепродуктов учитывался тот факт, что большая часть территории забетонирована, или заасфальтирована, участки потенциально загрязненных почвогрунтов расположены по периметру производственной площадки. Всего было заложено 7 пробных площадок. Для более детального изучения изменения концентрации нефтепродуктов с глубиной отбор точечных проб производился по трем горизонтам: 0-5, 5-15 и 15-20 см.

Целью лабораторных исследований отобранных образцов почвогрунтов являлось установление валового количества нефтепродуктов. В настоящее время в Российской Федерации для характеристики разной степени техногенной загрязненности почвогрунтов рекомендуются следующие пороговые уровни концентрации нефтепродуктов:

- менее 1 г/кг - допустимый уровень;
- от 1 до 2 г/кг - низкий уровень;
- от 2 до 3 г/кг - средний уровень;
- от 3 до 5 г/кг - высокий уровень;
- более 5 г/кг - очень высокий уровень.

Для определения валового содержания нефтепродуктов в пробах, отобранных на территории отработанной скважины, использовался метод ИК-спектроскопии при помощи ИК-Фурье спектрометра IRAffinity-1 фирмы Shimadzu на базе научно-образовательного центра коллективного пользования Горного университета. В результате были получены значения в диапазоне концентраций от 4.8 до 372.5 г/кг, что соответствует высокому и очень высокому уровню загрязнения. При этом, воспользовавшись возможностями метода газовой хроматографии с использованием газового хроматографа GC-2010Plus AF/OC1 фирмы Shimadzu, было установлено, что в газообразное (летучее) состояние переходят не все нефтепродукты, в результате чего, можно сделать вывод, что большая часть углеводородов в опробованных почвогрунтах представлена тяжелыми фракциями.

Определение валового содержания нефтепродуктов в пробах почв с территории объекта по транспортировке и хранению нефтепродуктов проводилось при помощи стандартной методики выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». Сопоставляя полученные результаты с пороговыми концентрациями, было установлено, что 9 образцов из 21 превышают допустимый уровень содержания нефтепродуктов и концентрация в них представлена в диапазоне от 3.54 до 24.85 г/кг, что так же соответствует высокому и очень высокому уровню загрязнения.

Комплексное решенис вопроса утилизации экологически агрессивных почвогрунтов, загрязненных нефтепродуктами, до настоящего времсни отсутствует [6]. Проанализировав все методы и их особенности, предполагается, что в качестве универсального способа очистки для совместного использования может выступать термодесорбционная очистка нефтезагрязненных почвогрунтов. Термодесорбция является методом восстановления, которая может соответствовать стандартам очистки в более коротких сроках, нежели другие методы. При этом, термодесорбцией можно удалить углеводороды, возникшие в почвогрунтах по различным причинам [7].

В качестве объекта экспериментальных исследований использовались почвогрунты с территории объекта по транспортировке и хранению нефтепродуктов с содержанием поллютанта выше допустимого уровня. Целью эксперимента являлось установление оптимального температурного режима с учетом теплофизических свойств нефтепродуктов.

Воздействие температурой на загрязненные почвы проводилось при помощи термогравиметрического анализатора LECO TGA701, который используется для определения влажности, зольности и количества летучих компонентов в органических, неорганических и синтетических материалах при нагревании. Основой метода является измерение потери веса в зависимости от температуры в контролируемой среде. Так как конечной целью эксперимента является установление оптимального температурного режима, при котором будет достигаться допустимое остаточное содержание нефтепродуктов в почве, то термогравиметрический анализатор использовался только для создания необходимых параметров термического воздействия.

После проведения серии экспериментов, был установлен оптимальный температурный режим. Снижение концентрации поллютанта составило в среднем по всем пробам 4-6 тыс. раз, при этом остаточное содержание нефтепродуктов значительно ниже порогового допустимого уровня.

Очищенные почвогрунты были так же проанализированы на остаточное содержание гумуса при помощи анализатора остаточного содержания органического углерода TOC-V CSH. В связи с тем, что используемый метод определения общего содержания гумуса является косвенным, то он позволяет отследить только общую тенденцию изменения его содержания. Несмотря на все возможные источники при определении содержания гумуса, можно говорить о том, что при рекультивации земель с использованием очищенных почвогрунтов необходимо использование удобрений и высадка растений.

Проблема загрязнения почвогрунтов углеводородами остро стоит во всех отраслях народного хозяйства. Разливы и утечки нефтепродуктов, как показывает практика, неизбежны на всех жизненных циклах углеводородного сырья, поэтому необходима организация мониторинга качества почвогрунтов и санация нефтезагрязненных территорий.

#### Литература

1. Khalilova H. Kh. The Impact of Oil Contamination on Soil Ecosystem // Biological and Chemical Research – 2015. – pp. 133-139.
2. Шувалов Ю.В., Пашкевич М.А., Юрлова Н.А., Синькова Е.А. Рациональные способы санирования техногенного загрязнения углеводородными соединениями/ Ю.В. Шувалов [и др.] – СПб: Х-принт. 2008. – 256 с.
3. Gilmore K. R., Rebekah L. Hupp., Janine Glathar. Transport of hydraulic fracturing water and wastes in the Susquehanna river basin. Pennsylvania // Journal of Environmental Engineering – 2014. – 140(5) – pp. 10-21.
4. Laden F., Schwartz J., Speizer F.E.. Reduction in Fine Particulate Air Pollution and Mortality // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine – 2006. – №.3 – pp. 667-672.
5. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник // А.С. Тимонин. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой. 2003. – 2825 с.
6. Ланина, Т.Д. Комплексная утилизация нефтегазопромышленных отходов для обеспечения экологической безопасности и дополнительного извлечения минерального сырья: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук (25.00.16). Ухта: издательство Ухтинского государственного технического университета. 2009.
7. Peter L. O'Brien., Thomas M. D., Francis X.M., Nathan E.D., Abbey F.W. Implications of Using Thermal Desorption to Remediate Contaminated Agricultural Soil: Physical Characteristics and Hydraulic Processes // Journal of Environmental Quality. – 2016. – №7. – pp. 1430-1436.

М.А. ВАСИЛЬЕВА

Санкт-Петербургский горный университет

## МАГНИТНЫЕ НАСОСЫ ПЕРИСТАЛЬТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ

**Введение.** Приоритетной задачей в минерально-сырьевой отрасли является повышение эффективности эксплуатируемой инфраструктуры и оборудования, в том числе, это создание транспортных

систем, имеющих высокую производительность при снижении себестоимости перемещения сырьевых материалов и продуктов их переработки.

Треть компаний мира, занимающихся добычей рудных полезных ископаемых, используют на своих предприятиях системы добычи, сопряженные с закладкой выработанного пространства. Мероприятия по проведению закладочных работ проводятся с целью повышения безопасности ведения горных работ, а именно, с целью управления горным давлением, снижения возможных потерь полезного ископаемого при выемке, предотвращения возникновения подземных пожаров, а также внезапных выбросов угля и газа, охраны от разрушения объектов на селитебных территориях.

Принимая во внимание особенности материалов, использующихся в качестве базы при приготовлении закладочных смесей, специфику процесса перемещения их к месту закладки, необходимый для получения закладочного массива требуемых характеристик все большую актуальность приобретает применение принципиально новых технологий транспорта закладочных смесей. Принципиально новым подходом к транспортированию жидких и вязких сред является применение магнитных насосов, разрабатываемых на основе использования принципа природоподобия.

**Ключевые слова:** закладочные работы, магнитные насосы, гидротранспорт, гибридные материалы, трубопроводы, природоподобные технологии, насосное оборудование.

В настоящее время около 85% объемов закладки проводится гидравлическим способом и только 15% механическим. Транспортировка закладочного материала в выработанное пространство, является важнейшим технологическим звеном в цепи процессов, связанных с добычей полезных ископаемых [1]. Однако при транспортировке возникает ряд сложностей: перемещение закладочной смеси на глубокие горизонты приводит к повреждению трубопроводов из-за возникновения воздушных ударов. Также при подаче гидросмеси на большие расстояния по вертикали возникает вопрос резкого колебания давления, связанного с пусковыми и остановочными режимами подачи пульпы. При перемещении потока закладочного материала на большие горизонтальные расстояния становится необходимым применение различного вспомогательного оборудования, в том числе вибрационного, поскольку энергии потока закладочной смеси становится недостаточно из-за высоких потерь напора [2, 3]. Перемещение закладочной смеси по трубопроводам приводит к их быстрому износу благодаря высокой абразивности твердой фракции гидросмеси. Одновременно с этим, при перемещении закладочного материала с недостаточной скоростью потока может происходить его расслоение, что приводит к заиливанию трубопроводов, неравномерной подаче закладочного материала и, соответственно, ухудшению качества монолитного закладочного массива [4, 5]. Для транспортирования твердеющих смесей обычно используют стальные трубы диаметром от 76 до 220 мм и толщиной стенок от 4 до 14 мм. Перспективным является применение труб из полимеров, в том числе полиуретана, которые характеризуются высокой износостойчивостью и меньшим, по сравнению со стальными, коэффициентом трения [6, 7]. На многих рудниках с целью повышения транспортабельности при производстве закладочной смеси в нее добавляется излишнее количество воды, это приводит, однако, к расслоению смеси во время транспортирования и, как следствие, к снижению прочности закладочного массива. Для улучшения реологических свойств в монолитную закладку вводят различные химические добавки – пластификаторы, катализаторы (замедлители и активизаторы) твердения. Они позволяют увеличить пластичность при меньшем потреблении воды и вяжущего компонента, предотвращать расслоение смеси и закупоривание транспортного трубопровода, регулировать слишком быструю или медленную твердение, способствовать увеличению механической прочности массива.

Конструкция современного насосного оборудования накладывает существенные ограничения на концентрацию перекачиваемых закладочных смесей. Уменьшение процентного содержания воды в гидросмеси снижает загрязняющую окружающую среду отделение вод, ведет к повышению сплошности формируемого закладочного массива, а также снижает период проявления сейсмической активности после закладки [8-13]. Однако даже незначительное увеличение концентрации перекачиваемого материала оказывает существенное влияние на эффективность работы и энергопотребление в процессе транспортирования. Около 50 % от общего объема расходуемой энергии приходится на минерально-сырьевой сектор, при этом до 40 % от него затрачивается на обеспечение транспортных процессов. Учитывая исключительную важность проведения работ по закладке выработанного пространства и роль гидротранспортных систем в проведении закладочных работ, повышение эффективности их работы является актуальной задачей.

Энергоемкость гидротранспортной системы зависит от величины концентрации твердых частиц в объеме транспортируемой гидросмеси. Большинство существующих систем гидротранспорта работают на низких концентрациях твердого материала в потоке закладочной смеси, что приводит к снижению технико-экономической эффективности системы гидравлического транспорта, а также к значительному росту водопритока в выработках. Также в технологиях гидротранспорта в недостаточной степени используется дозировка подачи материала в трубопровод, а также регулировка и контроль параметров, вследствие чего, как правило, гидротранспортные системы горных предприятий работают в не экономичных и неустойчивых режимах.

Для каждого вида гидросмеси, характеризующейся определенным гранулометрическим составом, необходимой производительностью по твердому материалу существует определенная его критическая

концентрация. Наличие критического значения концентрации твердого материала в объеме гидросмеси определяет минимальное значение приведенной плотности пульпы. Этим обусловлен тот факт, что процедура приготовления закладочной смеси и использование насосного оборудования, работающего на пульпопроводе, образуют единую технологическую схему, конструктивно реализованную в виде комплекса для проведения закладки выработанного пространства, энергетические характеристики которого зависят от кинематических и динамических характеристик рабочей среды – перекачиваемой гидросмеси. При этом эффективное транспортирование сильносгущенных смесей грунтовыми насосами вызывает сложности из-за существующей нелинейной зависимости между КПД и концентрацией твердой фазы, а также коэффициентом кинематической вязкости.

Современный рынок предлагает различные конструкции насосного оборудования, способного перекачивать смеси с высоким содержанием твердых частиц – до 80% массы. Основными типами конструкций объемных насосов при этом являются поршневые и перистальтические насосы. В последние годы перистальтические насосы стали более популярны для дозирования транспортируемого шлама. Усовершенствования конструкции и технические достижения в области разработки материалов, из которых изготавливают трубки, расширяют диапазон применения данной технологии еще дальше. По материалам маркетинговых исследований, производство и использование шланговых насосов идет возрастающими темпами ввиду их уникальных положительных качеств таких насосов. В применяемых сегодня перистальтических насосах используются специальные жесткие шланги с большой толщиной стенок и мощным армированием, в которых более половины потребляемой энергии насоса рассеивается на тепловое излучение в материале шланга. Одной из новаций в области производства специализированных трубок для перистальтических насосов, работающих в тяжелых условиях с высоковязкой или агрессивной средой, является четырехслойная конструкция трубы, обеспечивающая хорошие характеристики всасывания и давления, а также увеличенный срок службы.

Учитывая свойства материалов, использующихся в качестве закладочных смесей, эффективный процесс транспортирования, необходимый для получения закладочного массива заданных характеристик, должен осуществляться при соблюдении следующих условий:

- обеспечение интенсивного физического воздействия на смешанные компоненты закладочной смеси для организации их движения по взаимно пересекающимся траекториям;
- соблюдение оптимального времени пребывания компонентов закладочной смеси в транспортной линии, для поддержания однородности материала.

Для реализации таких задач необходима технология транспортирования твердеющих закладочных смесей с одновременным воздействием на материал.

Принципиально новым подходом к транспортированию пастообразных и вязких веществ является применение магнитных насосов. В Санкт-Петербургском горном университете проводятся исследования и разработки по созданию магнитного насоса перистальтического действия. Изучение работы такого оборудования показывает в том, что перемещение массы в них происходит под воздействием волн деформации на одном конце протяженной рабочей камеры-канала и перемещение их вдоль нее, то есть как бегущий процесс локальной деформации (рис. 1.). Основным отличием такого оборудования является отсутствие внешних подвижных и/или вращающихся частей.

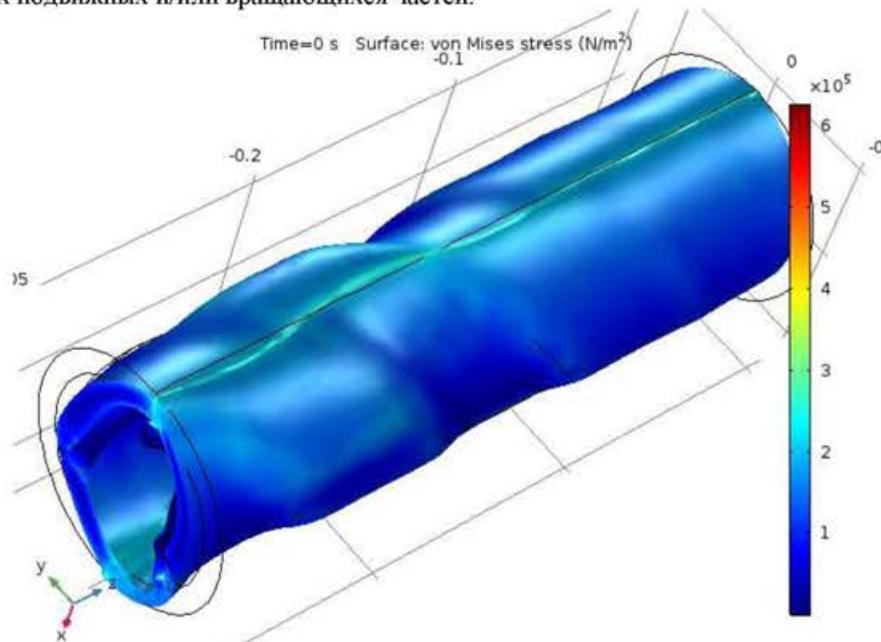


Рис. 1. Прохождение волны локальной деформации по рабочей камере-каналу переменного сечения

Компоненты закладочных смесей являются непроводящими материалами и требуют активного побуждающего воздействия на закладочную смесь непосредственного самой рабочей камеры-канала. Решением этой задачи является применение насосных агрегатов с рабочим органом, выполненным с использованием магнитоактивных эластомеров. В отличие от обычных эластомеров, также обладающих в диапазоне эксплуатации высокомодульными свойствами, магнитоактивные эластомеры, при использовании их в качестве материала для изготовления основного исполнительного органа оборудования - рабочей камеры-канала, не требуют подвижных механических частей в конструкции насоса. Сокращение рабочей камеры, и, как следствие, перемещение закладочной смеси вызывается бегущим магнитным полем. Давление, развиваемое магнитным перистальтическим насосом, зависит от формы контуров индукционных токов, наведенных бегущим магнитным полем. При этом скорость при перемещении закладочных материалов различных составов достаточно стабильна и незначительно зависит от вязкости вещества (рис. 2). При этом канал должен обладать переменным сечением, уменьшающим расстояния между индукторами генератора бегущего магнитного поля, от чего в значительной степени зависят электрические показатели [14].

В зависимости от характеристик перекачиваемого материала рельеф и площадь сечения рабочей камеры-канала варьируется, для достижения оптимальной производительности и энергоэффективности [15].

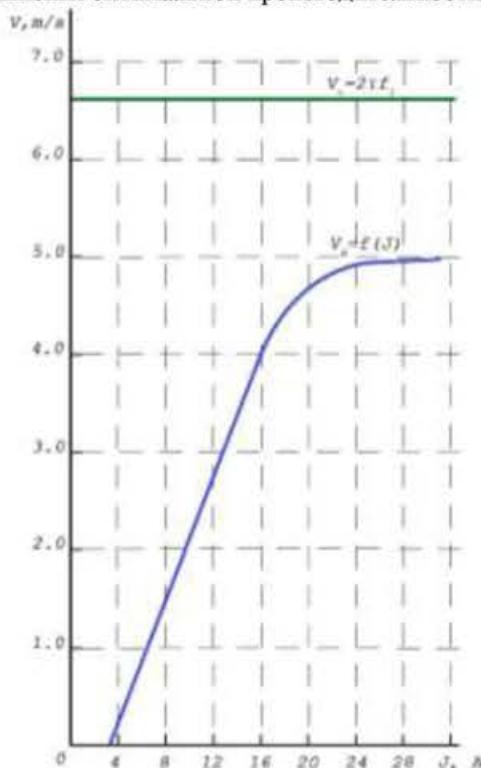


Рис. 2. Кривая влияния силы тока в катушках обмотки генератора магнитного поля на скорость движения локальной волны деформации рабочей камеры-канала

В отличие от существующих конструкций насосов, применяемых для транспортирования закладочных смесей, магнитные перистальтические насосы позволяют изменять скорость транспортирования в широком диапазоне непосредственно в процессе работы.

Рабочая камера-канал магнитного перистальтического насоса также выполняет роль статического смесителя. В процессе транспортирования вещество нагнетается через рабочую камеру-канал, на внутренней поверхности которой выполнены неподвижные шнеки. Камера-канал под воздействием бегущего магнитного поля локально деформируется, уменьшая площадь сечения, а часть последующих сечений, при отсутствии воздействия, расширяется. Этот процесс последовательно повторяется по всей протяженности камеры-канала, образуя движущуюся волну. Сжатие камеры-канала позволяет перекачивать закладочную смесь ламинарным потоком с относительно низким напряжением сдвига. Рельеф внутренней поверхности рабочей камеры-канала обеспечивает структурирование потока, а также его смешение в процессе транспортирования, что предотвращает расслаивание закладочной смеси при перемещении на большие горизонтальные расстояния.

Моделирование, выполненное в программной среде COMSOL Multiphysics, позволило оценить параметры течения гетерогенного потока и визуализировать распределение твердой фазы. Дополнительно, для оценки эффективности смешения гетерогенного потока рабочей камерой-каналом использовался модуль Poincaréplot [16].

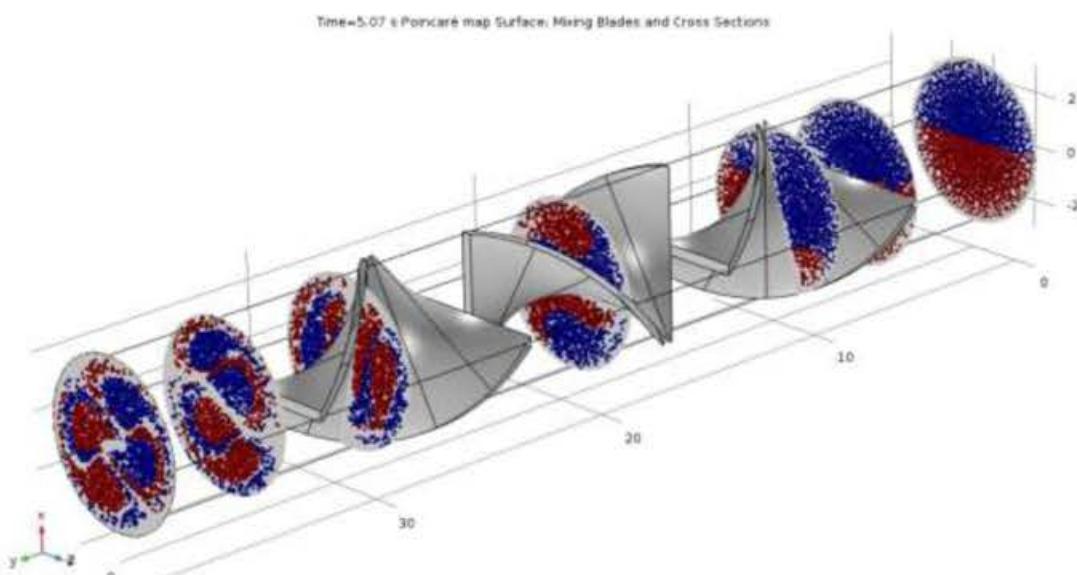


Рис. 3. Карты траекторий частиц в разных сечениях Пуанкаре

Цвет показывает местоположение частицы в ее исходном положении (рис 3.). По мере того как частицы начинают перемещаться под воздействием волны локальной деформации, вызываемой бегущим магнитным полем, они начинают менять траектории своего движения. К концу исследуемого участка рабочей камеры-канала, частицы сгруппированы в центральной части потока - существуют значительные очаги их концентрации, при этом признаки выпадения твердых частиц в виде осадка и расслоения гидросмеси отсутствуют.

#### **Выводы:**

- Известные достоинства подземной геотехнологии разработки месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства в ряде случаев не реализуются и требуют совершенствования применяющихся для этого технологий. В последнее время активное развитие получило развитие технологий и соответствующей техники, работа которых основана на принципе природоподобия.
- Замена основного исполнительного органа насоса на рабочую камеру-канал, выполненную из магнито-активного эластомера взамен традиционной роликовой системе, передавливающей канал, структурирующую поток и препятствующую его расслоению, позволит расширить область применения насосного оборудования.
- Конструктивное исполнение насосного оборудования, при котором скорость перемещения закладочного материала и давление, развивающееся насосом, не зависит от вязкости вещества, а находится в прямой зависимости от электрических параметров, позволит эффективно проводить закладочные работы в удаленных выработках.

#### **Литература**

- Nikulin, A., Kovshov, S., Mráčková, E. Recycling of liquid and solid waste into fuel pellets and briquettes. Production Management and Engineering Sciences – Scientific Publication of the International Conference on Engineering Science and Production Management, ESPM 2015, pp. 223-228.
- Вайсберг Л.А. Общие принципы проектирования вибрационных машин. Машины для вибрационного разделения сыпучих смесей. Вибрационные грохоты. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. Т.4. Вибрационные процессы и машины/ под ред. Э.Э. Лавендела. М., "Машиностроение", 1981 г.
- Блехман И.И., Блехман Л.И., Вайсберг Л.А. Вибрация преодолевает гравитацию – нелинейные эффекты, простые модели // Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем. XVIII Международный Симпозиум, посвященный 100-летию со дня рождения д.т.н., проф. А.Е. Кобринского. – 2015. С. 64-72.
- Старков Л.И., Земсков А.Н., Кондрашев П.И. Развитие механизированной разработки калийных руд. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. – 522 с.
- Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент). – СПб.: ВНИИГ, 2008.
- Aleksandrov V.I., Kibirev V.I. The Kachkanarsky MCC iron ore processing tailings slurry hydraulic transport parameters determination // Obogashchenie Rud. – 2018. – № 1, P. 56-63
- Aleksandrov V.I., Kibirev V.I. Estimation of efficiency of hydrotransport pipelines polyurethane coating application in comparison with steel pipelines// Obogashchenie Rud. – 2016. – № 2, P. 51-56

8. Аглюков Х. И. Управление горным давлением с возведением высокоплотных искусственных массивов. //Известия вузов. Горный журнал. Екатеринбург. – 2004. – №5. – С. 9 – 15.
9. Pushkarev A., Podoprigoz N., Dobromirov V. Methods of providing failure-free operation in transport infrastructure objects // Transportation Research Procedia. – 2018. – №36 Р. 634–639.
10. Liss N.Y., Kremcheev E.A. and Afanasiadi K.I. Reclamation of salinized land at tailings ponds at ALROSA. Gornyi Zhurnal. – 2017. – №10 Р. 65-69.
11. Верхоланцева Т.В., Дягилев Р.А. Изучение влияния закладочных работ на сейсмический режим калийных рудников. ГИАБ. – 2016. – № 12. С. 222–224.
12. Борзаковский Б.А.. Папулов Л.М. Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках. – М.: Недра. 1994. – 234 с.
13. Адушкин В. В., Турунтаев С. В. Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная. М.: ИДГ РАН. 2015. 364 с.
14. Fuhrer R., Schumacher C.M., Zeltner M., Stark W.J. Soft iron/silicon composite tubes for magnetic peristaltic pumping: Frequency-dependent pressure and volume flow // Advanced Functional Materials – 2013. – №23/31. Р. 3845-3849.
15. Vasiliyeva M.A. Perspectives of application of 3D shape memory composite materials for peristaltic transportation of slurries // Key Engineering Materials. – 2015. – №685, Р.291-294
16. Васильева М. А.. Файт С.. Мультифизическая модель течения гетерогенного потока при движении по каналу переменного сечения // Записки Горного института. – 2017. – №227. С. 558 – 562.

А. Т. ГАГАРСКАЯ  
Санкт-Петербургский горный университет

## ВЫБОР ПРИРОДНОГО СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ КАРЬЕРНЫХ ВОД ПРИ ЗОЛОТОДОБЫЧЕ

**Введение.** В современном мире происходит активное развитие золотодобывающей промышленности[1]. Российские компании, занимающиеся добычей золота, являются одними из лидеров мирового рынка[2].

В зависимости от природных условий золотые россыпи разрабатываются разными методами. При извлечении золота из руд методом цианирования сточные воды образуются в виде обесзолоченного раствора и распульпированного кеска, который имеет высокую щелочную реакцию, содержит большое количество взвешенных веществ, простые и комплексные цианиды, роданиды, мышьяк, ионы ТМ и другие продукты растворения руды[3,4].

Состав сточных вод золотоизвлекательных фабрик и предприятий зависит от минералогического состава руды и применяемых в технологическом процессе реагентов. Концентрация различных примесей в отработанных водах колеблется в весьма широких пределах[5].

Предварительно состав стоков устанавливается по данным исследованиям, которые проводятся одновременно с исследованием руды на способность к обогащению и выбором метода обогащения, который уточняется в процессе эксплуатации.

Важной экологической проблемой является загрязнение поверхностных вод ионами тяжелых металлов, токсическое воздействие которых на живые организмы приводит к нарушению протекания ферментативных реакций[6].

Целью данной работы является изучение закономерностей сорбции ионов тяжелых металлов материалами естественного происхождения различной природы, а также оценка эффективности их применения для доочистки сточных вод золоторудных месторождений.

**Методы исследования.** Для достижения поставленной цели исследования использовался комплексный подход, включающий теоретические и экспериментальные методы исследования. В ходе проведения лабораторных исследований в ЦКП Горного университета применялись следующие методы:

- 1) Исследования гранулометрического состава образцов природных сорбентов ситовым методом;
- 2) Исследование сорбционных свойств материалов природного происхождения;
- 3) Измерения концентрации металлов в пробах воды после процесса сорбции на атомно-эмиссионном спектрометре ICPE-9000.

Основная часть. Для глубокой очистки карьерных вод от ионов ТМ, часто используют метод сорбции, эффективность которого колеблется от 80 до 99,5% в зависимости от химической природы адсорбента, величины адсорбирующей поверхности, структуры и свойств загрязняющих веществ.

Исследование включает в себя подготовку модельных растворов сточных вод с заданной концентрацией тяжелых металлов (Таблица 1). Для этого используются два вида солей: пятиводный сульфат меди ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) и семиводный сульфат цинка ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ).

Таблица 1. Концентрация меди и цинка в мг/дм<sup>3</sup>

№ п/п	Наименование ингредиентов	Фоновое значение	Концентрация в сточной воде	ПДКр/х
1.	Медь	0,0022	1,38	0,001
2.	Цинк	0,015	1,8	0,01

Для приготовления модельного раствора  $Zn^{2+}$  проводим следующие расчеты:

$$M(ZnSO_4 \cdot 7H_2O) = 65 + 96 + 7 \cdot 18 \text{ г/моль}$$

$$M(Zn) = 65 \text{ г/моль}$$

$$C(Zn) = 1,8 \text{ мг/дм}^3$$

$$0,0018 \text{ г/дм}^3 - 65 \text{ г/моль}$$

$$X \text{ мг/дм}^3 - 287 \text{ г/моль}$$

$X = 0,0079 \text{ г/л} - \text{нужно взять соли } Zn^{2+} \text{ для приготовления модельного раствора.}$

Для приготовления модельного раствора  $Cu^{2+}$  проводим следующие расчеты:

$$M(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 64 + 96 + 5 \cdot 18 \text{ г/моль}$$

$$M(Cu) = 64 \text{ г/моль}$$

$$C(Cu) = 1,38 \text{ мг/дм}^3$$

$$0,00138 \text{ г/дм}^3 - 64 \text{ г/моль}$$

$$X \text{ мг/дм}^3 - 250 \text{ г/моль}$$

$X = 0,0053 \text{ г/л} - \text{нужно взять соли } Cu^{2+} \text{ для приготовления модельного раствора.}$

В качестве сорбентов используем: активированный уголь, древесный опилок, низинный торф, верховой торф (без преобразований) и смесь: опилок + торф.

Для изучения сорбции в динамическом режиме сорбент природного происхождения загружаем в колонку слоем 10 см, пропускаем через него 1 л приготовленного модельного раствора с расходом 1 л/мин за 12 минут (5 л/час) с концентрацией ионов меди ( $\Pi$ ) – 0,0053 г/л и концентрацией ионов цинка ( $\Pi$ ) – 0,0079 г/л.

Измерения концентрации металлов в пробах воды проводим с помощью атомно-эмиссионном спектрометре ICPE-9000. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерения концентрации тяжелых металлов после сорбции.

Наименование сорбента и номер пробы	Концентрация Cu (мг/л)	Эф.оч. (%)	Концентрация Zn (мг/л)	Эф.оч. (%)
Активированный уголь	0,045	96,739	0,231	87,167
Опилок	0,053	96,159	0,241	86,611
<b>Низинный торф</b>	<b>0,009</b>	<b>99,348</b>	<b>0,124</b>	<b>93,111</b>
Смесь (т+о) 1	0,078	94,348	0,181	89,944
Верховой торф	0,043	96,884	0,137	92,389

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что сорбция лучше всего проходит на торфе (низинном и верховом). Сорбционные свойства верхового и низинного торфов по отношению к ионам тяжелых металлов различны. Низинный торф содержит небольшое количество клетчатки, но богат гуминовыми веществами и зольными элементами. Верховой торф состоит из органических остатков и отличается от низинного более высокой кислотностью. Низинный торф обладает большей сорбционной емкостью по отношению к ионам тяжелых металлов, чем остальные природные сорбенты.

**Заключение.** В настоящее время актуальным является вопрос использования природных материалов в качестве сорбентов ионов тяжелых металлов. Природные материалы характеризуются дешевизной и доступностью, к тому же их сорбционные свойства можно значительно увеличить путем химического или физического воздействия.

Кроме того, к достоинствам биосорбции следует отнести простоту аппаратурного оформления. Торф – один из важнейших биосорбентов. Многофункциональность свойств торфа позволяет использовать его в качестве сорбента для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Сорбционные свойства верхового и низинного торфов по отношению к ионам тяжелых металлов различны. Низинный торф содержит небольшое количество клетчатки, но богат гуминовыми веществами и зольными элементами. Верховой торф состоит из органических остатков и отличается от низинного более высокой кислотностью.

#### Литература

1. Штриплинг Л.О., Туренко Ф.П.. Основы очистки сточных вод и переработки твердых отходов: Учебное пособие – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 192 с.
2. Кораблева А. Н. Введение в экологическую токсикологию / А. Н. Кораблева, Л. Г. Чесанов, А. Г. Шапарь. – Д.: Центр экономического образования, 2007. – 308 с.
3. Смирнов Д. Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов / Д. Н. Смирнов, В. Е. Генкин. – М.: Металлургия, 1980.-196 с.
4. Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат. – 1987. – 10с.
5. Москасва, Н.Ю. Изучение процессов сорбции ионов Cu(II) на углеродных сорбентах / Н.Ю. Москасва, В.И. Дударев, Т.Ю. Афонина, Ю.С. Сырых // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2010. – Т.46. №1. – С.46-50.
6. Гимасева, А.Р. Сорбция ионов тяжёлых металлов из воды активированными углеродными сорбентами / А.Р. Гимасева, Э.Р. Валинурова, Д.К. Игдалевова, Ф.Х. Кудашева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2011. – Т.11. №3. -С. 350-356.

К.К. ЗАЙЦЕВА, Ю.Д. СМИРНОВ  
Санкт-Петербургский горный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСТВОРОВ КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ С УГОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ С ЦЕЛЬЮ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Введение.** Для современной горной промышленности характерны процессы увеличения добычи и переработки минерального сырья, характеризующиеся весьма значительным загрязнением атмосферного воздуха пылью.

В Российской Федерации в настоящее время предприятиями минерально-сырьевого комплекса ежегодно выбрасывается порядка 50 млн тонн пыли в атмосферный воздух. Выбрасываемая пыль различается как неорганическая мелкодисперсная (с максимальным линейным размером частиц от 10 мкм до 100 мкм) и наиболее опасная – тонкодисперсная (с максимальным линейным размером частиц от долей мкм до 10 мкм).

При проведении исследования наибольший интерес представляют собой частицы от 1 до 10 мкм. Установлено [1, 2, 3, 4], что частицы таких размеров образуются на всех предприятиях угольной промышленности при работе комбайнов, породопогрузочных машин, а также при сортировке угля и негативно влияют на здоровье человека при их вдыхании с воздухом [5].

Угольная пыль с размером частиц от 1 до 10 мкм является преобладающей на любом угледобывающем предприятии. Размер частиц угольной пыли, которые могут проникнуть в легкие, составляет 1-10 мкм. Лисай О.Н. в своем исследовании доказал, что частиц, оказывающих неблагоприятное воздействие на здоровье человека, в пробе угольной пыли содержится 24,09 % [6].

Цель исследования – повышение эффективности пылеподавления в местах интенсивного пыления на промышленных площадках угольных предприятий за счет применения экологически чистого раствора КМЦ.

**Методы исследования.** При достижении поставленной цели исследования был использован комплексный подход, включающий теоретические и экспериментальные методы исследования. При проведении лабораторных исследований в ЦКП Горного университета применялись методы: исследования гранулометрического состава и моделирования процесса пыления угольной пыли. Использовалось современное оборудование: шаровая мельница Spex Dual Mixer/Mill, лазерный дифракционный анализатор

размеров частиц Laser Particle Size Analyzer LA-950V2, пылемер Dust Trak 8533, метсометр МЭС-200А, верхнеприводное перемешивающее устройство ПЭ-8300, плотномер Mettler Toledo.

**Основная часть.** Исследование включает в себя подготовку модельной угольной пыли посредством измельчения породы угля в течение 15 минут на высокоэнергетической шайкер мельнице Spex Dual Mixer/Mill и исследования гранулометрического состава на приборе Laser Particle Size Analyzer LA-950V2. Исследования показали, что средний размер частиц в пробе – 20,84 мкм. В пробе различают 25% частиц с размером до 10 мкм, 50% – 20,84 мкм и 90% – 69,75 мкм.

В составе экспериментальной установки были использованы: герметичный бункер из термопластичного прозрачного пластика (органическое стекло); нагнетатель воздуха (пылесос ЭП-2 «Вихрь»); пылемер DustTrak 8533 фирмы TSI; метсометр МЭС-200А, применяемый для оценки внешних условий при проведении эксперимента. Так же при исследовании применялся плотномер Mettler Toledo, верхнеприводное перемешивающее устройство для достижения однородности раствора, пульверизатор для распыления раствора КМЦ.

При исследовании процесса пылеподавления был применен раствор КМЦ различных концентраций. Опыт проводился в течение 60 минут с измерением концентрации пыли каждые 5 минут. В исследовании использовалась измельченная угольная пыль (10 г), равномерно распределенная на дне бункера по площади квадрата 625 см<sup>2</sup> со сторонами 25 x 25 см. На угольную пыль равномерными нажатиями было нанесено 5 грамм воды из пульверизатора. Далее начинал работать нагнетатель воздуха, равномерно распределяя навеску угольной пыли по площади бункера. При проведении измерений, пылемером анализировалось валовое содержание пыли размером частиц 1-10 мкм (PM10).

Согласно полученным данным (табл. 1), наибольшая концентрация угольной пыли при пылеподавлении достигается при использовании воды без добавок и 0,5% раствора КМЦ.

Таблица 1. Зависимость концентрации угольной пыли от времени

t, мин	C, мг/м <sup>3</sup>			
	H <sub>2</sub> O	0,1% КМЦ	0,25% КМЦ	0,5% КМЦ
5	0.386	0.205	0.861	1,36
10	0.366	0.082	0.799	1,02
20	0.641	0.069	0.254	0.552
30	0.9	0.122	0.254	0.32
40	1.047	0.075	0.199	0.306
50	1.881	0.033	0.149	0.224
60	2.425	0.125	0.111	0.241

Концентрация без применения пылеподавляющего раствора составила 66,1 мг/м<sup>3</sup>. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод об изменении концентрации на протяжении всего опыта. Очевидно, что высокой эффективностью пылеподавления обладают растворы 0,1% и 0,25% КМЦ. При пылеподавлении водой без добавок и 0,5% раствором КМЦ, процесс пылеподавления необходимо признать менее неэффективным.

**Заключение.** Для дисперсности пылевых частиц 1-10 мкм раствор с процентным содержанием КМЦ 0,1% является самым эффективным. Согласно полученным данным можно сделать вывод, что при увеличении концентрации раствора увеличивается его плотность, происходит закупоривание капилляров распылителя, что приводит к снижению распыления раствора и уменьшению эффективности пылеподавления.

Эффективность испытанного состава КМЦ снижает пылевую нагрузку в местах интенсивного пыления посредством устойчивых стабилизирующих и связывающих свойств. Использованный состав КМЦ обладает отличной растворимостью в водных растворах и эффективностью. Растворы КМЦ имеют высокую закрепляющую способность по сравнению с традиционным использованием тонкораспыленной воды. КМЦ является дешевым, негорючим, экологически чистым материалом, легким в использовании при приготовлении раствора в любых производственных условиях и при пылеподавлении на всех предприятиях угольной промышленности.

#### Литература

1. A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe / J.-P. Pinnaud [et al.] // Atmospheric Environment. 2010. Vol. 44, №10. P. 1308-1320
2. Studies of the coarse particle (2.5-10) component in UK urban atmospheres / Roy M. Harrison [et al.] // Atmospheric Environment. 2001. Vol.35. № 21. P. 3667 – 3679
3. Concentrations and Estimated Soot Content of PM1, PM2.5, and PM10 in a Subarctic Urban Atmosphere / Marko J. Vallius, Juhani Ruuskanen, Aadu Mirme, Juha Pekkanen // Environmental science & Technology. 2000. Vol. 34, № 10. P. 1919-1925

4. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health / Jonathan O. Anderson, Josef G. Thundiyil, Andrew Stolbach // Journal of Medical Toxicology. 2012. Vol. 8, № 2. P. 166-175

5. Каласва С.З., Муратова К.М., Чистяков Я.В., Чеботарев П.В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека - Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2016, №3 – Тула: Тульский государственный университет, 2016, с. 40-63

6. Лисай О.Н. Исследование состава пыли и поведения частиц пыли в воздушной среде – Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009, № 1 – М.: Горная книга. 2009, с. 191-194.

Д.С. ГРОМЫКА

Санкт-Петербургский государственный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

**Введение.** Разработка месторождений полезных ископаемых характеризуется значительным уровнем негативного воздействия на все компоненты окружающей среды, источниками которого могут быть как природные, так и техногенные явления. Согласно Постановлению Правительства РФ от 23.02.94г. [1], нарушенные земли должны быть подвергнуты рекультивации, что является обязательным также и вследствие высокого хозяйственного и природоохранного значения. Существует несколько основных направлений рекультивации, однако данные направления не всегда являются оптимальным для некоторых объектов. В данной статье будет рассмотрена возможность применения метода фиторемедиации для очистки почв от тяжелых металлов.

**Приборы и методы исследования.** Для проведения лабораторного эксперимента по выращиванию травосмеси была отобрана пробы почвы с разлива хвостов обогащения угля на шахте «Садкинская». Почва представляет собой глинистый грунт, с вкраплением угля, диаметром 1-2 мм. В момент отбора, объект был лишен всякой растительности, отсюда можно сделать вывод, что в таком виде почва непригодна для роста травосмеси.

Для оценки фитотоксичности пробы, было проведено лабораторное исследование на атомно-эмиссионном спектрометре ICPE-9000. Основными исследуемыми критериями было содержание азота и фосфора, содержание тяжелых металлов в подвижном состоянии. Результат исследования загрязненной и фоновых почв, антрацитовой крошки, а также ПДК тяжелых металлов по ГН 2.1.7.2041-06 [2] приведены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов и других элементов в пробе

Эл-т	Концентрация тяжелых металлов в подвижном состоянии, мг/кг			
	Антрацитовая крошка	Загрязненная почва	Фоновая почва	ПДК/ОДК
Cd	0,025	2	0,2	
Co	0,21	5,25	0,6	5
Mn	0,61	71,8	39,7	100
Ni	0,62	13,4	0,6	4
Pb	0,25	4	1,19	
Zn	1,335	19,3	0,93	23

Для проведения фиторемедиации была выбрана травосмесь следующего состава: 30% тимофеевка луговая, 10% райграс высокий, 20% донник желтый, 30% овсяница луговая, 10 % люцерна желтая. Овсяница хорошо аккумулирует тяжелые металлы, в частности никель и медь, тимофеевка способствует набору травосмесью максимальной биомассы, райграс способен иммобилизировать свинец, таким образом уменьшая фитотоксичность почвы, а донник и люцерна обогатят почву недостающим азотом. К тому же, все перечисленные растения неприхотливы к климатическим условиям и качеству грунта. [3, 4, 5]

Для эксперимента было подготовлено 8 составов, полученных в результате смешивания пробы с различными наполнителями. Составы приготовленных почвосмесей указаны в таблице 2. В некоторые контейнеры была добавлена антрацитовая крошка, так как по мнению многих авторов [6], она положительно влияет на рост растений.

Таблица 2. Составы почвосмесей

№ смеси	Состав смеси, %			Подкормка гумусовыми удобрениями
	Загрязненная проба почвы	Фоновая проба почвы	Уголь	
1.00	85	0	0	Да
2.00	77	33	0	Да
3.00	77	33	0	Нет
4.00	85	7,5	7,5	Да
5.00	85	7,5	7,5	Нет
6.00	0	100	0	Нет
7.00	0	85	15	Да
8.00	0	85	15	Нет

В ходе всего вегетационного периода в каждом контейнере проводились ежедневные измерения высоты ростков, густота роста травы, а также визуальная оценка цвета побегов.

Полив почвосмесей проводился каждые 5 дней, объем полива составил 100-150 мл воды на контейнер.

Со дня достижения травосмесью высоты в 5 см, проводилась еженедельная подрезка верхушек побегов до высоты 5 см. Срезанная трава высушивалась при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния и отбиралась в зип-пакет для дальнейшего анализа аккумуляционной способности травосмеси.

Результаты замеров роста травосмеси в течение периода роста до первой срезки отображены таблице 3. Средняя продолжительность вегетации составила 114 дней.

Таблица 3. Характеристики роста травосмеси

Почвосмесь	1	2	3	4	5	6	7	8
Ср. скорость роста, см/день	0	3,78	2.22	4.33	2.67	4.11	4.44	4.89
Ср. высота побегов перед срезкой, см	0	86	73	93	80	87	91	94
Густота роста травосмеси	нет травы	сред- няя	низ- кая	высо- кая	сред- няя	высо- кая	высо- кая	высо- кая

Добавление гумусовых удобрений значительно повышает всхожесть и скорость роста травосмеси, однако, как показал опыт, глинистая почва не обеспечивает необходимого корневого питания, а также доступа воды, солнечного излучения и воздуха к семенам, что не позволяет расти травосмеси в контейнере с загрязненной почвой № 1, без добавления различных разрыхлителей. Также можно добавить, заметить, что 7,5 % добавка угля действительно положительно влияет на рост травосмеси.

Для исследования фиторемедиационных характеристик было отобрано 1,737 грамм побегов, собранных с растений, выращенных в почвосмесях, выполненных на основе загрязненной почвы. Побеги были помещены в предварительно прокаленные тигли и сожжены в муфельной печи при следующих характеристиках режима нагрева: начальная температура 20 °C, конечная температура 700 °C, продолжительность нагрева 30 мин., продолжительность выдержки на максимальной температуре 90 мин.

По итогу было получено 0,127 грамм золы. Полученная зора была проанализирована на содержание тяжелых металлов в подвижном состоянии на атомно-эмиссионном спектрометре ICPE-9000. Результаты исследования приведены в таблице 2.4.1.

Таблица 2.4.1. Содержание тяжелых металлов в подвижном состоянии в золе

Эл-т	Концентрация тяжелых металлов в подвижном состоянии, мг/кг			
	В золе	В загрязненной почве до ремедиации	В загрязненной почве после ремедиации	ПДК/ОДК
Cd	0,5	2	1,5	
Co	3,5	5,25	1,75	5
Mn	161	71,8	0	100
Ni	8,2	13,4	5,2	4
Pb	5	4	0	
Zn	73,9	19,3	0	23

Как видно из вышеупомянутой таблицы, за весь период вегетации, в растениях было аккумулирована большая часть тяжелых металлов, содержащихся в почве. В результате рекультивации, почва была очищена от

превышенных содержаний марганца, цинка и кобальта. По некоторым позициям (марганец, свинец, цинк), содержание элементов в золе превышает содержание в почве, однако это объясняется дополнительным приносом свинца из антрацитовой крошки и фоновой пробы, а цинк и марганец входят в состав биогумуса. Содержание никеля после проведения рекультивационных работ уменьшилось существенно, однако его содержание в почве все равно превышает нормативы ПДК. Для обеспечения необходимого уровня очистки почв от никеля необходимо проведение мероприятия в два цикла.

**Заключение.** С помощью новейших методов и средств измерения были получены результаты исследования аккумуляционных свойств растений. За один цикл роста травы почвы были очищены от большинства опасных тяжелых металлов. С учетом экономической выгоды данного метода и его высокого экологического значения можно сделать вывод о применимости метода для рекультивации загрязненных почв.

#### Литература

1. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 (ред. от 07.03.2019) "О проведении рекультивации и консервации земель";
2. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве;
3. Бланцова М. В. Использование горчицы сарептской и райграса пастбищного для фиторемедиации загрязненных свинцом почв //Вестник Томского государственного университета. – 2009. – №. 324;
4. Зайнутдинова Э. М. и др. Фиторемедиация техногенарушенных территорий //Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №. 6;
5. Макарова Н.М. Оценка отдельных видов травянистых растений для фитомелиорации почв эрозионно опасных территорий / Н.М. Макарова, А.В. Макаров // Научный журнал Российской НИИ проблем мелиорации. — 2017. — №. 4 (28). — С. 121-136;
6. Давасва Ц. Д., Сангаджиева Л. Х. Детоксикация почв с использованием сорбента на основе угля //Полевые исследования. – 2017. – Т. 4. – №. 4. – С. 138-143.

Д.В. ИСМАИЛОВА  
Санкт-Петербургский горный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ ТОРФЯНОГО МЕЛИОРАНТА

**Введение.** Современные тенденции к увеличению объемов использования, хранения и транспортировки нефтепродуктов различными видами транспорта естественно обуславливают рост числа аварийных разливов этих веществ в окружающую природную среду [3, 4]. Нефтяные загрязнения оказывают особое негативное воздействие на все компоненты окружающей природной среды. Попадая в почву, токсичные компоненты нефти могут превращаться в еще более токсичные соединения, адсорбироваться, концентрироваться и вовлекаться в трофические цепи, по которым возможно поступление токсикантов в организм человека [2, 5]. В связи с этим изучение и разработка технологий ликвидации последствий таких аварий является актуальной задачей экологической безопасности в современных условиях развития нефтяной промышленности [1]. В соответствии с вышеизложенным, целью данной работы является создание мелиоранта на основе торфа для очистки нефтезагрязненных почв. Для достижения поставленной цели было предусмотрено решение следующих основных задач: моделирование разливов нефтепродуктов и их ликвидация с использованием нетканого сорбционного полотна; отбор проб и анализ результатов их исследования; разработка методики и определение влияния минеральных азотных и органических (навоза) удобрений в составе торфяного мелиоранта на интенсивность деструкции нефтяных углеводородов. Результаты данного исследования позволят отобрать подходящие для Северо-Западного региона методы рекультивации нефтезагрязненных земель в зависимости от ключевых факторов, кроме того был предложен экологически и экономически рациональный состав мелиоранта на основе торфа для очистки нефтезагрязненных почв.

### Исследование способов рекультивации нефтезагрязненных земель с помощью торфяного мелиоранта

Лабораторный эксперимент предусматривал моделирование аварийного разлива нефтепродуктов, ликвидацию разлива с помощью нетканого сорбционного полотна, внесение торфяного мелиоранта и активаторов, последующий посев семян многолетних трав и наблюдение за их произрастанием в течение 49 дней. За высаженными растениями проводились и фиксировались наблюдения каждые 7 дней, с отбором проб и определением концентрации нефтепродуктов в каждой модели.

Для моделирования аварийного разлива нефтепродуктов были созданы 4 модельных участка, наполненные почвой. В качестве загрязнителя было выбрано дизельное топливо, в объеме, определенном согласно данным о максимально возможных аварийных разливах на территории Ленинградской области, в районе пролегания трассы МНПП. После были произведены работы по организации ликвидации аварийного

разлива с использованием нетканого сорбционного полотна фирмы «ЭКОСОРБ», изготовленного из одного слоя полипропиленового микроволокна. Производителем было заявлено, что данный вид полотна позволит обеспечить ликвидацию разливов до низкого или допустимого уровня загрязнения, однако анализ проб, отобранных с загрязненных участков в аккредитованной лаборатории флуориметрическим методом измерений массовой доли нефтепродуктов в почве, который основан на их экстракции из образца гексаном, очистке экстракта методом колоночной хроматографии с последующим измерением интенсивности флуоресценции очищенного экстракта на анализаторе «ФЛЮОРАТ-02» согласно методике ПНД Ф 16.1:2.21-98, показал, что содержание нефтепродуктов на модельных участках варьируется в пределах: 10-22 г/кг, что согласно письму МПР РФ от 27.12.1993г. № 04-25-61-5678 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами», классифицируется как очень высокая степень загрязнения. В соответствии с этим, следует говорить о том, что нетканое сорбционное полотно не обеспечивает осуществление ликвидации аварийного разлива нефтепродуктов до заявленных производителем значений. Исходя из этого, было организовано проведение биологического этапа рекультивационных работ на модельных участках.

Для повышения микробиологической деструкции нефтепродуктов рационально применение экологически чистого мелиоранта на основе торфа, обладающего хорошими сорбционными свойствами и обогащенного активной углеводородокисляющей микрофлорой [1]. Внесение в состав мелиоранта дополнительного активатора также положительно скажется на развитии углеводородокисляющей микрофлоры, что позволит увеличить степень деструкции нефтепродуктов в почве [5]. В соответствии с этим, были сформированы 4 модели, наполненные загрязненным грунтом, перемешанным с верховым сфагновым торфом, далее добавляется активатор при необходимости, после чего укладывается плодородный растительный грунт и осуществляется посев семян многолетних трав (травосмесь для сенокосов и пастбищ). **Модель №1** – без использования активатора **Модель №2** – в качестве активатора выступают азотные удобрения. **Модель №3** – в качестве активатора выступают органические удобрения (навоз). **Модель №4** – представляет собой контрольный образец тез использования активатора и торфа.

Ниже (рис. 1) представлен график, отражающий динамику снижения концентраций нефтепродуктов в модельных образцах в каждый из контрольных дней.



Рисунок 1. Динамика снижения концентрации

Условно эксперимент можно разделить на 4 этапа, где на первом и третьем заметны стремительные темпы снижения концентраций нефтепродуктов, обусловленные увеличением числа углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ), а второй и четвертый можно характеризовать как периоды стабилизации. Однако на графике заметно, что в модели 3 отсутствует второй этап (стабилизации) и снижение концентрации нефтепродуктов происходит на протяжении большего периода проведения исследования, что является неоспоримым преимуществом.

**Заключение.** В ходе проведения исследования было установлено, что внесение в почву торфяного мелиоранта с органическим удобрением (навозом) вызвало усиление процесса деструкции нефтяных углеводородов и достоверное снижение фитотоксичности почвы (модель 3). Особенно значимый положительный эффект оказало внесение навоза, что вызвало улучшение питательного режима почвы и положительно сказалось на жизнедеятельности УОМ и развитии растений.

Использование торфяного мелиоранта с азотным удобрением не уступает вышеуказанному композиту торфа и навоза, и обеспечивает высокую степень деструкции нефтяных углеводородов (модель 2). Использование в составе торфяного мелиоранта азотного удобрения способствует на протяжении всего срока эксперимента более активному течению микробиологических и ферментативных процессов. В этом случае также отмечена высокая численность УОМ.

Очистка почвы от нефтяных загрязнений с использованием торфяного мелиоранта без использования активатора позволяет обогатить почвы биологически активными веществами,

стимулирующими процессы гумусообразования, что способствует экологическому оздоровлению и реабилитации деградированных почв (модель 1). Однако данный вариант имеет не столь высокие результаты, как вышеописанные мелиоранты.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Д.С. Корельский

#### Литература

1. Абросимов А.А. Экология переработки углеводородных систем. – М.: Химия. 2002. – 608 с.
2. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю.Д. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов – М.: ИН-ОКТАВО. 2005. – 368 с.
3. Мунтян В.Л. Правовые проблемы рационального природопользования // Автореферат дис. докт. юрид. наук. / В.Л. Мунтян – Харьков. 1975. – 49 с.
4. Анализ причин аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах. // Вестник Казанского технологического университета / Д.Р. Гайсина, Я.В. Денисова – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. – Том:19. – № 14. – С. 129-130.
5. Krauss M. Sorption Strength of Persistent Organic Pollutants in Particle-size Fractions of Urban Soils / M. Krauss, W. Wilcke // Soil Science Society of America Journal. 2007. – Vol. 66. – P. 430-437.

А.С. КУЗНЕЦОВА, Д.Д. КОНДРАТЬЕВА  
Санкт-Петербургский горный университет

## ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СНЕГОВОЙ СЪЕМКИ ВДОЛЬ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Автомобильный транспорт является основным источником негативного воздействия на окружающую среду в больших городах. Индикатором степени загрязненности атмосферного воздуха в течение холодного периода года является содержание загрязняющих веществ в сугревом покрове. Характерными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы, нефтепродукты, пыль, кроме того, в зимний период времени, вещества для борьбы с гололедом. Благодаря высокой сорбционной способности, снег накапливает в своем составе практически все вещества, поступающие в атмосферу. Большую угрозу для экологической обстановки представляет процесс таяния загрязненного снега. Талая вода, содержащая большое количество загрязняющих веществ, попадает в водные объекты, в связи с этим санитарно-гигиеническую оценку сугревого покрова следует проводить в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». [1]

Целью работы было изучение современного состояния сугревого покрова вдоль автомагистралей города Санкт-Петербург. Для оценки загрязнения в талой воде проводился анализ ионного состава и содержания нефтепродуктов, определялся микроэлементный состав твердой фазы снега. Работа проводилась на базе Научно-образовательного центра коллектива пользования (ЦКП) Санкт-Петербургского горного университета.

Отбор проб снега произведен в феврале-марте 2019 года, на период максимального накопления сугревого покрова, до начала интенсивного снеготаяния. Расположение точек пробоотбора выбиралось вдоль автомобильных дорог, в том числе вдоль ЗСД. Было отобрано 7 проб, в качестве фоновой точки выбран участок, расположенный в государственном природном заказнике регионального значения «Юнтоловский».

После таяния при комнатной температуре воду фильтровали. Осадки высушивали для дальнейшего определения микроэлементного состава твердой фазы снега.

Определение pH проводили при помощи многопараметрового анализатора Multi 340I. Значения водородного показателя проб снега на исследуемой территории составили 5,54–5,86, т. е. все образцы снега имели слабокислую реакцию.

В лаборатории были проведены анализы проб воды на анионы с использованием тест-комплексов «Крисмас+». [2] Определение содержания в воде хлоридов, карбонатов и гидрокарбонатов было проведено с помощью метода титриметрии; содержание сульфатов и нитратов с помощью метода колориметрии. Содержание нитрат-иона в пробах 1–45 мг/л; среднее содержание сульфат-иона – 15,36 мг/л; гидрокарбонат-иона – 18,3 – 85,4 мг/л. Содержание хлоридов в талой воде 7,1–285,6 мг/л, при сравнении со значениями, полученными в фоновой точке, выявлено повышенное содержание хлоридов вдоль автодорог, что связано с обработкой дорожного покрытия от гололеда.

Определение содержания нефтепродуктов в пробах проводилось флуориметрическим методом, который основан на экстракции нефтепродуктов гексаном из пробы воды и измерении интенсивности флуоресценции экстракта на анализаторе жидкости «Флюорат». [3] Концентрация нефтепродуктов во всех точках, кроме фоновой точки, превышает ПДК<sub>кузб-блт</sub> = 0,3 мг/л. [4] Коэффициенты контрастности находятся

в пределах от 5.37 до 7.33. Максимальное значение наблюдалось в точке, расположенной близи ремонтных мастерских и автомойки.

Качественный и количественный анализ проб воды на содержание катионов металлов проводился методом спектральной эмиссии с индуктивно связанный плазмой – на спектрометре ICPE 9000. Прибор обеспечивает качественный и прецизионный количественный анализ без предварительного задания аналитических линий, обеспечивает определение большинства элементов на уровне 1-10 ppb и ниже. Результаты количественного анализа показали, что практически во всех точках (кроме фоновой) наблюдается превышение содержание железа в талой воде в 1.74 – 8.43 раза, максимальное содержание железа характерно для участка ЗСД; в точке №4 наблюдается превышение содержание марганца в 1.17 раза; в пробах №3 и №7 превышение по цинку 9.64 и 2.31 раза соответственно. [5]

Гравиметрическим способом было определено содержание твердых частиц в талой воде. Концентрация взвеси составила 0.16-77.54 г/л.

Определение содержания веществ в твердой фазе производилось методом рентгенофлуоресцентного анализа. Данный метод основан на анализе характеристического спектра вторичного флуоресцентного излучения пробы, которое возникает под действием более жесткого рентгеновского излучения. Достоинством метода РФА является возможность получения данных о составе сложного материала без его разрушения, с сохранением полного комплекса его физико-химических свойств.

Качественный анализ проведен портативным рентгенофлуоресцентным спектрометром ThermoNiton. В результате анализа с помощью Thermo Niton в пробах были обнаружены следующие элементы: медь, железо, марганец, цинк, магний, молибден, свинец, кобальт, цирконий, стронций, селен, никель.

Качественный анализ проведен на последовательном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Lab Center XRF-1800, который способен проводить качественный и количественный анализ в диапазоне от берилля до урана. По результатам РФА в пробах была определена распространенность и среднее содержание компонентов в пробах - оксиды кремния (63%), алюминия (10%), железа (9%), кальция (6%), калия (3%), натрия (2%), магния (2%), титана (2%), серы (1%), фосфора (1%), цинка (<1%), бария (<1%).

В ходе проведенных исследований выявлено 1) значительное превышение содержания хлоридов вдоль автодорог относительно фонового значения; 2) превышение содержания нефтепродуктов нормативного значения во всех точках (кроме фоновой); 3) при анализе содержания катионов металлов выявлено превышение содержания железа во всех точках (кроме фоновой). в отдельных пробах выявлено превышение содержания марганца и цинка, с максимальным содержанием в районе ЗСД. По полученным результатам можно сделать вывод о необходимости очистки стоков автомобильных дорог, в том числе ЗСД, откуда стоки ливневой канализации поступают в р. Екатерингофку и Финский залив. В связи с этим, дальнейшая работа будет направлена на рассмотрение системы очистки стоков ливневой канализации ЗСД, для которой необходимо предусмотреть очистку в 2 стадии: 1- физико-механическая очистка - от взвешенных частиц и нефтепродуктов 2 - физико-химическая очистка - сорбционная очистка от растворенных микроэлементов.

### Литература

1. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».
2. ГОСТ 31957-2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.
3. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 «Качественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных (включая морских), питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорант-02».
4. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».
5. М-02-1109-08. Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой с помощью спектрометра ICPE-9000.

И.В.ЛАНГ  
Санкт-Петербургский горный университет

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

**Введение.** Данная статья описывает возможный вариант разрешения актуальной экологической проблемы очистки сточных вод в северных регионах от соединений азота на предприятиях по добыче железной руды, который позволит снизить техногенную нагрузку на окружающую среду региона. В качестве объекта исследований выбран горно-обогатительный комплекс Оленегорский ГОК.

расположенный на севере Мурманской области. Предметом исследования являются сточные воды, отводимые с Кировогорского карьера в пруд-отстойник. Наибольшую опасность для окружающей среды при их сбросе представляют нитраты, содержащиеся в них в количествах, превышающих допустимые уровни, в десятки раз. Причиной загрязнения вод является применение взрывчатых веществ, содержащих нитраты, которые впоследствии переходят в воду, отводимую с карьера. С 2013 года на отстойнике реализуется технология естественной биологической очистки стоков с применением плавающих биоплато. Наблюдается положительная тенденция в улучшении качества отводимых сточных вод, однако существующие очистные сооружения не обеспечивают необходимую очистку. В связи с этим, проблема очистки сточных вод Кировогорского карьера от соединений азота остается актуальной. Целью работы является поиск оптимального способа доочистки сточных вод от нитратов, который бы обеспечил снижение концентрации азота содержащих соединений до допустимых уровней и был бы оправдан с экономической точки зрения.

При выполнении исследований было использовано следующее современное лабораторное оборудование: пробоотборник «ПЭ-1110», тест-комплекты «Пчелка», хроматограф LC-20 Prominence (Shimadzu), мельница лабораторная IKA MF10, анализатор ЭКСПЕРТ-001 с ионоселективным электродом на  $\text{NO}_3^-$ , анализатор влажности MX-50 A&D, культиватор KB-05, флуориметр Фотон-10, весы и прочее вспомогательное лабораторное оборудование.

**Основная часть.** В ходе прохождения производственной практики на Оленегорском ГОКе мною были проведены мониторинговые исследования пруда-отстойника Кировогорского карьера. С целью выяснения эффективности работы действующих очистных сооружений были отобраны пробы сточной воды и растений, проведена соответствующая пробоподготовка и анализ.

Отбор проб воды осуществлялся в установленных заранее наиболее representative точках с использованием фторопластового пробоотборника «ПЭ-1110» [5]. С помощью тест-комплектов «Пчелка» был проведен экспресс анализ отобранных проб на содержание нитратов, аммония и pH. Для тщательного анализа отобранных проб воды в лаборатории университета использовался хроматограф жидкостной LC-20 Prominence (Shimadzu). В основе работы с прибором лежит методика высокоеффективной жидкостной хроматографии, основанная на разделении анионов на ионообменной колонке и их регистрации с помощью кондуктометрического детектора. Анализ проводился согласно методике выполнения измерений [1]. Полученные результаты анализа свидетельствуют о том, что содержание нитритов и сульфатов соответствует установленным нормативам качества вод. Что касается нитратов, то было выявлено, что во всех точках отбора была превышена их предельно допустимая концентрация (45 мг/л). Это свидетельствует о том, что предложенная система биологической доочистки сточных вод карьера работает недостаточно эффективно.

Отбор проб растений производился вручную по береговой зоне пруда-отстойника Кировогорского карьера. Растения, высущенные естественным путем, были проанализированы согласно методике [3] на содержание нитратов. Для этого были сделаны водные вытяжки из подготовленных растений. Для пробоподготовки использовалась лабораторная мельница IKA MF10, массовая доля воды в пробе определялась на анализаторе влажности MX-50 A&D. Методом количественного определения нитратов в водных вытяжках исследуемых растений был выбран ионометрический, сущность которого состоит в извлечении нитратов из анализируемого материала раствором алюмокалиевых квасцов с последующим измерением их концентрации в полученной вытяжке с помощью ионоселективного электрода. Анализ на нитраты проводился на лабораторном анализаторе ЭКСПЕРТ-001 с помощью ионоселективного электрода на  $\text{NO}_3^-$ . Измерение величины pH (pH) и концентрации С ионов в водных растворах производится потенциометрическим методом, заключающимся в измерении разности потенциалов (э.д.с.) измерительного электрода и электрода сравнения в растворе. Результат анализа получен в единицах массовой доли нитратов в растениях, мг/кг. Анализ растений показал, что высокой способностью к накоплению нитратов обладают такие растения, как пушкица, сабельник болотный и калужница. Именно эти виды растений следует в большей степени внедрять на существующие биоплато для повышения эффективности их работы.

Проведенный теоретический анализ имеющихся литературных и иных источников показал, что существует биологический метод очистки сточных вод путем альголизации, который положительным образом оказывается на качестве сточных вод, благоприятным образом воздействуя на все аспекты их биологического потенциала. Суть метода альголизации заключается во внедрении в водный объект одного или нескольких штаммов зеленых водорослей, обычно хлореллы. Данный метод помимо решения основной поставленной задачи – ликвидация «цветения» синезелеными водорослями обеспечивает значительное улучшение качества воды по концентрации загрязнителей, таких как тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, азот и фосфор (рост водорослей зависит от форм азотного питания: наиболее удобная его формами – аммиачный азот), снижение биохимического и химического потребления кислорода, улучшение органолептических показателей и т. д. В нашем случае применение хлореллы особенно интересно и актуально с целью очистки вод от соединений азота (в частности – нитратов). Поэтому, мною было принято решение «проверить» данную теорию на практике, используя лабораторное оборудование университета, а также имеющийся в лаборатории штамм хлореллы- *Chlorella Vulgaris beijer*.

Для проведения экспериментов были выбраны три наиболее показательные и удобные для дальнейшего сравнения пробы воды. Приготовление суспензии хлореллы проводилось согласно методике [2] в специализированном многокюветном культиваторе КВ-05, обеспечивающем благоприятную культуральную среду. Для определения оптической плотности добавляемой суспензии использовался лабораторный флуориметр «Фотон 10». Для опыта №1 было взято 100 мл пробы воды из пруда-отстойника и добавлено 30 мл тест-культуры водоросли хлореллы, приготовленной согласно классической схеме, выращенной на 50%-питательной среде Тамия. Приготовленные растворы выдерживались стуки при температуре окружающей среды 24 °C. Анализ на содержание нитратов в приготовленных растворах проводился на лабораторном анализаторе ЭКСПЕРТ-001. По результатам эксперимента № 1, вопреки ожиданиям, концентрация нитратов в пробе увеличилась. Это можно связать с тем, что суспензия хлореллы выращивалась на 50% растворе Тамия, для приготовления которого в качестве одного из компонентов используется азотнокислый калий KNO<sub>3</sub>. Следующим этапом эксперимента было выращивание хлореллы на ре-ре Тамия, приготовленном без KNO<sub>3</sub>, то есть в условиях азотного голода. Для данного эксперимента были использованы те же пробы сточной воды и хлорелла, выращенная на азотном голода. Для опыта № 2 взято по 100 мл пробы воды, добавлено по 5 мл суспензии хлореллы с оптической плотностью D≈2, как и в первом эксперименте. Результаты приведены в таблице 1.

Эксперимент с добавлением хлореллы, выращенной в условиях кислородного голода, показал хорошие результаты. За сутки концентрация нитратов в исследуемых пробах снизилась в среднем в 2 раза, что говорит об эффективности применения хлореллы. Стоит отметить, что эксперимент № 2, как и №1, проводился в «степенных условиях», при температуре окружающей среды 24 °C. Для подтверждения теории о том, в «холодных» условиях хлорелла штамма Chlorella Vulgaris beijer впадает в анаэроб, был проведен опыт с помещением проб с хлореллой на несколько дней в холодильник (температура окружающей среды 10 °C). Полученные результаты подтвердили теорию - содержание нитратов в исследуемых пробах осталось неизменным. Однако известны штаммы хлореллы, которые на практике показали положительные результаты очистки в суровых климатических условиях. Наилучшим образом в подобных условиях себя зарекомендовал штамм хлореллы Chlorella kessleri ВКПМ А1-11 ARW, в дальнейшем будет сделан упор именно на него. Данный штамм хлореллы отличается более высокой продуктивностью при выращивании в производственных культиваторах, имеет возможность сезонного размножения в условиях естественных водоемов и круглогодичного развития в производственных культиваторах, наделена адаптацией к условиям водоемов различных климатических зон и к воде различных регионов для производственного культивирования [4].

Таблица 1. Результаты опытов № 1 и №2 с хлореллой Chlorella Vulgaris

	Проба	ЭДС, мВ	значение р NO <sub>3</sub>	С ст-го р-ра моль/л	Концентрация NO <sub>3</sub> , г/л	Концентрация NO <sub>3</sub> , мг/л
Исходные пробы сточной воды (после хранения)	№1	355,2	3,19	0,00065	0,040	40,19
	№4	356,6	3,22	0,00060	0,037	37,21
	№10	375,4	3,67	0,00021	0,013	13,21
Опыт 1. С хлореллой	№1	346,7	2,98	0,00104	0,064	64,20
	№4	348,5	3,03	0,00094	0,058	58,14
	№10	357,2	3,24	0,00058	0,036	36,00
Опыт 2. С хлореллой, выращенной без NO <sub>3</sub>	№1	366	3,45	0,00036	0,022	22,17
	№4	368,3	3,50	0,00032	0,020	19,53
	№10	389,6	4,01	0,00010	0,006	6,04

**Заключение.** На основе проведенных мониторинговых исследований, теоретического анализа, а также лабораторных экспериментов, можно был выбран биологический метод доочистки сточных вод путем альголизации – за счет внедрения в существующую схему очистки зеленой водоросли хлореллы определенного штамма Chlorella kessleri ВКПМ А1-11 ARW. Данный метод в сочетании с мероприятиями по улучшению условий для его реализации и конструктивных особенностей уже существующих очистных сооружений позволит достичь соблюдения природоохранных нормативов качества окружающей среды.

#### Литература

1. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Cl, F, Br, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии, М-02-1805-09.
2. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв... по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (Chlorella Vulgaris beijer). ПНД Ф Т 14.1:2.4.10-2004.
3. Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства» № 5048-89 от 1989 г.

4. Патент РФ на изобретение 2585523. МПК C12N 1/12, C02F 3/32, C12R 1/89. Планктонный штамм chlorella kessleri для предотвращения "цветения" водоёмов синезелеными водорослями/ Богданов Н. И. № 2015111746/10, опубл. 27.05.2016.

5. Рекомендации 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод».

Р. Р. НУРЕЕВ  
Санкт-Петербургский горный университет

## ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КОРКИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Объектом исследований является Коркинский угольный разрез, расположенный в Челябинской области в 30-х км к югу от областного центра города Челябинск. В результате длительного функционирования Коркинского угольного разреза возник ряд проблем. Основными из них являются: многочисленные эндогенные пожары и оползневые деформации на бортах разреза. На территории разреза насчитывается 3 основных очага эндогенных пожаров общей площадью 410 м<sup>2</sup>. В результате их горения в атмосферный воздух выбрасывается порядка 950 тонн загрязняющих веществ в год, среди которых неорганическая пыль, сероводород, оксиды углерода, азота и серы. Высокие концентрации данных веществ вызывают обострение хронических заболеваний верхних дыхательных путей и приводят к многочисленным жалобам населения. Оползневые деформации образуют катастрофические подвижки земной поверхности, которые приводят к разрушению жилых построек, а также способствуют образованию новых очагов эндогенных пожаров. В настоящее время, с середины 2017 года на территории разреза не производится контроль за состоянием прибортового массива, а также отсутствуют мероприятия по предотвращению и тушению эндогенных пожаров. Очевидно, что при отсутствии инженерно-экологических мероприятий состояние окружающей среды на территории Коркинского угольного разреза и близлежащих населенных пунктов будет только ухудшаться [1-3].

В этой связи, основными задачами исследований являлись оценка состояния окружающей среды и поиск мероприятий по снижению техногенного воздействия в зоне влияния Коркинского угольного разреза.

В районе расположения Коркинского угольного разреза проводились исследования состояния окружающей среды поверхностных вод, донных отложений, почв и атмосферного воздуха. Полевые исследования на территории Коркинского угольного разреза, а также прилегающих к разрезу территорий и участков отвалов были проведены в июле 2017 года. При полевых работах проводился анализ атмосферного воздуха в зоне воздействия отработанной выработки с использованием анализатора запыленности атмосферного воздуха DustTrack TSI (номер в госреестре СИ 55060-13), портативного газоанализатора ГАНК-4 (номер в госреестре СИ 24421-09), а также с применением беспилотного летательного аппарата вертолетного типа, в состав которого входит портативный газоанализатор ПОЛАР-2 (номер в госреестре СИ 61035-15) [4-5]. Был произведен отбор проб поверхностных вод рек Чумляк (9 проб), Каменка (9 проб) и дренажных вод разреза (2 пробы) с применением батометра. В полевых условиях при помощи многопараметрового анализатора Multi 340i, был произведен анализ проб поверхностных вод на нестойкие показатели, такие как температура, водородный показатель pH, окислительно-восстановительный потенциал Eh и на удельную электропроводимость с дальнейшим пересчетом на солесодержание. Также для всех проб воды был проведен химический экспресс-анализ при помощи портативных тест-комплектов на содержание хлоридов, фосфатов, сульфатов, фторидов, нитритов, железа, алюминия и аммонийных соединений. Произведена консервация проб поверхностных вод с применением концентрированной азотной кислоты для дальнейшего качественного и количественного анализа в лабораторных условиях. Были отобраны пробы верхнего слоя донных отложений с помощью ковша Ван-Вина (9 проб). Отбор проб почв (9 проб) осуществлялся с поверхностного слоя до 0,2 м при помощи металлической лопаты. Для всех проб почв был произведен полукачественный анализ при помощи портативного рентгено-флуоресцентного спектрометра Niton XLt серии 500. Пробы почвы и донных отложений были законсервированы и транспортированы в холодильной камере с температурой 4°C. Все пробы отбирались в соответствии с ГОСТами.

В Научно-образовательном центре коллективного пользования (ЦКП) Санкт-Петербургского горного университета методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP) был произведен количественный анализ катионов металлов в консервированных пробах воды. Исследования проводились на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE 9000. Данный метод был выбран в связи с тем, что он обеспечивает возможность бесконтактного, экспрессного, одновременного количественного определения большого числа элементов в широком интервале концентраций с высокой точностью при использовании малой массы пробы [6-7]. Исследования катионов металлов проводились в соответствии с ГОСТ Р 56219-2014 (ИСО 17294-2:2003) «Вода. Определение содержания 62 элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой». Также для всех проб поверхностных вод были найдены концентрации хлоридов, карбонатов и гидрокарбонатов с применением метода титриметрии; концентрации сульфатов и нитратов определялись методом спектрофотометрии. Определение гидрокарбонатов и карбонатов было проведено в соответствии с ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой

концентрации карбонатов и гидрокарбонатов». Анализ на содержание хлоридов – в соответствии с ГОСТ 18190-72 «Метод определения свободного остаточного хлора титрованием метиловым оранжевым». Содержание сульфатов проводилось по методике ГОСТ 31940-2010 «Определение содержания сульфат-ионов с использованием турбидиметрии с хлористым барисом (метод 3)».

Определение валового содержания и подвижных форм элементов в пробах донных отложений производилось путем кислотного разложения в соответствии с методикой МВИ-80-2008 «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии». Также определялось содержание водорастворимых форм водной вытяжки проб донных отложений, приготовленной в соответствии с ГОСТ 26423-85 «Разложение проб для определения подвижных форм элементов производилось» по вышеуказанной методике. Все исследования проб донных отложений производились с помощью метода спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE 9000.

Общую загрязненность почвы характеризует валовое количество тяжелого металла. Доступность же элементов для растений определяется их подвижными формами. Поэтому содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку и определяющий необходимость проведения мелиоративных детоксикационных мероприятий. В этой связи, производился анализ на валовое содержание элементов и водорастворимых форм в пробах почв. Разложение проб для определения валового содержания элементов также производилось по методике МВИ-80-2008 «Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии». Определение содержания водорастворимых форм производилось в водной вытяжке, приготовленной в соответствии с ГОСТ 29269-91 «Почвы. Общие требования к проведению анализов». Для получения более точных результатов проводится анализ параллельных проб воды, донных отложений и почв на протяжении всего исследования.

При исследовании проб поверхностных вод, донных отложений и почв была выявлена геохимическая аномалия, характеризующаяся многократными превышениями предельно допустимых концентраций по ряду элементов на значительной территории. В пробах поверхностных вод этими элементами являются: железо (превышение фона до 31 раза), марганец (26.8), барий (4.3), цинк (4.1), магний (1.8), кадмий (1.7). В пробах донных отложений наблюдается значительно превышение предельно допустимых концентраций по кадмию (превышение фона до 4 раз), цинку (до 2.1), марганцу (до 2.2) и никелю (до 4.6). В пробах почв также имеются превышения предельно допустимых концентраций по цинку (превышение фона до 1.7 раза), мышьяку (10), кадмию (1.7), свинцу (19.5), меди (4.8) и никелю (5.5). Воздушный бассейн в зоне воздействия Коркинского угольного разреза также сильно загрязнен. По результатам анализа качества атмосферного воздуха можно наблюдать многократное превышение среднесуточных предельно допустимых концентраций по взвешенным веществам (превышение фона до 3.3 раза), оксиду углерода (6.5), сероводороду (3.5), а также диоксидам серы (4.2) и азота (2.2). Исследованиями выявлено, что население города Коркино и поселка Роза живет в неблагоприятных экологических условиях, поэтому необходимо организовать систему мониторинга атмосферного воздуха и разработать инженерно-экологические мероприятия по улучшению качества окружающей среды.

Таким образом, по результатам всех вышеперечисленных исследований можно утверждать, что данная территория является местом экологической катастрофы. В этой связи, для снижения техногенного воздействия на окружающую среду необходимо разработать проект рекультивации Коркинского угольного разреза.

#### Литература

1. Королева В.Н., Экологические проблемы разработки угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001, №10. С. 24-28.
2. Насоловец Н.Б., Защита атмосферы от пылегазовых загрязнений на карьерах и угольных разрезах. Чита. 2009. С. 127-129.
3. Алексеенко В.А. Эколо-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка. М.; Логос. 2006. 520 с.
4. Пашкевич М.А., Смирнов Ю.Д., Петрова Т.А. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха горнопромышленной агломерации // Записки Горного института. 2013. Т.204. С. 272-275.
5. Пашкевич М.А., Смирнов Ю.Д., Данилов А.С. Оценка качества окружающей среды с применением малогабаритных беспилотных летательных аппаратов // Записки Горного института. 2013. Т.204. С. 269-271.
6. Holliday A.E., Beauchemin D. Spatial profiling of ion distributions in a nitrogen-argon plasma in inductively coupled plasma mass spectrometry // JAAS: Journal of Analytical Atomic Spectrometry. T.18. V.4. P. 289-295.
7. Maestre S., de Loos-Vollebregt M.T.C. Plasma behavior during electrothermal vaporization sample introduction in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry // Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 2001. T.56. V.7. P. 1209-1217.

## ОЦЕНКА И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ ООО «ПГ «ФОСФОРИТ» НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

В результате деятельности предприятия как производителя фосфорных удобрений и кормовых обесфторенных фосфатов образуются многотоннажные отходы, представленные фосфогипсом, складируемым в отвал. В связи с качественным составом апатитовых руд, а также технологией производства фосфорной кислоты, фосфогипс включает такие примеси, как фосфаты, сульфаты, фтористые соединения, хлориды, соединения РЗМ, которые при растворении способны проникать в грунтовую толщу территории размещения отвала, загрязняя почвенно-растительный слой и грунтовые воды [3]. Целью работы является снижение негативного воздействия отвала фосфогипса на окружающую среду. Один из, наиболее реализуемых, способов утилизации фосфогипса – использование в сельском хозяйстве в качестве минеральной добавки, в частности при комбинировании с органической составляющей – навозом, осадками бытовых сточных вод, опилками мебельных производств, в соотношении 1:1-1:20 [1]. Предлагаемый, ранее не рассматриваемый, вариант комбинирования фосфогипса с органической составляющей подразумевает включение шлама лигнина. Задачами исследования является доказательство отсутствия токсичности компонентов органоминеральной смеси, определение количественного содержания питательных элементов в них, а также выделение наиболее оптимального соотношения компонентов в почвомеси путем проведения экспериментального исследования. Проведение вышеупомянутых операций было осуществлено в научно-образовательном центре **коллективного пользования** высокотехнологичным оборудованием «Центр коллективного пользования» (Горный университет).

В первую очередь была осуществлена предварительная подготовка фосфогипса, шлама лигнина и типовой почвы Северо-Западного региона, отобранный в г. Сланцы. Почва была подвергнута квартованию с выделением аналитической пробы массой 300 г для дальнейшего высушивания образца до воздушно-сухого состояния, растирания в ступке пестиком и просеивания через сито с диаметром отверстий 1 мм. Подготовка пробы шлама лигнина для последующего физико-химического анализа осуществлялась посредством ее измельчения в лабораторной мельнице IKA MF 10 до получения пылеобразной массы. Фосфогипс был подвергнут растиранию в ступке во избежание присутствия агломерированных частиц, нежелательных для дальнейшего анализа.

После предварительной подготовки образцов был определен ряд основных физико-химических характеристик – pH, влажность, плотность, доля органической и минеральной составляющих. Определение pH солевой вытяжки почвы и водных вытяжек фосфогипса и шлама лигнина осуществлялось с применением pH-метра InoLab pH 740 WTW, определение влажности образцов производилось с использованием влагомера MX-50, в качестве метода вычисления плотности использовался метод режущего кольца, определение доли органической и минеральной составляющих осуществлялось по гравиметрическому методу определения массовой доли влаги при озолении почвы и шлама лигнина в муфельной печи. В ходе проведения вышеперечисленных анализов были получены результаты: pH почвы составил 7,32, фосфогипса – 5,45 и шлама лигнина – 5,89; влажность почвы в естественно влажном состоянии составила 20,38%, фосфогипса – 13,52%, шлама лигнина – 73%; значение плотности почвы – 1400 кг/м<sup>3</sup>, фосфогипса – 1000 кг/м<sup>3</sup>, шлама лигнина – 426 кг/м<sup>3</sup>; доля органической составляющей в почве и шламе лигнина представлена 93 % и 4 %, соответственно.

В зависимости от формы элемента, нормируемого в почве, был произведен анализ содержания тяжелых металлов в образцах в валовой или подвижной формах. Количественный анализ содержания валовых форм металлов в кислотных вытяжках и подвижных форм металлов в ацетатно-аммонийных вытяжках из анализируемых почвы и фосфогипса в воздушно-сухом состоянии (шлама лигнина – озеленном) осуществлялся с использованием ICPE-9000. По результатам анализа на содержание тяжелых металлов в почве, фосфогипсе, шламе лигнина было выявлено содержание компонентов в пределах установленных нормативов.

Определение наличия основных питательных элементов – подвижные кислоторастворимые ортофосфаты в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, подвижный водорастворимый калий в пересчете на K<sub>2</sub>O, общий азот – в пробах почвы, фосфогипса и шлама лигнина осуществлялось с использованием спектрофотометра DR-5000 с предварительной подготовкой проб кислотных вытяжек анализируемых образцов; атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) для определения содержания ионов калия в водных вытяжках образцов; анализатора углерода, водорода и азота LECO CHN628 для определения доли общего азота в анализируемых компонентах почвомеси.

На основе полученных данных, по степени обеспеченности почвы питательными компонентами, анализируемую почву можно отнести к VI классу – почва с очень высокой обеспеченностью питательными элементами. Содержания подвижных форм калия и фосфора в фосфогипсе принимают повышенные значения по отношению к среднему содержанию подвижных форм калия – в 7,5 раз – и фосфора – в 1,5 раза

– в почве дерново-подзолистого типа. В отношении фосфогипса наблюдаются пониженные значения содержания азота по сравнению с показателем валового содержания в почве. С другой стороны, в шламе лигнина наблюдается значение содержания азота, приближющееся к валовому содержанию азота в почве. Содержание подвижных форм калия в шламе лигнина превышает среднее содержание подвижного калия в почве в 2,5 раза, показатель содержания фосфора в шламе лигнина находится в пределах нормы. Кроме того, в результате проведенного атомно-эмиссионного анализа также было выявлено высокое содержание водорастворимых форм кальция и стабильного водорастворимого стронция в водной вытяжке фосфогипса, превышающее в 15 раз средний показатель содержания стронция в почве.

В связи с тем, что выявленное содержание питательных элементов в компонентах почвосмеси не достигает уровня, при котором органоминеральная смесь может считаться удобрением, предлагаемая органоминеральная составляющая почвосмеси позиционируется как добавка разового внесения протонгированного действия.

Для моделирования процесса произрастания растительных организмов на трехкомпонентной почвосмеси было выбрано соотношение почвы и органоминеральной смеси 50/50 при соотношении шлама лигнина и фосфогипса 0/100, 25/75, 50/50, 75/25, 100/0. Для сравнения моделируемых процессов произрастания с условиями, схожими с природными, выбрана модель с соотношением почвы и органоминеральной смеси 100/0 (контроль). В качестве растительных организмов для их произрастания на почвосмесях были выбраны злаковые травы, широко распространенные в зоне смешанных лесов Северо-Западного региона РФ на дерново-подзолистых и подзолистых почвах. Регулирование ежедневного светового режима растений с 9:00 до 17:00 обеспечивалось благодаря установке люминесцентных ламп. Продолжительность эксперимента составила 7 недель после прорастания семян, в связи с наблюдением окончания всхожденияного периода и увядания растений, произраставших в ящике № 6 (контроль).

По окончании эксперимента выявлено: наибольшее значение биомассы растений относится к ящику № 2 (75<sub>фосфогипса</sub>:25<sub>шлама лигнина</sub>), наименьшее значение – к ящику № 6 (контроль); наибольшую скорость роста имеют растения, произраставшие в ящике № 3 (50<sub>фосфогипса</sub>:50<sub>шлама лигнина</sub>), наименьшую – в ящике № 1 (0<sub>фосфогипса</sub>:100<sub>шлама лигнина</sub>).

С целью убеждения в отсутствии превышений содержания тяжелых металлов и водорастворимого стронция в растениях – основного загрязняющего компонента фосфогипса, растительные образцы были переведены в озоленную форму посредством сжигания их в муфельной печи, после чего были сделаны водные вытяжки образцов, далее проанализированные с применением атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES). Результаты анализа выявили степень поглощения тяжелых металлов и стронция растениями во всех ящиках в пределах их среднего содержания в растительных организмах – 0,001-0,15%.

По полученным результатам можно сделать вывод об улучшении условий произрастания растений при добавлении в почву фосфогипса и шлама лигнина в соотношении 75<sub>фосфогипса</sub>:25<sub>шлама лигнина</sub>=50<sub>фосфогипса</sub>:50<sub>шлама лигнина</sub>. В случае включения шлама лигнина в большем количестве возможно удерживание шламом водного раствора с питательными компонентами и развитие неблагоприятных микробиологических процессов, что пагубным образом сказывается на росте растительных организмов [4]. За счет повышенного содержания общего кальция в почвосмеси наблюдается замещение поглощающего водорастворимого стронция на одновалентные ионы кальция с уменьшением степени поглощения растениями токсичных РЗМ [2,5]. Результатом проведенных анализов является создание органоминеральной добавки с включением фосфогипса и шлама лигнина и ее внесение в почвы дерново-подзолистого типа в выявленном долевом соотношении, что позволит единовременно сократить широко распространенные многотоннажные отходы производств фосфорных удобрений и целлюлозно-бумажных комбинатов, в частности Северо-Западного региона.

### Литература

1. Калиниченко, В.П. Эффективное использование фосфогипса в земледелии// Журнал «Питание растений». – 2017. – №1. – с. 2-33;
2. Петренко Д.В. Содержание стронция в окружающих Белореченский химзавод, ландшафтах/Д.В. Петренко//Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2014. – Т. 10. – № 2. – 63-75;
3. Фосфогипс: хранение и направления использования как крупнотоннажного вторичного сырья: материалы Второй Международной научно-практической конференции, 18 мая 2010 года/ [сост.: В.И. Суходолова]. – М.: НИУИФ, 2010. – 191 с.;
4. Муравьев Е.И. Свойства фосфогипса и возможность его использования в сельском хозяйстве/Е.И. Муравьев, И. С. Белюченко//Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т.4. – № 2. – 5-18;
5. Вавилова Е.В. Стронций в мелиорируемых фосфогипсом почвах солонцовых комплексов и его поступление в растения: автореферат дис. кандидата сельскохозяйственных наук/Е.В. Вавилова. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1997. – 26 с.

М. А. СОЛОВЬЕВ, А. А. МИХАЙЛЮК, В. Ю. ПЕТРОВА  
Санкт-Петербургский горный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БЛИЗИ ПОЛИГОНА ТКО «НОВОСЕЛКИ»

**Введение.** Серьезной экологической проблемой современных крупных мегаполисов является загрязнение и нарушение поверхностной и приповерхностной части литосферы. В результате человеческой деятельности возникает негативное геохимическое воздействие, распространяющееся повсеместно и перманентно. В конечном итоге это приводит к появлению на территории мегаполисов техногенных почв и грунтов. Значительной частью этой проблемы являются полигоны ТКО. Техногенные массивы представляют собой сложный набор химических элементов, которые при определенном соотношении природных и антропогенных факторов способны мигрировать в поверхностные и подземные воды [1]. Их размещение вблизи потенциальных рекреационных мест, а также слабо контролируемый и хаотичный рост крупнейших городов вызывают серьезный риск здоровью и благополучию проживающему на данной территории населению. Для оценки, контроля и управления негативными процессами необходимо изучение миграции геохимической нагрузки в экологические системы. Осуществление таких работ возможно с помощью системы экологического мониторинга. Разработка моделей миграции техногенных и природных потоков вещества в пределах таких систем является крайне перспективным и единственно возможным методом решения проблем обоснования состояния экосистем, находящихся «ниже по течению» [2]. Изменение химического состава подземных вод обуславливается привнесением химических элементов извне и нарушением естественных геохимических условий в результате деятельности человека. В работе изучена территория вблизи полигона ТКО «Новоселки».

**Объект исследования.** Полигон ТКО ПТО-3 "Новоселки", введенный в эксплуатацию в 1972 г., расположен на территории Парголовского парк-клуба Выборгского района Петербурга и занимает площадь 83,49 га. Более половины всего городского мусора из Санкт-Петербурга свозилось именно на этот полигон и в итоге накопилось более 40 млн.т. Средняя высота террикона из бытового мусора составляет высоту 5-7 этажного здания. Помимо этого, вблизи полигона располагаются газораспределительная станция, газопровод высокого давления, склад горюче-смазочных материалов, Севернос кладбище. В результате происходит деградация природной среды, заметно ухудшается самочувствие жителей п. Новоселки (фактическое расстояние от полигона до поселка составляет 2,5 км. и граница его санитарно-защитной зоны проходит по неизстроенной территории). В непосредственной близости от полигона «Новоселки» находится полигон складирования осадка сточных вод «Северный».

На прилегающих к телам полигонов «Новоселки» и «Северный» исследуемых территориях выделяются два типа поверхностных водотоков: естественные водотоки (р. Черная и ее правый приток с впадающими в него более мелкими ручьями) и дренажные канавы, относящиеся как к системе водоотведения свалок, так и к системе осушения заболоченных участков.

Немаловажным фактором является то, что поверхностные воды в результате загрязнения сами становятся источником миграции и распространения данного загрязнения. Следствием процесса метаморфизма свалочных масс является повышение их влажности и дальнейшее выщелачивание токсикантов. Однако, эти токсиканты не будут перемещаться во внс. пока в свалочные массы не поступит влага, то есть пороговая влага не будет контактировать с фильтрующимися атмосферными осадками, плоскостным смытом или с горизонтом грунтовых вод. В случае таких контактов поступление токсикантов в поверхностные и грунтовые воды неизбежно, однако их количества сильно зависят от фильтрационных свойств пород, времени контактирования. Таким образом, основные требования защиты вод – не допускать взаимодействия свалочных масс с грунтовыми и поверхностными водами [3].

В данный момент полигон «Новоселки» находится на этапе рекультивации [4].

При расширении площади свалки в середине 2000-х годов природоохранные инженерно-технические работы в западной части были выполнены частично: в северо-западном секторе отсутствует глиняный вал и второе кольцо обводных каналов. Таким образом, сточные воды и свалочный фильтрат находятся в непосредственном контакте с болотными водами окружающей территории. Кроме того, от внутренних дренажных каналов свалки отведены две каналы, сток по которым направлен в р. Черную.

Таким образом, теряется смысл всей водоотводной системы полигона и становится неизбежным загрязнение естественных поверхностных водотоков далеко за пределы полигона.

**Отбор проб.** Для первичной оценки состояния окружающей среды, были выбраны три группы потенциальных источников загрязнения: придорожные канавы около Горского шоссе и проселочной дороги к полигону «Новоселки» (пробы №1, 2, 11), вода в водных объектах между Горским шоссе и прилегающей территорией полигона (пробы №3, 4), вода обводной канавы полигона (№5, 8), вода пожарной канавы (№9) и вода сточной канавы полигона (пробы №6, 7 и 10).



Рисунок 1. Места отбора проб

#### Измерение pH

Предварительно проведено измерение кислотности проб методом потенциометрии. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения pH в пробах

Проба, №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH	7,4	9,6	6,3	6,6	7,2	8,0	8,1	7,6	7,2	8,0	6,8

**Полуколичественный анализ.** Для общей оценки состава имеющихся проб воды проведен полуколичественный анализ на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE-9000. Цель проведения полуколичественного анализа – определение наличия тех или иных химических элементов в пробах для их дальнейшего количественного анализа.

По результатам полуколичественного анализа выявлено присутствие в воде с возможным превышением ПДК железа, кадмия, алюминия, меди, марганца, натрия, никеля, свинца и цинка.

Для данных элементов проведен количественный анализ.

**Количественный анализ.** Исходя из результатов качественного анализа, на ICPE-9000 проведен количественный анализ проб.

Результаты количественного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2. Содержание элементов в пробах (мкг/л)

Элемент/ № пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	ПДК
Al	787	44	1370	154	322	576	617	256	377	730	429	200
Cd	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	1
Cu	<10	14	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	<10	<10	1000
Fe	646	1310	1890	75	1150	3520	5780	1070	1110	4320	1090	300
Mn	105	<100	208	57	282	1140	1280	97	339	1630	161	100
Na	58600	203000	12900	8970	32500	530000	761000	26000	76600	322000	10200	200000
Ni	<10	<10	<10	<10	<10	20	55	<10	<10	<10	<10	20
Pb	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	10
Zn	215	32	17	9	11	1080	128	19	104	3240	417	1000

Количественный анализ показал:

- превышение ПДК Al в пробах №1, 3 и 5-11;
- превышение ПДК Fe в пробах №1-3 и 5-11;
- превышение ПДК Mn в пробах №5-7 и 9-11;
- превышение ПДК Na в пробах №2, 6, 7 и 10;
- превышение ПДК Ni в пробах № 6 и 7;
- превышение ПДК Zn в пробах №6 и 10 [5].

Чувствительность ICPE-9000 не позволяет провести измерение на уровне ПДК Cd и Pb.

**Рентгенофлуоресцентный анализ.** По окончании отстаивания и фильтрации в пробах №2, 6, 7 и 9 получен осадок. Проведен его рентгенофлуоресцентный анализ (РФА). Экстраполировать результаты непосредственно на состав воды нецелесообразно, однако для дальнейших исследований они представляют определенную пользу.

Результаты РФА показали, что основной состав осадков проб №6 и 7 составляют оксиды кремния (до 60%), железа (III) (14%) и алюминия (12%). В осадке пробы №2 доля оксида железа заметно меньше (5%), но заметно больше оксида кальция (14.8%). В пробе №9 преобладают оксиды кремния (38.5 %) и железа (III) (32 %).

**Заключение.** В результате исследования выявлено многократное превышение ПДК отдельных элементов в отобранных пробах воды близи территории полигона ТКО «Новоселки». Наиболее серьезные превышения допустимой концентрации сразу по нескольким элементам наблюдаются в дренажной канаве, непосредственно прилегающей к полигону. Наличие столь серьезных загрязнений означает высокую вероятность содержания исследуемых элементов в р. Черной выше ПДК. В дальнейшем необходимо произвести отбор и анализ проб воды ниже по течению для оценки состояния экосистем в черте города Санкт-Петербурга.

#### Литература

1. Данилов А.С., Матвеева В.А., Пашкевич М.А. Оценка техногенных массивов как источников экологической опасности.– Мир русского слова. 2017, № 2. с. 115-120.
2. Дубров С. В. Геологическое зонирование территорий антропогенно-модифицированных полигонами бытовых и промышленных отходов: диссертация кандидата географических наук. СПбГУ. СПб. 2018.
3. Подлипский И. И. Эколого-геологическая характеристика полигонов бытовых отходов и разработка рекомендаций по рациональному природопользованию: диссертация кандидата геолого-минералогических наук. СПбГУ. СПб. 2010.
4. Нагорнов Д.О., Кремчесев Э.А. Проведение рекультивационных работ на нарушенных землях. Учебное пособие. СПб. 2017, с. 178
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. - М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003.

**М.В. СУЧКОВА, А.С. ЗАМАНОВА, О.О. КУЗЬМИЦКАЯ**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## ПРОВЕДЕНИЕ СНЕГОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕТРОГРАДСКОГО РАЙОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА

Эколого-геохимические исследования представляют собой планомерные исследования окружающей среды в связи с ее изменениями в процессе техногенеза и заключаются в оценке состояния всех компонентов природной среды на территориях различных назначений – почвы, подземных и поверхностных вод, воздуха, растительности и т.д. В рамках геохимических исследований могут быть решены такие экологические задачи, как оценка загрязнения компонентов окружающей среды и выявление источников загрязнения; районирование территорий по уровню загрязнения и степени экологической опасности; экологический мониторинг с прогнозом развития негативных и опасных процессов; разработка рекомендаций по реабилитации неблагополучных территорий и нарушенных земель и т.д. На локальном уровне интенсивность воздействия техногенных источников определяется массой поллютантов, поступающих на данную территорию (техногенной нагрузкой). Техногенные геохимические преобразования атмосферы и загрязнение воздуха в городах – один из наиболее актуальных вопросов для этих территорий. Выбросы в атмосферный воздух сейчас являются наиболее опасным способом поставки поллютантов в окружающую среду, поскольку характеризуются прямым воздействием на биосферу [1].

Степень загрязнения воздуха в пределах городов от антропогенного воздействия прямыми замерами установить несложно; косвенным показателем состояния загрязнения атмосферы могут служить данные о химическом составе проб атмосферных осадков и снежного покрова. Поскольку снеговой покров уменьшает естественное пылевыделение с территорий, зимой пылевые частицы в атмосфере имеет преимущественно техногенное происхождение. Таким образом, химический состав снежного покрова отражает его техногенное загрязнение, а также техногенное загрязнение атмосферы. Кроме того, снеговой покров является в свою очередь источником вторичного поступления поллютантов в поверхностные и подземные воды, почву и обратно в атмосферу [5]. На большей части территории России данные о содержании веществ в снежном покрове являются единственными материалами для оценки регионального загрязнения атмосферы и выявления ареала распространения загрязняющих веществ от промышленных центров и городов. Все это обуславливает актуальность настоящего исследования, цель которого – оценка экологического состояния урбанизированной территории по результатам снеговой съемки (на примере Петроградского района Санкт-Петербурга) с использованием современных методов анализа. Работа выполнена при поддержке Научно-образовательного центра коллективного пользования

высокотехнологичным оборудованием «Центр коллективного пользования» Санкт-Петербургского горного университета.

Пробоотбор производился согласно ГОСТ 17.1.5.05-85. Этапы пробоотбора: рскогносцировочные выезды, разбитие территории на пробные площадки, отбор проб (методом конверта). Опробование снегового покрова произведено 19.02.2019 на территории Петроградского района в зоне, ограниченной островами Аптекарский и Петроградский. Пункты экспедиционной снегогеохимической сети расположены по сети, близкой к прямоугольной, размером около 1x1 км. Количество точек пробоотбора на участке – 11 (глубина 15-20 см), масса пробы 0,5-1,5 кг. Выемка снега осуществлялась вручную, пробы упаковывались в полизтиленовые бутыли объемом 1,75-2 л. После пробы были внесены в теплое помещение и оставлены для оттаивания и отстаивания в течение 2 дней, после чего были произведены дальнейшие этапы пробоподготовки – удаление крупных посторонних включений, фильтрация и высушивание осадка на фильтрах с последующим взвешиванием. Для анализа подготовлена фильтрованная снеготалая вода и пробы твердого осадка [3].

С учетом РД 52.04.186-89 программа исследований предполагает определение следующих показателей: содержание взвешенных веществ (пылевая нагрузка); содержание водорастворимых сульфатов, нитратов, аммония, фосфатов, хлоридов и карбонатов; содержание тяжелых металлов [2]. Для количественного анализа проб на содержание анионов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) используются тест-комплекты «Крисмас+» (Россия). Микрокомпонентный состав снеговых проб определяется высокоточными методами.

Профильтированная снеготалая вода проанализирована на содержание следующих катионов:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{общее})$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  методом атомно-эмиссионной спектрометрии с использованием оптического эмиссионного спектрометра параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 (Япония). Атомно-эмиссионная спектрометрия – способ определения элементного состава вещества по оптическим линейчатым спектрам излучения атомов и ионов анализируемой пробы, возбуждаемым в источниках света. В качестве источников света для атомно-эмиссионного анализа в данном случае используется индуктивно-связанная плазма. Методика измерений соответствует ГОСТ 31870-2012. Для ориентировочной оценки содержания металлов в снеготалой воде полученные значения сравниваются с требованиями к воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (согласно СанНиИ 2.1.5.980-00 и ГН 2.1.5.1315-03), поскольку при естественном снеготаянии талые воды с загрязняющими веществами будут попадать в поверхностные водные объекты в черте Санкт-Петербурга.

Микрокомпонентный состав твердого осадка определяется рентгенофлуоресцентным методом. Это физический метод анализа элементного состава объектов, позволяющий анализировать элементы от Са до У. Особенность метода – возможность одновременного качественного и количественного анализа содержания элементов в пробах. Метод основан на анализе характеристического спектра вторичного флуоресцентного излучения пробы, которое возникает под действием жесткого рентген-излучения. Спектральный состав вторичного излучения отображает элементный состав пробы, потому как атомы химических элементов имеют свои характеристические линии, наличие которых отражает качественный состав, а интенсивность излучения – количественный. Предварительный полукачественный анализ произведен посредством портативного анализатора металлов Nitop XLI 898. Преимущества прибора: многокомпонентный (33 элемента) анализ, скорость (менее 100 секунд), простота пробоподготовки. Недостатки – высокая погрешность, ограниченное число элементов. Для проведения количественного анализа использовался последовательный волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр LabCenterXRF-1800 (фирма Shimadzu, Япония). Аппарат предназначен для качественного и количественного анализа твердых и жидких образцов в диапазоне от кислорода О до урана U за 2,5 минуты, качественного и количественного анализа, а также определения толщины и элементного состава плёнок органической природы. Подготовленные анализируемые пробы помещают в камеру для облучения рентгенофлуоресцентного спектрометра, не допуская его загрязнения, в т.ч. следует избегать прикосновений к поверхности пробы. Пробы облучают и регистрируют спектр интенсивностей характеристической флуоресценции определяемых элементов, который обрабатывают с использованием программного обеспечения по предварительно установленным градуировочным зависимостям и устанавливают содержания оксидов макроэлементов, выраженные в массовых процентах, и содержания микроэлементов, выраженные в мг/кг образца [4].

Содержание взвешенных веществ в снеготалой воде по результатам измерений составило 0,014-3,56 мг/дм<sup>3</sup>. По результатам РФА в 11 пробах было определено в сумме 18 элементов, при этом 10 из них характерны для всех образцов (оксиды Si, Fe(III), Ca, Al, K, S, Ti, Mg, Na, P), а некоторые встречаются лишь в отдельных пробах ( $\text{Rb}_2\text{O}$ ). По результатам количественного анализа снеготалой воды на анионы установлено превышение содержания ионов аммония в двух пробах в размере 1,73 ПДК<sub>кб</sub> и 3,33 ПДК<sub>кб</sub>; в остальном содержание анионов в талой воде в пределах нормативных значений, также, как и содержание тяжелых металлов. Обычно в пределах урбанизированных территорий техногенные геохимические аномалии, выявленные при помощи снеговой съемки, обладают четкой пространственной дифференциацией, обусловленной расположением промышленных предприятий, автодорог и т.д. Но также следует учитывать, что загрязнение снегового покрова также может быть связано с грунтом, чем с осадками.

поскольку частые оттаивания в зимний период, дорожные работы и др. способствуют перемещению частиц грунта и накоплению его в отдельных зонах.

В ходе научно-исследовательской работы применен комплекс методов анализа, включающий рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-эмиссионную спектрометрию, химический анализ проб. Сочетание методов исследования может быть использовано для экологической оценки степени загрязнения территорий по состоянию сугревого покрова не только в условиях городской среды, но и на других территориях, подверженных техногенному воздействию. В целом, организация исследований с лабораторно-аналитическим и технологическим их обеспечением на базе Научно-образовательного центра коллективного пользования высокотехнологичным оборудованием «Центр коллективного пользования» Санкт-Петербургского горного университета позволяет активно сотрудничать с крупнейшими предприятиями минерально-сырьевого комплекса.

#### Литература

1 Исаков А.Е., Кремчев Э.А. Экология городской среды: учебное пособие / А.Е. Исаков, Э.А. Кремчев. – СПб: НМСУ «Горный», 2012.

2 Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф. Экологический мониторинг: учебное пособие / М.А. Пашкевич, В.Ф. Шуйский. – СПб: СПбГГИ, 2002.

3 Петров Д.С., Богатырёва Е.А. Оценка воздействия тихвинского ферросплавного завода на состояние атмосферного воздуха по результатам геохимической сугревой съемки // Д.С. Петров, Е.А. Богатырёва / Инновационная наука. – №5, –2015.

4 Соболев В.И. Качественный рентгенофлуоресцентный анализ: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Физико-химические методы анализа» для студентов IV курса, обучающихся по направлению 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики» / В.И. Соболев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.

5 Янин Е.П. Техногенез и окружающая среда: эколого-геохимические аспекты // Е.П. Янин / Геоэкологические исследования состояния окружающей среды. – М: ИМГРЭ, 2017.

**П.А. ХАРЬКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕДИ, ЦИНКА, ЖЕЛЕЗА, АЛЮМИНИЯ И МАРГАНЦА

**Введение.** Среди комплекса проблем, связанных с загрязнением водотоков, одной из важнейших является проблема загрязнения донных отложений металлами, которые, по оценке многих специалистов, являются самыми опасными загрязнителями. Данная проблема особенно остро стоит в регионах с развитой горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленностью.[1] В одном из таких регионов расположена река Карагайлы, на состав которой влияют производственные объекты Сибайского филиала АО «Учалинский ГОК». Мероприятие по снижению негативной нагрузки на реку включает в себя этап обезвоживания донных отложений с помощью геосинтетических контейнеров. На данном этапе твердая часть пульпы, включая взвешенные вещества, задерживается, а вода, загрязненная металлами, проходит через материал. Перед сбросом воды в водоток или канализацию необходимо очистить воду от металлов. Анализ существующих методов очистки показал, что наиболее эффективным и рентабельным является способ очистки воды с помощью ионообменной смолы. [2-11] В данной статье рассмотрен анализ состава донных отложений, а также возможность применения катионита марки КУ-2-8 Н (1 сорт) ГОСТ 20298-74 для очистки воды от металлов.

**Проведение мониторинговых исследований.** Мониторинговые исследования проводились в летний период 2017 года. Были изучены сведения о деятельности предприятия, характеристика его как источника загрязнения поверхностных вод. Так же были изучены исследования многих авторов на тему состава воды и донных отложений реки Карагайлы, характера изменения состава.

В ходе мониторинговых исследований были отобраны 6 проб донных отложений реки Карагайлы и 1 проба донных отложений озера Колтубан (фоновая проба). Отбор проб донных отложений производился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1)».

Первая стадия пробоподготовки (высушивание) донных отложений проводилась в лаборатории предприятия при комнатной температуре. Дальнейшая работа с пробами донных отложений (удаление иностранных частиц, измельчение, просеивание и определение влажности) проводилась автором в лаборатории Экологического мониторинга Санкт-Петербургского горного университета.

Были определены следующие формы элементов: водорастворимая и подвижная формы (разложение проб с использованием дистиллированной воды, реактивов, лабораторной посуды и весов, фильтров); валовое содержание (разложение проб с использованием микроволновой печи Multiwave 3000).

Определение содержания металлов в водных вытяжках производилась на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000.

Анализ данных отложений р. Карагайлы показал, что они представляют собой источник вторичного загрязнения природных вод. Ввиду того, что в пробах наиболее опасных участков процентное содержание водорастворимых и подвижных форм металлов достигает примерно 22 и 35% (Cu), 12 и 16% (Mn), 86 и 92% (Zn) соответственно (таблица 1).

Таблица 1. Доли водорастворимых и подвижных форм металлов наиболее загрязненного участка реки

Металлы	Валовое, мг/кг	Доля водорастворимых форм, %	Доля подвижных форм, %
Al	73328,1	1.50	4,49
Cu	8847,5	22,45	35,05
Fe	238256,2	0,03	1,68
Mn	742,9	12,96	15,17
Zn	2981,2	86,49	91,5

#### Оценка возможности применения катионита марки КУ-2-8 Н (1 сорт) ГОСТ 20298-74 для очистки воды от металлов

Для проведения лабораторного эксперимента по очистке воды от металлов из реагентов методом растворения готовится модельный раствор с заданными концентрациями ионов металлов: Zn=429мг/л, Cu=330,5мг/л, Al=183мг/л, Mn=18,75мг/л, Fe=10,09мг/л. (общий объем модельного раствора – 1 литр). Концентрации ионов металлов модельного раствора выбраны исходя из данных мониторинговых исследований и соответствуют максимальным концентрациям водорастворимых форм ионов металлов, содержащихся в данных отложениях наиболее загрязненного участка реки.

Лабораторная установка включает следующие составляющие: колба для модельного раствора, которая фиксируется кольцом с зажимами на штатив, капельница, сорбционная колонка, которая так же фиксируется с помощью зажимов на штативе, стакан для сбора фильтрата.

Эксперимент проводился в динамических условиях. Для этого модельный раствор непрерывно пропускался через слой загрузки. В качестве загрузки колонны был выбран сильнокислотный катионит КУ-2-8 В/С ГОСТ 20298-74 Н-формы, так как данный катионит неприхотлив в обслуживании, экономичен, что обеспечило ему распространение в металлургии, энергетике и других производствах с большим оборотом загрязненных вод. Н-катионирование применяют для обессоливания воды (удаления всех катионов). [11,12]

Пробы очищенной воды отбирались для анализа каждые 10 минут для фиксации «проскока». Оценка остаточной концентрации металлов в фильтрате производилась на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000. Калибровка прибора проводилась по растворам ионов металлов (Государственные стандартные образцы) методом градуировочной кривой.

В результате анализа были получены следующие концентрации металлов в очищенной воде (таблица 2).

Таблица 2. Результаты анализа очищающей способности катионита

	Наименование элемента				
	Al	Fe	Cu	Zn	Mn
	Содержание элемента (мг/л)				
До очистки	183,5	10,085	330,5	429	18,75
1 (10мин)	5,82	4,56	1,38	3,98	8,52
2 (20мин)	4,16	3,37	0,719	2,57	6,27
3 (30 мин)	3,07	1,62	0,60	1,38	3,01
4(40 мин)	0,413	1,54	0,022	0,07	0,08
5 (50 мин)	3,07	2,35	0,901	1,88	0,18
6 (60 мин)	8,19	2,7	2,79	5,90	1,23
Фоновые значения	2,1	1,3	0,057	0,08	0,059

Из таблицы видно, что после 40 минут отмечается наилучшая степень очистки. Однако на 50 минуте отмечается резкое увеличение концентрации металлов, что свидетельствует о «проскоке» из-за недостаточного количества ионообменной смолы для модельного раствора.

**Заключение.** С помощью новейших методов и средств измерения были получены результаты исследования данных отложений на содержание водорастворимых, подвижных форм и валового содержания металлов. Анализ очищающей способности катионита показал, что данный катионит пригоден для очистки воды, образующейся на этапе обезвоживания данных отложений в геосинтетических контейнерах.

При разработке мероприятия и подбора фильтра с ионообменной смолой необходимо учесть и правильно соотнести исходные концентрации ионов металлов в растворе, динамическую объемную емкость катионита, а также общий объем воды, который необходимо очистить.

В дальнейшем планируется постановка эксперимента по двухступенчатой или многоступенчатой очистке вод после обезвоживания донных отложений с помощью геоконтейнеров. Предполагается, что данный способ позволит улучшить очистку вод, снизить объемы используемого катионита, в связи с чем уменьшаются габариты ионообменных фильтров и занимаемое ими пространство.

Научный руководитель: д.т.н., профессор Пашкевич М.А.

### Литература

1. Воронин А.В., Киселёва С.П., Рыков С.В. Экологические проблемы использования малых рек// Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. №3. С.74-76;
2. Зубарева Г. И., Гуринович А. В., Дёгтев М. И. Способы очистки сточных вод от катиона тяжелых металлов //Экология и промышленность России. – 2008. – № 1. – С. 18-20;
3. Пан Л.С., Комарова Е.А. Биохимический способ очистки сточных вод от тяжелых металлов с использованием сульфатвосстанавливающих бактерий//Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2012. - №14;
4. Колесников В. А., Меньшутина Н. В. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод. – ООО "Дели принт", 2005;
5. Харламова Т. А. и др. Перспективные электрохимические процессы в технологиях очистки сточных вод //Гальванотехника и обработка поверхности. – 2013. – Т. 21. – №. 1. – С. 54-61;
7. Мишурина О. А., Мултина Э. Р. Технология электрохимической очистки сточных вод //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – №. 4-1. – С. 29-31;
8. Халдеев Г.В., Кичигин В.И., Зубарева Г.И. Очистка и переработка сточных вод гальванического производства. Пермь: ПГТУ, 2005. Духин С.С., Сидорова М.П., Ярошук Н.Э. Электрохимия мембран и обратный осмос. Л.: Химия, 1991;
9. Паршина И. Н., Стряпков А. В. Сорбция ионов металлов органическими катионитами из карьерных растворов //Вестник Оренбургского государственного университета. – 2003. – №. 5;
10. Калюкова Е. Н., Письменко В. Т., Иванская Н. Н. Адсорбция катионов марганца и железа природными сорбентами //Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т. 10. – №. 2. – С. 194-200;
11. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. – 295 с.
12. Абзолов Р. Ф. и др. Контроль ионов токсичных металлов в сточных водах ионообменной смолой КУ-2-8 //Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – №. 2.

**А.В. СТРИЖЕНОК, Э.Р. АЛИАКБЕРОВА**  
*Санкт-Петербургский горный университет*

## ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Российская Федерация исторически является страной с крупнейшими запасами минеральных ресурсов, в результате чего горнодобывающая и горно-перерабатывающая отрасли промышленности являются одними из ключевых секторов российской экономики [2]. При этом все этапы добычи и переработки минерального сырья сопровождаются значительной техногенной нагрузкой на все компоненты природной среды, в результате чего на территории основных горнодобывающих регионов на протяжении длительного времени наблюдается неблагоприятная экологическая обстановка [1]. Так по данным Федеральной службы государственной статистики в 2018 году в РФ на территории 136 городов отмечается высокий уровень загрязнения воздуха ( $ИЗА > 7$ ), а на территории 30 городов – очень высокий ( $ИЗА > 14$ ) [3]. В этой связи высокую актуальность приобретает вопрос оперативного мониторинга за выбросами производственных объектов и своевременного реагирования на изменения метеорологических условий и параметров выбросов, приводящих к интенсификации загрязнения приземной атмосферы.

В настоящее время наибольшую актуальность приобретают автоматизированные системы производственного мониторинга атмосферного воздуха. Такие системы могут обеспечить непрерывный контроль содержания загрязняющих веществ в выбросах, сигнализировать о наблюдающихся превышениях предельно-допустимых концентраций в воздухе населенных мест, а также отличаются высокой надежностью и точностью проводимых измерений [6].

Система производственного экологического мониторинга атмосферного воздуха, в зависимости от выполняемых задач, может включать в себя:

- систематическую регистрацию и контроль показателей состояния окружающей среды в местах размещения потенциальных источников загрязнения и районах его возможного распространения;

- выявление экологических закономерностей природного и техногенного характера и прогноз возможных изменений состояния компонентов природной среды на основе выявленных закономерностей;
- разработку рекомендаций и предложений по снижению и предотвращению негативного воздействия производственных объектов на окружающую среду;
- контроль использования и эффективности принятых рекомендаций по снижению техногенной нагрузки на рассматриваемой территории [4].

Конструктивно автоматизированная система производственного экологического мониторинга атмосферного воздуха состоит из 4 блоков:

- информационно-измерительный блок;
- блок сбора, обработки и передачи исходных данных;
- блок математической обработки и визуализации результатов производственного экологического мониторинга;
- центральный пункт управления.

Информационно-измерительный блок представляет собой конструктивно монолитный блок, в котором расположены анализаторы содержания загрязняющих веществ (в соответствии со спецификой производства) в атмосфере и анализаторы метеорологических условий (скорость и направление ветра, влажность воздуха, атмосферное давление).

Блок сбора, обработки и передачи исходных данных представлен сервером для сбора информации со всех постов мониторинга и устройством передачи данных на центральный пункт управления (GSM модем, Wi-Fi передатчик).

Блок математической и статистической обработки представлен промышленным персональным компьютером с программным комплексом, который в автоматическом режиме обрабатывает, ранжирует и интерпретирует данные производственного экологического мониторинга, например, рассчитывает коэффициент контрастности или ИЗА, выполняет визуализацию экологической ситуации на картографической основе. Для автоматизации процесса обработки данных экологического мониторинга на компьютере может применяться, например, программа для расчета суммарного индекса загрязнения атмосферы на основании данных экологического мониторинга [5]. Программа осуществляет сбор разрозненной информации с сервера и производит обработку полученных данных, включающую расчет коэффициента контрастности, выбор заданного количества загрязняющих веществ с наибольшими коэффициентами контрастности и расчет индекса суммарного загрязнения, учитывая не только кратность превышения текущих концентраций относительно ПДК, но и класс опасности каждого загрязняющего вещества.

Центральный пункт управления – это контрольный пункт, где располагается оператор автоматизированной системы мониторинга. В центральном пункте выводится текущая информация о состоянии выбросов и приземной атмосферы. Кроме этого в центральном пункте управления располагается сервер базы данных, который осуществляет хранение полученной информации за весь период осуществления наблюдений. Данная база данных может в дальнейшем использоваться для составления краткосрочного и среднесрочного прогноза состояния приземной атмосферы в зависимости от метеорологических параметров и параметров выбросов производственного объекта [6].

Укрупненная схема автоматизированной системы производственного экологического мониторинга атмосферного воздуха представлена на Рисунке 1.

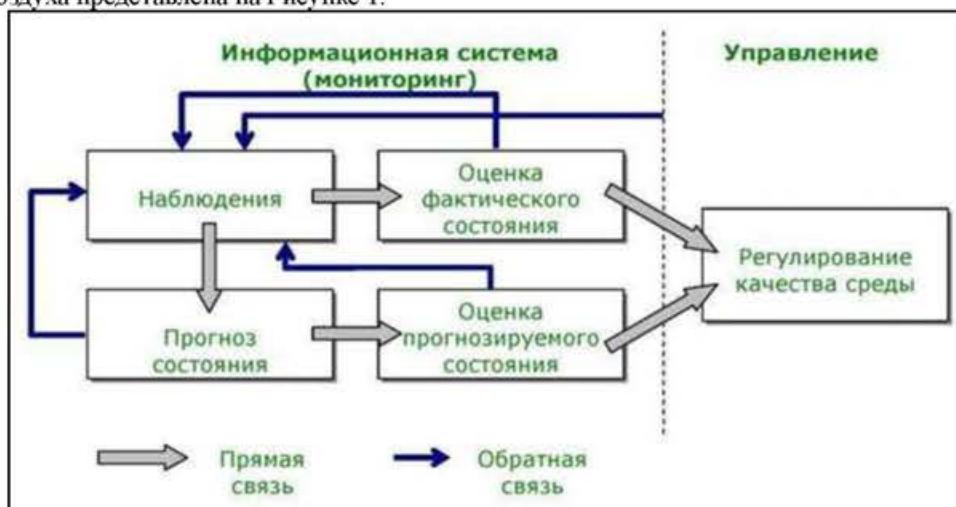


Рис. 1. Укрупненная схема автоматизированной системы производственного экологического мониторинга атмосферного воздуха

Таким образом, автоматизированная система производственного экологического мониторинга атмосферного воздуха обеспечивает получение на регулярной основе оперативной и достоверной информации о параметрах выбросов промышленного объекта и о состоянии приземного слоя атмосферного

воздуха. Это, в свою очередь, позволяет осуществлять своевременное реагирование на изменение экологической обстановки и, в случае выявления очага выброса ЗВ, провести оперативную ликвидацию источника загрязнения, тем самым осуществляя регулирование качества атмосферного воздуха.

#### Литература

1. Борецкий Е. А., Егорова М.С. Горнодобывающая промышленность в России. Молодой ученый. №11(91). – Казань: 2015. - С. 45-47.
2. Волков А.В., Сидоров А.А. О развитии минерально-сырьевого комплекса России. Вестник Российской академии наук, т.85, №4. – М: изд-во «Наука». 2016. – С. 351.
3. Охрана окружающей среды в России. Статистический сборник. – М.: Росстат. 2018. – 125 с.
4. СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».
5. Стриженок А.В., Цветков П.С., Кузнецов В.С., Фролова А.Ю. Программа для расчета суммарного индекса загрязнения атмосферы на основании данных экологического мониторинга. Патент на программу для ЭВМ RU 2018666623. заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» - 2018663014. заявл. 20.11.2018, опубл. 19.12.2018.
6. Трапезникова П.И., Нетепина Д.В., Стриженок А.В. Принципы разработки автоматизированных систем производственного мониторинга атмосферного воздуха на предприятиях горнодобывающей отрасли. Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки: Материалы XVI молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - СПб: CreateSpace, 2018. - С. 40-42.

**И.И. СЫТЬКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-ВИРТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

**Аннотация.** На базе современных компьютерных технологий разработан виртуальный прибор для регулировки, контроля и исследования различных радиоэлектронных устройств по шумовым характеристикам. Приведены примеры идентификации законов распределения вероятности случайных сигналов по характеристикам гладкости или обостренности, несимметричности и неопределенности. Показано, что использование технологии виртуальных приборов и сопряжение с исследуемым радиоэлектронным устройством посредством платы сбора данных позволяет эффективно реализовать мониторинг технического состояния функционирующих радиоэлектронных устройств по шумовым характеристикам.

**Ключевые слова:** идентификация, закон распределения, контрактесцесс, энтропийный коэффициент, асимметрия, параметры формы и положения, неопределенность, случайный сигнал.

Актуальность проблемы при измерении характеристик случайных сигналов обусловлена сложностью выбора модели случайного процесса по сравнению с детерминированными сигналами, технической реализации измерителя, а также проблемы стационарности и нестационарности, эргодичности и неэргодичности [1, 2].

Объектом исследования являются существующие методы и технические средства, предназначенные для измерения вероятностных характеристик случайных сигналов.

Измерители вероятностных характеристик являются мощным средством исследования: функционирования различных радиоэлектронных устройств в условиях воздействия случайных помех; динамических характеристик автоматических систем управления и регулирования по их реакции на случайные воздействия; помехоустойчивой радиоэлектронной аппаратуры; качества обработки телеметрической информации; показателей качества обнаружения и измерение параметров слабых сигналов на фоне естественных и искусственных помех; средств технической диагностики и контроля технического состояния радиоэлектронных устройств [3].

Область применения – измеритель вероятностных характеристик может быть использован при регулировке, контроле и исследовании различных радиоэлектронных устройств по шумовым характеристикам.

Целью настоящей работы является разработка аппаратно-программных средств измерения вероятностных характеристик случайных сигналов на базе компьютерных технологий виртуальных приборов фирмы National Instruments (NI), создание процедур идентификации законов распределения вероятности случайных сигналов, использующих информацию о моментах второго и выше порядка [4], характеристик неопределенности [5, 6], создание рабочего макета и определение области его применения.

Исследования проводились с использованием среды программирования NI LabVIEW 2012 и с использованием записей реальных шумов радиоэлектронных устройств.

Для проведения экспериментальных исследований был разработан виртуальный измеритель (ВИ) вероятностных характеристик, структурная схема которого представлена на рис. 1а, а внешний вид лицевой панели (ЛП) на рис. 1б.

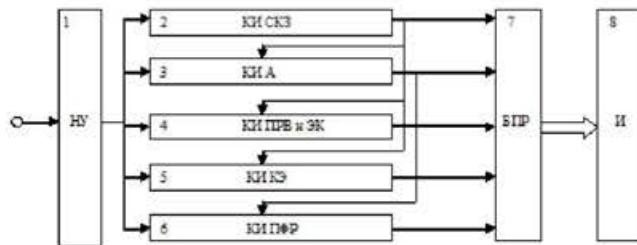


Рис. 1. ВИ вероятностных характеристик а) Структурная схема



Рис. 1. ВИ вероятностных характеристик б). Фрагмент ЛП ВИ.

Измеритель содержит: нормирующий усилитель (НУ) – 1; канал измерения среднеквадратического значения (КИ СКЗ) – 2; канал измерения асимметрии (КИ А) – 3; канал измерения плотности распределения вероятности и энтропийного коэффициента (КИ ПРВ и ЭК) – 4; канал измерения контрэксцесса (КИ КЭ) – 5; канал измерения параметров формы распределения (КИ ПФР) – 6; блок принятия решения (БПР) – 7; индикатор (И) – 8.

Работа ВИ заключается в следующем. На вход НУ 1 поступает с платы сбора данных случайный процесс (сигнал). В блоке 1 вычисляется среднее значение, а затем происходит центрирование процесса. С выхода блока 1 центрированный случайный процесс поступает на входы блоков 2-6, в соответствии со структурной схемой в которых вычисляются среднее квадратическое значение (блок 2), асимметрия (блок 3), плотность распределения вероятности и энтропийный коэффициент (блок 4), контрэксцесс (блок 5) и параметры формы распределения для несимметричных распределений (блок 6).

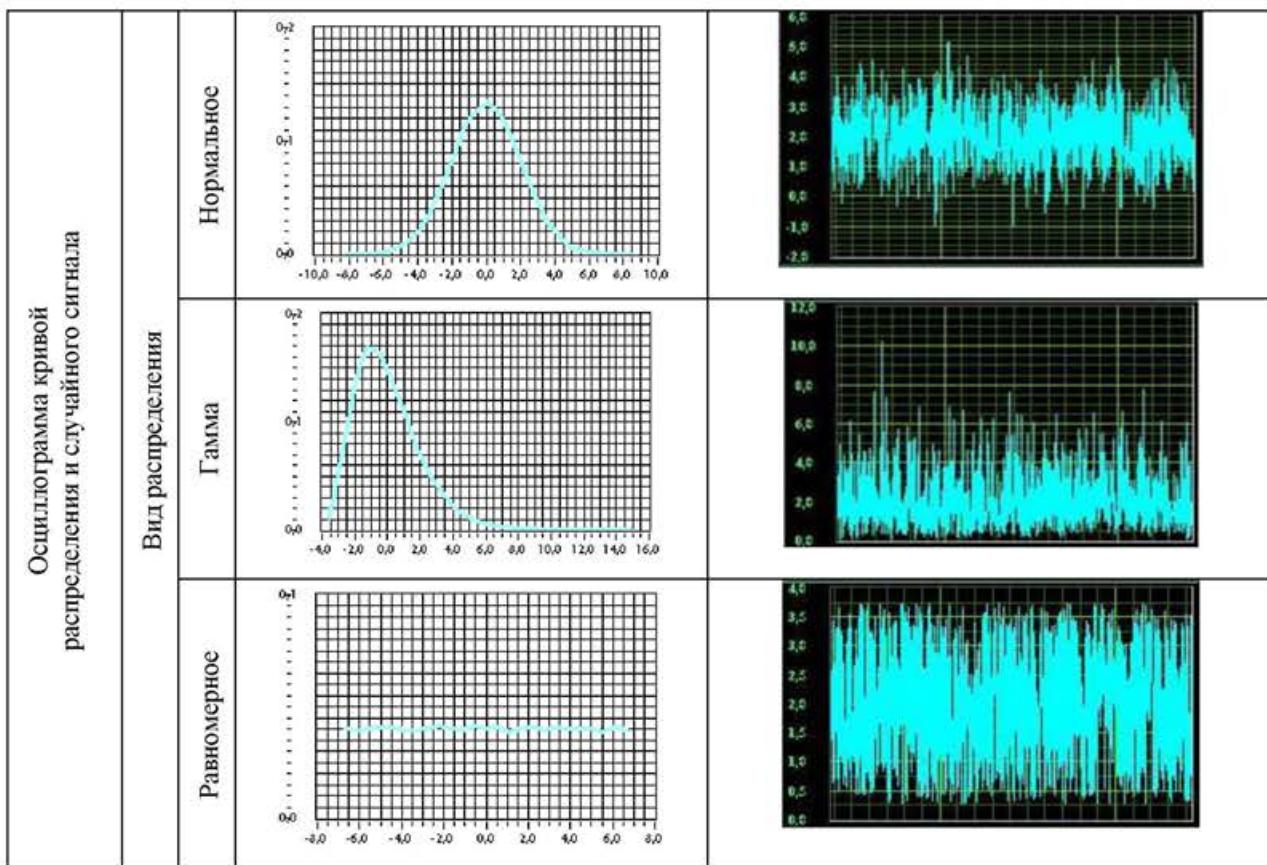
Блок 7 принятия решения проверяет условие симметричности распределений и вырабатывает код распределения, как для симметричных, так и для несимметричных распределений. Конструктивно блок 7 выполнен на компараторах. Блок 8 индикации отображает кривую плотности распределения вероятности, параметры и тип распределения.

Исследования виртуального измерителя вероятностных характеристик показали, что измеритель позволяет идентифицировать 16 видов симметричных распределений, 5 несимметричных распределений, измерение 7 параметров, вероятность идентификации вида распределения не менее 0,95, точность измерения параметров не хуже  $\pm 1\%$ .

ВИ идентифицирует следующие виды симметричных распределений: равномерное, треугольное, арксинусоидальное-I, арксинусоидальное-II, арксинусоидальное-III, трапецеидальное-I, трапецеидальное-II, трапецеидальное-III, антимодальное-I, антимодальное-II, экспоненциальное двухстороннее с показателем степени 1/4, экспоненциальное двухстороннее с показателем степени 1/3, экспоненциальное двухстороннее с показателем степени 1/2, экспоненциальное двухстороннее с показателем степени 7, Лапласа и нормальное, а также несимметричные распределения – Бета, Накагами, Релея, Гамма. На индикаторе отображается график кривой распределения, а также информация о виде и параметрах распределения.

Экспериментальные исследования (таблица) проводились и проверены путем полунатурного моделирования на персональном компьютере с использованием записей реальных шумов радиоэлектронных устройств.

Разработанный виртуальный измеритель вероятностных характеристик планируется использовать в учебном процессе.



#### Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. -М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 с.
2. Жовинский В.Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов/А.Н. Жовинский, В.Н. Жовинский. – М.: Энергия, 2009. – 112 с.
3. Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех/Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 2011. – 416 с.
4. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений/П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1991.
5. Патент №2280278 РФ, МПК G06G7/52. Устройство для измерения характеристик случайных процессов /Г.В. Анцев, И.И. Сытько, В.А. Сарычев, Г.П. Соколов. – №2004138261/09; заяв. 27.12.2004; Опубл. 20.07.2006 Бюл. № 20; приоритет 27.12.2004.
6. Патент №2336562 РФ, МПК G06G7/52. Устройство для измерения характеристик случайных процессов /И.И. Сытько, П.П. Шумаков, Н.С. Науменко, О.В. Латий. – №2006117279/09; заяв. 19.05.2006; Опубл. 20.10.2008 Бюл. №29; приоритет 19.05.2006.

С. Б. ИВАНИК, Д. А. ИЛЮХИН, А. В. ШАЛЫГИН  
Санкт-Петербургский горный университет

## РОЛЬ ПРОБОПОДГОТОВКИ ПРИ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ УПОРНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ

**Введение.** Одной из основных тенденций в развитии сырьевой базы золотодобывающей промышленности является снижение качества исходного минерального сырья, вследствие истощения запасов богатых золотосодержащих руд. В связи с этим в сферу производства вовлекается более сложное по вещественному составу упорное сырье [1]. Тонкая вкрапленность золота в породообразующие минералы – наиболее распространенная причина упорности золотых руд. Упорные руды составляют более 30% от общих запасов в мире [2, 8]. К перспективным способам вскрытия золота в сульфидных концентратах относится метод гидрометаллургического автоклавного окисления последних в кислой среде. При

переработке пиритно-арсенопиритных упорных золотосодержащих руд автоклавные технологии используют для окисления сульфидных минералов, с которыми ассоциировано тонкодисперсное золото. Актуальным направлением развития автоклавной технологии является применение процессов выщелачивания сульфидных руд и концентратов при относительно низких параметрах. Привлекательность технологии на основе низкотемпературного выщелачивания обусловлена низкой стоимостью автоклавного оборудования, что позволяет снизить капитальные затраты при реализации промышленного процесса [9]. Успешное проведение процесса автоклавного выщелачивания во многом зависит от подготовительных стадий, к которым относятся измельчение и декарбонизация, т.к. для наиболее полного вскрытия золотосодержащих минералов требуется тонкое и сверхтонкое измельчение, где 80% частиц имеют крупность менее 10-15 мкм [3, 4, 7]. Процесс ультратонкого измельчения материала приводит к высокой степени деформации, вносимой в кристаллическую решетку минералов, повышает их активность и способствует выщелачиванию [10]. Поэтому вопрос тщательной подготовки пробы концентрата к переработке является весьма актуальным.

**Характеристика сырья.** Гранулометрическая характеристика тонкого и тонкодисперсного золота пробы исходной руды показала, что доля золота данной крупности в общем содержании драгоценного металла в пробе составляет 90-92%. В соответствии с данными минералогических исследований пиритный концентрат представлен компонентами породы, такими как кварц (25.1%) и полевые шпаты (16%). Главнымрудным минералом является пирит (44.5%), присутствуют арсенопирит (1.5%) и пирротин (1%). Арсенопиритный концентрат представлен компонентами породы (кварц - 9.5%; полевые шпаты - 2%; карбонаты - 2.4%). Главными рудными минералами являются пирит (38%) и арсенопирит (17.8%). Общая схема переработки пиритно-арсенопиритных концентратов включает следующие основные переделы: измельчение флотационного золотосодержащего концентрата в шаровой мельнице, кислотная обработка (предварительное удаление из его состава карбонатных соединений - процесс декарбонизации), автоклавное окислительное выщелачивание, сгущение и фильтрация окисленной пульпы, нейтрализация раствора известняком и известью, сорбционное цианирование кека.

#### Методики исследований:

**Измельчение.** Для подготовки концентрата к низкотемпературному процессу вскрытия необходим весьма тонкий помол [5]. Требуемая тонина помола в лабораторных исследованиях достигается при использовании планетарной мельницы «Pulverisette 6» (немецкой фирмы Fritsch). Измерение крупности исходного и измельченного материала производится на лабораторном анализаторе «Analysette 22» (Fritsch). Используемый тип анализатора позволяет надежно измерять указанные характеристики при размерах частиц в пробе от 0.3 мм до 0.3 мкм. Для изучения фактора крупности проведены опыты по измельчению пробы при двух режимах: обычном ( $P_{80} = 34-35$  мкм) и тонком измельчении ( $P_{80} = 8-9$  мкм>). Измельчение проводили в шаровой планетарной мельнице «Pulverisette 6». Загрузка материала, шаров, а также скорость вращения были идентичны для обоих режимов, но различалось время пребывания в мельнице [6]. Крупность концентратов на всех стадиях эксперимента представлена в таблице 1

Таблица 1. Крупность концентратов на всех стадиях опытов

Стадия опыта	Степень измельчения	$P_{80}$ , мкм
		47-48
Исходный концентрат	незмельченный	34-35
Измельчение	обычная	34-35
	тонкоизмельченный	8-9
Автоклавное окислительное выщелачивание	обычная	30-32
	тонкоизмельченный	8-9

Полученный измельченный материал после измерения крупности методом лазерной гранулометрии направлялся на стадию декарбонизации и далее на выщелачивание. Результаты измерений приведены на рисунках 1 и 2. На графиках изображены 2 зависимости: дифференциальная, отражающая распределение частиц по каждому классу крупности, и интегральная, суммирующая эти показатели.

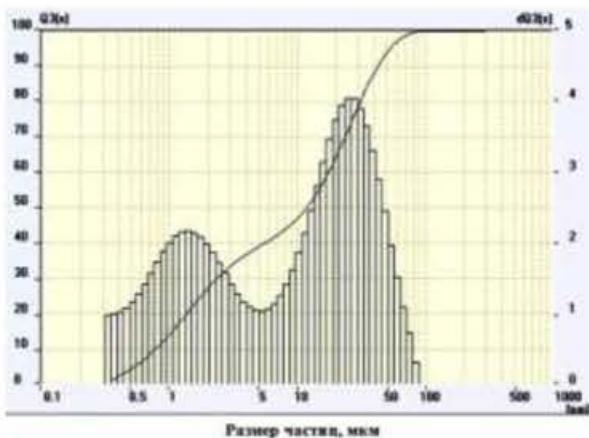


Рисунок 1. Гранулометрический состав недоизмельченного концентратата ( $P_{80} = 34-35$  мкм).

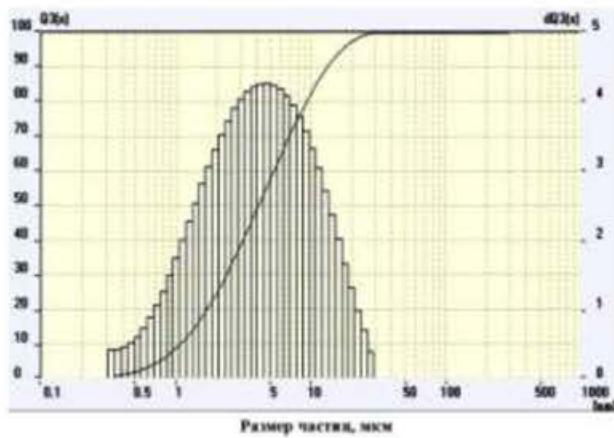


Рисунок 2. Гранулометрический состав переизмельченного концентратата ( $P_{80} = 8-9$  мкм).

**Декарбонизация.** В сырье, подаваемом на автоклавное выщелачивание содержатся карбонаты. Обязательной стадией для упорных золотосодержащих концентратов является предварительное удаление из их состава карбонатных соединений (процесс декарбонизации). Присутствие их в автоклавном процессе приводит к выделению газообразного  $\text{CO}_2$ , снижает парциальное давление кислорода и в значительной мере степень его использования. Процесс разложения сульфидов (пирита и арсенопирита) при относительно низких параметрах отличается от традиционного высокотемпературного выщелачивания тем, что при окислении сульфидной серы часть ее окисляется до сульфата, а часть неизбежно трансформируется в элементарную серу. Оптимальными режимами кислотной обработки являются: реагент – серная кислота (разбавление 1:1), отношение Ж:Т на операции: 2:1, температура: 60°C, продолжительность обработки 0,5 ч, pH конечной пульпы 2,0–2,2, расход кислоты составляет ~30 кг/т.

**Автоклавное выщелачивание.** Подготовленный материал подвергается гидрометаллургической переработке при следующих условиях: Ж:Т=3; температура – 130°C; парциальное давление кислорода – 1,0 МПа. Параметры пульпы после выгрузки её из автоклава представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры пульпы после низкотемпературного автоклавного выщелачивания

Концентрат	Степень измельчения	Степень окисления сульфидной серы, %	Анализ кека, %		
			As <sub>общ</sub>	Fe <sub>общ</sub>	S <sup>0</sup>
Пиритный	обычная	90,4	0,2	8,9	7,24
Пиритный	тонкоизмельченный	99,5	0,2	5,25	7,21
Пиритно-арсенопиритный	тонкоизмельченный	99,2	5,5	10,0	6,58

**Выводы** Из проведенных исследований видно, что пробоподготовка материала к технологическим операциям играет определяющую роль. Так, степень окисления серы в опыте с концентратом обычной крупности недостаточно высока и составляет около 90%. При такой степени разложения сульфидов значительная часть золота остаётся в структуре исходного пирита, что приводит к его потерям. Поэтому целесообразно применять ультратонкое измельчение до содержания класса 10-12 мкм не менее 80 % во избежание потерь золота с породообразующими минералами. Также важным аспектом автоклавной технологии является тщательная шихтовка руд с целью усреднения руд по золоту и поддержания соответствующего уровня содержания минералов – генераторов кислоты (сульфидов) и ее потребителей (карбонатов).

#### Литература

- Сизяков В.М., Иваник С.А., Фокина С.Б. Исследование процессов сгущения и фильтрации тонкодисперсных окисленных пульп. Обогащение руд, № 2. М.: «Руда и металлы», 2012. С. 24-28.
- Набойченко С.С., Ни Л.П., Шнеэрсон Я.М., Чугаев Л.В. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов. Екатеринбург: ГОУ УГТУ – УПИ, 2002. С.570-575.
- Автоклавно-гидрометаллургическая переработка упорных золотосодержащих сульфидных материалов при пониженных температурах // Лапин А. Ю., Битков Г. А., Шнеэрсон Я. М. Цветные металлы, 2011. № 12. С. 39-44.
- Чубаров А. В., Белоусова Н. В., Дроздов С. В., Максименко В. В. Предварительное окисление биокека в технологии переработки сульфидных золотосодержащих руд и концентратов // Цветные металлы, 2010. № 1. С. 20-23.
- Смирнов В.К. Методика исследования золотосодержащих руд и концентратов. Отраслевое бюро техн.информ. Главспеццветмета, М., 1947. 110 с.

6. Иваник С.А. Обезвоживание пульп после автоклавного выщелачивания тонкоизмельченных сульфидных концентратов / В.М. Сизяков, С.А. Иваник, А.С. Богинская, Г.А. Битков // Естественные и технические науки. 2012 г. №1 (57). С. 369 – 375.
7. Автоклавно-гидрометаллургическая переработка упорных золотосодержащих сульфидных материалов при пониженных температурах // Лапин А. Ю., Битков Г. А., Шнессрон Я. М. Цветные металлы. 2011, № 12. С. 39-44.
8. Самиков Ш.Р. Технология переработки упорных и бедных золотосодержащих руд. Диссертация на соискание уч. степ. к.т.н.. Душанбе, 2006. 131 с.
9. Чекущин В.С., Олейникова Н.В. Переработка золотосодержащих рудных концентратов. Известия Челябинского научного центра. 2005, вып. 4 (30). С. 94-101.
10. Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра. М.: МИСИС, 2001. 336 с.

**А.Е. ИВКИН**

*Санкт-Петербургский горный университет*

**Е.Б. БРЮХОВЕЦКАЯ**

*ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург*

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

**Введение.** Металлические покрытия являются наиболее распространенными типами покрытий в машиностроительных производствах. Для нанесения этих покрытий применяется восемь методов нанесения и большое число металлов и сплавов [1]. Данные покрытия выполняют, прежде всего, функции защиты от коррозии, декоративные покрытия обеспечивают привлекательный вид изделий и удобство обращения с ними, защитно-декоративные покрытия выполняют обе функции. Специальные (технические) покрытия служат для придания поверхностям изделий и деталей определенных свойств – износостойких, антифрикционных, теплозащитных, электропроводящих и др.

В условиях современных производств, в частности на объектах минерально-сырьевого комплекса, широкое распространение имеют изделия из цветных металлов и сплавов с покрытиями из электропроводящих неферромагнитных металлов и сплавов. Самые широкое применение получили, например, хромовые, оловянные, медные, никелевые, серебряные покрытия изделий из меди и ее сплавов, алюминиевых сплавов и т.д. Диапазон толщин обозначенных покрытий составляет, как правило, от 0,5 до 25 мкм.

Для защиты от коррозии стальные изделия, как правило, покрывают цинком, никелем или хромом. Толщина этих защитных покрытий обычно не превышает 50 мкм.

### **Вихревой метод измерений толщины металлических покрытий**

Представляет интерес решение задач измерения толщины электропроводящих металлических покрытий на электропроводящих ферро- и неферромагнитных основаниях с использованием вихревого метода контроля [2].

Для измерения толщины электропроводящих ферро- и неферромагнитных покрытий на электропроводящих основаниях при условии, что относительная электропроводность покрытия  $\sigma_{\text{п}}/\sigma_{\text{о}}$  и электропроводность основания  $\sigma_{\text{п}}/\sigma_{\text{о}} \approx 6...30$  (например, медь на нержавеющей стали, серебро на латуни, цинк на стали) широко используется вихревой фазовый метод измерения толщины покрытий.

Для задач контроля толщины покрытий, для которых  $\sigma_{\text{п}}/\sigma_{\text{о}} \approx (0,11...0,55) < 1$  (например олово на меди и медных сплавах) возможно применение вихревого амплитудно – фазового метода измерения, т.к. у вихревого фазового метода практически отсутствует чувствительность в области толщин покрытий до 20 мкм.

В общем случае вихревые методы измерения толщины металлических покрытий основаны на анализе взаимодействия собственного электромагнитного поля первичного преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте, зависящих от толщины покрытия  $T_{\text{п}}$ ,  $\sigma_{\text{п}}$ ,  $\sigma_{\text{о}}$  и геометрических характеристик основания и покрытия (диаметра  $d$ , шероховатости  $Rz$  и др.), а также величины зазора  $h$  между металлическим покрытием и контактной поверхностью преобразователя.

Современные средства измерения, основанные на вихревых методах, позволяют проводить измерения толщины электропроводящих покрытий на электропроводящих ферро- и неферромагнитных изделиях в диапазоне от 1 до 30-50 мкм с основной абсолютной погрешностью измерения  $\Delta T_{\text{п}}$  не более  $\pm (1...2)$  мкм.

Калибровку вихревых толщиномеров в соответствии с Государственной поверочной схемой [2] следует проводить с использованием рабочих средств измерений – мер толщины покрытий различных

сочетаний материалов оснований и покрытий, сгруппированных по назначению, с пределом допускаемой абсолютной погрешности изготовления  $\Delta_{\text{п}}(h) \leq \pm ((0.2 \dots 0.3) + 0.05h)$  мкм.

В общем случае калибровка вихревых преобразователей представляет собой процедуру установки чувствительности с использованием комплекта натурных мер толщины покрытия и установку нуля на образце реальной продукции без покрытия.

Для обеспечения погрешности измерения  $\Delta T_n \leq \pm 1$  мкм при доверительной вероятности  $p = 0.99$  в области малых толщин, меры толщины покрытий должны быть изготовлены и аттестованы с погрешностью на уровне  $\pm 0.3$  мкм.

На данный момент в нашей стране сложилось весьма сложное положение с обеспечением единства измерений толщины покрытий, особенно гальванических.

ГОСТ 25177-82 «Меры толщины покрытий образцовые, являющийся руководящим документом, на данный момент не действителен. Единственным утвержденным нормативным документом является 50.2.006-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 20000 мкм» [3].

Несмотря на то, что на результаты показаний вихревых толщиномеров существенно влияют физические параметры основания и покрытия меры, такие как электропроводность и магнитная проницаемость [4], поверочная схема предусматривает контроль только геометрических параметров.

Для аттестации ступенчатых мер толщины покрытий предполагается применение профилометрического метода измерения. Данный метод накладывает существенные требования к плоскости и параллельности поверхностей основания меры. Подготовка оснований требует большого числа технологических операций, в числе которых очень трудоемкая и дорогостоящая операция доводки на специальном оборудовании. Определенные сложности так же возникают при нанесении покрытия не на всю поверхность меры, а на ограниченный сектор.

Иногда, в силу ряда причин, не представляется возможным изготовление плоскопараллельных металлических мер толщины, т.к. их характеристики не будут соответствовать реальным. В нормативной документации нет никаких рекомендаций по тому, как осуществлять аттестацию таких мер.

Наиболее перспективным методом аттестации натурных мер толщины металлических покрытий является метод шарового микротифа [5]. Данный метод не предъявляет требований к параллельности сторон плоских мер, а также позволяет производить аттестацию мер толщины покрытий произвольной формы.

На данный момент, в рамках заключенного государственного контракта между Росстандартом и ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» выполняется опытно-конструкторская работа, посвященная разработке, изготовлению и исследованию опытного образца распределенного эталонного комплекса химического состава, свойств и параметров покрытий.

Разрабатываемый эталонный комплект позволит воспроизводить и передавать следующие параметры металлических покрытий:

- толщину покрытия;
- поверхностную плотность покрытия;
- химический состав покрытия;
- удельную электрическую проводимость покрытия;
- удельную электрическую проводимость основания;
- относительную магнитную проницаемость покрытия.

В качестве средства передачи обозначенных физических величин рабочим средствам измерений будут выступать многопараметровые меры свойств однослойных и двухслойных покрытий, которые в перспективе заменят имеющиеся однопараметровые меры толщины покрытий.

Многопараметровые меры свойств покрытий позволят учесть влияние наиболее значимых свойств покрытий на показания вихревых толщиномеров.

**Заключение.** Выполнения требований к толщине покрытия и ее стабильности обеспечивается технологическим процессом его нанесения. Разработка новых и усовершенствование уже имеющихся технологических процессов нанесения металлических покрытий, организация мероприятий по выходному и входному контролю качества покрытий, невозможны без соответствующих методов измерений и контроля. Очевидно, что развитие методов и средств измерения и контроля параметров качества покрытий невозможно без своевременного совершенствования средств их метрологического обеспечения. В связи с этим разработка новых и совершенствования имеющихся средств метрологического обеспечения электромагнитных толщиномеров гальванических покрытий является актуальной и востребованной задачей.

#### Литература

1. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий. / Научное, методическое, справочное пособие. - СПб.: «Гуманистика», 2009. – 904 с.
2. «Неразрушающий контроль» Справочник в 7 томах под редакцией чл.-корр. РАН В.В.Клюсова. Том 6. Книга 1, «Магнитные методы контроля», с: 358. М.: «Машиностроение», 2003 г.
3. 50.2.006-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 20000 мкм» – М., ФГУП «Стандартинформ».

4. Сясько В.А. Ивкин А.Е Обеспечение достоверности результатов измерений толщины металлических покрытий магнитными и вихревыми методами в условиях машиностроительных производств Метрология №2 2011 г. -С. 3-12.

5. Randall N. Finer particle size allows better coating characterisation with the Calotest // Application Bulletin № 5. URL: <http://www.csm-instruments.com/en/>

Д.В. ЛИМАНСКИЙ

Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение

"Дирекция транспортного строительства", Санкт-Петербург

Р.Б. КУСКИЛЬДИ

Санкт-Петербургский горный университет

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

**Аннотация.** В настоящей статье рассмотрено применение комплекса георадиолокационного приповерхностного зондирования и возможность применения георадара при определении местоположения и пространственных параметров очагов возгорания углепородных отвалов с целью оперативного принятия управленических решений по минимизации негативного влияния на окружающую природную среду.

**Введение.** Горные горной массы в породных отвалах приводят к выбросу в окружающую среду более двух десятков вредных и опасных веществ. В частности, это углекислый газ, сернистый газ, серный ангидрид, оксид азота, сероводород, серная кислота, сера, аммиак, цианид и др. Учитывая тот факт, что большинство породных отвалов расположены на селитебных территориях, требуется их тушение, рекультивация, а в некоторых случаях и полная разборка [1].

С целью комплексного улучшения экологической и геодинамической обстановки городских территорий рационально производить полную разборку потушенных терриконов с одновременной гидравлической закладкой выработанного пространства под перспективными территориями пустыми горными породами ближайших отвалов. Результаты научных исследований, проведённых в последние годы, позволяют утверждать о возможности применения на угольных шахтах твердеющей закладки на бессцементной основе с применением усовершенствованного насосного оборудования [2-4].

Результаты контроля теплового состояния потушенных породных отвалов показывают, что рецидив возгорания случается довольно часто [5]. В этой связи для оперативного контроля и своевременной локализации очагов возгорания породных отвалов применяют различные методы теплового контроля породных отвалов: дистанционное зондирование с борта беспилотных летательных аппаратов, проведение тепловой съемки поверхности отвалов с использованием многозонных датчиков температуры и др. Но такие методы мониторинга могут дать представление только о начале процесса возгорания, и как следствие – быть сигналом к принятию оперативных решений по минимизации рисков от первичного или повторного возгорания углепородной массы. Для эффективного проектирования работ по тушению, рекультивации или полной разборки отвалов горной массы необходимо обладать информацией о глубинах расположения очага возгорания, его протяженности и пространственных параметрах.

В данной статье рассмотрен способ применения комплекса геофизического оборудования для дистанционного определения пространственных параметров очагов возгорания углепородных отвалов.

**Методы исследования.** При проведении обследований с помощью георадара обычно используется метод вертикального времени пробега [3]. При этом георадар перемещается вдоль профиля с постоянным разносом между приемной и передающей антеннами, и в каждой точке профиля регистрируется сигнал, состоящий из зондирующего импульса и вторичных волн (см. рис. 1). Любые подповерхностные неоднородности, связанные с изменениями в толще горной массы дадут отклик в волновой структуре принимаемого сигнала.

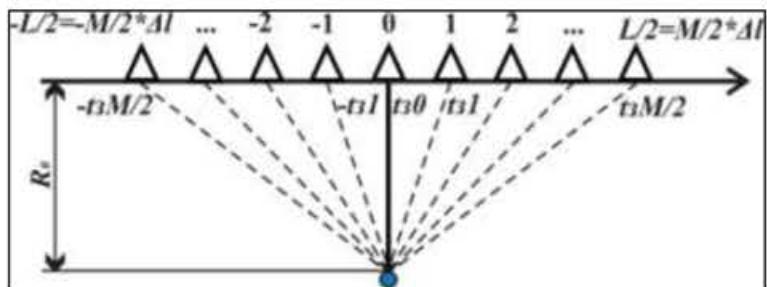


Рисунок 1. Схема перемещения антенн георадара по трассе отвала

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются *удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в среде*, которые определяются её электрическими свойствами. Удельное затухание определяет глубину зондирования. А знание скорости распространения радиоволн необходимо для пересчёта временной задержки отражённого импульса в расстояние до отражающей границы. На рисунке 2 представлена схема распространения радиоволн в слоях отвальной массы.

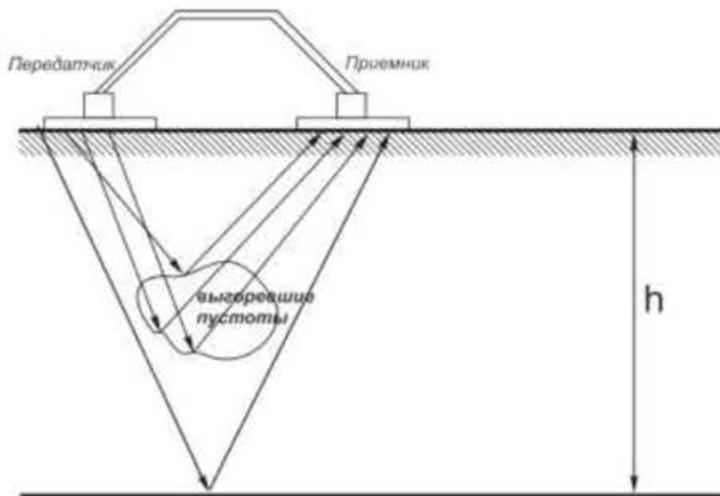


Рисунок 2. Схема распространения радиоволн в разуплотненных слоях отвальной массы

Определение зон горения с помощью георадиолокационного метода основано на изучении влияния температуры на диэлектрическую проницаемость и проводимость [7].

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  показывает, во сколько раз поле ослабляется диэлектриком, количественно характеризуя свойство диэлектрика поляризоваться в электрическом поле. Значение относительной диэлектрической проницаемости вещества, характеризующее степень его поляризуемости, определяется механизмами поляризации. Однако величина в большой мере зависит и от агрегатного состояния вещества, так как при переходах из одного состояния в другое существенно меняется плотность вещества, его вязкость и изотропность.

Диэлектрическая проницаемость характеризует скорость прохождения импульса в среде и в твердых телах может принимать самые разные числовые значения в соответствии с разнообразием структурных особенностей твердого диэлектрика. В твердых диэлектриках возможны все виды поляризации.

Основные параметры, необходимые для обеспечения правильной технологии съемки и интерпретации данных георадиолокации для большинства горных пород представлены в таблице 1 [8].

Таблица 1. Основные параметры для интерпретации данных георадиолокации

Диэлектрическая и магнитная проницаемость	$\mu \approx 1$
Фазовая скорость	$V_\phi = \frac{1}{R_e \sqrt{\epsilon}}$
Длина волны в среде	$\lambda = \frac{\lambda_0}{R_e \sqrt{\epsilon}}$
Удельное затухание	$\Gamma = 8,68\alpha = \frac{54,6}{\lambda \ln \sqrt{\epsilon}}$ , где $\alpha = \frac{\omega}{c \ln \sqrt{\epsilon}}$
Степень затухания волны на расстоянии $z$ в дБ	$L = 20 \lg \left[ \frac{E_0}{E_z} \right] = 8,68\alpha z$

### **Натурные обследования объемных параметров очагов возгорания углепородных отвалов**

Обследования участков очагов горения углепородных отвалов проводились в районе города Шахты, Ростовская область. Целью данных исследований было определение глубинных параметров очага возгорания углепородных отвалов, а также зон разуплотнения пород, вызванных выгоранием горной массы [9].

Обследования проводились по схеме представленной на рис. 3 с соблюдением требований безопасности при работе в непосредственной близости от очагов возгорания.



Рисунок 3. Фотофиксация пройденного маршрута с обозначением траектории

**Результаты.** Различие фазовой скорости для разных частот определяет дисперсию. Зондирующий импульс в среде с дисперсией изменяет свою форму из-за фазовых искажений формы.

Ориентировочные значения электрических характеристик некоторых почв и пород при частоте поля 100МГц, использованных для работы на исследуемой территории приведены в таблицах 2 и 3 [10].

Таблица 2. Диэлектрические показатели различных материалов для частотного диапазона, в котором рекомендуется проводить измерения

Материал	$\epsilon, \text{Б}$	$\sigma, \text{См}/\text{м}$	$\Gamma, \text{дБ}/\text{м}$	$U_\Phi, \text{м}/\text{мкс}$
Воздух	1	0	0	300
Пресная вода	81	$10^{-3}$	0,18	33
Морская вода	81	4	330	15
Песчаная почва сухая	2,6	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0,14	190
Песчаная почва влажная	25	$6,9 \cdot 10^{-5}$	2,3	60
Суглинок сухой	2,5	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,11	190
Суглинок влажный	19	$2,1 \cdot 10^{-2}$	7,9	69
Глинистая почва сухая	2,4	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,28	190
Глинистая почва влажная	15	$5 \cdot 10^{-2}$	20	74
Базальт влажный	8	$10^{-2}$	5,6	110
Гранит влажный	7	$10^{-3}$	0,62	110
Глинистый сланец влажный	7	$10^{-1}$	45	83
Песчаник влажный	6	$4 \cdot 10^{-2}$	24	110
Известняк влажный	8	$2,5 \cdot 10^{-2}$	14	110
Железо	1	$10^6$	$1,7 \cdot 10^7$	-

Таблица 3. Зависимость основных электромагнитных параметров грунтов от влажности

Материал	$\epsilon, B$	$\sigma, \text{См}/\text{м}$
Дорожная конструкция	5...10	0,0002...0,00002
Горная порода	4...10	0,01...0,0000
Глина	4...16	0,05...0,0002
Суглинок	2,5...19	0,021...0,00011
Песок	3...25	0,007...0,00002
Торф влажный	50...78	0,002...0,001
Морена	9...25	0,01...0,0001
Ил	9...23	0,001...0,0001
Металл	1...2	1000000
Лед	3...4	0,001
Вода	80...81	0,002...0,001
Воздух	1	0

Примечание: минимальные значения диэлектрической проницаемости соответствуют сухому состоянию материала, максимальные – к увлажненному [11].

При увеличении содержания воды в обследуемых слоях параметры удельной диэлектрической постоянной также увеличивается, также возрастает электропроводность.

При обследовании зон отвалов, предназначенных для тепловой съемки, принимаются значения диэлектрической проницаемости соответствующих горным породам в неувлажненном состоянии, т.к. в местах обследования поверхность подвержена нагреванию и высушиванию под тепловым воздействием очагов горения.

На рисунках 5-7 представлены результаты прохода профилей трасс 1-3 приемником «ГРОТ 12Е» и передатчиком 9 кВ с применением антенн – 1 м.

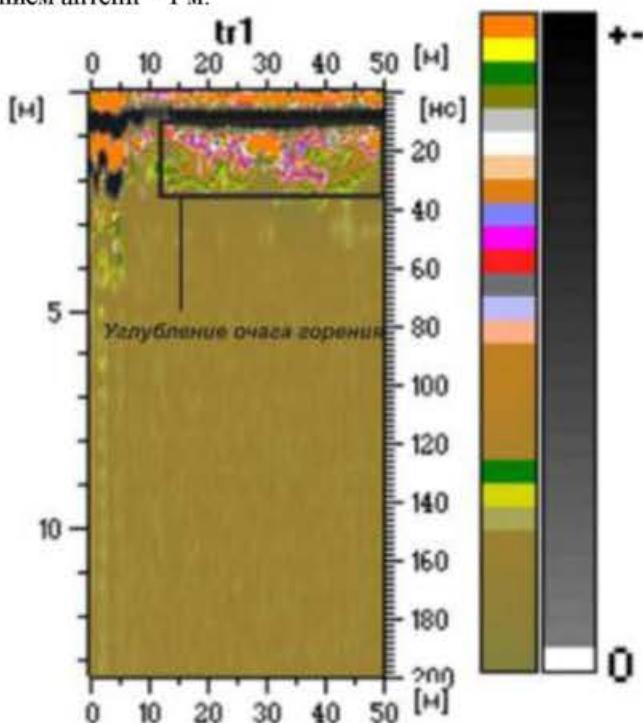


Рисунок 4. Радарограмма профиля по трассе 1

Результаты, полученные при обследовании трассы 2, представлены на рисунке 6 и во многом повторяют результаты, полученные по трассе 1. Четко прослеживается изменение параметра диэлектрической проницаемости пород при приближении очага горения к внешней поверхности отвала, а также различие мест разуплотнения пород, вызванных выгоранием объемов горной породы [12, 13].

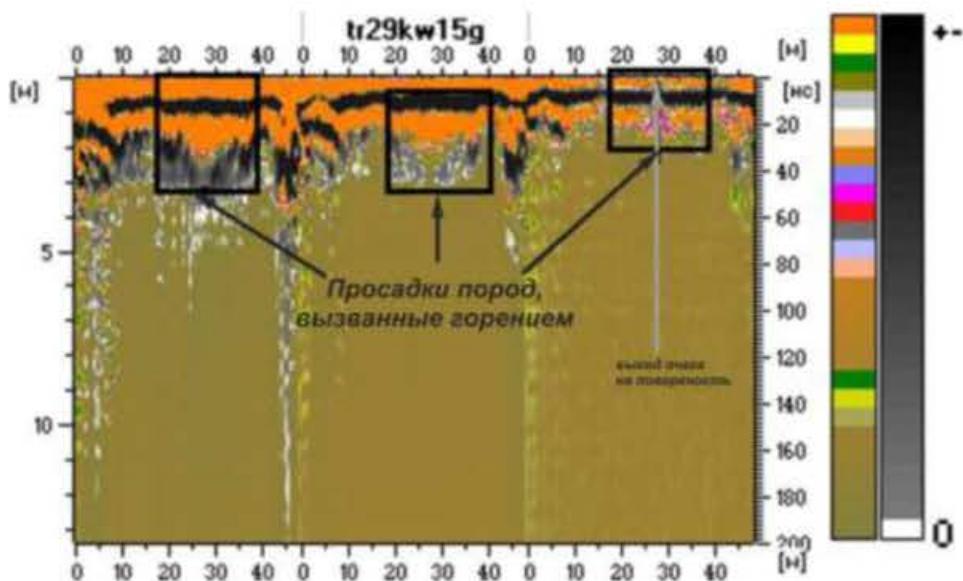


Рисунок 5. Радарограмма профиля по трассе 2

При обследовании по участку трассы 3 (Рисунок 6), была выделена зона горения максимальной интенсивности. В данной области температура поверхностных пород была выше температуры окружающей среды, что явно определялось без применения специальных приборов. На радарограмме эта зона выделена в виде отдельного участка.

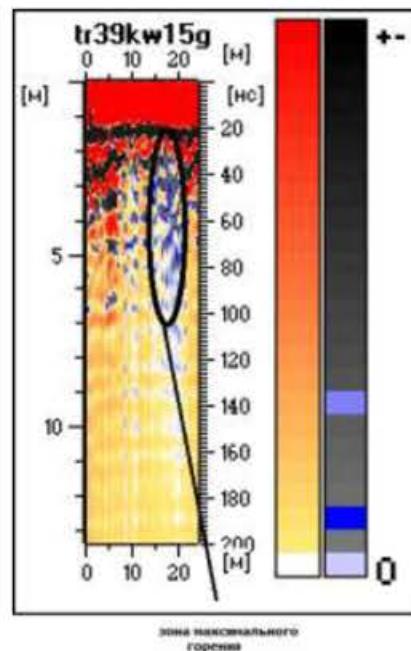


Рисунок 6. Радарограмма профиля по трассе 3

Для подтверждения полученных результатов проход по трассе 3 с применением антенн 2 м, приемника ГРОТ 12Е, передатчика 9 кВ был повторен. Результаты обследования участка представлены на рисунке 7.

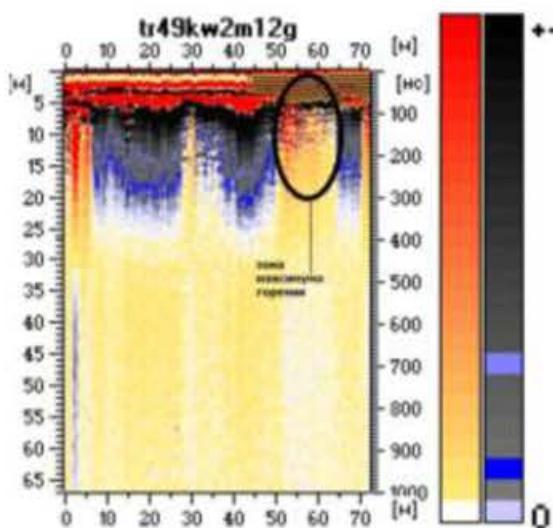


Рисунок 7. Радарограмма профиля по трассе 3 с применением антенн 2 м

**Выводы.** Зоны выгорания горных пород в углепородных отвалах хорошо видны на радарограммах в связи с появлением разуплотнений и пустот в отвальной массе, образованных в результате процесса горения. Также данный метод позволил проследить траекторию распространения горения по протяжению трасс обследования.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о состоятельности данного способа для получения дополнительных сведений, использующихся при планировании мероприятий для тушения и рекультивации углепородных отвалов, расположенных на селитебных территориях.

При дальнейшем исследовании зависимости диэлектрической проницаемости от температуры, а также применение описанного выше метода дистанционного зондирования зон разуплотнений и выгоревших пустот в совокупности с применением дополнительных методов теплового контроля позволит перед началом производства работ по тушению и рекультивации строить трехмерные модели высокой точности. Это позволит снизить трудозатраты и стоимость работ, сделав их планирование более доступным, а проведение мероприятий по улучшению экологической обстановки шахтерских городов и поселений более доступным.

#### Литература

1. Zaidenvarg V E, Navitniy A M, Semikobyl Ya G, 2002, Scientific foundations of the complex ecological area of the closed mines. - Moscow: Rosinformugol. 226 p
2. Vasilyeva M.A., 2016, Key Engineering Materials, **685**, 291-294
3. Alexandrov V., Vasilyeva M., 2017, International Conferences on Transport and Sedimentation of Solid Particles, 19-26
4. Vasilyeva M.A., Volchikhina A.A., 2018, Journal of Physics: Conference Series, 012047
5. Technical report on the results of mountain-ecological monitoring at the mining allotment of the mined mines of Eastern Donbass for the fourth quarter of 2011.
6. Krasavin A P, Navitniy A M, Kaplunov Yu V, 2010, Environmental monitoring in the liquidation of mines and sections. - Perm, OJSC "MNIIECOTEK". 315 p.
7. Saraev A, Simakov A, Shlykov A, Tezkan B, 2017 Journal of applied geophysics **146** 228-237
8. Limanskiy D.V., Vasilyeva, M.A., Journal of Physics: Conference Series **1118(1)** 012023
9. Ikeda K, Steiner M, Thompson G 2017 Weather and forecasting **32(3)** 949-967
10. Limanskiy A V, Vasilyeva M A 2016 Ecological Engineering **91** 41-43
11. Zibrov G V, Zakusilov V P, Buryak Z A, 2017 Research journal of pharmaceutical biological and chemical sciences **8(2)** 2439-2443
12. Slukovskii Z I 2015 Russian meteorology and hydrology **40(6)** 420-426
13. Tskhai A, Shirokova S, Konev D, Koshelev K, Tskhai T 1995 Modelling and management of sustainable basin-scale water resource systems **231** 263-270

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Введение.** Проблема коррозии металлических изделий остается одной из главных проблем современной промышленности. В настоящее время для борьбы с коррозией металлов существуют разные методы. Одним из наиболее доступных является нанесение лакокрасочных покрытий (ЛКП) [1,2]. При соблюдении технологии нанесения, за счет высокой адгезии с металлической поверхностью, ЛКП образует прочную пленку, препятствующую химическому взаимодействию металла и агрессивной среды. Однако нарушения процесса нанесения ЛКП и правил эксплуатации изделий могут привести к возникновению ряда дефектов, снижающих эффективность защиты от коррозии [3].

Особый интерес представляют дефекты, ухудшающие антикоррозионные свойства покрытия и нарушающие его сплошность (например, пузыри, кратеры, булавочные проколы, трещины, недопустимые уменьшения толщины, инородные включения и т.д.) [4]. Стандарты [5,6] регламентируют для контроля сплошности ЛКП использование методов визуальной оценки и разрушающего контроля с погружением изделия в электролит. Такие методы не обладают достаточной достоверностью, точностью и скоростью выявления дефектов, поэтому, в настоящее время, используют различные методы неразрушающего контроля (НК) качества нанесения и текущего состояния ЛКП, в том числе его сплошности.

### Методы НК контроля сплошности защитных ЛКП

Контроль сплошности диэлектрических покрытий регламентируется рядом отечественных и зарубежных стандартов [7-11]. Стандарты определяют для этой цели два метода: электролитический метод («метод мокрой губки», ЭЛМ) и электроискровой метод (контроль высоким напряжением, ЭИМ).

Избирательность ЭЛМ метода основана на возникновении электрического контакта в месте нарушения сплошности покрытия между губкой (электродом) и проводящим основанием. Контакт обеспечивается через жидкий электролит с высокими смачивающими свойствами (которым пропитана губка), проникающий к проводящему основанию через дефекты покрытия и вызывающий протекание тока по цепи. Метод обладает рядом недостатков, существенно ограничивающих его применение:

- Метод применим для покрытий толщиной не более 500 мкм;
- Метод выявляет только дефекты, доходящих до подложки (сквозные поры и трещины, отсутствие покрытия и т.п.);
- Существует необходимость подбора смачивающего электролита для каждого из покрытий;
- Существует необходимость очистки покрытия от остатков электролита после каждого выявленного дефекта;

ЭИМ основан на явлении возникновения искрового пробоя дефектных участков ЛКП. При этом электрод и защищаемый объект подключены к полюсам высокого напряжения. Протекающий при искровом пробое электрический ток регистрируется прибором, который, в свою очередь, информирует пользователя о наличии дефекта посредством звуковой и световой сигнализации [12]. Метод позволяет выявить практически все описанные выше дефекты ЛКП. К преимуществам метода можно отнести высокие скорость контроля и достоверность результатов.

Действующими стандартами [8-11] регламентировано применение ЭИМ для покрытий толщиной  $h > 500$  мкм и ЭЛМ - для  $h \leq 500$  мкм. Увеличение электрической прочности воздуха  $E$  при уменьшении длины разрядного промежутка  $h$  требует повышения контрольного напряжения ЭИМ, что создает риск пробоя бездефектных участков покрытия. Применение ЭЛМ обусловлено использованием низкого (до 100 В) контрольного напряжения, при котором полностью исключается возможность повреждения ЛКП путем пробоя. Однако, опыт показывает, что на практике при НК покрытий изделий большой площади или протяженности поверхности к ЭЛМ практически не прибегают в силу его малой производительности и технологических трудностей применения.

### Электроискровой контроль сплошности защитных ЛКП

Выполненный обзор показал, что современные ЛКП обладают электрической прочностью, существенно превышающей аналогичные характеристики воздуха (дефектных участков покрытия) [13]. На этом основании можно полагать, что для большинства ЛКП существует диапазон контрольных напряжений, в котором возможно проводить электроискровой контроль без нарушения защитных свойств покрытия.

Контрольное напряжение  $U$  для электроискрового метода должно выбираться в диапазоне:

$$U_{\min} \leq U \leq U_{\max} \quad (1)$$

где  $U_{\min}$  - минимальное контрольное напряжение (пробивное напряжение воздушного промежутка),  $U_{\max}$  - пробивное напряжение защитного покрытия.

Согласно [10] зависимость  $U_{\min}(h)$  при  $h < 1$  мм имеет вид:

$$U_{\min} = 0.104\sqrt{h}, \quad (2)$$

тогда для  $50 \text{ мкм} < h < 1000 \text{ мкм}$  минимальное контрольное напряжение составит  $0.7 < U_{\min} < 3.3 \text{ кВ}$ .

Пробивное напряжение ЛКП  $U_{\text{пр}}$  определяется электрической прочностью  $E$  материала покрытия и его толщиной  $h$  [10]:

$$U_{\text{пр}} = Eh \quad (3)$$

Выполненные авторами теоретические и экспериментальные исследования показали, что для большинства ЛКП (в т.ч. порошковых)  $E$  составляет от 20 до 40 кВ/мм, т.е. для  $h \leq 1 \text{ мм}$   $U_{\text{пр}}$  существенно больше определенных в [10]  $U_{\min}$ .

Выбор значения  $U$  из допустимого диапазона (1) значительно уменьшает риск повреждения покрытия и при этом обеспечивает требуемую достоверность выявления дефектов покрытия при контроле. Все это подтверждает возможность и оптимальность применения электроискрового метода для НК сплошности ЛКП, особенно для изделий, имеющих большую площадь или для протяженных объектов.

С учетом изложенных выше результатов проведенных исследований, на основании стандарта ASTM D 5162-15 разработан и введен в действие межгосударственный стандарт ГОСТ 34395-2018 «Материалы лакокрасочные. Электроискровой метод контроля сплошности диэлектрических покрытий на токопроводящих основаниях» [7], который устанавливает электроискровой метод определения сплошности ЛКП, нанесенных на токопроводящие основания, толщиной не менее 25 мкм. Стандарт регламентирует процедуры выбора контрольного напряжения, подготовки и проведения контроля, а также отчета о его результатах.

**Заключение.** Подтверждение обоснованности применения ЭИМ для контроля ЛКП, а также ввод в действие стандарта, регламентирующего применение метода, создают условия для обеспечения эффективного неразрушающего контроля качества лакокрасочных и аналогичных им по назначению других диэлектрических покрытий при нанесении и эксплуатации, а также достижения значительного экономического эффекта при эксплуатации изделий в условиях воздействия антропогенных и климатических факторов.

### Литература

1. ГОСТ 9.402– 2004 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2006. – 40 с.
2. Яковлев А.Д Химия и технология лакокрасочных покрытий: Учебник для вузов/А. Д. Яковлев. — 4-е изд., испрavl. — СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. — 448 с.
3. ГОСТ 9.032- 74 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения.– Москва: Изд-во стандартов, 1974. – 23 с.
4. ГОСТ 9.072-77 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Термины и определения. – Москва: ФГУП Изд-во стандартов, 1990. – 12 с.
5. ГОСТ 9.401 – 91 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. – Москва: Изд-во стандартов, 1991. – 194 с.
6. ГОСТ 9.410– 88 Система защиты от коррозии и старения. Покрытия порошковые полимерные. Типовые технологические процессы. – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2006. – 24 с.
7. ГОСТ 34395 – 2018 Материалы лакокрасочные. Электроискровой метод контроля сплошности диэлектрических покрытий на токопроводящих основаниях. – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2018. – 11 с.
8. ГОСТ Р 51164 – 98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. – Москва: Изд-во стандартов, 1998. – 46 с.
9. ASTM D 5162-01:2015 / Standard Practice for Discontinuity (Holiday) Testing of Nonconductive Protective Coating on Metallic Substrates.
10. ASTM G62-14/Standard Test Methods for Holiday Detection in Pipeline Coatings.
11. NACE SP0188 -2006/ Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates.
12. Ерехинский Б.А. Современные технологии диагностики объектов добычи газа и газового конденсата. Применяемая техника и оборудование., Ерехинский Б.А. Пахомов А.В. – АО «Воронежская областная типография». – Воронеж, 2017. – 374 с.
13. Семенова Л.В. Электроизоляционные свойства полимерных покрытий[Электронный ресурс]/ Семенова Л. В., Бейдер Э. Я., Петрова Г. Н., Нефедов Н. И./Электрон. журн. Труды ВИАМ. -2014. –N 8.Режим доступа: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=698](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=698)

**К.В. ГОГОЛИНСКИЙ, В.А. СЯСЬКО, А.С. УМАНСКИЙ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

**А.А. НИКАЗОВ**

*ООО «КОНСТАНТА», Санкт-Петербург*

**Т.И. БОБКОВА**

*НИЦ "Курчатовский институт"-ЦНИИ КМ "Прометей"*

## **КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРТАТИВНЫМИ ТВЕРДОМЕРАМИ: ПРЕИМУЩЕСТВА, ОГРАНИЧЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Введение.** Одним из важнейших механических свойств, определяющих состояние материала, его прочностные и эксплуатационные характеристики, является твердость. Контроль твердости сталей, как правило, осуществляется статическими методами Бринелля, Роквелла или Виккерса. Приборы, осуществляющие измерение значений твердости по этим шкалам, в большинстве случаев представляют собой стационарные лабораторные установки. При контроле крупногабаритных деталей или элементов оборудования, необходима вырезка специальных образцов, которая приводит к нарушению целостности, что, зачастую, невозможно или недопустимо. Отдельной задачей является контроль качества и состояния сварных швов и стенок трубопроводов, нефте- и газохранилищ, сосудов высокого давления и других металлических конструкций на месте эксплуатации, в т.ч. в полевых условиях. С решением данной задачи связано развитие портативных твердомеров. В докладе рассмотрены три наиболее распространенных метода измерения твердости, реализуемые портативными твердомерами: динамический метод Либа (Leeb), статический метод Портативный Роквелл - ПР (Portable Rockwell) и метод ультразвукового контактного импеданса - УКИ (UCI). Измерительные преобразователи портативных твердомеров обладают малыми габаритами и энергопотреблением, что позволяет проводить измерения вне испытательных лабораторий непосредственно на объектах минерально-сырьевого комплекса.

**Динамические твердомеры Либа.** Метод Либа основан на измерении отношения скорости отскока к скорости падения ударника, разгоняемого сжатой пружиной [1]. По определению твердость по Либу  $H_L = (V_R/V_A) * 1000$ , где  $V_R$  - скорость отскока,  $V_A$  - скорость падения. Измерение скорости ударника осуществляется индукционным методом: ударник с магнитом, пролетая через катушку индуктивности, наводит в ней ЭДС, амплитуда которой пропорциональна скорости падения и отскока. Из анализа квазистатического решения задачи определения контактных напряжений при пластическом ударе, изложенного в [2], следует, что отношение скорости отскока ударника к скорости падения пропорционально корню квадратному от отношения предела текучести к модулю упругости испытуемого материала, а также зависит от массы ударника, радиуса наконечника и скорости ударника в момент соударения с поверхностью. Для решения разных измерительных задач используются различные ударные преобразователи, соответствующие разным шкалам твердости Либа [3].

Достоинством твердомеров Либа является простота измерений. Большая площадь отпечатка уменьшает влияние зернистости, поверхностных слоев и шероховатости на разброс показаний: разные типы преобразователей позволяют решать различные задачи. Наличие международного стандарта и первичных эталонов [4] дает возможность обеспечить метрологическую прослеживаемость по шкалам Либа. Преобразователи по методу Либа используются для контроля твердости деталей машин, технологического оборудования, трубопроводов, насосов, турбин и т.д. Ограничением метода является то, что на результат измерений могут влиять толщина и масса детали. Падающий ударник во время контакта с поверхностью испытуемого образца передает ему часть энергии. В случае недостаточной толщины образца или его массы, часть энергии может тратиться на возбуждение колебаний в образце, ведущее к потере энергии и уменьшению скорости отскока ударника, что в свою очередь влияет на результат измерений. Минимальные значения массы и толщины образца указаны во всех действующих стандартах на метод для каждого типа преобразователя. В случае, если испытуемый образец не удовлетворяет требованиям, для проведения контроля необходимо производить притирку испытуемого образца к массивному основанию. Метод измерения твердости по методу Либа стандартизован в США и Европе: DIN 50156 (1-3), ASTM A956, ISO 16859 (1-3). В настоящее время ведется разработка национального стандарта РФ.

**Твердомеры ультразвукового контактного импеданса.** Метод УКИ основан на эффекте изменения резонансной частоты упругого элемента (стержня), в результате внедрения закрепленного на нем индентора (алмазная пирамида Виккерса) в поверхность испытуемого образца. При вдавливании индентора в испытуемый образец частота колебаний стержня увеличивается по мере увеличения площади контакта индентора с поверхностью. При достижении максимальной нагрузки (1, 5 или 10 кг в зависимости от модификации измерительного преобразователя) измеряется сдвиг частоты  $\Delta f/r$ . Числа твердости  $H_U$  определяются из градуировочной характеристики  $H_U(\Delta f/r)$ . Расчет автоколебательной системы, состоящей из стержня и дополнительной жесткости, обусловленной областью контакта индентора с материалом образца, в приближении малости изменения резонансной частоты позволил определить зависимость твердости, как

среднего контактного давления под индентором, от прикладываемой нагрузки  $P$ , измеряемого сдвига частоты  $\Delta Fr$  и модуля упругости материала  $E$ :  $H \sim P(E/\Delta Fr)^2$ . Из этого выражения следует, что градуировку ультразвуковых твердомеров необходимо проводить на мерах твердости, изготовленных из материала с тем же модулем упругости, что и испытуемые образцы, либо вводить соответствующую поправку. В общем случае заводская калибровка выполняется на мерах твердости из нелегированной или низколегированной стали, поэтому в случае контроля изделий из других материалов, необходима градуировка на образцах исследуемого материала.

Твердомеры, реализующие метод УКИ получили широкое распространение как портативная замена стационарных твердомеров. В случае применения преобразователей с нагрузкой 1 кг переносные твердомеры УКИ оставляют отпечаток малого размера и глубины, что позволяет производить измерения относительно тонких покрытий, но также повышает требования к подготовке поверхности и структуре материала (шероховатость не должна превышать 30% глубины индентирования). Также зачастую твердомеры по методу УКИ применяются для контроля зоны теплового воздействия (HAZ) сварных соединений. Применение ультразвуковых твердомеров имеет ряд ограничений. Минимальная толщина испытуемого образца должна быть больше 15 мм, в случае невыполнения данного требования материал может резонировать и создавать симпатические колебания (например тонкие листы, трубы, и т.д.). Данную проблему можно решить, разместив испытуемый образец на тяжелом металлическом основании, соединив их вязкой пастой, смазочным веществом или масляной пленкой, достаточной, чтобы погасить упругие колебания. Но даже с применением такой оснастки, толщина изделия менее 2-3 мм недопустима. Образцы массой менее 300 грамм при испытании методом УКИ могут входить в режим автоколебаний, что накладывает ограничение на минимальный вес испытуемого образца. В настоящее время измерения по методу УКИ регламентируются стандартами DIN 50159 и ASTM A1038.

**Портативные твердомеры Роквелла.** Метод ПР основан на измерении глубины внедрения индентора под действием статической нагрузки. Аналогично методу измерения твердости по шкалам Роквелла прикладывается сначала предварительная, а затем полная нагрузка. Разница между глубиной внедрения при этих нагрузках пересчитывается в значения твердости. Прикладываемая нагрузка составляет 1 кг для предварительного нагружения и 5 кг для этапа полного нагружения. В качестве индентора в преобразователях ПР используется алмазный усеченный конус с углом при вершине  $100^\circ \pm 0,5^\circ$  и диаметром плоской площадки  $0,06 \text{ мм} \pm 0,005 \text{ мм}$  для мягких металлов и острый конусообразным индентором с углом при вершине  $100^\circ \pm 0,5^\circ$  для твердых металлов. Острый индентор позволяет расширить рабочий диапазон твердости преобразователя. В связи с тем, что метод можно считать полноценным статическим, он лишен ограничений, присущих методам Либа или УКИ. Преобразователи ПР подходят как для измерения твердости на небольших, легких, тонких, тонкостенных или трубчатых испытуемых объектах, так и для измерения твердости массивных деталей машин. По сравнению с описанными ранее методами, методу ПР присущи несколько большие затраты времени на проведение испытаний, а также невозможность проведения измерений в труднодоступных местах. Толщина испытуемых образцов должна быть в 10 раз больше глубины внедрения. В настоящее время измерения по методу ПР регламентируются стандартами DIN 50157-1:2008 и ASTM B724-00(2006).

Методы измерения твердости, реализуемых портативными твердомерами, не соответствуют стандартам на общепринятые шкалы твердости. Вопросы стандартизации и обеспечения единства измерений портативными твердомерами подробно рассмотрены в [5]. Результаты измерений портативных твердомеров, выраженные в общепринятых шкалах твердости, не являются истинными значениями этих шкал, а представляют собой результат перевода (конвертации) величин, измеряемых приборами, в числа твердости выбранной шкалы по заложенной в памяти прибора таблице или формуле. Выбор таблицы критически зависит от материала испытуемого образца. Достоверность и точность такой конвертации зависит от того, насколько материалы, для которых построена таблица, соответствуют тем, свойства которых вы измеряете. Таблицы и формулы для взаимного перевода различных шкал твердости установлены международными стандартами ASTM E140 и ISO 18265.

В докладе предложен комплексный подход с использованием различных портативных твердомеров, позволяющий значительно расширить диапазон материалов и объектов для измерения твердости. В частности, для измерительного преобразователя ПР практически нет ограничений по толщине и массе испытуемого образца. Измерив этим преобразователем твердость, например, тонкостенной трубы, можно определить поправочный коэффициент для результатов измерений методом Либа, для которого толщина стенки является серьезным ограничением. Аналогичным образом пользователь может сам уточнять корреляционные зависимости между разными шкалами твердости для материалов, для которых не существует стандартизованных переводных таблиц.

**Заключение.** Портативные твердомеры позволяют решать широкий круг задач контроля механических свойств материалов, изделий и конструкций в процессе их изготовления и эксплуатации. В то же время их применение требует понимания преимуществ и ограничений, характерных для различных типов измерительных преобразователей. При выборе твердомера необходимо учитывать влияние свойств испытуемых объектов на результаты измерения. Одновременное использование различных преобразователей в соответствии с предложенным комплексным подходом позволяет компенсировать влияние мешающих параметров и повысить точность и достоверность измерений твердости.

### Литература:

1. D. Leeb Dynamic hardness testing of metallic materials. NDT International 12(6). December 1979. p.274-278.
2. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М: Мир. 1989. — 510 с.
3. ISO 16859-1:2015(E) Metallic materials - Leeb hardness test - Part 1-3.
4. Сясько В.А., Гоголинский К.В., Никазов А.А. Разработка эталона твердости по Либу: второго разряда. В мире неразрушающего контроля. 2017. Т. 20. № 1. стр. 16-20.
5. Потапов А.И., Сясько В.А., Гоголинский К.В., Никазов А.А. Обеспечение единства измерений твердости динамическим методом в Российской Федерации. Контроль. Диагностика. №12 декабрь 2016 г. стр. 44-50

Е.Е. СМИРНОВА, Э.Р. ФЕДОРОВА

Санкт-Петербургский горный университет

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ОТ ФТОРА НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технология производства фосфорной кислоты связана с процессами извлечения и утилизации фтора, содержащегося в фосфорном сырье. Обессфторивание фосфорной кислоты достигается различными методами [1, 2]. В данной публикации рассмотрены исследования, связанные с использованием щелочных натриево-кальциевых силикатов состава  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  для вывода фтора из фосфорнокислых растворов. Примуществом данного реагента ( $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) является возможность его применения в качестве комплексного осадителя и его низкая стоимость, поскольку  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  является отходом нефелинового производства.

Натриево-кальциевый силикат с мольным отношением  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  синтезировали из химически чистых карбонатов натрия и кальция и оксида кремния. Шихту фракции 0,085 мм спекали в силикатовой печи при различных температурах в интервале от 600 до 1200°C в течение 60 мин. Спеки, полученные при различных температурах, анализировали на содержание  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  по стандартным методикам [3, 4].

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о практически полном протекании реакции образования натриево-кальциевого силиката при температуре 1200°C.

Таблица 1. Содержание  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  спеках при различных температурах спекания

Температура спекания, °C	700	800	900	1000	1100	1200
Содержание $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ в спеке, масс. %	3,5	16,9	57,5	83,5	94,5	99,2

Полученный при 1200°C спек подвергали химическому, кристаллооптическому и рентгенофазовому анализам. Химический анализ спека показал, что он имеет следующий состав, мас. %:  $\text{Na}_2\text{O} - 34,1$ ;  $\text{CaO} - 31,6$ ;  $\text{SiO}_2 - 33,3$  (потери при прокаливании составляли 1,0%), и, следовательно, мольное отношение компонентов  $\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 0,98:1,00:0,99$ , что соответствует структурной формуле соединения  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$ . Кристаллооптический анализ свидетельствует о том, что продукт представлен зернами округлой неправильной формы, размером от 20 до 60 мкм, оптически изотропен и имеет показатель светопреломления для кристалла  $N_{\text{ср}}=1,588$ , что соответствует литературным данным. По данным рентгенофазового анализа (табл. 2), полученный натриево-кальциевый силикат имеет основные линии, соответствующие кристаллической решетке  $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$ .

Таблица 2. Данные рентгеноструктурного анализа

Межплоскостное расстояние, $10^{10}$ , нм		Интенсивность, отн %	
Экспериментальные данные	Литературные данные [2]	Экспериментальные данные	Литературные данные [2]
4,34; 2,66; 2,17; 1,88; 1,53	4,35; 2,67; 2,17; 1,88; 1,52	24; 100; 10; 20; 16	10; 100; 5; 50; 60

Обессфторивание проводили в течение 60...240 мин в терmostатированном реакторе с фосфорной кислотой при 80°C. Мольное соотношение  $(\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2):\text{F}$  меняли в интервале от 1:1 (что соответствует

теоретическому соотношению) до 1.7:1; при этом использовали экстракционную фосфорную кислоту состава, мас. %:  $P_2O_5$  – 28.0; F – 1.8;  $SO_3$  – 1.5;  $CaO$  – 0.7;  $SiO_2$  – 0.9;  $Al_2O_3$  – 0.1;  $Na_2O$  – 0.1. Жидкую фазу анализировали на содержание  $P_2O_5$  и F по аналитическим методикам [4, 5]. Как показали результаты эксперимента, приведенные в табл. 3 повышение мольного отношения  $(Na_2O \cdot CaO \cdot SiO_2):F$  от 1 до 1.7:1 приводит к увеличению степени осаждения фтора из кислоты от 59 до 87%.

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований по очистке фосфорной кислоты от фтора

Мольное отношение $Na_2CaSiO_4:F$	Время отбора проб, мин	Состав жидкой фазы, мас. %		Степень осаждения F, %
		F	$P_2O_5$	
1:1	60	1.2	27,9	59
	120	1.0	27,9	
	180	0.72	26,8	
	240	0.73	26,7	
1.1:1	60	0.78	28,4	64
	120	0.62	27,4	
	180	0.63	27,6	
	240	0.64	27,4	
1.3:1	60	0.55	28,0	71
	120	0.54	27,4	
	180	0.51	27,6	
	240	0.51	27,4	
1.5:1	60	0.31	28,3	78
	120	0.30	27,7	
	180	0.34	27,6	
	240	0.40	27,6	
1.7:1	60	0.30	28,3	87
	120	0.26	27,4	
	180	0.25	27,4	
	240	0.22	27,4	

Дальнейшее увеличение количества осадителя нецелесообразно, так как оно практически не увеличивает степени осаждения. Выполненные исследования подтверждают целесообразность использования натриево-кальциевого силиката  $Na_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$  в качестве обесфторивающего реагента при очистке фосфорной кислоты.

#### Литература

1. Абрамов В. Я., Алексеев А. И. Комплексная переработка нефелино-апатитового сырья. Москва: Металлургия, 2017 - 392
2. Фекличев В.Г. Диагностические спектры минералов. - М: Недра, 1977. С. 30-34.
3. Любовина К.О., Смирнова Е.Е., Алексеев А.И. Переработка известняка с получением неорганических соединений с заданными свойствами. Сборник докладов III круглого стола «Высокие технологии: потенциал и перспективы» / под ред. д-ра экон. наук К.В. Хлебникова. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2018. – С. 106 – 110.
4. Алексеев А. И., Комплексная переработка апатит-нефелиновых руд на основе создания замкнутых технологических схем / Записки горного института, № 215, Т 215, 2017. pp. 75 - 83.
5. Alekseev A. I., Kononchuk O. O., Bertau M. -., Hippmann S. -., Goncharova M. V., Recovery of  $CaCO_3$  from the Nepheline Sludge of Alumina Production / Chemic-Ingenieur-Technik , № 4, 2019. С 1 - 9.

## НЕКОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ НЕФТИНОЙ ПЛЕНКИ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В настоящес время во многих странах ведутся активные исследования в области разработки дистанционных методов и средств обнаружения нефтяных разливов [1, 2]. Нефтепродукты, растекаясь на морской поверхности, образуют плёнки, толщина которых может доходить до мономолекулярного слоя.

В работе рассматриваются особенности реализации методов и применения средства измерений толщины нефтяной пленки, а также оценивается точность измерений в реальных условиях при наличии поверхностного волнения.

Средства измерений толщины нефтяной пленки, основные их характеристики и условия применения приведены в таблице.

В радиометрических средствах измерений реализован поляризационный метод - толщина нефтяной пленки определяется по отношению коэффициентов отражения на вертикальной и горизонтальной поляризациях.

Трехчастотный радиометрический комплекс ПРИНТ-3 [3], в котором реализован поляризационный метод, является единственным официально зарегистрированным в России дистанционным средством измерений толщины нефтяной пленки на водной поверхности.

Прибор КТС РМК-Н [4] – это переносной радиометрический измеритель толщины слоя нефти на водной поверхности. В основу методологии определения толщины пленки нефти на акватории водоемов по измерениям интенсивности радиотеплового излучения воды положена зависимость коэффициента отражения радиоволн на взаимно ортогональных поляризациях от толщины нефтяной пленки.

Комплекс ПРИНТ-3 и прибор КТС РМК-Н успешно прошли испытания в целях утверждения типа средств измерений и были внесены в Государственный реестр средств измерений.

Нефть и нефтепродукты интенсивно флуоресцируют при возбуждении светом ультрафиолетового диапазона, а спектры флуоресценции разных типов нефтепродуктов существенно различаются по интенсивности и форме. Многофункциональный флуоресцентный лидар даёт возможность идентифицировать нефтепродукты по их составу, а также оценивать толщину нефтяной пленки [5].

Использование четырёхволнового и двухвольнового лазерного зондирования обеспечивает измерение толщины нефтяной пленки в диапазоне (0,1 ... 140) мкм [6, 7].

В лазерном ультразвуковом устройстве толщина пленки определяется по времени распространения акустической волны между верхней и нижней границами нефтяного пятна [8].

В многочастотном радиолокационном комплексе (МРЛК) «Марс» толщина нефтяной пленки определяется по радиолокационным контрастам нефтяных пятен, полученным в сантиметровом и дециметровом диапазонах радиоволн [9].

Таблица. Основные характеристики средств измерений толщины нефтяной пленки

Наименование средств	Диапазон волн	Диапазон измерений	Точность измерений	Примечание
Трехчастотный радиометрический датчик ПРИНТ-3	(10.7...11.7); (11.7...12.7); (33...35) ГГц	(0.2...0.6)мм (0.6...4.0)мм (4.0...6.0)мм (6.0...12,0)мм	±0.1 мм ±0.2 мм ±0.4 мм ±0.6 мм	1. Утвержден тип средства измерений. 2. Переносной прибор. 3. Измерения выполняет оператор вручную. 4. Волнение — до 2 баллов.
Переносной радиометрический измеритель толщины слоя нефти на водной поверхности КТС РМК-Н	(11.7...12.7); (33...35) ГГц	(0.2...0.6)мм (0.6...4.0)мм (4.0...6.0)мм (6.0...12,0)мм	±0.1 мм ±0.2 мм ±0.4 мм ±0.6 мм	1. Утвержден тип средства измерений. 2. Переносной прибор.
Многофункциональный флуоресцентный лидар	Возбуждение светом УФ диапазона			1. Дистанция — до 100 м (при размещении на высоте 30 м).
Лазерное устройство	1,53; 1,43; 1,406 и 1,33 мкм 2,86 и 5,76 мкм	(0,1...4,0) мкм (4...140) мкм	20 % 20 %	1. Проскт.

Наименование средств	Диапазон волн	Диапазон измерений	Точность измерений	Примечание
Лазерное ультразвуковое устройство				1. Используются три лазера, в т.ч. мощный CO <sub>2</sub> — лазер. 2. Проведены исследования в лабораторных условиях. 3. Опытный образец планируется установить на самолет.
МРЛК «Марс»	3 и 23 см	(20...173) мкм		1. Сложная процедура калибровки радиолокаторов и выбора режима оптимальной съемки. 2. Сложная и продолжительная процедура обработки информации.

Анализ приведенных данных позволяет сделать заключение:

- лазерные средства позволяют измерять толщину нефтяной пленки на расстоянии до нескольких сотен метров;
- наиболее перспективным представляется создание радиометрических средств измерений толщины нефтяной пленки на водной поверхности, серийное производство которых, в настоящее время, отсутствует;
- методика измерений толщины нефтяной пленки на водной поверхности с использованием многочастотных радиолокаторов требует дальнейшего исследования и отработки.

#### Литература

1. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / Под ред. академика Бондура В.Г. –М.: Научный мир. 2012. -558 с.
2. Ушаков И.Е. Радиолокационный мониторинг загрязнений морской поверхности нефтепродуктами с буровых платформ и транспортных судов // Записки Горного института. 2016. Т. 129. С. 421-427. DOI 10.18454/PMI.2016.3.421.
3. Приборы портативные трехчастотные Принт-3 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.td-str.ru/file.aspx?id=30526> (дата обращения 01.04.2019).
4. Радиометр - переносной измеритель толщины пленки нефти КТС РМК-Н [Электронный ресурс]. URL: [http://www.npp-polyot.ru/prod/prod\\_14\\_03.phtml](http://www.npp-polyot.ru/prod/prod_14_03.phtml) (дата обращения 01.04.2019).
5. Лобковский Л. Технология многоуровневого экологического мониторинга в целях информационного обеспечения безопасности морской добычи нефти и газа / Л. Лобковский, А. Зацепин, С. Ковачев и др. // Технологии топливно-энергетического комплекса. 2007. №2. С. 72-78.
6. Дистанционный лазерный метод измерения толщины пленок нефтепродуктов на водной поверхности, основанный на определении коэффициента пропускания пленки нефти / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.А. Городничев и др. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. - 2006. - № 2. - С. 56-64.
7. Белов М. Л., Городничев В. А., Козинцев В. И., Смирнова О. А., Федотов Ю. В., Хрусталева А. М. Двухспектральный дистанционный способ обнаружения нефтяных загрязнений на поверхности воды. Патент РФ на изобретение № 2298169 от 27.04.07.
8. Fingas M, Brown C. Review of Oil Spill Remote Sensing, Mar Pollut Bull. 2014, V 83 Is. 1/ p. 9-23 [<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.059>].
9. Боеv А.Г., Матвеев А.Я. Оценка количества разлитой нефти на акватории каспийского промысла «Нефтяные камни» по данным многочастотного радиолокационного зондирования // Радиофизика и радиоастрономия, 2005, Т.10, С. 178-188.

**П. МАХАРАТКИН, Э. АБДУЛАЕВ**  
Санкт-Петербургский горный университет

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В процессе эксплуатации горнотранспортной техники в сложных горно-геологических условиях, а также высоких динамических нагрузках при выполнении технологических операций необходимо проводить комплекс мероприятий по определению текущего технического состояния узлов, агрегатов и конструкций пневмоколесных транспортных машин с целью создания адаптивной системы их технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р).

Отказы, возникающие в машинах, сопровождаются значительными экономическими затратами, превышающими в итоге стоимость диагностического оборудования, позволяющего с достаточной точностью и оперативностью по утвержденным в Госгортехнадзоре методикам оценивать степень износа сопрягающихся элементов и наличие внутренних дефектов и напряжений в несущих металлоконструкциях.

Развитие современных неразрушающих методов контроля прочностных, физико-механических характеристик материалов и конструкций происходит в различных направлениях:

1) установление функциональных теоретических соотношений между прочностными и физическими параметрами материалов;

2) оценка эмпирической статистической корреляции прочности и физического параметра исследуемого материала;

3) разработка комплексных многопараметровых методов контроля;

4) создание неразрушающих методов контроля интегральной прочности изделий и конструкций [1].

При выборе методов неразрушающего контроля (НК) для конкретных деталей и узлов необходимо учитывать следующие основные факторы: характер (вид) неисправности и ее расположение, чувствительность метода контроля, условия работы деталей и технические условия (ТУ) на изделие, материал изготовления, состояние и шероховатость поверхности, форму и размер узла, доступность зоны контроля.

Основные параметры диагностирования зависят от выбора узлов и агрегатов которые можно разбить на основные группы. Для карьерного автосамосвала такое представление групп и параметров представлено в таблице.

Таблица. Диагностические параметры карьерного автосамосвала

<b>Группы оборудования</b>	<b>Основные узлы, агрегаты и механизмы</b>	<b>Основные параметры диагностирования</b>
Двигатель и его системы	Система питания воздухом	Разряжение воздуха перед турбиной, давление наддува, температура отработавших газов, время выбега компрессора после остановки двигателя, давление масла в турбокомпрессоре.
	Система питания топливом	Угол опережения впрыска топлива до ВМТ, расход топлива, температура отработавших газов, давление наддува, амплитуда вибросигнала форсунки.
	Система охлаждения	Температура охлаждающей жидкости в контуре охлаждения двигателя и поддуваемого воздуха, давление в контуре охлаждения двигателя и наддувочного воздуха.
	Система выпуска отработавших газов	Давление отработавших газов за турбиной
	Двигатель	Параметры масла, расход топлива, максимальная мощность двигателя, разность амплитуд пульсации масла по цилиндрам
Электрические машины	Опорные подшипники	Параметры шума вибрации или температура нагрева
	Обмотки якоря электрических машин и полюсов	Ток якоря, ток и напряжение силовой цепи.
	Коллекторы электрических машин	Оценка коммутации
Электрические цепи и аппараты	Система энергоснабжения	Напряжение, поддерживаемое реле-регулятором при работе генератора.
	Система пуска двигателя	Напряжение, сохраняемое аккумуляторными батареями при запуске двигателя, ток стартера
	Силовая передача	Ток и напряжение электродвигателя в зависимости от оборотов двигателя, напряжение синхронного генератора и возбудителя
Механические передачи	Редуктор мотор-колеса, коробка отбора мощности, редуктор привода вентиляции	Параметры работающего масла, свободный ход тормозного барабана, амплитуда вибросигнала
Колесо	Шина, ступица, диск	Нормативное давление, температура в шинах, температура диска, ступицы

Многообразие параметров диагностирования требует применения различных методов контроля с использованием широкой гамы приборов неразрушающего контроля. Например, в pnevmokolesном транспорте, один из эксплуатационных факторов является нарушение норм давления воздуха внутри шин, а отклонение от регламентируемого давления в шинах может повлечь за собой такие последствия как: увеличение не равномерности износа, снижение порогостойкости протектора, структурное (физическое) разрушение каркаса шины, большее теплообразование. Не случайно затраты на приобретение и обслуживание крупногабаритных шин (КГШ) входят в число основных статей расходов предприятий открытой добычи. Учитывая вспомогательную роль КГШ как в структуре расходов, так и в техническом обеспечении горного производства, ведущие производители и потребители КГШ заинтересованы в максимально эффективном управлении шинным хозяйством [2].

Для различных типов шин существует установленное, в определенном диапазоне, внутреннее давление, которое зависит от внешних нагрузок, условий использования и прописывается в паспорте. При избыточном давлении, основная нагрузка распределяется на центральную часть пятна контакта шины, а при недостаточном давлении на периферию с возникающим «мостовым» эффектом, что приводит в обоих случаях к повышенному износу протектора в этих зонах [3].

Одним из эффективных способов сокращения затрат при использовании крупногабаритных шин, может являться постоянный контроль (мониторинг) за их эксплуатационными характеристиками в рабочем состоянии. Для этого используются СКД (Системы контроля давления), которые своевременно сигнализируют о понижении или повышении давления в шинах, относительно установленной паспортом нормы, что позволяет предотвратить аварийные ситуации и уменьшить износ, а также повысить надежность исключения «недопробега». СКД достаточно просты в эксплуатации и как правило состоят из датчиков передающих сигнал на монитор. Так же у системы есть возможность интегрироваться в систему диспетчеризации (при ее наличии), что позволит контролировать данный параметр удаленно диспетчером.

Каждый производитель шин гарантирует работу своего изделия при соблюдении рекомендованного им диапазона давления в шинах, так называемый «зеленый коридор», если есть незначительный выход давления из рекомендованного коридора, то в следствии мы получим повышенный износ протектора.

По данным компании Мишлен 1% отклонения давления от нормы влечет за собой 1.5% недопробега колеса. Если отклонение существенное (более 15%) то начинается процесс разрушения каркаса шины и в данном случае ситуация уже критична, данная шина максимально подвержена износу и сильно уязвима к проколу, боковому порезу и как следствие взрыву и потери шины и времени.[4]

Основным видом технического обслуживания карьерных самосвалов на сегодняшний день является стратегии планово-предупредительного ремонта (ППР), но обслуживание КГШ при ППР учитывает лишь плановую замену шин или ремонт поврежденной поверхности КГШ, поэтому применение принципов стратегии ТО и Р по фактическому техническому состоянию (СВМ - Condition-Based Maintenance) для данного узла является наиболее предпочтительной[5].

Внедрение системы технического обслуживания, основанной на стратегии ТО и Р по фактическому техническому состоянию, для обслуживания автосамосвалов уже применяется на ряде горных предприятий России. Внедряемые информационные системы позволяют осуществлять мониторинг и контроль фактического состояния узлов, что в свою очередь не только снижает вероятность аварийного отказа, но и повышается коэффициент готовности автопарка.

#### Литература

1. Потапов А.И. Оценка связи прочности и скорости ультразвука в стеклопластике // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 176-184. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.176
2. Зеночкин, М. Ю. Система учета и отслеживания крупногабаритных шин как важнейшее условие эффективного управления шинным хозяйством в горнодобывающей промышленности [Текст] / М.Ю. Зеночкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 11. – С. 56-64
3. А.А. Долгушин, А.Б. Черкасов Оценка эффективности шин автомобилей
4. Крупногабаритные шины: руководство по эксплуатации MICHELIN [Текст]. 2012. – 60 с.
5. Фокин А.С. Совершенствование системы технического обслуживания горных машин / А.С.Фокин, А.Ю.Маркова, С.Л.Иванов // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 10-й Международной научно-практической конференции / Воркутинский горный институт. Воркута. 2012. С.407-410.

## ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА 6 СИГМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС

Управление процессами в организации может осуществляться многими методами менеджмента качества, бережливого производства, среди которых «шесть сигм». Необходимо отметить, что традиционно данный метод применяется на производственных предприятиях для снижения дефектов и издержек, а также для управления качеством при производстве продукции. [1] Однако образовательный процесс, как и любой другой нуждается в управлении, так как управляемое состояние процесса обеспечивает его стабильность и результативность.

Следует отметить что исследования, которые конкретизируют внедрение и применение метода «шесть сигм» в образовательных учреждениях немногочисленны. Большинство исследований российских и иностранных ученых в данной сфере (Жабрева В.С., Григораш О.В., Золотухина В.А., V.H. Patil и другие) [1,2,3,7] носят общий характер и не раскрывают вопросы практической реализации метода «Шесть сигм», установления целевых показателей эффективности процесса и их доверительных границ в образовательном процессе.

Внедрение и применение метода «шесть сигм» базируется на стандарте ГОСТ Р ИСО 13053-2015 Статистические методы. Количественные методы улучшения процессов «Шесть сигм». Однако необходимо отметить, что данный стандарт направлен на управление продукцией и не адаптирован для использования в образовательном процессе. Проанализировав положения данного стандарта можно выделить следующие этапы внедрения 6 сигм (рисунок 1).

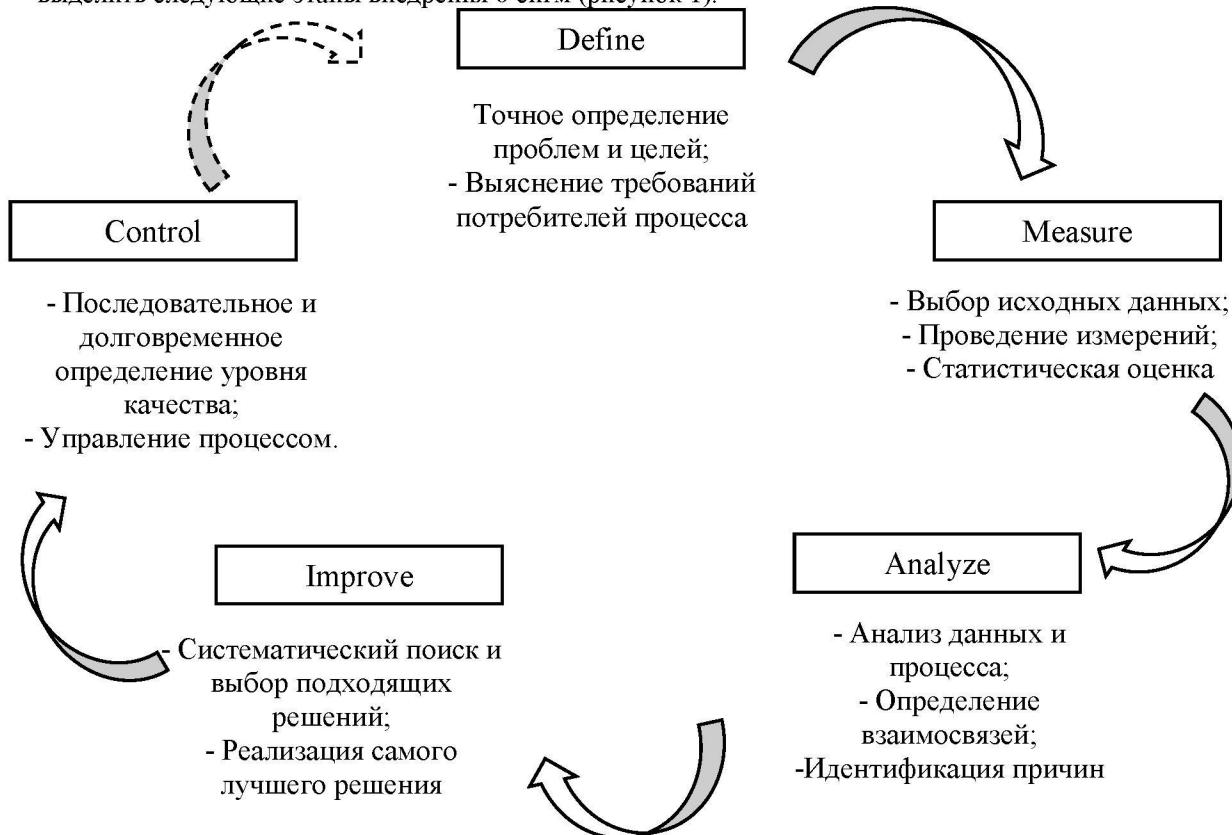


Рисунок 1. Этапы внедрения метода «шесть сигм» в образовательный процесс

Данная схема является актуальной для любого типа организации, в том числе и для образовательного учреждения. Она имеет сходство с моделью PDCA, которая изложена в стандарте ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и предусматривает непрерывное совершенствование каждого процесса в организации.

Основные трудности внедрения метода «шесть сигм», которые стоят перед образовательным учреждением можно классифицировать следующим образом:

- 1) Проблемы правильного применения методологии и выбора показателей эффективности.
- 2) Проблемы ресурсного обеспечения.
- 3) Организационно-управленческие проблемы.

Если вторая и третья группа проблем является общей для всех типов предприятий, внедряющих «Шесть сигм», то первая группа проблем требует конкретизации, в связи со специфичностью целей и задач процесса образования.

Следует отметить, что первоочередной задачей при адаптации метода 6 сигм для анализа образовательного процесса является разработка целевых показателей эффективности, т.к. именно эти показатели в значительной мере влияют на его качество.

Проанализировав ряд литературных источников [2,4,5] и детализировав приведенные в них сведения можно выделить следующую систему показателей качества образовательного процесса (с точки зрения потребителя процесса).

Группа 1. Качество преподавательского состава

Группа 2. Инфраструктура

Группа 3. Оборудование

Группа 4. Информационно-методические материалы

Такая система целевых показателей процесса является объективной и может быть использована в качестве базовой при адаптации метода «шесть сигм» для образовательного процесса.

Еще одной из основных задач является количественное измерение целевых показателей процесса и установление их допустимых границ. Показатели процесса обучения должны находиться в установленных доверительных границах, и их превышение так же нежелательно, как и выход за минимальное значение. Так, к примеру, повышение числа оборудования из расчета на одного студента является сигналом неэффективного расходования ресурсов, что приводит к дополнительным издержкам процесса.

Границы показателей могут быть установлены в конкретном образовательном учреждении исходя из требований Федеральных государственных образовательных стандартов, профессиональных стандартов для преподавателей Вузов (Приказ Минтруда России от 08.09.2015 N 608н), учебной программой конкретного учреждения, требованием стандартов организации на систему менеджмента качества.

Внедрение инноваций – это всегда трудоемкая работа, которая требует особых качеств от всех участников и оптимальной организации управления процессом. Следует отметить важность квалификации и вовлеченности персонала при внедрении метода «шесть сигм» в образовательный процесс. Специалисты должны знать, как методологию проведения «шесть сигм», так и методологию проведения учебного процесса, а также по возможности обладать практическими навыками внедрения данного метода на конкретном предприятии. [6.7]

Метод «шесть сигм» является одним из инструментов системы бережливого обучения, которая внедряется в образовательном учреждении, как элемент бизнес-стратегии и направлена на повышение эффективности образовательного процесса.

Необходимо отметить, что внедрение метода 6 сигм в образовательном учреждении позволяет достичь следующих преимуществ:

- Наладить эффективное расходование и распределение ресурсов (материальных, административных, кадровых);
- Повысить качество образовательного процесса, за счет снижения вариативности отклонений целевых показателей;
- Оптимизировать время процесса обучения.

Метод 6 сигм позволяет снизить вариативность целевых показателей процесса образования и обеспечить его соответствие требованиям заинтересованных сторон: обучающихся, преподавателей, государства.

### Литература

1. Золотухин В.А. Управление качеством образования на уровне «шесть сигм» // Общество. Среда. Развитие. - 2013. - #3. - С. 212-215.
2. Григораш О.В. Повышение эффективности управления качеством образовательного процесса // Высшее образование в России - 2013. - #1- С. 72 – 73.
3. Patil V.H., Kamlapur S.M., Dhere M.L., 2006 Six Sigma in Education: To Achieve Overall Excellence in the Field of Education. In the Proceedings of the 2006 Third International Conference on Information Technology: New Generations, pp: 376-382.
4. Меземцева Е.В., Королюк Е.В., Астанкова Е.Н. Оценка качества образовательной деятельности ВУЗа (на примере филиала Кубанского государственного университета в г. Тихорецк) // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. - 2015. - #5. - С. 38 – 41.
5. Григораш О.В. О показателях оценки эффективности деятельности ВУЗов // Политехнический электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета – 2014. – #95 – С. 2-14
6. M. Vijaya Sunder, 2016 Sunder Lean Six Sigma in higher education institutions. International Journal of Quality and Service 8(2): 159-178
7. Жабрева В.С., Половова Т.Н. Модели процесса реализации «бережливого обучения + шесть сигм» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника – 2014. – #3 – С. 119-123.

Т.А. НЕЛЮБИНА  
Санкт-Петербургский горный университет  
Н.И. СМИРНОВА  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

**Введение.** На сегодняшний день стандартизация средств и методов неразрушающего контроля (НК) толщины покрытий в Российской Федерации основана на небольшом количестве разрозненных и, зачастую, устаревших национальных и межгосударственных стандартов. Расширение системы стандартов в этой области путем обновления, разработки новых российских и гармонизации иностранных и международных – актуальная задача, требующая анализа и поиска решений. Представленная работа посвящена анализу стандартов ISO и ASTM в рассматриваемой области и сравнению их с системой стандартов ГОСТ и ГОСТ Р.

### Общее состояние стандартизации в области толщинометрии покрытий методами НК

Были проанализированы информационные базы по стандартизации следующих организаций:

- International Organization for Standardization ISO (рус. Международная организация по стандартизации, ИСО [1]);
- ASTM International (American Society for Testing and Materials [2]);
- МГС (Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации [3]);
- Росстандарт [4].

Анализ проводился на основе данных с официальных информационных ресурсов организаций по стандартизации, технических комитетов, а так же с сайта ФГУП «Стандартинформ» [5]. В частности, рассматривались действующие стандарты, принятые техническими комитетами по стандартизации, отвечающими за НК толщины металлических и неорганических покрытий: ISO/TC 135- Non-destructive testing и ISO/TC 107 – Metallic and other inorganic coatings, B08 (ASTM) - Metallic and Inorganic coatings, MTK 515 (МГС) - Неразрушающий контроль, ТК 371 (Росстандарт) - Неразрушающий контроль. Стандарты на методы контроля толщины лакокрасочных покрытий при составлении выборки стандартов не учитывались.

Были выделены следующие группы стандартов:

По методам контроля толщины покрытий:

- Без уточнения конкретного метода контроля;
- Ультразвуковой метод;
- Вихревоковый метод;
- Магнитный метод;
- Спектрометрический метод;
- Оптический метод;
- Метод отраженных бета-лучей;
- Акустический метод;
- Метод динамического индентирования;
- Профилометрический метод.

Для последующего анализа выбраны группы методов контроля толщины покрытий.

Было выяснено, что в системе стандартов ГОСТ и ГОСТ Р нет стандартов, описывающих применение таких методов как: оптический, профилометрический, метод отраженных бета-лучей; утверждены единичные стандарты по вихревоковому, спектрометрическому, акустическому методам. Разработано много стандартов по ультразвуковому и магнитному методам, однако, только в сфере космических технологий, тогда как документы ISO и ASTM применяются по общему назначению.

Пример таблицы сравнения стандартов по вихревоковому и магнитному методам приведены в табл.1.

Таблица1. Сравнение стандартов по вихревоковому и магнитному методам

Метод контроля	МТК, ТК (ГОСТ(Р))	ISO	ASTM
Вихревоковый метод	ГОСТ Р 56475-2015 Системы космические. Контроль неразрушающий толщины толстослойных гальванических никелевых покрытий деталей и сборочных единиц жидкостных ракетных двигателей. Общие	ISO 2360:2017 Покрытия непроводящие на немагнитных электропроводящих исходных материалах. Измерение толщины покрытия. Амплитудно-чувствительный метод вихревых токов ISO/DIS 21968:2005 Немагнитные металлические	ASTM B244-09 (2014) Стандартный метод измерения толщины анодных покрытий на алюминии и других непроводящих покрытий на немагнитных металлах с

Метод контроля	МТК, ТК (ГОСТ(Р))	ISO	ASTM
	требования	покрытия на металлических и неметаллических основаниях. Измерение толщины покрытия. Фазочувствительный вихревой метод ISO 20669:2017 Контроль неразрушающий. Контроль методом пульсирующих вихревых токов компонентов из ферромагнитных материалов	Вихревоковыми приборами
Магнитный метод	ГОСТ Р 56475-2015 Системы космические. Контроль неразрушающий толщины толстослойных гальванических никелевых покрытий деталей и сборочных единиц жидкостных ракетных двигателей. Общие требования ГОСТ Р 56473-2015 Системы космические. Контроль неразрушающий толщины гальванических никелевых и двухслойных никель-хромовых покрытий. Общие требования ГОСТ Р 56097-2014 Системы космические. Контроль неразрушающий. Магнитный пондеромоторный метод контроля толщины гальванических никелевых и никель-хромовых покрытий	ISO 2178:2016 Покрытия немагнитные на магнитных поверхностях. Измерение толщины покрытия. Магнитный метод ISO 2361:1982 Электролитические никелевые покрытия на магнитных и немагнитных основах. Измерение толщины покрытия. Магнитный метод	ASTM B499 - 09 (2014) Стандартный метод измерения толщины покрытия магнитным методом: немагнитные покрытия на магнитной основе металлов ASTM B530-09 (2014) Стандартный метод измерения толщины покрытия магнитным методом: Электроосажденные никелевые покрытия на магнитных и немагнитных подложках

Анализ сводной сравнительной таблицы позволяет сделать выводы о необходимости работ по стандартизации:

**Актуализация:** ряд национальных и межгосударственных стандартов, в т.ч. разработанных на основе международных стандартов, требует актуализации.

**Разработка:** существующая система ГОСТ и ГОСТ Р не в полной мере охватывает современные средства и методы в области толщинометрии покрытий. Внедрение новых приборов и методик НК в промышленности требует разработки и утверждения новых стандартов.

**Гармонизация:** для развития национальной системы стандартов РФ, а также с целью применения зарубежного опыта и повышения конкурентоспособности отечественной приборостроительной продукции на мировом рынке необходима системная гармонизация, т.е. перевод и модификация международных стандартов, учитывающая специфику терминологии на языке оригинала, а также технические отклонения от российской практики и законодательства.

В настоящее время в ТК 371 «Неразрушающий контроль» ведется работа по гармонизации стандарта ISO 2178:2016 «Покрытия немагнитные на магнитных поверхностях. Измерение толщины покрытия. Магнитный метод». Однако, для решения поставленных задач необходима организация работ на постоянной основе по актуализации, разработке и гармонизации стандартов с участием всех заинтересованных сторон: разработчиков, потребителей и государства в лице Росстандарта.

**Заключение.** Проведенный анализ позволил выявить проблемы в системе стандартов ГОСТ и ГОСТ Р и предложить пути их решения. Задача развития системы стандартов РФ в области толщинометрии покрытий требует серьезного внимания для актуализации, гармонизации и разработки новых стандартов. Уже сейчас ведется работа в этом направлении.

#### Литература

1. International Organization for Standardization [Электронный ресурс]: <https://www.iso.org>
2. American Society for Testing and Materials [Электронный ресурс]: <https://www.astm.org>

3. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации [Электронный ресурс]: <http://www.easc.by/>
4. Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии [Электронный ресурс]: <https://www.gost.ru>
5. ФГУП «Стандартинформ» [Электронный ресурс]: <http://www.gostinfo.ru>

**Н.К. КОНДРАШЕВА, О.В. ЗЫРЯНОВА, А.С. ИВАНОВ,  
С.М. КОСОЛАПОВА, Е.В. КИРЕЕВА**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **НОВЫЙ МЕТОД КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ СМАЗЫВАЮЩИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВ**

Для оценки смазывающих свойств топлива используется показатель – диаметр пятна износа, который измеряется с использованием четырехшариковой машины трения (ЧШМ). С помощью этого трибологического анализатора можно оценить способность веществ уменьшать нагрузки, возникающие в процессе трения[1,2]. Однако для оценки смазывающих свойств профилактических смазок (ПС), основной задачей которых является предотвращение примерзания материалов к металлическим поверхностям, этот показатель бывает недостаточно информативен. Это связано с тем, что помимо смазывающих свойств ПС должны иметь низкую температуру застывания, высокий показатель адгезии и оптимальный химических состав.

С учетом появления большого количества различных ПС (олигоорганоксилоксаны - кремнийорганические жидкости, ПС на основе гидроксилсодержащих соединений, соли неорганических и органических кислот, ПС на нефтяной основе), необходима разработка метода, который позволит оценить их эффективность вне зависимости от их агрегатного состояния или химического состава[3].

Поскольку наиболее часто ПС применяются для транспортировки различных полезных ископаемых (уголь, руды, шламы), то в методике предлагается имитировать условия транспортировки при низких температурах[4,5]. Основной причиной прилипания и примерзания сыпучих материалов к стенкам грузовых отсеков является вода, содержащаяся в самом материале. В процессе перевозки вода скапливается в нижней части вагона, образуя слой жидкой фазы между стенкой вагона и материалом. На прочность примерзания материала влияет химический состав твёрдых фаз, (наличие атомов кислорода в структурной решётке, что обуславливает образование водородных связей с молекулами воды) и толщина водяного слоя[6-8].

В данном исследовании разработан новый метод оценки смазывающих свойств ПС. Для проведения испытаний была сконструирована и изготовлена металлическая (марка стали Ст3) модель вагона (см. рис. 1). Шибер для выгрузки был представлен металлической пластиной, которая подвергалась обработке ПС.

На пластину наносился слой ПС, затем модели помещались в морозильную камеру на 24 часа. В результате происходили процессы адгезии и кристаллизации воды на поверхности металла и материал примерзал. Поскольку задачей ПС является предотвращение этих явлений, то оценку их эффективности можно провести с помощью выдавливания пластины. При сдвиге пластины происходит разрушение ледяного слоя и материал отлипает от стенки. Таким образом, необходимо выдавить пластину и измерить прикладываемое усилие для ее сдвига. Эта нагрузка характеризует прочность примерзания и позволяет косвенно оценить смазывающую способность ПС.

Для измерения усилия использовался пресс с весовым тензометрическим с-образным датчиком на растяжение-скатие DYLY-104/300 (см. рис. 2).



Рисунок 1 – Экспериментальная модель.



Рисунок 2 – Пресс

Изначально датчик с помощью программатора Arduino Uno подключался к ноутбуку и данные выводились на экран в программе Arduino. Таким образом, для работы пресса требовалось дополнительное оборудование. Затем к программатору был подключен дисплей, в результате чего использование пресса стало полностью автономным.

С помощью нового метода были проанализированы ПС на основе легких и тяжелых газойлей каталитического крекинга (КК) и замедленного коксования (ТКО) с добавлением твердых нефтяных остатков (ТНО) в качестве деспрессорных присадок. В результате испытаний были получены следующие значения нагрузки сдвига в килограммах, которые затем пересчитывались в единицы давления (см. табл. 1).

Таблица 1. Зависимость нагрузки для сдвига от состава смазки

Профилактическая смазка	Нагрузка для сдвига, МПа	
	Уголь с 20% влажностью	Песок с 15% влажностью
Без смазки	3.16	7.95
смесь газойлей КК+0% ТНО	0.94	1.77
смесь газойлей КК+2% ТНО	1.46	0.88
смесь газойлей КК+5% ТНО	0.65	0.17
смесь газойлей КК+10% ТНО	1.17	5.06
смесь газойлей ЗК+0% ТНО	1.72	3.84
смесь газойлей ЗК+2% ТНО	0.25	5.03
смесь газойлей ЗК+5% ТНО	1.24	2.46
смесь газойлей ЗК+10% ТНО	1.31	5.24

По данным графикам можно определить оптимальные составы ПС, при использовании которых требуется минимальное усилие сдвига пластины для модели, заполненной увлажненным песком или углем.

Новый метод позволяет успешно проводить сравнительную оценку смазывающих свойств профилактических средств. Также он является более простым для применения, чем использование четырехшариковой машины трения. Метод показал, что смеси на основе вакуумных газойлей с добавлением тяжелых остатков могут применяться в качестве ПС. Для предотвращения прилипания, примерзания и смерзания влажных сыпучих материалов рекомендуется применять профилактические смазки на базе газойлей каталитического крекинга и замедленного коксования с содержанием ТНО 2–5%.

Помимо этого производство этих смесей расширит номенклатуру товарных нефтепродуктов, выпускаемых на нефтеперерабатывающих заводах, и позволит повысить эффективность нефтепереработки благодаря рациональному использованию тяжелых остатков нефтепереработки.

#### Литература

1. Майба И.А., Ананко А.М., Бекстов А.С. Трибологические испытания на установках трения и изнашивания. Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. №4. С. 49-53.
2. Любимов Д.Н., Долгополов К.Н., Мельников Э.Н., Глазунова Е.А. Ранжирование свойств смазочных материалов на четырехшариковой машине трения. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2014. №2. С. 11-14.
3. Гущин А.А., Ермаков А.Ю., Мирошников А.М. Аналитический обзор реагентов для предотвращения смерзания угля. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 3. С. 256-268.
4. Киреева Е.В., Кондрашева Н.К., Зырянова О.В. Изучение смазывающих свойств новых профилактических средств для горнодобывающей горнотранспортной промышленности. Наукоемкие технологии функциональных материалов. 2017. С. 50-51.
5. Ощепков И.А., Худоносова З.А. Химическая обработка вагонов и угля против примерзания, смерзания и выдувания при перевозках. Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: XV международная научно-практическая конференция. 2013.
6. Куприн В.А., Бурмистров В.А. Взаимодействие нефтяных дисперсных систем с горизонтальной твердой поверхностью. Башкирский химический журнал. 2007. Том 14. №4.
7. Агаев В.Г., Гуров Ю.П., Землянский Е.О. Фазовые переходы и структурообразование в модельных системах твердых углеводородов и деспрессорных присадок. Нефтепереработка и нефтехимия. 2004. № 9.
8. Ощепков И.А. Химическая обработка твердых топлив на стадиях подготовки и переработки. Уголь. 2002. № 12.

**В. А. СЯСЬКО**

*Санкт-Петербургский горный университет*

**А. Ю. ВАСИЛЬЕВ**

*ООО «Константа», Санкт-Петербург*

## **КОНТРОЛЬ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕХНОЛОГИЕЙ МАГНИТНОГО РАССЕЯННОГО ПОТОКА В НЕФТЕГАЗОВОМ СЕКТОРЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Введение.** В условиях развития отечественного нефтегазового комплекса важную роль играет обеспечение безаварийности производств. Одним из основных источников риска являются коррозионные повреждения изделий из ферромагнитных материалов, возникающие в жестких условиях эксплуатации, которые, зачастую, приводят к авариям или катастрофам, несущие за собой большие экономические потери.

В настоящее время одним из основных методов контроля целостности стенок труб является метод неразрушающего радиационного контроля. Однако, в связи с трудностью настройки и калибровки оборудования, а также больших габаритов, создается сложность в использовании устройств для надежного и достоверного обнаружения дефекта, а повышенные требования безопасности, предъявляемые в ходе работы с источниками радиоактивного излучения и их хранения, повышают итоговую стоимость работ.

Наиболее универсальными и экономически целесообразными являются магнитные виды НК, в частности, перспективная технология магнитного рассеянного потока.[5] Дефектоскопы, построенные на принципах рассеянного магнитного потока, могут быть выполнены в малогабаритных корпусах, просты в настройке и практически не нуждаются в обслуживании, а также отличаются относительно низкой стоимостью. В докладе будет подробно рассмотрена данная технология, ее преимущества и недостатки, современные исполнения дефектоскопов, основанных на технологии рассеянного магнитного потока, а также перспективы развития технологии в будущем.

**Состояние технологии магнитного рассеянного потока на сегодня. Современное оборудование, реализующее технологию рассеянного магнитного потока.** Контроль изделий из ферромагнитных материалов технологией магнитного рассеянного потока стандартизован в ведущих промышленных странах: ГОСТ Р ИСО 10893-3-2016; JIS Z 2319: 2018; GB/T 32547-2016. Принцип технологии заключается в насыщении стеки трубы мощным магнитом практически до индукции насыщения  $B_{max}$  в объеме металла, заключенном между полюсами магнита, что будет соответствовать достижению максимального значения  $\mu_{max}$  материала. В таком случае можно утверждать, что при наличии между полюсами магнита коррозионных повреждений на внутренней или наружной поверхности стеки изделия картина магнитного поля вблизи поверхности претерпит изменения, а именно, произойдет увеличение магнитного сопротивления участка цепи в этой зоне, и часть силовых линий будет «вытеснена» наружу (произойдет рассеяние магнитного потока).[4]

На этом принципе реализованы приборы для решения большого диапазона задач:

1. Контроль состояния стальных канатов;
2. Контроль состояния магистральных нефте- и газопроводов с помощью внутритрубного снаряда (чаще всего реализованный для нескольких методов НК);
3. Контроль состояния труб средних и малых диаметров;
4. Контроль днищ резервуаров;

**Преимущества и ограничения технологии магнитного рассеянного потока.** Достоинством дефектоскопа, построенного на данной технологии, является возможность использования на неподготовленной поверхности, в том числе и с покрытием из неферромагнитных материалов, а высокая производительность работ обеспечивается возможностью контроля всей рабочей площади изделия. Немаловажным качеством является возможность получить предварительный результат в полевых условиях без отправки данных в лабораторию для расшифровки, простота настройки и установки дефектоскопа.

У представленной технологии существует ряд ограничений, которые необходимо учитывать при ее применении:

1. Зависимость глубины насыщения материала изделия от минимального размера контролируемого дефекта;
2. Большой уровень влияния сторонних факторов (наличие в относительной близости высоковольтных линий, обилия металлоконструкций, шероховатость поверхности);
3. Необходимость контроля толщины покрытия для введения поправок при конечной обработке.

Исходя из этого, технология магнитного рассеянного потока, на сегодняшний день, отлично подходит для решения задач в полевых условиях, в качестве дешевого «экспресс-теста», для выявления проблемных участков и дальнейшего детального исследования более точными и дорогостоящими методами НК.

**Технические результаты экспериментов.** В ходе научно-исследовательских работ на предприятии было проведено моделирование и оптимизация параметров магнитной системы, что уменьшило влияние внешних шумов и повысило достоверность результатов измерений.[1][2][3] Был изготовлен опытный образец дефектоскопа для контроля целостности днищ резервуаров, а также для контроля целостности стенок труб из ферромагнитных материалов. В настоящее время ведется разработка алгоритмов для решения задачи перехода от качественного анализа к количественному, что дало бы возможность получить параметры дефекта (глубина расположения, его размеры).

**Заключение.** Дефектоскопы, построенные на технологии магнитного рассеянного потока, позволяют решить большой круг задач контроля целостности изделий с ферромагнитными материалами в процессе их эксплуатации. Однако, из-за отсутствия способов корректной интерпретации данных, полученных в ходе полевых работ, необходимости настройки и градуировки под конкретный объект (учет покрытия, шероховатости, толщины стенки и пр.), уменьшает достоверность итоговых результатов, что не дает полностью полагаться на один метод НК и требует проведения комплексных исследований.

#### Литература

1. Syasko V.A., Pudovkin O.P. The modeling and optimization of parameters MFL transducers. / Book of abstract. 54th Annual British conference of nondestructive testing. 2015. – 27 p.
2. Потапов А.И., Сясько В.А., Пудовкин О.П. Неразрушающий контроль днищ резервуаров для хранения нефтепродуктов с использованием технологии MFL [Электронный ресурс]. Научный интернет-журнал. Технологии техносферной безопасности. 2016. Выпуск 5(69) - Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/tb/2016-5/2016-5.html> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз. рус.
3. Потапов А. И., Сясько В. А., Пудовкин О. П. Оптимизация параметров первичных измерительных преобразователей, реализующих технологию MFL [Статья]/Дефектоскопия 2015, №8. 64-71 с.
4. Потапов А.И., Сясько В.А., Соломенчук П.В., Ивкин А.Е., Чертов Д.Н. Электромагнитные и магнитные методы неразрушающего контроля материалов и изделий. Т. 2: Электромагнитные и магнитные методы дефектоскопии и контроля свойств материалов: научное справочно-методическое пособие.– СПб.: Нестор-История, 2015- 440с.
5. Пудовкин О. П. Разработка прибора неразрушающего контроля стенки днищ стальных цилиндрических резервуаров, реализующего технологию MFL. Диссертация кандидата технических наук. Санкт-Петербургский горный университет. Санкт-Петербург, 2017 г.

## **ЧАСТЬ 2 Статьи победителей первого этапа конкурса научно-исследовательских работ молодых учёных**

А.А. ВОЛЧИХИНА  
Санкт-Петербургский горный университет

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОЗДУХА НА АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «СЕВЕРАЛМАЗ»**

#### *Аннотация.*

В данной статье рассмотрены методы экологического мониторинга на предприятии алмазодобывающей отрасли ПАО «Севералмаз», а также предложен альтернативный способ экологического мониторинга.

#### *Ключевые слова:*

Экологический мониторинг, моделирование, алмазодобывающая отрасль.

#### *Abstract*

This article discusses the methods of environmental monitoring at the enterprise of the diamond-mining industry of PJSC "Severalmaz", and also proposed an alternative method of environmental monitoring.

#### *Key words:*

Environmental monitoring, modeling, diamond industry.

**Введение.** Отработка Ломоносовского месторождения ведется открытым способом с внешним отвалообразованием. Происходит сильный вынос взвешенных веществ, а также оксиды азота, оксиды углерода, сероводород, диоксид серы, керосин, неорганическая пыль с территории карьеров, хвостохранилища, а также отвалов. Вблизи месторождения располагается вахтовый поселок, в сторону которого и направлены преобладающие ветра, а также Соянский ООПТ. Основываясь на сказанном, на месторождении необходимо проводить экологический мониторинг для контроля воздействия на окружающие компоненты среды, а также прилежащие к месторождению территории.

#### **1. Мониторинг в зоне воздействия предприятия**

В соответствии с СанПиН 2.2.1./2.1.1.2555 – размер ориентировочной санитарно-защитной зоны (СЗЗ) от горнообогатительного комбината (ГОК), принимается равным 500 м [5]. Мониторинг включает контроль за движением отходов на основных объектах ГОКа: карьер, отвалы, обогатительная фабрика, сооружения на промплощадке, жилая зона.

Ежеквартально необходимо производить анализ проб атмосферного воздуха над участками складирования отходов, на границе санитарно-защитной зоны на содержание соединений, представляющих наибольшую опасность (метан, сероводород, аммиак, окись углерода, бензол, трихлорметан, четыреххлористый углерод, хлорбензол).

#### **2. Расположение постов наблюдений**

Контроль за качеством природной среды в зоне действия месторождения осуществляет лаборатория охраны окружающей среды (ЛООС). Отбор проб для контроля качества атмосферного воздуха проводится на границе санитарно-защитной зоны, в зоне расположения вахтового поселка, при выпуске ГВС из труб, а также на площадных территориях [2]. Контроль выпуска ГВС из труб в атмосферный воздух производится подфакельным способом. Измерения концентраций загрязняющих веществ проводятся согласно РД 52.04.186-89 [4]. Также дополнительный контроль за выбросами будет осуществляться при несанкционированном выбросе загрязняющих веществ.

Выделяются 7 постов наблюдения: труба котельной, главный корпус обогатительной фабрики, ДЭС, карьер, отвал, СЗЗ, поселок вахтового типа.

Организуются различные типы постов на предприятии: подфакельный пост наблюдения (для труб котельной, труб ДЭС, и вентиляции с обогатительной фабрики); маршрутные посты (в поселке вахтового, по границе СЗЗ вблизи карьеров, отвалов и хвостохранилища); стационарный посты наблюдения (на границе СЗЗ по направлению к городу и по направлению с максимальной повторяемостью ветра).

#### **3. Программа наблюдений**

От интенсивности выбросов по контролируемому веществу в выбросе и категории источника выброса по каждому вредному веществу устанавливается следующая периодичность за соблюдением нормативов ПДВ: I категория – 1 раз в квартал; II категория – 2 раза в год; III категория – 1 раз в год; IV категория – 1 раз в 5 лет [3]. Кроме того, в число обязательно контролируемых веществ должны быть включены: оксиды азота, сернистый ангидрид и оксид углерода. Контроль за соблюдением нормативов ПДВ непосредственно на источниках выброса включает определение следующих параметров: Температура; Влажность; Объем отходящих газов; Скорость газового потока; Концентрация загрязняющего вещества.

#### **4. Альтернативные методы мониторинга на предприятии**

Основываясь на том, что многие предприятия добывающей отрасли используют информационные технологии и автоматизируют процессы, альтернативным вариантом экологического мониторинга на предприятии является применение специализированного программного обеспечения Micromine и Pitram, а также летательного беспилотного аппарата, для отбора проб воздуха с помощью газоанализатора на борту [1].

**Заключение.** В результате полученной информации была сформирована программа мониторинга предприятия ПАО «Севералмаз». Указаны расположение постов наблюдения, программа наблюдений и перечень компонентов, которые подвержены наблюдению. Приведен альтернативный способ экологического мониторинга, который привлечет новые кадры на производство, произойдет внедрение новых технологий, а также снижение показателей риска из-за постоянного мониторинга программами данного объекта.

#### **Литература**

1. Данилов А.А., Шилова Н.А.. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга объектов морской фауны.
2. Якунина И.В., Н.С. Попов. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг. Тамбов. ТГТУ, 2009 г.
3. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб. НИИ Атмосфера. 2012 г.
4. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы.
5. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200 - 03, М., Минздрав России, 2003г.

**В.В. АЛЕХНОВИЧ**

*Санкт-Петербургский горный университет*

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ШАРОВОГО ИСТИРАНИЯ**

**Введение.** Параметр «толщина покрытия» отличается от других геометрических параметров (длины, высоты, шероховатости, некруглости и т.д.) тем, что характеризуемый объект имеет односторонний доступ (внешняя поверхность покрытия имеет свободный доступ, а внутренняя, связанная с основанием, не имеет визуального и механического доступа), в связи с чем имеется элемент неопределенности как при нормировании размеров, так и при их определении путем измерений [1].

Для измерения толщины покрытий применяются различные средства и методы неразрушающего контроля [2]. В частности, для контроля толщины металлических покрытий широко используют вихревые толщиномеры, реализующие амплитудный, фазовый и амплитудно-фазовый методы измерений, основанные на анализе электромагнитного поля вихревых токов, наводимых в объекте контроля. Проверка и калибровка этих приборов производится, как правило, с помощью мер, представляющих собой образцы покрытий, нормированные по ряду параметров [3]. В то же время, не всегда имеется возможность изготовить и аттестовать меры или натурные образцы конкретных типов покрытий. Кроме того, в соответствии с существующей поверочной схемой для средств измерений толщины покрытий [4], сами меры должны прослеживаться к эталонам единицы длины. Вследствие этого существует необходимость прямых измерений геометрических размеров (толщин) покрытий, в том числе разрушающими методами. Одним из таких методов является метод шарового истирания [5].

Целью данной работы является определение методической погрешности в рамках метрологической аттестации методики измерения толщины покрытий методом шарового истирания.

**Метод шарового истирания.** Сфера использования данного метода достаточно широка. Имеется опыт применения метода шарового истирания для измерения толщины серебряных покрытий, получаемых электроосаждением серебра из воздуха и водостойкой ионной жидкости [6], высокотемпературных окислительно-защитных покрытий на основе хрома, полученных методами IBAD и PACVD [7], низкофрикционных и защитных алмазоподобных углеродных покрытий [8], для исследования влияния ионной имплантации в процессах промышленного распыления для трибологических применений [9] и т.д.

Методика измерения толщины покрытий методом шарового истирания и расчета приведена в соответствии с [5]. Шар, смоченный абразивной суспензией, вращается на поверхности испытуемого образца. Схема проведения испытаний см. рисунок 1, где 1 – шар, 2 – образец. Образуется сферообразная выемка износа, и испытание завершается, когда глубина проникновения сферообразной выемки больше, чем толщина покрытия. Толщина покрытия определяется по размерам следов износа (диаметр полной выемки и диаметр выемки подложки) и диаметру шара (см. Рисунок 2).

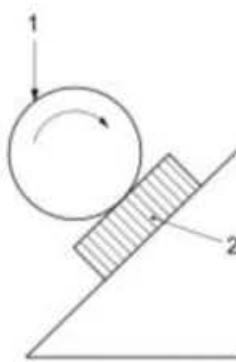


Рисунок 1. Схема проведения испытаний

Обозначения:

$D$  - матожидание (среднее значение) внешнего диаметра сферообразной выемки на поверхности покрытия, в микрометрах;

$d$  - матожидание (среднее значение) внутреннего диаметра сферообразной выемки, определяемая нижней частью слоя покрытия, в микрометрах;

$h$  - толщина покрытия, в микрометрах;

$m$  - индекс с указанием среднего значения ( $D_m, d_m, X_m, Y_m$ );

$r_b$  - радиус шара, в микрометрах;

$r_s$  - радиус кривизны образца;

$l_T$  - общая глубина проникновения шара, в микрометрах;

$l_t$  - глубина проникновения шара в подложку, в микрометрах;

$X$  - расстояние в копланарной проекции двух выемок между периферией внешнего кратера и диаметрально эквивалентная точка на той же стороне внутреннего кратера, в микрометрах;

$Y$  - расстояние в копланарной проекции двух выемок между периферией внешнего кратера и диаметрально эквивалентная точка на противоположной стороне внутреннего кратера, в микрометрах.

Толщина покрытия для образцов, удовлетворяющих условию плоскости  $r_s > 100 \cdot r_b$  может быть рассчитана из:

$$h = \sqrt{r_b^2 - d_m^2/4} - \sqrt{r_b^2 - D_m^2/4} \quad 1)$$

Для тонких покрытий (толщиной от 3 мкм до 5 мкм) глубина проникновения мала по сравнению с радиусом  $r_b$  шара. Следовательно, упрощенное уравнение (5) можно использовать для определения толщины:

$$h = \frac{D_m^2 - d_m^2}{8r_b} \quad 2)$$

Для образцов, не удовлетворяющих условию плоскости  $r_s > 100 \cdot r_b$ , уравнение (3.5) изменится следующим образом:

$$h = \frac{D^2 - d^2}{8} \left[ \frac{1}{r_b} + \frac{1}{r_s} \right] \quad 3)$$

**Погрешность результатов измерений.** Суммарная погрешность измерения складывается из следующих компонент:  $\Delta D_m$  - случайная погрешность измерения внешнего диаметра выемки,  $d_m$  - случайная погрешность измерения внутреннего диаметра выемки;  $B_m$  - погрешность измерения радиуса шара;  $\Delta_{\pi}$  - суммарная методическая погрешность. Все составляющие суммарной методической погрешности рассчитаны на основе приборной погрешности.

Приборная погрешность определяется через погрешность оптического микроскопа путем проведения серии измерений объект-микрометра (ОМО) в разных точках предметного столика, при разных углах поворота объект-микрометра. Предельно допустимая погрешность оптического микроскопа не превышает 10 мкм.

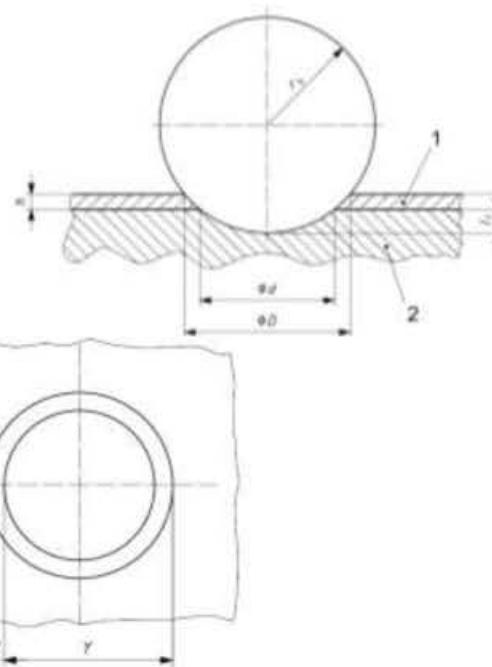


Рисунок 2. Измеряемые параметры

Для вычисления составляющих погрешности были взяты частные производные по каждому параметру (формулы (1), (2), (3) в зависимости от толщины покрытия и кривизны поверхности) и вычислены отклонения расчетного значения  $h$  вследствие влияния приборной погрешности.

В таблице 1 приведены результаты численной оценки методической погрешности измерения толщины покрытий методом шарового истириания. Расчет значений погрешности произведен для плоской поверхности, шара диаметром 30 мм, толщин покрытий в диапазоне 3 мкм÷50 мкм, и соотношения D/d=3/2.

Таблица 1. Расчетное значение погрешностей  $\Delta h = \Delta_p$  для шара диаметром 30 мм

$D_m$ , мм	0,8	1,5	2,08	2,6	3	3,23
$d_m$ , мм	0,5	1	1,4	1,7	2	2,15
$h$ , мм	0,003	0,01	0,02	0,03	0,042	0,049
$\Delta h(D_m)$ , мкм	0,13	0,25	0,35	0,44	0,5	0,54
$\Delta h(d_m)$ , мкм	0,042	0,17	0,33	0,48	0,67	0,77
$\Delta h(r_b)$ , мкм	0,021	0,11	0,23	0,36	0,49	0,57
$\Delta_p$ , мкм	0,14	0,32	0,53	0,75	0,97	1,1
$\Delta_p$ , %	4,7	3,2	2,6	2,5	2,3	2,3

Таким образом, методическая погрешность измерения толщин покрытий в диапазоне от 3 до 50 мкм методом шарового истириания для шара диаметром 30 мм не превышает 5%.

**Заключение.** В ходе проведения работы были выявлены основные источники погрешности при осуществлении измерений толщин покрытий методом шарового истириания. Полученные расчетные и экспериментальные результаты позволяют провести метрологическую аттестацию методики измерения с целью применения ее в испытательных лабораториях и метрологических службах, в т.ч. в сферах измерений, подлежащих государственному регулированию.

Научный руководитель: д.т.н. К.В. Гоголинский

#### Литература:

- Бабаджанов Л.С., Бабаджанова М.Л. Метрологическое обеспечение измерений толщины покрытий. Теория и практика. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. - 264 с.
- Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий. /Научное, методическое, справочное пособие. Санкт-Петербург. – СПб: Гуманистика, 2009. –1100 с.
- Сясько В.А., Голубев С.С., Смородинский Я.Г., Потапов А.И., Соломенчук П.В., Смирнова Н.И. Измерение электромагнитных параметров мер толщины металлических покрытий. Дефектоскопия. 2018. № 10. С. 25-36
- Рекомендации по метрологии Р 50.2.006-2001 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений толщины покрытий в диапазоне от 1 до 20000 мкм
- ISO 26423 2009-01-15 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of coating thickness by crater-grinding method.
- Roberta Bomparola, Stefano Caporali, Alessandro Lavacchi, Ugo Bardi Silver electrodeposition from air and water-stable ionic liquid: An environmentally friendly alternative to cyanide baths. Surface and Coatings Technology 201 (2007) 9485-9490.
- F. Černý, J. Pitter, S. Konvičková, V. Jech. High temperature oxidation protective chromium-based coatings prepared by IBAD and PACVD methods. Surface and Coatings Technology 203 (2009) 2566-2570
- C. Corbella, M. Rubio-Roy, E. Bertran, M.C. Polo, E. Pascual, J.L. Andújar Low friction and protective diamond-like carbon coatings deposited by asymmetric bipolar pulsed plasma. Diamond & Related Materials 18 (2009) 1035-1038.
- Franz-Josef Körber The role of ion implantation in industrial sputtering processes for tribological applications. Surface and Coatings Technology 74-75 (1995) 168-172.

М.И. ГРИЧУХА

Санкт-Петербургский горный университет

## ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Качество воды, показатели качества воды, питьевая вода, техническая вода, методики измерений, оценка эффективности.

В настоящее время нормативная база в области измерений показателей качества вод обширна. СанПиН 2.1.4.1074-01 [2] и ГОСТ 9.314-90 [6] нормируют содержание более, чем 32 показателей качества вод, к которым относят обобщенные показатели, неорганические показатели и органические показатели.

Также с помощью ГОСТ 27384-2002 [7] нормируются погрешности измерений показателей состава и свойств воды.

Для определения количества концентрации нормируемых компонентов в отобранных пробах применяются методики измерений. Число таких методик измерений составляет более 30. Причём методики регламентируют порядок определения концентраций как отдельного компонента в пробе, так и совокупности компонентов. В то же время отсутствует регламентированный список методик измерений показателей качества питьевой воды и технической воды, используемой в гальваническом производстве. Сложность создания такого перечня состоит в том, что использование методик измерений является добровольным.

Целью настоящего исследования является выбор оптимального набора методик измерений для оценки показателей качества питьевой и технической воды, используемой для гальванического производства.

Согласно Руководящему документу (РД) об «Организации и проведении режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши» [1] мониторинг поверхностных вод необходимо проводить с установленной периодичностью и в заданные сроки. Указанные параметры определены нормативным документом о Санитарно-эпидемиологических правилах и нормативах СанПиН [2], кроме того устанавливается число проб, отбираемых в течение 1 года. В связи с этим затраты на проведение мониторинга должны быть экономически оправданными, то есть оценка показателей качества питьевой воды и технической воды должна проводиться с минимальными временными и денежными затратами. Несмотря на то, что в РД [1] и СанПиНе [2] указаны периодичность и сроки мониторинга поверхностных вод, регламентированного списка МИ показателей качества вод не составлено.

Согласно данным ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [3] за январь 2019 года по г. Санкт-Петербургу в пробах, отобранных для определения показателей качества питьевой воды, обнаружено превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) металлов и органических веществ. Эти данные были получены в лабораториях Росгидромета с использованием МИ, которые выбраны данной организацией. Данные по процентному соотношению проб с превышением ПДК металлов отражены в источнике не верно. На рисунке 1 отображен результат анализа 50-ти проб, отобранных в январе 2019 года. Исходя из градаций превышения ПДК загрязняющих веществ, которые установлены Руководящим документом, [1] и критерии ЭВЗ и ВЗ, которые установлены Приказом Росгидромета [5], Росгидрометом были установлены случаи высокого загрязнения (ВЗ) поверхностных вод, так как концентрация марганца в нескольких пробах превышала ПДК в 30-50 раз [4].

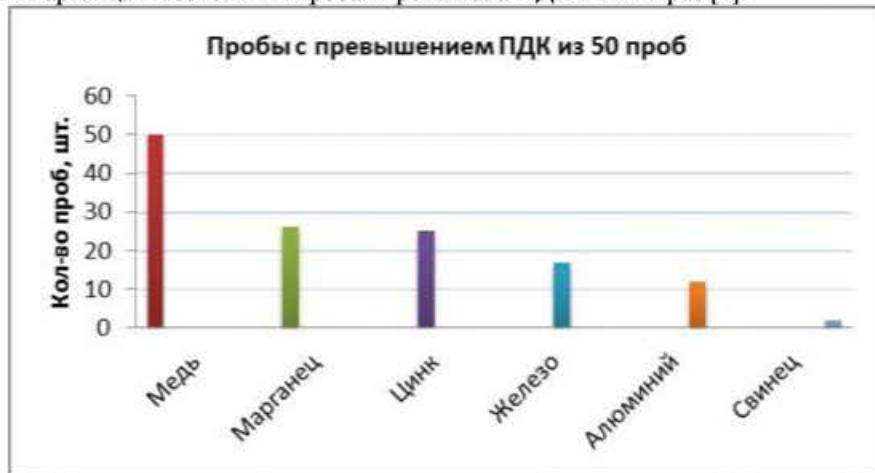


Рисунок 1. Графическое отображение количества проб с превышением ПДК

Опираясь на вышеизложенное, к методикам измерения предъявляются следующие требования: обеспечение простоты обработки экспериментальных данных, заданной точности полученных результатов и технико-экономической эффективности.

Для достижения цели исследования обратимся к системному анализу. В ходе исследования выполняются следующие задачи:

- Определяются компоненты/показатели, ПДК которых являются критическим. С учетом того, что содержание меди нормировано для питьевой и технической вод, а её концентрация превышает во всех пробах, а также марганец нормируется для питьевой воды, концентрация которого в пробах свидетельствует о ВЗ, то особое внимание обращаем именно на измерение именно этих двух показателей.

- Выбираются методики измерений для определения концентрации меди и марганца.
- Анализируются методики измерения на эффективность, то есть подбираются показатели эффективности и критерии эффективности.
- Обрабатываются полученные результаты.
- Выбирается наилучший вариант.

Результаты исследования. Так как по результатам анализа проб проведенного Росгидрометом обнаружено превышение ПДК меди во всех отобранных пробах, а ПДК марганца превышены в 30-50 раз в нескольких пробах, то обращаем большее внимание именно на эти неорганические показатели. С учетом выделенных неорганических показателей для проведения анализа на эффективность выбраны МИ:

- для определения меди: ПНД Ф 14.1:2:4.139-98, ПНД Ф 14.1:2:4.140-98, ПНД Ф 14.1:2:4.143-98;
- для определения марганца ПНД Ф 14.1:2:4.139-98, ПНД Ф 14.1:2:4.143-98.

Далее в таблицах 1, 2 и 3 приведены сводные данные по стоимости СИ, вспомогательного оборудования, реактивов и материалов, которые используются в вышеизложенных МИ. Для наглядности и простоты анализа МИ на эффективность в таблице 4 приведены данные по итоговым стоимостям оборудования и материалов, а также временные затраты по каждой МИ.

В результате анализа МИ на эффективность можно сделать следующие выводы:

- для измерения показателя меди в пробах воды экономичнее по финансовым и временными затратам использовать ПНД Ф 14.1:2:4.140-98;
- для измерения показателя марганца в пробах воды экономичнее по финансовым затратам использовать ПНД Ф 14.1:2:4.139-98.

Несмотря на то, что в ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 время выдержки пробы превышает в 4 раза, чем в другой МИ, использование именно ПНД Ф 14.1:2:4.139-98 оправдано денежной экономией почти в 1 млн. руб.

#### Литература

1. РД 52.24.309-2016 Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Текст]. – Введ. 2017-04-03. – М.: Стандартинформ, 2017. – 84 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения [Текст]. – Введ. 2001-09-26. – М.: Стандартинформ, 2001. – 80 с.
3. Качество вод поверхностных водных объектов на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области в январе 2019 года [Электронный ресурс]: 04.03.2019. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru>. свободный.
4. Справка ЭВЗ и ВЗ за январь-февраль 2019 [Электронный ресурс]: 04.03.2019. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru>. свободный.
5. Порядок подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды [Текст]: Приказ Росгидромета от 31.10.2000 N 156: утв. Приказом Росгидромета 31.10.2000. - М.: Стандартинформ, 2016. – 21 с.
6. ГОСТ 9.314-90 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования [Текст]. – Введ. 1991-07-01. - М.: Стандартинформ, 2008. – 15 с.
7. ГОСТ 27384-2002 Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств [Текст]. – 2004-01-01. - М.: Стандартинформ, 2010. – 8 с.

В.С. ФРОЛОВА  
Санкт-Петербургский горный университет

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ПАО «САРАТОВСКИЙ НПЗ»

В процессе производственно-хозяйственной деятельности человек оказывает все более возрастающее воздействие на природную среду, изменяя ее состав, тем самым обусловлена необходимость организации наблюдения за уровнем загрязнения атмосферы на территории предприятия так и за его пределами, для исключения возникновения негативного воздействия на окружающую среду. Предложены новые надежные и экономически эффективные способы мониторинга состояния атмосферного воздуха.

In the process of production and economic activity, a person has an ever-increasing impact on the environment, changing its composition, thus necessitating the organization of monitoring the level of atmospheric pollution in the enterprise and beyond, in order to eliminate the occurrence of negative environmental impacts. Proposed new reliable and cost-effective ways to monitor the state of atmospheric air.

Основная производственная деятельность ПАО «Саратовский НПЗ» направлена на переработку сырой нефти с целью получения бензинов, дизельного, реактивного и котельного топлива, нефтебитума, сжиженных газов и серной кислоты. Переработка нефтяного сырья идет по поточной схеме – все установки объединены в единую технологическую линию, где каждый выходящий поток является сырьем для другого процесса или товарной продукцией. Образующиеся на технологических установках углеводородные газы подаются в топливную сеть предприятия и газовые сети города Саратов.

Для сброса и последующего скважинания горючих газов и паров постоянных, предусмотренных технологическим регламентом продувок, а также при срабатывании предохранительных клапанов,

освобождении технологических блоков от газов и паров в штатных и аварийных ситуациях, на заводе предусмотрена факельная система ФС-1 высотой 80 м (источник №60)

Кроме того, индивидуальной факельной системой высотой 120 м оснащен комплекс изомеризации (источник № 663). В компрессорной установке гидроочистки установлены аварийные вентсистемы для защиты персонала от сироводорода.

Факельное хозяйство предназначено для утилизации и сжигания технологически горючих газов и взрывоопасных паров, сбрасываемых предприятием. в хозяйство направляются:

- Аварийные сбросы (от предохранительных клапанов или других предохранительных устройств, установленных на аппаратах технологических установок и объектах общезаводского хозяйства);
- Сброс с аппаратов и систем перед их ремонтом и остановкой;
- Периодические продувки отдельных аппаратов, насосов и компрессоров;
- Сбросы горючих газов и паров, которые невозможно использовать в производстве.

Факельное хозяйство включает в себя факельные трубопроводы и коллекторы, сепараторы и дренажные емкости, установку комprimирования газа, факельную установку.

Лабораторные наблюдения за состоянием загрязнения воздушной среды проводятся постоянно санитарной лабораторией ОАО «Саратовский НПЗ». Кроме того, в течение 2019 года запланированы лабораторные наблюдения за состоянием загрязнения воздушной среды сторонней организацией - Аккредитованным испытательным лабораторным центром аккредитации ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Саратовской области». Мониторинг состояния атмосферного воздуха осуществляется в жилой зоне, на границе экозащитной зоны и на территории нефтеперерабатывающего завода передвижной лабораторией.

Систематические лабораторные наблюдения за состоянием загрязнения атмосферного воздуха показали, что приземные концентрации в ближайшей жилой зоне и на границе СЗЗ не превышают ПДК.

Маршрутный пост предназначен для регулярного отбора проб воздуха. Наблюдения на маршрутных постах проводятся с помощью передвижной лаборатории, оснащенной необходимыми приборами и оборудованием. Маршрутные посты установлены в заранее выбранных точках (Рис 1.). Одна машина за рабочий день обследует 5 точек. Порядок обхода автомашиной выбранных маршрутных постов один и тот же, чтобы обеспечить определение концентраций вредных веществ в постоянные сроки.

Соответственно анализируется атмосферный воздух на концентрации следующих веществ: метан; оксид углерода; диоксид азота; оксид азота; диоксид серы; сироводород.

Проанализировав климатические характеристики, особенности рельефа в месте расположения завода, а также учитывая преобладающие направления ветра(С3) была рассмотрена возможность замены маршрутного поста на 3 стационарных.

Места расположения постов обусловлены выше перечисленными факторами.

Пост №1 расположен на границе СЗЗ в юго-восточном направлении (200 метров)

Пост №2 расположен в жилой зоне п. Увек, 3-1 Новый Увекский проезд, д. 17

Пост №3 расположен в жилой зоне г. Саратов ул. Брянская, д. 20 (рис.1)

Мониторинг на стационарных постах будет осуществляться по полной программе, что подразумевает под собой ежедневные наблюдения путем непрерывной регистрации с помощью автоматических устройств или дискретно, через равные промежутки времени, не менее четырех раз при обязательном отборе проб в 1, 7, 13 и 19 ч. по местному дисcretному времени.

Таблица 1.

Вид	Маршрутный пост	Стационарный пост(3шт)
1 Капитальные затраты	2880000 руб.	2790000 руб.
2 Эксплуатационные затраты		
Затраты на электроэнергию		103479,65 руб.
Затраты на топливо	96523,36 руб.	
Заработка плата	480000 руб.	
Амортизационные отчисления	576000 руб.	700000 руб.
Прочие расходы		60000 руб.
Итого	4032523,36 руб.	3653479,65 руб.

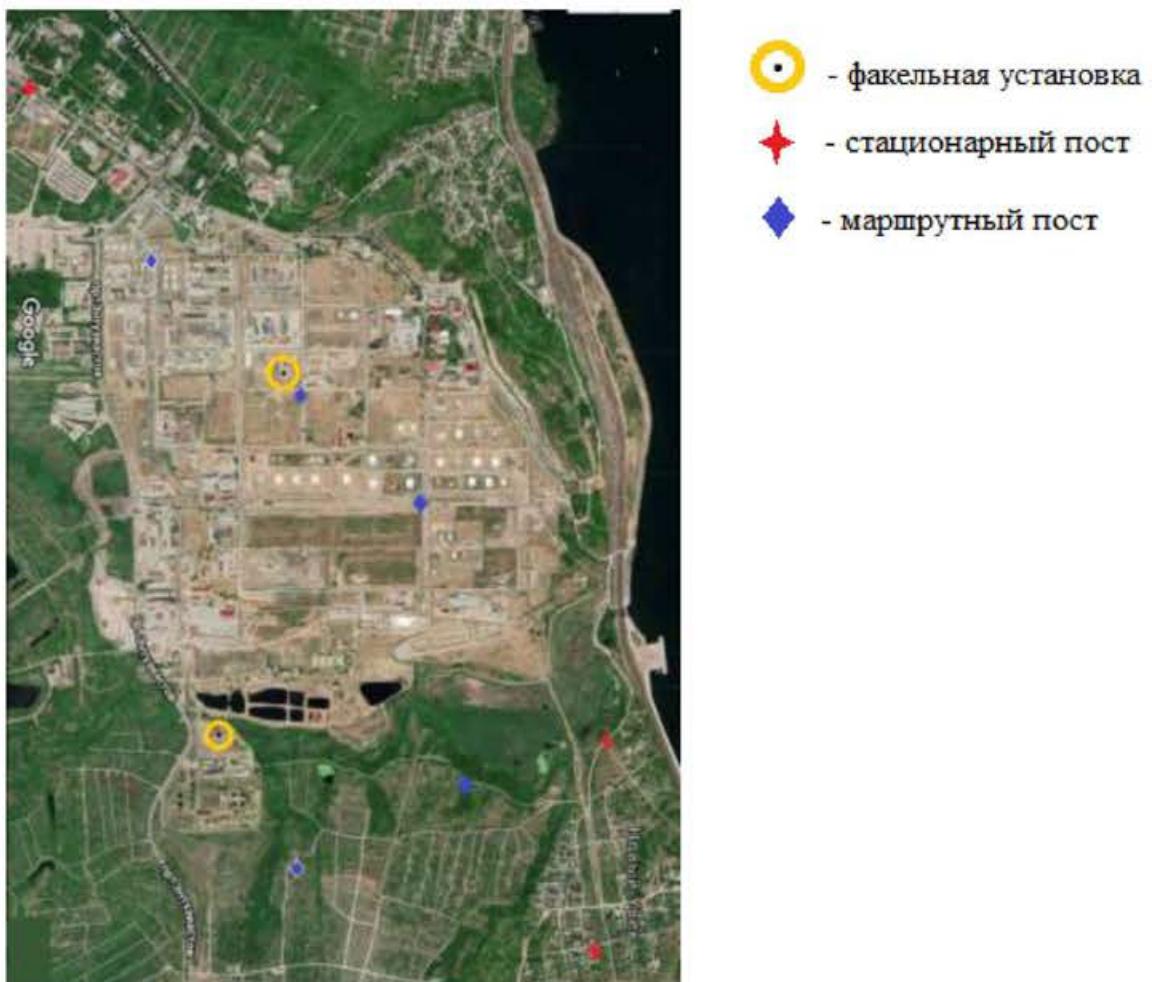


Рис. 1. Карта-схема предприятия

Рассматривая оба метода наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха в зоне расположения нефтеперерабатывающего предприятия и на территории жилой застройки, можно отметить, что эксплуатация стационарных постов наиболее выгодна, чем маршрутных, так как является дистанционно управляемой и не требует затрат на заработную плату постоянно обслуживающему её персоналу. Кроме того на стационарных постах анализ проводится непрерывно, а, следовательно, больше объем получаемых данных, благодаря которым можно более тщательно отследить те или иные изменения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

#### Литература

1. Е.Н. Трошина. Экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха и почв г. Омска тяжелыми металлами для обоснования мониторинга [Текст]: диссертации и автореферата по ВАК 03.00.16, кандидат биологических наук: 3.12.2009:утв/- Омск, 2009. – 183 с.;
2. Суржиков Д.В. Оценка риска влияния загрязнения атмосферного воздуха на здоровье в системе социально-гигиенического мониторинга / Д.В. Суржиков, В.Д. Суржиков, А.М. Олещенко // Гигиена и санитария. 2004. - № 5. - С. 24-66.
3. Белоног А.А. Разработка критериев мониторинга воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения Республики Казахстан / А.А. Белоног // Здоровье населения и среда обитания. 2004. - № 1. - С. 1-4.;
4. Проект ПДВ ПАО «Саратовский НПЗ»/-Саратов, 2017.-193 с.;
5. Техническая библиотека [Электронный ресурс] : многопредмет. науч. журн.- Москва – режим доступа к журн.: <https://neftgaz.ru/tech-library/vspomogatelnye-ustroystva-i-instrument/141829-fakelnye-ustanovki/>

Т.А. ЯКОВЛЕВА

Санкт-Петербургский горный университет

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУПНОСТИ ЧАСТИЦ АНАЛИТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Введение.** В настоящее время в практике обогащения используются различные методы определения гранулометрических характеристик: это методы лазерной дифракции, фотооптический метод, центробежная классификация, а так же сухой и мокрый ситовой анализ. Указанные методы применяются в различных диапазонах крупности и часто дают несовпадающие результаты. В данной работе рассматривается анализ гранулометрического состава минерального сырья выполненного на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц и при помощи метода мокрого ситового анализа.

**Основная часть.** Для исследования была взята пробы мономинерального сырья, представленная минералом кварц. В дальнейшем пробы подверглись измельчению в мельнице объемом 20 литров с получением продукта крупностью 100% менее 75 мкм. Далее пробы были подвергнуты гидравлической классификации на лабораторной установке гидроклассификации с получением двух продуктов слива и песков (рисунок 1) [1].

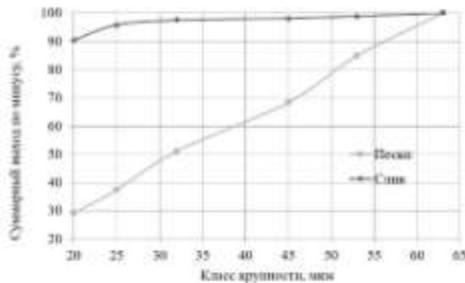


Рисунок 1. Сводный график продуктов разделения на лабораторной установке гидроклассификации AKW Laborant ZLF 50-CH.

Продукты классификации были проанализированы двумя методами: мокрым ситовым анализом и на лазерном дифракционном анализаторе. Данные гранулометрического анализа представлены в соответствии рисунков 2 и 3 [1,2].

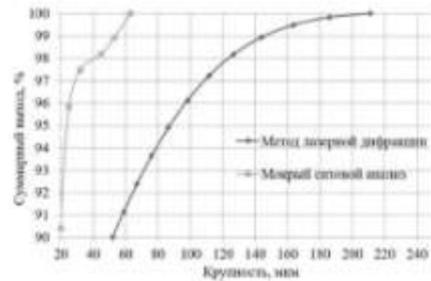


Рисунок 2. Сводный график результатов гранулометрического анализа пробы слива полученных при помощи мокрого ситового анализа и лазерной дифракции

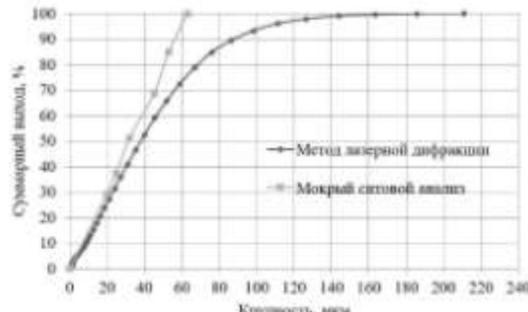


Рисунок 3. Сводный график результатов гранулометрического анализа пробы песков полученных при помощи мокрого ситового анализа и лазерной дифракции

Мокрый ситовой анализ производился на наборе сит с квадратными отверстиями: 63; 53; 45; 32; 25; 20 мкм с расходом промывной воды 3 л/мин [2,3].

Оптические свойства при анализе проб песков и слива на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц Mastersizer 2000 подобраны для минерала кварц из базы данных программного обеспечения данного прибора. Применение ультразвука не привнесло качественного изменения в гранулометрические характеристики [4].

Анализ гранулометрических составов представленных на рисунках 3 и 4, показывают, что в графиках полученных на лазерном дифракционном анализаторе присутствуют классы крупности превышающие 75 мкм. Анализ формы и размера частиц показал, что в пробе песков находятся нехарактерные по крупности частицы, а в пробе слива, наблюдаются агрегатные состояния, состоящие из нескольких частиц слипшихся между собой [5].

Для корректировки гранулометрических характеристик полученных на лазерном дифракционном анализаторе был предложен фактор конверсии формы. Величина фактора конверсии формы находится экспериментально. Для этого необходимо рассчитать отношение  $d_1$  и  $d_2$  для ряда суммарных выходов и усреднить полученные результаты согласно следующей зависимости:

$$D = \frac{d_1}{d_2}$$

Здесь  $d_1$  и  $d_2$  - крупность частиц, определенная по методу мокрого ситового анализа и при помощи лазерного дифракционного анализатора размера частиц соответственно [6,7].

Для корректировки данных гранулометрического состава полученного на лазерном дифракционном анализаторе, необходимо умножить их на фактор конверсии формы для проб слива  $D=0,953$  и песков  $D = 0,941$  (рисунок 4,5).

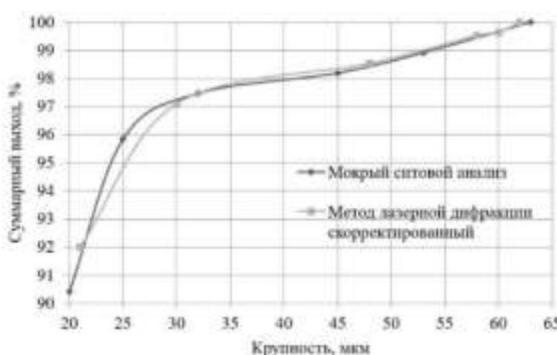


Рисунок 4. Гранулометрические характеристики пробы слива после введения фактора конверсии формы

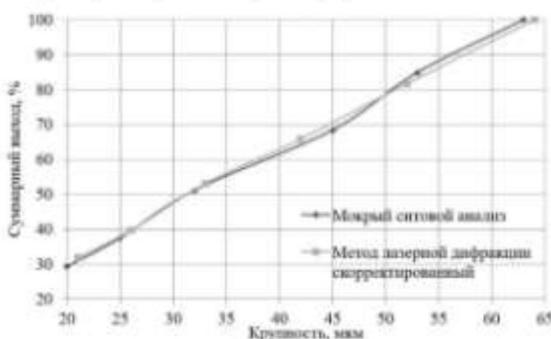


Рисунок 5. Гранулометрические характеристики пробы песков после введения фактора конверсии формы

**Вывод.** Гранулометрический состав данных продуктов был проанализирован с помощью мокрого ситового анализа и лазерного дифракционного анализатора размера частиц. При анализе полученных гранулометрических характеристик было выявлено присутствие классов крупности более 75 мкм на гранулометрических характеристиках полученных на лазерном дифракционном анализаторе. Произведен анализ формы и размера частиц данных гранулометрических составов, который показал причины наличия классов крупности более 75 мкм. Для согласования гранулометрических характеристик был предложен фактор конверсии формы частиц для проб слива  $D = 0,953$  и песков  $D = 0,941$ . Применение фактора конверсии позволяет оперативно определять гранулометрические характеристики для проб кварца при классификации с помощью метода лазерной дифракции.

#### Литература

1. Андреев Е.Е., Тихонов О.Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению: учебник. СПб.: Издательство СПГГУ, 2007. – 439 с. с.156-182.
2. ГОСТ 24598-81. Руды и концентраты цветных металлов. Ситовый и седиментационный методы определения гранулометрического состава (с Изменением N 1)
3. ISO 9276-1:1998 Гранулометрический анализ. Представление результатов. Часть 1. Графическое представление
4. URL: <https://www.malvernpanalytical.com/ru/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000/index.html> (дата обращения 17.03.2019)

5. URL: <https://www.malvernpanalytical.com/ru/products/product-range> (дата обращения 17.09.2019)

6. SME Mineral Processing Handbook. Edited by N.L. Weiss. New York: AIME, 1985

7. Gupta A., Yan D.S. Mineral Processing Design and Operation: An Introduction. Amsterdam: Elsevier Science Ltd, 2006

А.С. ШАМАЙТИС

Санкт-Петербургский горный университет

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЁТА И СВЕДЕНИЯ ВОДНОГО БАЛАНСА НА ИСТОЧНИКЕ ТЕПЛА

Данная статья посвящена проблеме возникновения небаланса на источнике тепла при нормативном потреблении, а также способах решения данной задачи с приведением статистики и расчетом экономического эффекта. В статье приведены три варианта решения проблемы, каждый из которых подробно описан с указанием предполагаемого экономического эффекта для станции. Для достижения поставленной цели был произведен анализ открытых литературных источников, проанализированы статистика по количеству абонентов с нормативным потреблением, стоимость установки приборов учёта в каждом доме, а также рассчитан экономический эффект от каждого из нижеуказанных методов. В работе приведены исследования по оценке небаланса поставки и потребления тепла энергогенерирующего предприятия со смешанной структурой потребления (приборный учёт, нормативный учёт) Предложенные в работе возможные решения основаны на существующем подходе в оценке неопределенности приборного учёта и опробованы на массивах статистических данных ТЭЦ. В существующей на данный момент нормативной документации не указаны какие-либо методы для решения данной проблемы.[4] В настоящее время существует несколько факторов, которое являются причинами возникновения небаланса на ТЭЦ.

Рассматриваться будут два варианта исходных событий. Первым будет условие, при котором станция не заключает договора предоставления услуг по отоплению и снабжению водой напрямую с абонентом, а использует в этой цепи посредника в лице организации «Теплосеть», которая в свою очередь уже занимается оказанием услуг в данной области. Графическое изображение вышеупомянутой схемы приведено на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема оказания услуг с промежуточным звеном

Вторым вариантом будут условия, при которых промежуточное звено отсутствует, в следствии чего ТЭЦ напрямую заключает договор с абонентом. В зависимости от исходных данных варианты решения проблемы небаланса будут различны. Одним из вариантов решения данной проблемы будет переход от нормативного потребления к счётчикам. Необходимо в обязательном порядке будет установить средства учёта потребляемой воды во всех жилищных комплексах, так как это упростит задачу сведения возникшего небаланса на станции. В данном случае свести небаланс можно будет опираясь на допускаемые относительные погрешности СИ.

Инной вариант решения этой проблемы будет заключаться увеличение неопределенности при учете нормативного потребления на 50% процентов с целью упрощения расчётов при сведении небаланса, а лишнюю воду использовать, как указана в третьем варианте решения данной проблемы.

Другим вариантом будет. Перераспределение полученной воды в резервуары для отходов с дальнейшей её переработкой и использованием её для нужд ТЭЦ.1. Материалы и методы исследования Рассмотрим подход сведения небаланса при первой схеме, то есть в том случае, когда ТЭЦ не заключает прямого договора на оказание услуг с абонентом, а использует промежуточное звено «Теплосеть». В данной ситуации организация «Теплосеть» покупает воду у ТЭЦ и предоставляет её абонентам. Независимо от того используют они воду по нормативу или по счётчикам абоненты оплачивают воду компании «Теплосеть». После чего ТЭЦ уже берет деньги за использованную воду абонентами, а лишняя вода приходит на станцию с пометкой «не использованная/ не оплаченная» из-за чего станция не может использовать её для своих нужд, но и также лишняя вода не является в данном случае источником положительного небаланса. Поэтому единственным возможным способом сведения небаланса будет использование допускаемых относительных погрешности СИ. Необходимо будет рассчитать погрешности всех СИ и коэффициент небаланса для дальнейшего внесения поправок в учёт. Рассчитать максимально допустимые погрешности СИ можно по ГОСТ 8.586[1], после чего определяем требуемый нам коэффициент формула 1.

Коэффициент небаланса рассчитывается по формуле:[5]

$$K_{\text{нб}} = \frac{K_{\phi}}{K_{\max}} \quad (1)$$

где,  $K_{\phi}$  – Значение фактического небаланса присутствующего на станции  
 $K_{\max}$  – Максимально возможный небаланс на станции.

Зная коэффициент небаланса, вносим необходимые поправки в относительные погрешности, умножая коэффициент небаланса на допускаемую относительную погрешность СИ. После внесения корректировок значение небаланса должно стремиться к нулю.

Другим вариантом будет условие, при которых ТЭЦ заключает договор на оказание услуг на прямую, что в свою очередь может провоцировать возникновение положительного небаланса на станции. Одним из вариантов будет переход от нормативного потребления к счётчикам. Данный способ сможет облегчить процесс сведения небаланса метрологическим путём с помощью предельно допускаемых относительных погрешностей СИ. Учитывая, что жильцы с малой вероятностью согласятся самостоятельно устанавливать счётчики у себя дома, этим придётся заняться головной компанией, в состав которой входит ТЭЦ. Установка счётчиков будет производиться за счёт компании. Станция отапливает 2 района города (Невский и Красногвардейский) в которых общее количество абонентов достигает 750 т.ч. количество абонентов, потребляющих воду по нормативу составляет 14% от общего количества, что является 105 т.ч. Средняя стоимость установки счётчиков в городе Санкт-Петербург указана в районе 1т.р. за один счётчик. Цель этого варианта решения проблемы является упростить процесс сведения небаланса на ТЭЦ, но экономическая выгода от этого метода будет долгосрочной, так как окупаемость уйдёт около 5 лет, и понесёт уменьшение затрат на компенсацию величины небаланса, так как это происходит из средств самой станции. Зная какие СИ установлены на ТЭЦ и у абонентов можно рассчитать допускаемые относительные погрешности средств измерений и свести небаланс с помощью метода приведенного выше.

Другим вариантом будет являться перераспределение полученной избыточной воды от абонента в резервуары для отходов с целью дальнейшей её переработки и использования на нужды станции. При нормативном потреблении в большинстве случаев абонент не потребляет то количество воды, которая ему отведена по нормативу, что в свою очередь провоцирует возникновение положительного небаланса на станции. Решением данной проблемы будет переопределение полученной воды в разряд отходов с целью её дальнейшее обработки. После того, как станция произвела очистку воды, она может использовать её на свои нужды. Средний объём воды, используемой на станции для внутреннего потребления равен 100т. куб.м. Если предположить, что с 1-го абонента станция получает 1 куб.метр воды в качестве положительного небаланса,[3] при общем количестве абонентов равном 750т., процентов 14 из которых используют воду по нормативу, полученной воды хватит, чтобы обеспечивать нужды станции, не покупая воду у водоканала, что в свою очередь несёт положительный экономический эффект для ТЭЦ. Эффект от данного решения будет виден уже на второй месяц эксплуатации, так как затраты на установка необходимого оборудования окупятся за первый месяц использования.

Подводя итог данной статьи стоит отметить следующее. Все способы, которые были описаны в основной части имеют своё практическое применения, в зависимости от исходных параметров следует использовать определённый метод борьбы с проблемой сведения небаланса. Проанализировав все методы можно сказать, что экономически перспективным является тот, при котором ТЭЦ напрямую заключает договор с абонентом и использует его избыточную воду для своих нужд, так как это позволяет экономить огромные деньги на том, что нет необходимости в покупке воды у «Водоканала» на свои нужды и второе это нет необходимости компенсировать небаланс за счёт своих средств. Необходимо помнить и о том, что причина возникновения небаланса может быть скрыта в систематических погрешностях СИ, с помощью которых ведётся учет приходящей и уходящей воды. Были внесены необходимые поправки в исходные результаты измерений, что в свою очередь помогло устранить небаланс метрологическим путём. К сожалению на практике не бывает идеально подходящих исходных условий, зачастую на станции присутствует отрицательный небаланс, который не всегда возможность скомпенсировать за счёт полученной воды от абонентов, поэтому необходимо брать во внимание возможность использование нескольких методов борьбы с этой проблемой, к примеру сведение отрицательного небаланса за счёт систематических погрешностей СИ, в это время избегая покупку воды на личные нужды станции за счёт излишков воды, полученной от абонентов. В частном случае города Санкт-Петербург такой метод не подойдёт, так как лишняя вода остаётся в «Теплосети», а на станцию она приходит обычной не потребленной водой, поэтому в этом случае необходимо использовать метод расчёта поправок для полученных данных, как происходит это на некоторых станциях компании ТГК-1, либо устанавливать высокоточное оборудование, такое как дифференциальные расходомеры переменного перепада давления[2], которые снижают вероятность возникновения небаланса, при условии, что на станции отсутствуют факторы влияющие на его появление (прорывы труб, утечки, сливы).

## Литература

1. ГОСТ 8.586.5-2005 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. М.: Стандартинформ, 2007.

2. Расходомеры и счетчики количества веществ.. Книга 1. Кремлевский П.П. М.: Политехника, 2004

3. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». [Электронный ресурс]. URL: [http://www.vodokanal.spb.ru/dlya\\_abonentov/tarify1/](http://www.vodokanal.spb.ru/dlya_abonentov/tarify1/) (дата обращения: 10.12.2018).

4. О проблеме водных небалансов на источниках теплоты и способе её решения. Лупей А.Г. М.: Политехника, 2008

5. МИ 2412-97 ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя. М.: ГУП ЦПП, 2000.

Д.А. ЕФИМОВ, Н.И. КАРАНДАСОВА, Н.В. НИКОЛАЕВА  
Санкт-Петербургский горный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА СЕРПЕНТИНИТОВЫХ РУД ШАБРОВСКОГО И ТУРЕЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ

Тема настоящего исследования связана с разработкой схемы переработки серпентинитовой руды и исследованием процессов дезинтеграции серпентинитовых руд Шабровского и Туремского месторождений. Изучено влияние происхождения серпентинитовой руды (магматического и метаморфического) на процессы дробления, измельчения и магнитной сепарации. Разработаны качественно-количественные схемы переработки руды. Как отмечается в работах [1] и [2] окись магния и двуокись кремния, входящие в состав серпентинитов, являются необходимыми веществами для химической, металлургической промышленности и при производстве строительных и полимерных материалов. В работе [3] рассмотрен один из видов переработки серпентинитовой руды, который не нашел широкого применения из-за незаконченности технологического процесса, связанного с неполным использованием кислоты из-за отсутствия закрытого цикла. Таким образом, на сегодняшний день комплексная переработка серпентинитовой руды остается актуальным для изучения вопросом.

Исходя из минералогического состава, серпентинит состоит из MgO — 43,0 %, SiO<sub>2</sub> — 44,1 %, H<sub>2</sub>O — 12,9 %. Соотношения компонентов несколько колеблются, особенно в разностях, аналогичных типичным коллоидам, более богатым водой (обычно до 13–17 %). В виде примесей почти всегда присутствуют окислы железа FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и никеля NiO [4].

В ходе исследования геологических шлифов руд двух месторождений.

Полированный шлиф представляет собой зеркальную плоскость, получаемую в результате шлифовки и последующей полировки куска руды или комка склеенных (сцепленных) кусочков раздробленного рудного материала.

При изготовлении полированного шлифа из рудного образца обычно приходиться иметь дело с агрегатом нескольких минералов, обладающих различными физическими свойствами. В руде одновременно и в тесном взаимном срастании могут находиться минералы твердые и мягкие, хрупкие и ковкие, обладающие той или иной степенью спайности и т. п. Все эти показатели осложняют процесс изготовления аншлифа, так как поведение разных минералов в процессе шлифования и полировки неодинаково.

Весь процесс изготовления полированного шлифа (синоним «аншлиф») разбивается на несколько этапов.

1. Предварительный осмотр и распиловка образца.

2. Шлифовка полученной плоскости – для подготовки шлифа к полировке.

К полированному шлифу предъявляются следующие основные требования: поверхность аншлифа должна быть совершенно плоской, без завалок к краю аншлифа; характер полировки одних и тех же минералов должен быть совершенно одинаковым как в центральной части шлифа, так и на его краях; пустоты выкрошивания допускаются в малой степени лишь для некоторых особенно твердых и хрупких минералов (как, например, кассiterит, пирит, арсенопирит и др.) или для мягких, обладающих совершенной спайностью (галенит, барит и др.); мягкие и тем более твердые минералы не должны иметь грубых царапин, мешающих наблюдению; не должно быть слишком большой разницы в рельфе между мягкими и твердыми минералами [7]. Нарезка шлифов производилась на уголшлифовальной машине «Eltos», с закрепленным на ней отрезным диском, дальнейшая доводка шлифов производилась с помощью паст вида M10.

Анализ геологических шлифов показал, что порода Туремского месторождения – ультраосновного магматического происхождения (вмещающая горная порода перидотит), а руда Шабровского месторождения относится к метаморфическим горным породам.

Исследование минерализованной поверхности методом сканирующей зондовой микроскопии.

В настоящее время сканирующая зондовая микроскопия (CPV) является одним из самых мощных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким

пространственным разрешением. Это широко распространенный и успешно применяемый инструмент для исследования поверхности. Развитие СЗМ послужило одной из основ для создания новых методов в нанотехнологии – технологии создания структур с нанометровыми размерами.

Сканирующая зондовая микроскопия занимает лидирующие позиции в рейтинге наноиндустрии, позволяет студентам и преподавателям производить исследования заданной точности, в соответствии с научными интересами. Практически всегда результаты первоначального сканирования подвергаются математической обработке. Для этого используется комплекс приборов и методик NanoTutor и программные обеспечения (ПО), непосредственно поставляемое с СЗМ [6].

СЗМ анализ выявил, что средняя корректированность (шероховатость) поверхности образца Шабровского месторождения составляет 306,50 нм, серпентинита Турецкого месторождения – 275,86 нм. Это означает, что на поверхности образца с большей шероховатостью присутствуют микротрешины микротрешины (вызывающие корректированность), которые являются концентраторами напряжений. Тем самым данная порода подвержена наиболее быстрой дезинтеграции при рудоподготовительных процессах.

Анализ гранулометрического состава, представительных проб двух руд, проводился сухим рассевом пробы на стандартном наборе сит (по шкале Тейлора) при помощи вибрационного встряхивателя. Предложенный метод прост и удобен в определении состава по крупности[5].

На типовой характеристике по кумулятивному выходу (рисунок 1) наблюдается, что в Шабровском месторождении преобладают тонкие классы, а в Турецком – равномерное распределение классов по крупности.

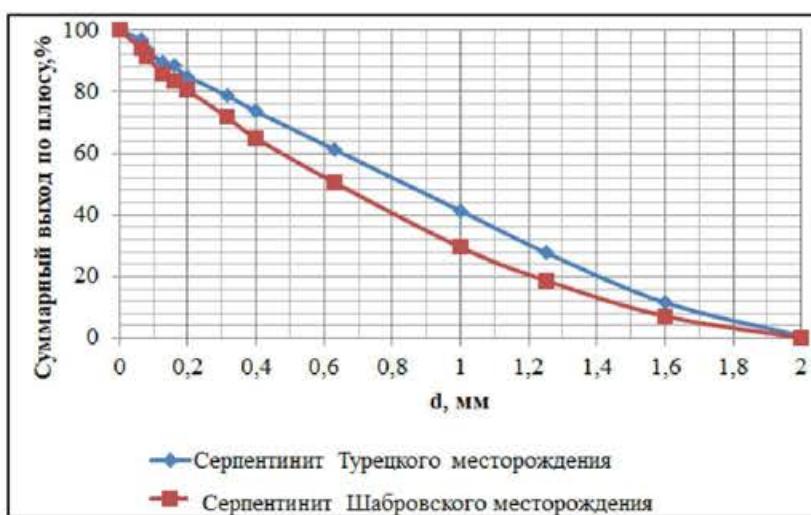


Рисунок 1. Гранулометрическая характеристика Серпентинита Турецкого и Шабровского месторождений

В ходе проведения научно-исследовательской работы был исследован минералогический состав и свойства поверхности двух видов серпентинитовых руд. Из анализа геологических шлифов выявлено, что руда Турецкого месторождения – магнитического происхождения, а Шабровского месторождения – метаморфического. Из результатов СЗМ исследования определено, что руда Шабровского месторождения лучше подвергается процессам дробления и измельчения, в силу присутствия на ее поверхности большого числа концентраторов напряжения. Данные факты объясняют, что серпентинитовая руда Шабровского месторождения за счет петрографического строения лучше подвергается процессам дезинтеграции.

#### Литература

- Габдуллин А.Н. Разработка способа азотокислой переработки серпентинита Баженовского месторождения: дис. канд. техн. наук: 05.17.01 «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, 2015;
- Пат. 2292300 Российской Федерации, МПК С 01 F 5/02. Способ переработки серпентинита / Калиниченко И.И., Габдуллин А.Н. – №2005122242/15; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.01.2007. Бюл. № 3. – 10 с.;
- Пат. АМ №1576 A2, 2005 Российской Федерации, МПК С 01 В 33/12. Способ комплексной обработки серпентинитов / Зулумян Н.О., Исаакян А.Р. - №200811333/05; заявл. 09.04.2008; опубл. 27.12.2010/ Бюл. №36. – 6 с.;
- Бетехтин А.Г. 'Курс минералогии' - Москва: Государственное издательство геологической литературы, 1951 - с.543;
- Обогащение полезных ископаемых: Методические указания к лабораторным работам / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Сост. В.В. Львов. СПб, 2014. 66 с.
- Косовцева Т.Р., Ефимов Д.А. Применение методов СЗМ и специализированного программного обеспечения для повышения качества подготовки студентов-обогатителей горного производства/Т.Р.

А. КОРОТАЕВА, А. ЖУРОВА

Санкт-Петербургский горный университет

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ОСТРОВЕ САХАЛИН

Перспективы активного развития производства сжиженного природного газа (СПГ) в России требуют от научного и природоохранного сообщества готовности к участию в оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при разработке проектов и вовлечения в разработку мер по минимизации вреда окружающей среде от их реализации. При этом до момента реализации проекта «Сахалин-2», который в 2009 г. стал первым отечественным заводом СПГ, в России не проводилась оценка экологического воздействия всего жизненного цикла производства и транспортировки СПГ, не проводился комплексный анализ всех видов воздействия на морские и наземные природные экосистемы. [4]

За десять лет эксплуатации производственного комплекса был проведен ряд исследований, посвященных мониторингу техногенных изменений основных компонентов наземных экосистем прилегающих к объекту территорий.

В ходе исследований было выявлено, что воздействие на окружающую природную среду оказывает весь жизненный цикл сжиженного природного газа от строительства промышленных объектов, подготовки и сжижения газа до его хранения, транспортировки и регазификации. Одной из основных причин техногенных изменений экосистем, находящихся в зоне влияния заводов СПГ, являются выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

На предприятии выделено 30 источников загрязнения атмосферного воздуха. Отмечено, что основными источниками негативного воздействия являются печь сжижания кислого газа, факельное хозяйство завода, вентиляционные выбросы от ремонтных мастерских во время ремонтных работ и гаражного хранения техники и вентиляционные выбросы от автотранспорта.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 (п. 7.1.1) [2], завод СПГ/ТОН относится к I классу опасности, для которого нормативная санитарно-защитная зона установлена размером 1000 метров.

Отбор проб для контроля качества атмосферного воздуха проводится на границе санитарно-защитной зоны, в зоне воздействия факела от горения газа согласно РД 52.04.186-89 [1], а также на территории расположенного в окрестности поселка. Схема расположения точек мониторинга приведены на рис.1.

На границе СЗЗ проводятся маршрутные наблюдения. Из-за близкого расположения промплощадки завода СПГ от постройки поселка Пригородное проводится контроль загрязняющих веществ на границе СЗЗ и данного поселка (№3). Контрольные точки №1 и №2 располагаются на границе СЗЗ по направлению рассеивания загрязняющих веществ к городам Корсаков и Южно-Сахалинск соответственно.



Рис. 1 . План-схема расположения точек мониторинга атмосферного воздуха

Наличие стационарных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха на предприятии не предусмотрено из-за длительной периодичности между отборами проб согласно пособию Министерства природных ресурсов РФ [3].

В таблице 1 представлен план отбора проб для веществ, которые определены на основании проекта ПДВ для завода СПГ, а также для веществ, контролируемых при подфакельных наблюдениях согласно РД 52.04.186-89 [1].

Таблица 1. План проведения мониторинга

№ источника /точки отбора на карте-схеме	Название источника	Контролируемое вещество	Периодичность контроля	Метод проведения контроля
11	Печь кислого сжигания	NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	1 раз в год в период штатной работы	Стационарный газоанализатор
11	Печь кислого сжигания	H <sub>2</sub> S	1 раз в год в период сброса кислого газа без сжигания	Стационарный газоанализатор
№1 - №3	Граница СЗЗ	NO <sub>2</sub> , NO, CO, C, SO <sub>2</sub> , C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	1 раз в квартал	Отбор проб и лабораторный анализ
	Подфакельные участки	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	50 раз в год	Портативный газоанализатор

Инструментальные измерения концентраций загрязняющих веществ на источнике 11 осуществляются при помощи стационарного газоанализатора MRU SWG 200. Данный прибор производит закачивание отходящих газов от источника выделения и определяет концентрацию контролируемых веществ при помощи электрохимического сенсора.

Подфакельные наблюдения ведутся при помощи портативного газоанализатора Бином-В (серия ИГС-98), основанного на принципе изменения сопротивления полупроводникового сенсора в зависимости от концентрации газа.

Для точек №1 - №3 в полевых условиях производится отбор проб, а анализ концентрации контролируемых веществ производится в лаборатории. Отбор проб осуществляется: для определения диоксида азота, оксида азота, диоксида серы, углеводородов – при помощи сорбционных трубок; для определения оксида углерода, метана – при помощи резиновой камеры; для определения углерода (сажи) – при помощи фильтров.

Отбор проб для точек №1 - №3 производится в течение 20 минут на высоте 2 метров. Определение метеорических параметров осуществляется при помощи портативного устройства метеометра МЭС-200А (атмосферное давление, относительная влажность и температура воздуха) и метеорологического комплекта МК-3 (направление и скорость ветра).

При выявлении в ходе мониторинга атмосферного воздуха негативного влияния загрязняющих веществ рекомендуется применить следующие природоохранные мероприятия: внедрение технологий, способствующих уменьшению выбросов от факельного хозяйства; использование оборудования с низким уровнем выбросов NO<sub>x</sub> на постоянно работающих установках сжигания; кратковременное снижение выбросов загрязняющих веществ при неблагоприятных метеорологических условиях; внедрение современных технологий, а также приобретение высокоэффективного очистного оборудования; использование автотранспорта, удовлетворяющего экологическим требованиям.

Результативность реализации экологического мониторинга на предприятии отражается в социально-экономической эффективности. Отслеживание изменения концентрации загрязняющих веществ позволит оперативно предпринимать шаги для устранения превышающих значений. Это позволит избежать общественного давления и исков со стороны жителей дачного поселка «Строитель» в сторону компании.

#### Литература

1. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы, от 01 июля 1991 года.
2. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (с изменениями на 25 апреля 2014): СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 от 25 сентября 2007 года № 74.
3. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное). – ОАО «НИИ Атмосфера». СПб. 2012.
4. Амеликова Л.Е., Книжников А.Ю. «Сахалин-2»: пример воздействия СПГ-проекта на окружающую среду // Экологические аспекты СПГ-проектов в арктических условиях. – 2016. – С.17.
5. Побережная Т.М., Сабиров Р.Н., Копанина А.В., Нюшко Т.И., Шахов И.М. Организация экологического мониторинга в зоне воздействия завода СПГ на юге Сахалина // Вестник ДВО РАН. – 2009, №6. – С.60.
6. Самутенко Л.В. Воздействие выбросов в атмосферный воздух завода по сжижению природного газа на почву садовых участков (о. Сахалин) // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016, №11(53). – С.44.

ИЗ74 Измерительная техника и технологии контроля параметров природных и техногенных объектов минерально-сырьевого комплекса : Сборник научных трудов / Санкт-Петербургский горный университет. СПб, 2019. 92 с. (II Международная научно-практическая конференция, 14-17 апреля 2019 г.)

ISBN 978-5-94211-874-7

УДК 662.6:53

ББК 33.4

*Научное издание*

II Международная научно-практическая конференция

**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ  
ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ  
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

14-17 апреля 2019 г.

*Сборник научных трудов*

Статьи публикуются в авторской редакции  
Оригинал-макет выполнен *И.Ю.Федеченковой*

Сборник включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)  
Научной электронной библиотеки <http://elibrary.ru>

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.02

Подписано к печати 11.04.2019. Формат 60×84/8. Уч.-изд.л. 13.  
Тираж 90 экз. Заказ 345. С 128.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2



Россия, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2  
Тел. (812) 327 7360. Факс (812) 327 7359  
<http://www.spmi.ru>. E-mail: [rectorat@spmi.ru](mailto:rectorat@spmi.ru)

