

ВЕСТНИК

МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Том 30 №2
2025



Санкт-Петербург

**ВЕСТНИК
МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(МАНЭБ)**

Теоретический и научно-практический журнал
Том 30, № 2 2025г.

Журнал основан в 1995 году

Учредитель журнала: Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ).

Главный редактор:	доктор технических наук, профессор	Шкрабак Владимир Степанович
Заместитель главного редактора:	доктор технических наук, профессор	Огнев Олег Геннадьевич
Заведующие редакцией:	кандидат технических наук, доцент	Занько Наталья Георгиевна
	кандидат технических наук, член-корр.	Родин Владислав Геннадьевич
Ответственный секретарь:	кандидат военных наук, доцент	Цаплин Виталий Васильевич

Кураторы публикаций журнала

• Брюханов Александр Юрьевич -	доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН
• Шашурин Александр Евгеньевич -	доктор технических наук, профессор
• Ложкин Владимир Николаевич -	доктор технических наук, профессор
• Агошков Александр Иванович -	доктор технических наук, профессор
• Алборов Иван Давыдович -	доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия:

• Бородий Сергей Алексеевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор
• Иванов Андрей Олегович	доктор медицинских наук, профессор
• Минько Виктор Михайлович	доктор технических наук, профессор
• Мустафаев Ислам Исрафил оглы	доктор химических наук, профессор
• Ковязин Василий Федорович	доктор биологических наук, профессор
• Петров Сергей Афанасьевич	доктор технических наук, профессор
• Фуал Махмуд оглы Гаджи-заде	доктор технических наук, профессор
• Чжан И	доктор технических наук, профессор (КНР).
• Хуан Чжэмин	профессор, академик (КНР)
• Линь Цзинь	доцент (КНР)
• Баранова Надежда Сергеевна	доктор сельскохозяйственных наук, доцент
• Бардышев Олег Андреевич	доктор технических наук, профессор
• Воробьев Дмитрий Вениаминович	доктор медицинских наук, профессор
• Ибадулаев Владислав Асанович	доктор технических наук, профессор
• Грошили Сергей Михайлович	доктор медицинских наук, профессор
• Ефремов Сергей Владимирович	кандидат технических наук, доцент
• Линченко Сергей Николаевич	доктор медицинских наук, профессор
• Позднякова Вера Филипповна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор
• Баранов Юрий Николаевич	доктор технических наук, профессор
• Савельев Анатолий Петрович	доктор технических наук, профессор
• Ложкина Ольга Владимировна	доктор технических наук, профессор, кандидат химических наук
• Белова Татьяна Ивановна	доктор технических наук, профессор
• Орлов Павел Сергеевич	доктор технических наук, профессор
• Сакович Наталия Евгениевна	доктор технических наук, профессор
• Юрков Михаил Михайлович	доктор технических наук, профессор
• Шкрабак Роман Владимирович	кандидат технических наук, доцент
• Мазур Андрей Семенович	доктор технических наук, профессор
• Морозов Владимир Васильевич	доктор технических наук, профессор

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY (www.elibrary.ru).

Информация о журнале размещена на сайте www.vestnik-maneb.ru.

За использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, ответственность несут авторы.

Адресредакции: 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, тел/факс: (812)6709376,
электронная почта: vestnik_maneb@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОЛОГИЯ.....	4
Цгоев Т.Ф., Агузаров Г.М. Экологические проблемы малых рек и пути их решения на примере РСО-Алания	4
Раковская Е.Г., Губенок Е.С. Экологические аспекты размещения промышленных отходов	10
Дашкевич А.С., Занько Н.Г. Экологические проблемы нефтеперерабатывающих производств и направления повышения экологической безопасности	13
Базаров Е.И., Болгарский Г.А., Морозов А.В., Морозов В.А. Об использовании личинок мух Чёрная львинка	16
ОХРАНА ТРУДА	25
Путин С.Б. Новое поколение метаболического имитатора внешнего дыхания человека, области его применения и некоторые примеры использования.....	25
Цветкова А.Д., Шумилов Р.В. Анализ производственного травматизма в организациях городского электрического транспорта г. Санкт-Петербург	42
БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	46
Алборов И.Д., Тедеева Ф.Г., Бурдзиева О.Г., Вернигор В.В., Ревазов В.Ч. Техногенные и природные факторы, влияющие на здоровье и работоспособность горнорабочих	46
Кича М.А. Основные факторы безопасности благоустройства скверов при реконструкции фонтанов в сложившейся городской среде	54
Алиев Ч.С., Гаджи-заде Ф.М., Ахади Ю.М., Ахади Н.Ю. Багирли Р.Дж., Алиева А.Р. Исследование радиоактивных зон и анализ геологической природы «горячих точек» в Зангиланском районе Азербайджана.....	56
Эль-Салим С.З., Михайленко В.С., Кириллова Н.В. Аналитический обзор методов оперативного дистанционного зондирования опасных газовых и аэрозольных выбросов	62

ЭКОЛОГИЯ

УДК: 504.453:574.64

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МАЛЫХ РЕК И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ РСО-АЛАНИЯ

Цгоев Т.Ф., кандидат технических наук, доцент кафедры Экологии и техносферной безопасности СКГМИ(ГТУ); **Агузаров Г.М.**, студент кафедры Экологии и техносферной безопасности СКГМИ(ГТУ), Владикавказ, РСО-А, Россия.

Аннотация. В статье вначале рассматривается значение малых рек для жизнедеятельности населения. Потом проанализированы виды антропогенной и техногенной деятельности, влияющие негативно на экологическое состояние малых рек на примере РСО-Алания. Особое внимание уделено реке Камбилеевка, как наиболее загрязненного водного объекта республики. Приводится анализ сбросов загрязняющих веществ со сточными водами промышленных предприятий и их отрицательного воздействия на гидрологический режим водного бассейна указанной реки. В конце статьи приводятся предложения по прекращению загрязнения вод малых рек.

Ключевые слова: малые реки, загрязнение, экология, водосбор, поймы.

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SMALL RIVERS AND WAYS TO SOLVE THEM USING THE EXAMPLE OF NORTH OSSETIA-ALANIA

Tsgoev T.F., Aguzarov G. M.

Annotation. The article first examines the importance of small rivers for the livelihoods of the population. Then the types of anthropogenic and man-made activities that negatively affect the ecological state of small rivers are analyzed using the example of the Republic of North Ossetia-Alania. Special attention is paid to the Kambileyevka River, as the most polluted water body in the republic. The analysis of pollutant discharges from industrial wastewater and their negative impact on the hydrological regime of the specified river basin is presented. At the end of the article, there are proposals to stop polluting the waters of small rivers.

Keywords: small rivers, pollution, ecology, watershed, floodplains.

Масштабы загрязнения и истощения водных ресурсов в настоящее время приняли угрожающий характер. Остро встала проблема нехватки пресной воды в густонаселенных районах, крупных промышленных центрах, в местах орошаемого земледелия. Отсутствие чистой питьевой воды, загрязнение водоемов являются причиной многих заболеваний человека, губительно сказываются на животном и растительном мире Земли. Во многих местах загрязнение пресных вод переходит из разряда локального в региональный.

Наиболее быстро на антропогенные и техногенные воздействия реагируют малые реки, которые питают крупные водные системы – в том числе источники питьевого водоснабжения (водохранилища). К этой категории относят водотоки, имеющие протяженность менее 100 км и площадь водосбора менее 2000 кв. км. По сравнению со средними и крупными реками малые – обладают низкой способностью к самоочищению от загрязнений, невысокой относительной

транспортирующей способностью (ОТС) наносов, поступающих в реку. При низкой ОТС в русле происходит накопление седиментов, нарастает заиление, снижается качество воды. Увеличение количества наносов в русле или снижение объемов стока могут нанести значительный урон малым рекам – вплоть до полного их исчезновения. Такое происходит, например, из-за распашки склонов, увеличения объемов забора воды на орошение, сооружения бессточных плотин или каскадов прудов [1].

Малые реки, отличаясь от средних и крупных по водности, тем не менее выполняют очень важную экологическую роль. Именно они, дренируя большую часть площади водосбора, определяют водность, качество, режим и другие показатели более крупных водотоков. С другой стороны, незначительные их размеры, непосредственный контакт с результатами разносторонней деятельности человека определяют их уязвимость. В долинах рек быстрее и сильнее всего происходят все негативные изменения

Самой главной особенностью малых рек является то, что их водосборные бассейны расположены в одном физико-географическом районе. Это приводит к тому, что режим реки по всей ее длине одинаков.

Другая особенность состоит в том, что местные деформации берегов за одно половодье невелики и дернина или кустарниковая растительность защищает берега от размыва - пойма не размывается в половодье.

Реки являются незаменимыми природными комплексами, объектами производительных сил, основными средствами производства, как и земля.

По руслам рек стекают не только излишки поверхностных вод - речные русла являются открытыми дренами, в них высачивается и отводится грунтовая вода, фильтрующаяся со всей территории водосборного бассейна.

Особую хозяйственную ценность имеют поймы малых рек. Пойменные луга и пастбища - это кладовые гарантированных кормов.

Заросшая кустарником пойма не боится эрозии при движении потока в половодье. Необходимо отметить возможность разводить весьма рентабельную в этих условиях водоплавающую птицу. Неоценимо в хозяйственном, экологическом и социальном аспектах рыбохозяйственное значение малых рек [2].

Неудовлетворительное состояние малых рек, особенно качество воды в них, вызывает немалую тревогу у специалистов и общественности. Все яснее становится, что сохранение малых рек означает решение одного из основных аспектов защиты окружающей природной среды.

По территории России протекает свыше 2,5 миллиона рек. Протяженность почти 95 процентов из них не превышает 25 километров. Однако на эти малые реки приходится около половины объема речного стока по стране. Более 50 млн. человек в России проживают в бассейнах малых рек, вода которых интенсивно используется не только на бытовые нужды, но и для жилищно-коммунального, сельскохозяйственного, промышленного обеспечения [3].

Республика Северная Осетия – Алания расположена на юге России и располагает значительными ресурсами поверхностных вод, которые используются для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, промышленности и сельскохозяйственного производства (рисунок 1).

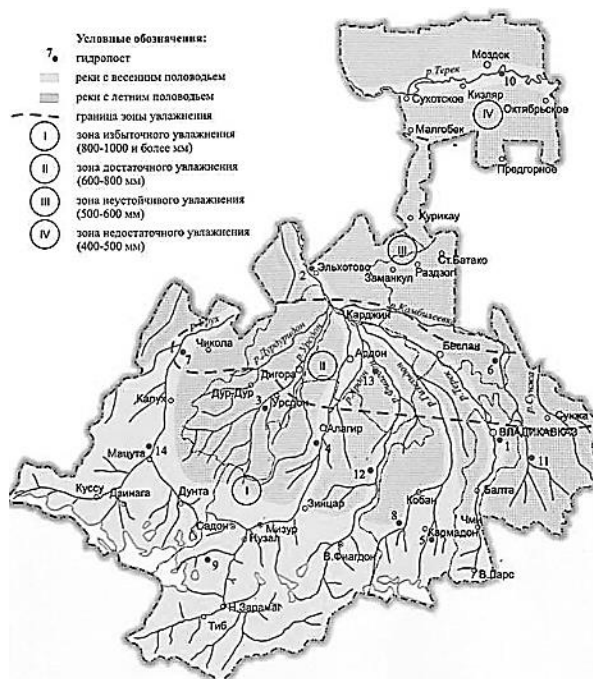


Рисунок 1 Речная сеть РСО-Алания

Как видно из рисунка территория Северной Осетии, особенно ее горная часть, имеет разветвленную гидрологическую сеть, общая протяженность которой 3358 км, а количество различных водотоков (рек, речек, ручьев) – 1038. Из них 537 имеют собственные названия. Вся речная сеть Северной Осетии принадлежит к бассейну р. Терек. Это вторая по величине река Северного Кавказа. Длина ее в пределах республики составляет 169 км. Три другие крупные реки левые притоки Терека – Урух (длина в пределах республики – 104 км), Ардон (длина – 108 км), Фиагдон (длина – 75 км). Терек берет начало на Водораздельном хребте из-под ледника горы Зильгахох на высоте 2713 м. [4]

Прорвав Боковой, Скалистый и Пастбищный хребты Терек образует глубокие каньонообразные ущелья. На этом участке в Терек впадает много притоков, наиболее крупные Нарван, Байдарка, Сносикали, Кистинка, Армхи. Перед Эльхотовскими воротами, где Терек прорезает Сунженский хребет, он принимает реки: Ардон с притоками Фиагдон и Гизельдон, Камбилеевка, Урсдон, собирая воды со всей Северо-Осетинской наклонной равнины.

Сливаясь Мамисондон, Нардон, Адайкомдон, Цмиагкомдон образуют реку Ардон, наиболее крупный приток Терека в пределах Северной Осетии (дина – 108 км). Далее Ардон принимает еще ряд притоков: Цейдон, Садон, Баддон, Уналдон, Тамискдон и около своего устья Фиагдон и Гизельдон, он впадает в Терек около с. Дарг-Кох.

Река Урух имеет на территории республики длину 104 км и площадь бассейна 1110 км², притоки Караугомдон, Агоймуридон, Хазнидон.

На территории республики имеется сеть искусственных каналов, наиболее протяженным из них является Терско-Кумский канал, трасса которого проходит по левобережью Терека к северу Моздокского района (длина – 121 км) он рассчитан на ежегодный забор 1605 млн. м³ воды [4].

Все эти водотоки на современном этапе развития производительных сил и щадящего отношения к проблемам охраны окружающей среды подвергаются интенсивному негативному

антропогенному и техногенному воздействию. Вначале в качестве примера рассмотрим состояние реки Камбилеевка, так как она является самой загрязненной рекой бассейна реки Терек в пределах РСО-Алания. Бассейн реки Камбилеевка включает в себя практически всю территорию юго-восточной зоны республики Северная Осетия-Алания [5].

На территории водосбора, относящейся к РСО-Алания, административно размещается три сельскохозяйственных района (не полной площадью), г. Владикавказ и г. Беслан. Численность населения на территории водосбора р. Камбилеевка РСО-Алания составляет порядка 130 тыс. чел., в том числе сельского – 52 тыс. чел.

Общий объем водоотведения от промышленных предприятий в бассейн р. Камбилеевка в год составляет 13,119 млн. м³, в том числе недостаточно очищенных 1,055 млн. м³ и без очистки 7,3 млн. м³.

АО «Электроцинк» до его закрытия в 2018 году являлось основным загрязнителем р. Камбилеевки и в связи с закрытием АО «Электроцинк» качество вод здесь может быть несколько улучшилось, но все же остается неудовлетворительным. Так превышение ПДК по биохимическому потреблению кислорода (БПК₅) от 3 раза превышает ПДК, по меди 3,5 раза, марганцу и железу 2 раза.

В настоящее время основным источником сбросов загрязненных сточных вод в эту реку является цех № 3 АО «Победит». Кроме того, производственные стоки формируются в производственных цехах № 1, 2, 7 и 8. Общее количество загрязненных стоков без очистки составляет 8,2 тыс. м³/сутки.

Следующим предприятием – загрязнителем вод реки является АО «Иристонстекло», которое ежегодно через р. Собачья Балка в р. Камбилеевка сбрасывает 229 тыс. м³ загрязненных стоков. Результаты анализов показывают, что стоки завода сбрасываются с превышением ПДС по нефтепродуктам в 5,2 раза, по взвешенным веществам в 5,1 раза, по железу в 32 раза. Не эффективно работают очистные сооружения МВЦ-1 и МВЦ-3 (машинированные цеха), отсутствуют очистные сооружения на МВЦ-2 и цехе стеатитовых изделий [6].

Кроме указанных предприятий в г. Владикавказе имеется более 15 предприятий, производственные стоки, ливневые воды которых без очистки сбрасываются также в эту реку.

Загрязнению химическими веществами подвергаются и другие реки. Возмущает и тот факт, что допускается мойка автомобилей в руслах рек. В реки Фиагдон и Ардон поступают тяжелые металлы из хвостохранилищ бывших обогатительных фабрик Садонского цинкового комбината.

Постоянное стремление к расширению пахотного клина требует освоения все новых и новых площадей за счет неудобных земель, располагающихся на крутых склонах. При этом, из-за неприменения противоэрозийной технологии возделывания сельхозкультур, освоение крутосклонных земель приводит к интенсивному смыву плодородного слоя почв и выносу его в овраги, балки, поймы малых рек, являющихся базами эрозии. Вместе с ливневыми и коллекторно-дренажными водами в русло малых рек выносятся минеральные удобрения, гербициды и пестициды.

На территориях малых предприятий как в горной части, так и на равнине скапливаются отходы производства и имеются разливы нефтепродуктов и их ливневые сбросы оказывают отрицательное воздействие на реку. По республике в водосборной части рек расположены значительное количество автомоек и автозаправок, которые не имеют очистных сооружений на сбросах сточных и ливневых вод.

Ресурсы рек Фиагдон, Змейка, Лескенидон, Камбилеевка, Урсдон, Гизельдон, Урух, Хаталдон и Суадагдон в равнинной части республики широко используются в сельском хозяйстве: для орошения полей, водоснабжения населённых пунктов и животноводческих комплексов. Бесконтрольное изъятие речного стока приводит к дефициту водных ресурсов, трансформации русла реки. Переброс воды из этих малых рек в другие водные системы приводит к их обмелению многих малых рек. Уровень грунтовых вод в близлежащей местности, напротив, может повышаться, а пойма реки заболачивается. Становится более вероятной опасность затопления пахотных земель и населённых пунктов в паводковый период или в весеннее половодье [6].

В большинстве сельскохозяйственных предприятий животноводческие комплексы и фермы расположены вблизи этих рек и каналов на территориях зон водосборов и даже в водоохранной зоне. В результате навоз и жижа смываются дождями, и загрязняют водные объекты и происходит их загрязнение азотными и фосфорными соединениями, окисляющимися органическими соединениями. Рост содержания органики влечет к заилению, увеличению кормовой базы детритофагов и микроорганизмов, снижению количества растворенного в воде кислорода. Это приводит к изменению состава аквальных сообществ и качества воды, ухудшению экологического состояния малых рек.

К тому же, практически все животноводческие комплексы и фермы, функционирующие в бассейне, не имеют капитальных навозохранилищ и жижесборников, что способствует эвтрофикации вод и их загрязнению.

Почти все сельские поселения, в том числе в горной части республики не имеют очистных сооружений на сбросах коммунальных сточных вод и загрязненные стоки поступают в речные водоемы.

Повсюду в водоохранных зонах малых рек в нарушение природоохранного законодательства построены комплексы сооружений для пребывания отдыхающих в выходные дни с пунктами питания и санузлами. Все это, соответственно, отрицательно влияет на экологическое состояние рек.

Источниками загрязнения вод малых рек в горной части остаются шахтные воды и стоки рекреационного комплекса «Цей». К естественным загрязнителям можно отнести большое количество выходов минеральных источников. Это существенно влияет на химический состав реки Ардон.

По причине отсутствия очистных сооружений в реки попадают стоки промышленных предприятий и коммунально-бытовые отходы. Впоследствии химические соединения разлагаются, отравляя речную экосистему токсическими и канцерогенными веществами. Это вызывает существенное ухудшение качества речной воды, заиливание дна. По сути, многие небольшие реки превращаются в сточные канавы.

Возмущает и тот факт, что допускается мойка автомобилей в руслах рек.

Одним из видов деятельности, отрицательно влияющих на горные экосистемы, является горный туризм, который становится все более популярным видом активного отдыха и привлекает большое количество людей в походы. Участники турпоходов оставляют мусор в местах привала в водоохранных зонах. Эти отходы отрицательно влияют на водотоки, почву, флору и фауну, находящиеся в близлежащих экосистемах. [6].

Осуществляется строительство жилых домов в пойме горной реки Фиагдон и на селеопасных склонах что является не только нарушением природоохранного законодательства, но

такая застройка просто опасна для жизни при половодьях, связанные с активным таянием горных ледников и снежников.

Все это говорит о том, что необходимо принимать незамедлительные меры по прекращению загрязнения малых рек республики. Первоочередные мероприятия должны быть направлены на ликвидацию отрицательного воздействия современной сферы жизнедеятельности человека, осуществляемые как на основе инженерных решений, так и на основе административно-правовой регламентации.

Таким образом, на основании анализа состояния малых рек Республики Северная Осетия-Алания мы предлагаем следующие мероприятия [6,7]:

1. Исключить сброс неочищенных сточных вод всех предприятий и хозяйств, расположенных вблизи малых рек; вести контроль за использованием водных ресурсов;
2. Запретить в истоках малых рек все виды хозяйственной деятельности, которые могут привести к нарушению естественной структуры водосборных площадей; прекратить распашку земель вдоль склонов и по берегам водоемов;
3. Усилить контроль за работами, связанными с мелиорацией земель в бассейнах малых рек, учитывая при этом необходимость сочетания хозяйственных и воспроизводственных мероприятий; регистрировать выпас скота в горных районах;
4. Категорически запретить вырубку древесно-кустарниковой растительности, создать защитные лесонасаждения вдоль водотоков малых рек;
5. Запретить размещение в водоохраных зонах рек строительство баз отдыха, складов хранения удобрений, ядохимикатов, нефтепродуктов и др.
6. Проводить специальные мероприятия, начиная с выделения и отмежевания на реках заповедных зон, чтобы сохранить характерные для каждой реки заповедные фито - и зообиоценозы, соблюдать нормативы санитарно-защитных зон для водных объектов;
7. Производить строительство берегозащитных и руслоукрепляющих сооружений для увеличения наносотранспортирующей способности руслового потока; производить механическую очистку русел рек по удалению накопившихся в них осадков и загрязнений;
8. Силами местных органов управления, жителей проживающих на территории бассейнов рек создать экологические посты по охране малых рек.

Разумеется, выполнение этих мероприятий должно сочетаться с хозяйственными и рекреационными задачами, поскольку и агротехнические, и противоэрозионные, и гидротехнические мероприятия имеют общую цель - рациональное использование природных ресурсов.

Библиография

1. О проблемах малых рек Республики Северная Осетия-Алания. Статья элетронная. URL: <https://infourok.ru/statya-na-temu-o-problemah-malyh-rek-respubliki-severnaya-osetiya-alaniya-5536163.html>.
2. Шевченко, М.А. Экологические проблемы малых рек России. Чистая вода: проблемы и решения. 2009. № 1. С. 84-89.
3. Ключевский В. Экологических проблемы малых рек Северной Осетии. URL: <https://pandia.ru/text/80/043/11043.php>.
4. Цгоев Т. Ф. Гидронимия Северной Осетии. Монография. – Владикавказ: Отпечатано ИПЦ ИП Цопановой А.Ю. 2023. – 316 с.

5. Вагин В.С., Цгоев Т.Ф. Экологии малых рек – особое внимание. В Вестнике Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности № 8 (33). – Владикавказ: Издательство ГИПП «Рухс». 1999. С. 16-18.
6. Цгоев Т.Ф., Амбалов В.Б. Экологическое состояние малых рек на примере РСО-Алания. В Ежемесячном научном журнале «Национальной ассоциации ученых (НАУ)» №58 – Екатеринбург: Типография по ул. Народной воли 2. 2020. С 24-28.
7. Римшин, В.И. Экология малых рек России. Проблемы и пути их решения. Бюллетень строительной техники. 2004. № 10. С. 2-10.

УДК 502.5

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Раковская Е.Г., кандидат химических наук, доцент; **Губенок Е.С.**, студент; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Аннотация. В статье рассматривается возможность управления экологическими аспектами размещения промышленных отходов. Экологически безопасное размещение отходов обеспечивается комплексом систем обустройства объектов размещения отходов, технологиями эксплуатации и вывода из эксплуатации объектов размещения отходов.

Ключевые слова: экологические аспекты, промышленные отходы, объекты размещения, окружающая среда.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF INDUSTRIAL WASTE DISPOSAL

Rakovskaya E.G., Gubenok E.S.

Abstract. The article considers the possibility of managing environmental aspects of industrial waste disposal. Environmentally safe waste disposal is ensured by a set of waste disposal facility arrangement systems, waste disposal facility operation and decommissioning technologies.

Keywords: environmental aspects, industrial waste, disposal facilities, environment.

В настоящее время вопросы обращения с отходами приобретают важнейшее значение. В городах образуются миллионы тонн отходов, и только пятая часть таких отходов используется вторично. Одним из способов обращения с промышленными отходами является размещение, которое заключается в хранении и захоронении отходов [1].

Размещение отходов осуществляется на объектах, которые являются природоохранными сооружениями, обеспечивающими снижение или предотвращение воздействия отходов производства и потребления на окружающую среду. Согласно статистическим данным, в период с 2010 по 2023 год на размещение ежегодно направлялось около 50–60 % образуемых отходов. При этом масса отходов, поступивших в специализированные объекты размещения в период с 2010 по 2022 год, составила 45 469,8 млн. тонн.

В настоящее время в Российской Федерации систематизированы сведения о 4010 действующих объектах размещения отходов. Распределение таких объектов по округам представлено в таблице 1.

Таблица 1 Распределение объектов размещения отходов

№	Федеральный округ	Объекты хранения отходов	Объекты захоронения отходов	Объекты размещения отходов
1	Центральный	108	238	346
2	Северо-Западный	190	257	447
3	Южный	69	76	145
4	Северо-Кавказский	18	29	47
5	Приволжский	358	274	632
6	Уральский	355	221	576
7	Сибирский	666	387	1053
8	Дальневосточный	352	412	764
	Всего по России	2116	1894	4010

Как следует из таблицы 1, количество объектов размещения преобладает в Сибирском, Дальневосточном, Приволжском округах, то есть в округах с высокой долей добывающих отраслей промышленности.

Размещение отходов осуществляется на объектах, обеспечивающих снижение или предотвращение негативного воздействия компонентов отходов на окружающую среду. К основным экологическим аспектам при размещении отходов могут относиться:

- изъятие земельных ресурсов или участков недр под строительство объектов размещения отходов;
- утрата ресурсного потенциала веществ и материалов, входящих в состав отходов в связи с условиями размещения;
- обращение с веществами, опасными для окружающей среды;
- поступление загрязняющих веществ в геологическую среду;
- поступление загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты и на близлежащие территории;
- выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, включая выбросы метана;
- воздействие на растительный и животный мир;
- пожароопасность.

Многими из перечисленных аспектов можно управлять. Экологически безопасное размещение отходов, учитывающее управление экологическими аспектами, обеспечивается комплексом систем обустройства объектов размещения отходов, технологиями эксплуатации и вывода из эксплуатации объектов размещения отходов [2].

Меры, направленные на предотвращение поступления загрязняющих веществ в подземные и поверхностные водные объекты, недра, почвы (обустройство объектов размещения отходов), применяются на всех этапах жизненного цикла объектов размещения отходов: проектирование и строительство, эксплуатация, вывод из эксплуатации.

Системы обустройства, препятствующие загрязнению подземных и поверхностных водных объектов, включают противофильтрационные экраны природного происхождения, противофильтрационные устройства для предотвращения миграции загрязняющих веществ из объектов размещения отходов с фильтрационными водами, дренажные системы, обвалование

объекта размещения отходов очистные сооружения или локальные системы очистки сточных вод, сбрасываемых с хранилищ в поверхностный водный объект.

Для предотвращения и минимизации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на этапе эксплуатации объектов размещения отходов и после вывода их из эксплуатации применяются следующие способы: подготовка отходов к размещению, направленная на стабилизацию свойств отходов; сбор газа, образующегося в теле объектов размещения отходов, и его сжигание; сбор газа, образующегося в теле объектов размещения отходов, и его использование (на энергетической установке); сбор газа, образующегося в теле объектов размещения отходов, и его биофильтрация; применение методов пылеподавления [2,3].

Способы подготовки отходов к размещению определяются их составом, классом опасности, наличием опасных свойств, агрегатным состоянием и физической формой. В зависимости от указанных параметров могут применяться следующие способы подготовки отходов:

- сортировка отходов, содержащих полезные компоненты, обеспечивает ресурсосбережение и снижение количества размещаемых отходов;
- предварительное обезвреживание/химическая обработка отходов, обеспечивающая минимизацию негативного воздействия при эксплуатации объектов размещения отходов;
- обезвоживание отходов для минимизации образования фильтратонных вод;
- измельчение, разжижение, реагентная обработка для придания отходам необходимых реологических свойств отходов с целью захоронения полученной пульпы в пласте-коллекторе или искусственной полости, в том числе подземных резервуарах в многолетнемерзлых породах;
- брикетирование, комкование отходов, обеспечивающее снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду;
- затаривание отходов, обеспечивающее минимизацию миграции загрязняющих веществ в окружающую среду.

Меры, направленные на снижение площадей земельных ресурсов и участков недр, изымаемых под размещение отходов: использование для строительства объектов размещения отходов нарушенных земель; применение высотной схемы складирования, увеличение коэффициента уплотнения при размещении отходов, позволяющие увеличивать вместимость объекта; извлечение из отходов вторичных материальных или энергетических ресурсов.

Меры, направленные на безопасное размещение отходов, обладающих пожароопасными свойствами или выделяющих пожароопасные вещества при хранении: предварительная обработка отходов, содержащих в повышенном количестве горючие компоненты; поддержание отходов в увлажненном состоянии для снижения вероятности самовозгорания; ограничение контакта отходов с факторами, провоцирующими возгорание; обеспечение на объектах размещения отходов запаса воды, песка для тушения пожара; обеспечение использования инертных изолирующих материалов для пересыпки слоев отходов, размещаемых в объектах размещения отходов.

Известно, что управление экологическими аспектами необходимо контролировать. С целью контроля проводятся производственный экологический контроль для оценки сохранности систем обустройства объектов размещения отходов и правильности выполнения технологии размещения и мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах их воздействия на окружающую среду.

Библиография

1. Раковская, Е. Г. Управление отходами как одна из основ экологической безопасности / Е. Г. Раковская, Е. С. Губенок // Вестник МАНЭБ. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 27-29.
2. ИТС 17-2024 «Размещение отходов производства и потребления».
3. Раковская, Е. Г. Основы управления отходами / М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Санкт-Петербургский гос. лесотехнический ун-т им. С. М. Кирова". – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2012. – 151 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВДСТВ И НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Дашкевич А.С., магистрант, **Занько Н.Г.**, доцент, кафедра биотехносферной безопасности, Санкт-Петербургский лесотехнический университет им. С.М. Кирова

Аннотация. В статье анализируются основные источники загрязнения окружающей среды предприятиями нефтепереработки. Рассмотрены возможные пути ресурсосбережения воды путем модернизации систем оборотного водоснабжения.

Ключевые слова: защита окружающей среды, нефтепереработка, оборотное водоснабжение

ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF OIL REFINING INDUSTRIES AND DIRECTIONS FOR IMPROVING ENVIRONMENTAL SAFETY

Dashkevich A.S., Zanko N.G.

Abstract. The article analyzes the main sources of environmental pollution by oil refining enterprises. Possible ways of saving water resources by modernizing water recycling systems are considered.

Keywords: environmental protection, oil refining, water recycling

Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды от антропогенного загрязнения – наиболее важные проблемы современности, от решения которых зависит здоровье и благосостояние людей.

В зависимости от вида хозяйственной деятельности форма разрушения природных экосистем может быть различной. Многие производства стали причиной возникновения объектов накопленного вреда окружающей среде (НВОС). Как следует из [1] - 6,29% это объекты, являющиеся результатом деятельности предприятий нефтепереработки, нефтехимического производства. В настоящее время в России функционирует 37 крупных нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) с объемами переработки более 1 млн тонн в год.

На НПЗ улавливается около 46% от общего количества выбросов от всех стационарных источников. Обычно более 60% выбросов в атмосферу нефтеперерабатывающих предприятий связано с производством энергии для различных процессов. Электростанции, котлы, обогреватели, каталитический крекинг являются основными источниками выбросов в атмосферу окиси и двуокиси углерода, оксидов азота, твердых частиц и оксидов серы. Величина безвозвратных

потерь - потери углеводородов (2,7%), потери на факелах (17%), потери при регенерации катализаторов и с газами разложения на установках первичной переработки нефти и битумных установках (19%), потери со сточными водами (1%) - для рассматриваемых предприятий составляет в среднем 1% от объема переработанной нефти.

НПЗ используют воду на постоянной основе для поддержания водного баланса пара, охлаждающей воды, воды систем энергоснабжения и схем подачи противопожарной воды. Вода также применяется в технологических операциях и при техническом обслуживании оборудования.

Водные потоки НПЗ загрязнены вредными компонентами - фенолом, сероводородом, хлоридами, взвешенными веществами и др. Более половины вклада в общее загрязнение сточных вод фенолом вносят установки очистки технологического конденсата и сернисто-щелочных стоков, каталитического крекинга, установки первичной переработки нефти. Эти же установки вносят и наибольший вклад в загрязнение сточных вод сероводородом. Основным источником хлоридов в сточной воде являются стоки установок химической водоочистки и солесодержащие стоки ЭЛОУ. Наибольшее содержание ионов аммония присутствует в воде установок очистки технологического конденсата и сернисто-щелочных стоков. Основными загрязняющими веществами в сточных водах НПЗ являются нефтепродукты, различные органические соединения, фенолы, взвешенные вещества, соли, аммонийный азот и растворенный сероводород.

Таким образом, процессы нефтепереработки являются ресурсозатратными и энергоемкими. Потребление топливно-энергетических ресурсов в процессах переработки нефти в РФ на 44% выше, чем в США и на 31% выше, чем в Японии. Все это связано, в частности, с использованием устаревших технологий и оборудования. Износ основных фондов нефтеперерабатывающих заводов достигает 80%.

При модернизации производства в качестве приоритетных критериев выбора новых технологий рекомендуется [2] использовать повышение энергоэффективности, ресурсосбережение, снижение негативного воздействия объекта нефтепереработки на окружающую среду.

Ключевыми технологическими направлениями для повышения экологической безопасности производств являются:

- сокращение эмиссий -(перевод загрязняющих веществ выбросов и стоков, а также отходов в категорию вторичных материальных ресурсов с дальнейшим использованием;
- уменьшение ресурсоемкости производства;
- минимизация использования воды в процессах.

Как показывает практика, на переработку 1 т нефти расходуется 30–60 м³ воды, а при комплексной переработке нефти и газа с изготовлением синтетических продуктов этот расход достигает 90–120 м³. Поэтому остановимся более подробно на экономии воды.

Основное количество воды расходуется на охлаждение нефтепродуктов, технологических аппаратов и машин. Вода при этом нагревается до 45 °С, не загрязняется, и лишь при неисправности аппаратуры, неплотности фланцевых соединений в воду может попадать некоторое количество нефтепродуктов. Отработавшая охлаждающая вода относится к группе условно чистых вод, после охлаждения она должна быть полностью использована для оборотного водоснабжения. Очистка оборотной воды производится на локальных установках.

Охлаждающие системы промышленного водоснабжения могут быть прямоточными, с повторным использованием воды, оборотными и комбинированными. Выбор системы и схемы водоснабжения производится на основании сопоставления возможных вариантов их

осуществления с учетом особенностей объекта или группы объектов, требуемых расходов воды на различных этапах, источников водоснабжения, требований к напорам, температуре, качеству воды и обеспеченности ее подачи.

По составу сооружений система оборотного водоснабжения более сложная, чем прямоточная, и с последовательным использованием воды, дороже в строительстве и эксплуатации, но позволяет резко (в 25–50 раз) снизить потребность предприятия в свежей воде и уменьшить не менее чем в 80 раз сброс тепла в водоисточник.

На НПЗ существует система технологических установок, которая представлена блоками оборотного водоснабжения с двукратной перекачкой воды. Типовой блок оборотного водоснабжения состоит из сети трубопроводов, насосов для перекачки, градирен, камер теплой и охлажденной воды.

При оборотных системах тепло выбрасывается в основном в атмосферу, безвозвратный расход воды из водоисточника становится больше за счет испарения в градирнях, и её восполнение обеспечивается природными водами. Потребление свежей воды может быть значительно уменьшено за счет перехода на безотходные технологии, где на первый план выступают охлаждающие системы оборотного водоснабжения с градирнями различных типов и конструкций, а также возможностью подпитки таких систем очищенными сточными водами.

Выбор градирен делается на основе технологических расчётов с учетом заданных требований:

- 1) расходов оборотной воды и количества тела, удаляемого от оборудования;
- 2) температур охлаждающей воды и требований к стабильности охладительного эффекта;
- 3) расчетных метеорологических параметров и условий размещения на площадке завода;
- 4) химического состава оборотных вод и санитарно-гигиенических требований;
- 5) технико-экономических и экологических показателей.

Градирня [3] является центральным звеном в водооборотных системах отвода низкопотенциального тела от промышленных аппаратов. Секционные вентиляторные градирни предназначены для регионов, где температурой воздуха не опускается ниже -40°C . Принцип работы градирен такого типа таков: нагретая до 50°C оборотная вода поступает в градирню через водораспределительную систему, имеющую специальные сопла, и охлаждается в оросителях до 30°C с помощью вентилятора. Для снижения капельного уноса служат каплеуловители воды. За счет поверхностного испарения воды происходит охлаждение воды путем передачи тепла атмосферному воздуху. Таким образом отводится 70% (зимой) - 90 % тепла (летом).

На сегодняшний день отвод низко потенциального тела от промышленных аппаратов с помощью вентиляторных градирен – самый дешёвый способ, позволяющий повысить энергоэффективность водооборотных систем предприятий и сэкономить более 75 % свежей воды.

Библиография

1. Дашкевич А.С., Занько Н.Г., Раковская Е.Г. Накопленный вред окружающей среде как угроза экологической безопасности /Вестник МАНЭБ – 2023, Т.28, №4, с. 78-82.
2. Переработка нефти. ИТС 30-2021 [Электронный ресурс] - URL <https://burondt.ru/its>
3. Промышленные системы охлаждения. ИТС 20-2016 [Электронный ресурс] - URL <https://burondt.ru/its>

УДК 595.77 : 59.084

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛИЧИНОК МУХ ЧЁРНАЯ ЛЬВИНКА

Базаров Е.И., доктор технических наук, профессор по специальности «Гражданская оборона» (военная компонента), сегмент Продовольственная безопасность и безопасность жизнедеятельности в зонах эвакуации, академик Международной академии экологической реконструкции, чл.-корреспондент Российской инженерной академии; **Болгарский Г.А.**, протоиерей, настоятель Никольского храма г. Мытищи МО, e-mail: druzhba-ortd@mail.ru; **Морозов А.В.**, управляющий отделом ресурсного обеспечения Московского отделения МАНЭБ, e-mail: vmfs@bk.ru; **Морозов В.А.**, доктор технических наук, академик Международной академии экологии, e-mail: vmfs@bk.ru

Аннотация. Цель работы – ликвидировать риски включения продуктов, полученных из традиционных (имеющихся сегодня) популяций личинок Чёрная львинка, в пищу русского человека. Экспериментально подтверждена возможность культивирования на биомассе хлореллы безопасных для применения человеком (беспатогенных) личинок мух Чёрная львинка. Предложена схема хозяйственного использования традиционных и беспатогенных личинок с замкнутым циклом природного оборота углерода.

Ключевые слова: личинка мухи Чёрная львинка, паста хлореллы, инсектарий, хозяйственное использование личинок.

ABOUT THE USE OF BLACK LION FLY LARVAE.

Bazarov E.I., Bolgarskiy G.A., Morozov A.V., Morozov V.A.

Abstract. The aim of the work is to eliminate the risks of including products obtained from traditional (existing today) populations of Black Lion larvae in Russian human food. The possibility of cultivating (pathogen-free) Black Lion fly larvae on chlorella biomass has been experimentally confirmed. A scheme of economic use of traditional and pathogenic larvae with a closed cycle of natural carbon turnover is proposed.

Keywords: larva of the Black lion fly, chlorella paste, insectarium, economic use of larvae.

Информационная среда

Мировым сообществом интенсивно развивается инновационное направление – использование органических отходов производства и потребления в качестве субстрата для выращивания насекомых, в частности – личинок мух Чёрная львинка (лат. *Hermetia illucens*). Для примера приведём обзорные работы [1].

Следуя общемировому тренду, это направление интенсивно развивается и в нашей стране. Идёт обсуждение в научном сообществе: например, в [2] выявлен, но оставлен без объяснения вопрос о взаимодействии личинок мух с грибами, сопровождающими кормовую базу личинок. Строятся промышленные предприятия для получения товарной продукции из личинок Чёрной львинки [3]. Принимаются и меры государственного регулирования: в перечень с/х продукции включено производство, первичная и последующая (промышленная) переработка муки из личинок мухи Чёрная львинка, жира из Чёрной львинки, гранул и пюре из личинок Чёрной львинки [4].

Отметим, что [4] подразумевает использование продукции переработки синантропных мух не только в питании животных, птиц и рыб, но и в питании человека.

Следует отметить противоречие между позицией Правительства РФ [4] о предполагаемой пользе продукции из Чёрной львинки и позицией государственных органов санитарного контроля [5] о соответствующих опасностях для здоровья людей контактов с синантропными мухами, к которым относится и Чёрная львинка.

Вопрос о рисках для здоровья человека использования продукции из личинок Чёрной львинки подтверждается и данными [6]. Здесь отмечалась опасность для иммунных процессов в организме человека хитина (структурного полисахарида) и хитиназы (фермента, растворяющего хитин). Хитин появляется в организме вместе с продукцией, полученной из личинок. Как показано в [6], это может вызывать запуск каскадов цитокинов (вплоть до "цитокинового шторма" в чувствительных группах населения РФ). Очевидно, что без соответствующих масштабных исследований по аллергенности и иммуногенности внедрение в пищевую промышленность страны продуктов из личинок вызывает сомнение.

Надо отметить и обозначенное в [6] общественное неприятие пищи из насекомых:

- наличие сложившихся историко-культурных привычек у населения РФ;
- эмоциональная и политизированная чувствительность к «импортируемым трендам»;
- устойчивый нарратив «нас снова делают подопытными».

Вернёмся к данным науки. В [7] сообщается о накоплении тяжёлых металлов в биомассе насекомых: кадмий, свинец, медь, алюминий оседают в телах личинок. Более того, ни один из экспериментальных образцов (кроме контроля) не соответствовал нормам ЕС по содержанию кадмия.

Автору не удалось найти проверенные данные о результатах питания личинок отходами с высоким уровнем загрязнения (навоз, помёт, просроченные продукты питания, избыточные илы очистных сооружений). Можно допустить, что личинки при этом становятся контаминированными биологически и химически.

Не обнаружены данные об:

- остаточной микробиоте компоста, перерабатываемого личинками;
- устойчивых формах патогенов в продуктах, полученных из личинок;
- выживаемости личинок при наличии антибиотикорезистентных бактерий.

Без подтверждённого полного микробиологического анализа жизнедеятельности личинок представления сети Интернет о микробиологической безопасности являются обычным маркетинговым ходом.

С учётом изложенного выше вопрос о соотношении пользы и вреда от использования продуктов переработки личинок в пищевых цепочках человека представляется малоизученным и спорным:

- отсутствует доказанный санитарный барьер применения;
- не решена проблема токсикантов;
- нет клинического подтверждения безопасности применения продуктов из личинок в питании европейцев;
- имеют место, в основном, декларации, а не валидированные данные.

Изложенное выше позволяет сделать вывод: прямое включение продуктов, полученных из имеющихся в использовании популяций личинок, в питание человека без завершения многолетнего цикла биомедицинской валидации представляется преждевременным.

Беспатогенная популяция чёрной львинки

Для снижения вероятности проявления обозначенных выше рисков представляется целесообразной работа по выведению беспатогенной популяции мух Чёрная львинка. Продукция, полученная из личинок таких мух, стала бы безопасной при использовании в косметологии, медицине, питании с/х животных, птиц и рыб.

В основе получения беспатогенной популяции мух должна находиться индуцированная мутация генома исходной (традиционно используемой) мухи. Из известных приёмов мутации - радиоактивное воздействие, генная инженерия, питание – было выбрано питание как приём, наиболее доступный авторам. Этот приём предполагает использование многократно повторяемой в циклах развития мух кормовой базы. Последняя может быть представлена хлореллой. Хлорелла, по многочисленным данным, в т.ч. - ВАСХНИЛ, является натуральной и питательной пищевой добавкой для человека, с/х животных, птиц и рыб.

В ходе консультаций [8] по теме получения беспатогенных личинок обозначались условия выведения новой популяции: примерно, 10 последовательных циклов развития. Высказывались и сомнения в достаточности энергосодержания корма из хлореллы для получения полноценных взрослых мух. Такой подход предполагал использование двух типов корма: стартового (пасты хлореллы) и основного, богатого белками. В качестве последнего предлагалось использовать грибы. Была обозначена возможность получения генетического паспорта беспатогенных мух. К сожалению, обозначенные в [8] работы не получили развития.

В сети Интернет имеется обширная информация о приёмах культивирования мух Чёрная львинка (например, [9]). Эти данные относятся к питанию мух органическими отходами производства, потребления и не могли быть использованы в настоящей работе непосредственно. Основная причина - разные среды обитания личинок мух и хлореллы (воздух и вода, соответственно).

Изучению возможности сопряжения этих сред были посвящены отдельные авторские эксперименты. Здесь яйцекладка мухи помещалась на поверхность перфорированной платформы, находящейся на расстоянии 1 см над навеской пасты хлореллы. Штамм хлореллы - *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 (ИФР РАН). По данным измерения автора масса навески была (10...100) г, исходная влажность пасты – 70 %. В течение двух суток после формирования яйцекладки из яиц выходили личинки и падали в пасту. По истечении трёх дней после попадания яиц в пасту личинки достигали длины, примерно, 0,5 мм. По мере роста (питания) личинок запас корма пополнялся аналогичными навесками пасты. Температура пасты с личинками поддерживалась контроллером в интервале (28...31) град. С. Погрешности эксперимента заключались в периодическом формировании сухой корки или плесени на поверхности пасты. Тем не менее во внутреннем объёме пасты личинки питались и росли. Это происходило в течение 10 дней после выхода из яиц. При достижении длины личинок (7...10) мм возможность питания личинок пастой хлореллы считалась доказанной и эксперимент прекращался. Фотография личинок, вымытых из пасты проточной водой в конце эксперимента, показана на Рис. 1 Здесь видно, что внутренности личинок имеют характерный тёмно-зелёный цвет (цвет пасты, которой личинки питались).



Рисунок 1. Внешний вид личинок, питавшихся хлореллой штамма *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 в течение 10 дней.

Условия создания популяции беспатогенной чёрной львинки

Полученные данные позволили перейти к экспериментальному подтверждению возможности получения популяции беспатогенных мух: реализации цикла развития мух «от яйца до яйца» в условиях специально созданного инсектария. Последний должен обеспечить:

контролируемые параметры цикла (температура, влажность, освещённость);
питание личинок мух - паста хлореллы.

Условия работы инсектария – лабораторные.

На рисунке 2а приведена схема инсектария; на рисунке 2б – внешний вид готовой конструкции. Схема инсектария была разработана на основании данных о технологии, заимствованных из сети Интернет (например, [1]).

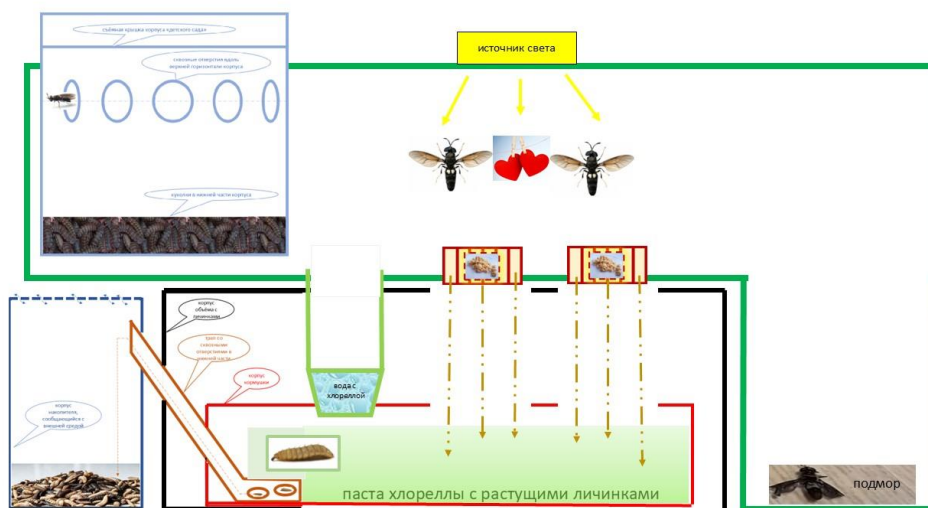


Рисунок 2а. Схема лабораторного инсектария.

На рисунке 2а показаны три части конструкции, соответствующие последовательным стадиям жизни мух: взрослые особи (имаго) → яйца → личинки → предкуколки → куколки → взрослые особи (имаго) →

Верхняя часть конструкции обозначена контурной линией зелёного цвета. Эта часть предназначена для жизнедеятельности имаго. Здесь содержится ёмкость для куколок и выхода мух. Эта ёмкость расположена слева вверху и обозначена контурной линией голубого цвета. В

верхней части конструкции имеется пространство для полётов имаго и накопления подмора. Внизу верхней части расположены два места для яйцекладок и организовано отверстие для доступа имаго к воде. Ёмкость для питья имаго располагалась в нижней части конструкции.

Внизу конструкции расположены два объёма, связанные наклонной трубой. Один объём предназначен для питания и роста личинок. Этот объём обозначен контурной линией черного цвета. Другой объём предназначен для накопления куколок (линия синего цвета) перед их передачей в ёмкость для выхода имаго из куколок, расположенную в верхней части конструкции и показанную на рисунке 2а).

На рисунке 2б приведена фотография инсектария. Для возможности наблюдения за жизнью мух корпус инсектария изготовлен из прозрачного материала.

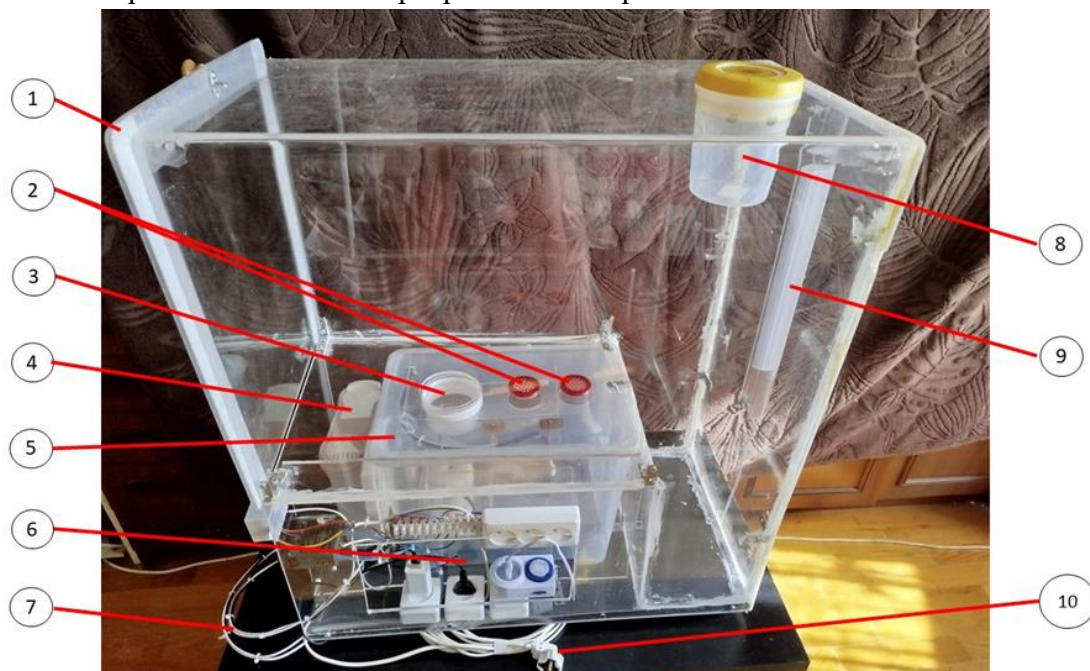


Рисунок 2б. Внешний вид инсектария (базовая конструкция).

1 – крышка доступа к верхнему объёму конструкции ЛИ; 2 – места кладки яиц, имеющие сотовую конструкцию; 3 – ёмкость для питья имаго; 4 – сухая ёмкость для куколок; 5 – ёмкость с кормушкой для личинок; 6 – отсек с приборами автоматики; 7 – провода датчиков температуры и влажности в кормушке; 8 – ёмкость для куколок; 9 – лампа автомата длительности светового дня; 10 – провода электропитания напряжением 220 В;

По ходу экспериментов в конструкцию инсектария вносились изменения и уточнялась технология культивирования мух. В конце цикла «от яйца до яйца» были получены личинки разной зрелости – от нескольких дней после выхода из яиц до взрослых особей и куколок. Типичный результат показан на рисунке 3. Длина куколок не превышала 10 мм.



Рисунок3. Типичный результат культивирования мух с применением пасты хлореллы.

Обсуждение экспериментальных результатов

1. Результат опыта Рисунок 1 показывает возможность использования в питании личинок Чёрной львинки невоздухопрозрачной пасты хлореллы с влажностью 70%. Это делает принципиально возможным решение основной задачи настоящей работы - культивирование беспатогенных мух.
2. Анализ развития личинок, стартовавших из одной яйцекладки, показал, что развитие происходит с разной скоростью. Среди основной массы взрослых личинок находятся и личинки в кукольных стадиях. Различие в развитии личинок может достигать недели. Это потребует учёта в организации непрерывных циклов культивирования беспатогенной мухи.
3. Важными и требующими учёта факторами культивирования мух являются появление плесени на поверхности пасты и световой режим инсектария.
4. Использование дополнительного корма.

В соответствии с замечаниями [8] о недостаточности питательных веществ пасты хлореллы для полноценного развития личинок проверялось применение дополнительного корма (панировочные сухари). Получение личинок при разных условиях кормления – (паста + сухари) и одна паста – показывают, что использование дополнительного корма не является принципиальным условием. В обоих случаях личинки развиваются.

Есть различия в результатах развития: в случае с дополнительным кормом личинки получаются в полтора раза крупнее по сравнению с питанием одной пастой. Это соответствует ожиданиям [8,12]. Сегодня нет оснований считать, что размер личинок принципиально важен для получения беспатогенной мухи. Получение крупных личинок беспатогенных мух потребует использование богатого белком и экологически безопасного основного корма (например, грибов [8] или биомассы дождевых червей). Выбор дополнительного корма находится за пределами настоящей работы.

Актуальность полученных данных

Получение беспатогенных мух – последний и не имеющий экспериментального подтверждения технологический передел сырья в получении почвы для органического земледелия

из твёрдых коммунальных отходов [10]. Как и снижение рисков применения продукции из личинок мух в пищевых цепях человека это определяет актуальность работы.

В свою очередь, получение почвы для органического земледелия – составная часть целевой кооперативной программы «Возрождение земель, объединяющее Россию» [11].

Использование результатов

При использовании беспатогенных мух следует учесть, что в хозяйственном обороте будут находиться два типа личинок: беспатогенный и традиционный (условно именуемый «контаминированный»). Предлагаются отдельные сферы применения для отдельных типов личинок. Такое различие делается для устранения рисков включения продуктов культивирования личинок в пищевые цепи человека. Это поясняется схемой рисунка 4. Здесь левая часть схемы относится к использованию беспатогенных личинок, а правая – контаминированных. Показано, что полезные продукты переработки беспатогенных личинок найдут применение в косметологии, медицине и сельскохозяйственных кормах. Безопасные для человека применения контаминированных личинок – получение дизельного топлива и корма для вермикультуры. В корм дождевым червям будет направляться и зоогумус – отход питания обоих типов личинок. В итоге переработки червями и иным почвенным сообществом продуктов культивирования обоих типов мух будет сформирована почва с высоким уровнем естественного плодородия. Последнее составит основу для получения органических продуктов растениеводства, животноводства, аквакультуры, птицеводства. В частности – достижения урожайности зерновых, полученной шумерами тысячи лет назад – 350 ц/га. Отходы с/х производств будут направлены на корм контаминированным личинкам. Так замкнётся природный оборот углерода в сельскохозяйственном производстве, а применение продуктов культивирования обоих типов личинок станет безопасным для человека. Контаминированные личинки здесь используются как ускоритель переработки органических отходов. Ожидается, что личинки обоих типов будут отличаться культивируемой массой: меньшие по массе – беспатогенные, *большие* – контаминированные.

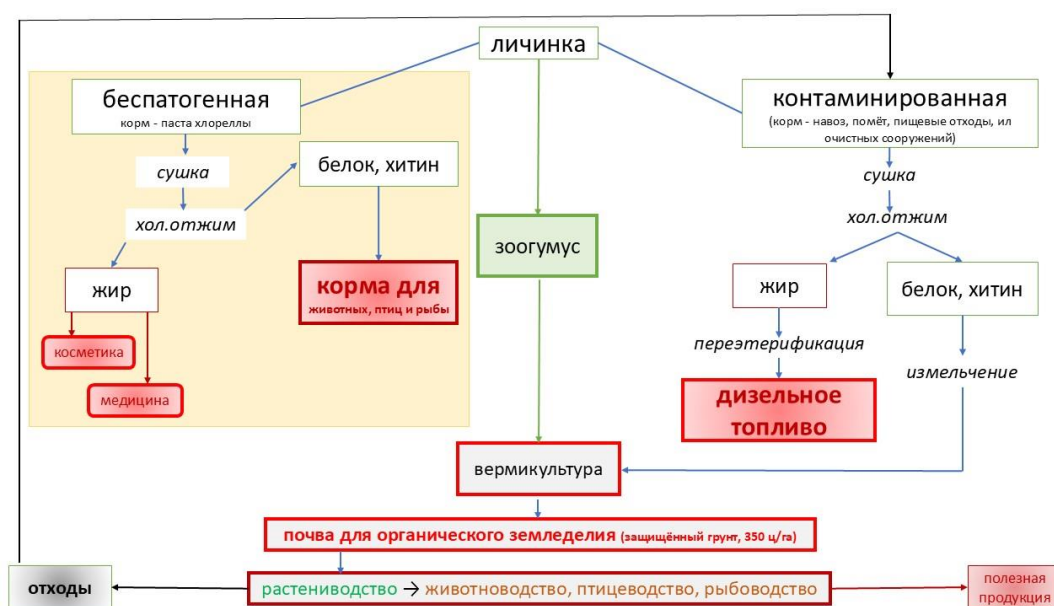


Рис.4. Технологическая схема использования беспатогенных и контаминированных мух.

Отметим, что реализация схемы (рисунок 4) предполагает использование неселитебных территорий. Вопросы организации производств экологически безопасных продуктов питания на таких территориях рассмотрены в [14, 15]. В [14] показана эффективность применения потребительской кооперации как механизма ведения хозяйства. Именно кооперативное взаимодействие позволяет наилучшим образом учесть интересы всех участников хозяйственной деятельности, включающей переработку отходов: органов местного самоуправления, инвесторов, крестьянских хозяйств, переработчиков отходов, средств логистики и торговли, производителей технологического оборудования. При этом экологические потребности людей удовлетворяются без деления слоёв населения по уровням накопленного капитала.

Выводы

1. Прямое включение продуктов, полученных из традиционных (имеющихся сегодня) популяций личинок, в питание человека без завершения многолетнего цикла биомедицинской валидации является преждевременным.
2. Экспериментально подтверждена возможность культивирования на биомассе хлореллы безопасных для применения человеком (беспатогенных) личинок мух Чёрная львинка.
3. Предложена схема хозяйственного использования традиционных и беспатогенных личинок с замкнутым циклом природного оборота углерода.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю признательность коллегам:

Габриеляну Д.А. – за предоставление образцов пасты хлореллы и корректировку отчёта о проделанной работе;

Писареву И.В. – за предоставление образцов яиц, личинок Чёрной львинки и обсуждение технологии культивирования мух.

Библиография

1. I.G. Shaikhiev, S.V. Sverguzova, ... Using food waste for the grooving of *Hermetia Illucens* fly larvae. (Brief review of foreign literature). Journal «CONSTRUCTION ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT», Volume №4 (77), 2020. [Электронный ресурс] - URL <https://ecopri.ru/journal/article.php?id=6302#:~:text=%D0%9E%D1%81%...>
2. Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН - Ученые ИПЭЭ РАН выяснили, что культивирование личинок черной львинки приводит к исчезновению патогенных грибов в субстрате [Электронный ресурс] - URL <https://sev-in.ru/node/3131>
3. Правительство Московской области, Подмосковное предприятие изготавливает продукцию из личинок [Электронный ресурс] - URL <https://mosreg.ru/sobytiya/novosti/news-submoscow/podmoskovnoe-predpriyatie-izgotavlivaet-produkciyu-iz-lichinok>
4. Ведомости, Личинки-мухи будут перерабатывать 55-тысяч тонн просроченной еды и другой-органики ежегодно в экопромпарке [Электронный ресурс] – URL: https://www.vedomosti.ru/press_releases/2023/05/23/lichinki-muh-budut-pererabativat-55-tisyach-tonn-prosrochennoi-edi-i-drugoi-organiki-ezhegodno-v-ekopromparke-v-moskovskoi-oblasti
5. [Электронный ресурс] – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310110024>

6. НИИД, Памятка для населения по синантропным мухам и борьбе с ними в помещениях и на территории населённых пунктов [Электронный ресурс] – URL: <https://xn--d1ahas.xn--p1ai/banners/details/10>
7. Федеральное Бюджетное Учреждение Науки «Казанский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии» Федеральной Службы по Надзору в Сфере Защиты Прав Потребителей и Благополучия Человека, Опасные насекомые вокруг нас. Мухи [Электронный ресурс] – URL: https://kznkniiem.ru/nas17_2019.html .
8. НОРТЕСТ, Синантропные мухи [Электронный ресурс] – URL: <https://nortest.pro/stati/voda/sinantropnye-muhi.html>
9. ДЗЭН, Мухи [Электронный ресурс] – URL: <https://dzen.ru/a/Zgs8vjP62DgE5TLT> .
10. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, Накопление тяжёлых металлов личинками мухи Чёрная львинка (*Hermetia illucens*) [Электронный ресурс] – URL: <https://www.vniimp.ru/journal/all-about-meat/2071-2499-2022/5/58-61.html> .
11. Андрианов Б.В., Горячева И.И. Институт общей генетики им. Н.И.Вавилова РАН. Частные сообщения. 2024 г.
12. Большой вопрос, Какие специальные условия нужны для быстрого размножения черной львинки? [Электронный ресурс] – URL: <http://www.bolshoyvopros.ru/questions/1890733-kakie-specialnye-uslovija-nuzhny-dlja-bystrogo-razmnozhenija-chnoj-lvinki.html#:~:text>
13. Морозов В.А. Коммунальные отходы в земледелии защищённого грунта. Платформа Bastyon, 12 января, 17:30, 2025 г.
14. Морозов В.А., Сайт www.trivim-phoenix.ru
15. Писарев И.В. Промышленная ферма разведения личинок Чёрной львинки. Частное сообщение. 2024г.
16. Журнал «CompostPro» Выпуск 2, Черная львинка [Электронный ресурс] – URL: <https://compostpro.ru/tpost/pusb4ct971-chernaya-lvinka>.
17. Базаров Е.И., Морозов В.А. Экология и экономика устойчивого развития удалённых территорий с местным самоуправлением. Ж. «Вестник МАНЭБ», 2022г., т.27, №1, с.с. 20-26
18. Морозов В.А.. Экология и продовольственная безопасность. Ж. «Экологический вестник России», 2012г., №5, с.с.30-32.

ОХРАНА ТРУДА

УДК 620.1.05

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ИМИТАТОРА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА, ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Путин С.Б., кандидат технических наук, Генеральный директор ООО «АМБИТЕКС», 392030, г. Тамбов, ул. Урожайная, д.2д, <https://orcid.org/0000-0002-2912-6796>, Scopus Author ID: 55246875100, SPIN-код: 6180-3749, putins@mail.ru

Аннотация. Представляем результаты исследования и разработки новейшего метаболического имитатора внешнего дыхания человека (дыхательной машины, метаболического дыхательного имитатора - МДИ) – «ОКСИ РОБОТ». «ОКСИ РОБОТ» обеспечивает необходимые параметры глубины и частоты дыхания, температуры выдоха, потребления кислорода, выделения диоксида углерода, влаги. При этом осуществляется контроль сопротивления дыханию и температуры, концентраций кислорода и диоксида углерода на вдохе и выдохе. Разработанный МДИ предназначен для проверки характеристик широкого ряда средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) - изолирующего и фильтрующего типов. Он имеет возможность работать по заданной циклограмме дыхания, повторять дыхание реального человека по записанной спирограмме. Также предусмотрена модификация для проведения проверок СИЗОД при пониженном (авиация) и повышенном (подводные работы) давлении.

Разработка МДИ проведена на основе глубокого анализа характеристик и возможностей различных дыхательных машин, используемых в мире для проверки параметров СИЗОД, а также с учетом пожеланий и замечаний различных потребителей – исследователей, разработчиков производителей СИЗОД, специализированных лабораторий и сертификационных центров.

В данной работе рассмотрено использование разработанного МДИ «ОКСИ-РОБОТ» для решения исследовательских задач, задач повышения безопасности промышленного персонала.

Представлены особенности «ОКСИ-РОБОТ», определены области его возможного использования, а также перспективы использования данных, которые он получает.

Приведены примеры интеграции МДИ в другие испытательные стенды и системы.

Ключевые слова: метаболический имитатор внешнего дыхания человека, искусственные легкие, легочная вентиляция, глубина дыхания, частота дыхания, маршрут эвакуации, изолирующий дыхательный аппарат, самоспасатель, breathing machine, спирограмма.

A NEW GENERATION OF HUMAN METABOLIC BREATHING SIMULATORS: AREAS OF APPLICATION AND SELECTED USE CASES

Putin S., Ph.D. in Technical Sciences, CEO of LLC "AMBITEX", 392030, Tambov, Urozhaynaya St., 2D, <https://orcid.org/0000-0002-2912-6796>, Scopus Author ID: 55246875100, SPIN code: 6180-3749, putins@mail.ru

Abstract. This paper presents the results of research and development of a state-of-the-art human metabolic breathing simulator (breathing machine, metabolic breathing simulator – MBS) named "OXY-ROBOT". The "OXY-ROBOT" is capable of replicating essential respiratory parameters such as tidal

volume and breathing rate, exhaled air temperature, oxygen consumption, carbon dioxide production, and moisture output. It also provides control over breathing resistance, gas temperature, and concentrations of oxygen and carbon dioxide during both inhalation and exhalation.

The developed MBS is designed for testing a wide range of respiratory protective devices (RPDs), including both self-contained (isolating) and filtering types. The simulator can operate according to pre-programmed breathing cycles or replicate real human breathing patterns recorded via spirometry. Additionally, a version is available for testing RPDs under reduced pressure (aviation) and increased pressure (underwater operations).

The development of the MBS was based on an in-depth analysis of the characteristics and capabilities of various breathing simulators used worldwide for RPD testing. It also incorporates feedback and recommendations from end-users — including researchers, developers, RPD manufacturers, specialized laboratories, and certification bodies.

This study discusses the use of the "OXY-ROBOT" MBS in research applications and tasks aimed at enhancing industrial personnel safety. Key features of the "OXY-ROBOT" are presented, along with potential areas of application and future opportunities for data utilization. Examples of integration of the MBS into other test benches and systems are also provided.

Keywords: metabolic breathing simulator, artificial lungs, lung ventilation, breathing depth, breathing frequency, evacuation route, isolating breathing apparatus, self-rescuer, breathing machine.

新一代人体代谢性外呼吸模拟器：应用领域及部分使用示例

谢尔盖·普京，工学博士，“AMBITEX”有限责任公司总经理，邮编：392030，俄罗斯坦波夫市，乌罗扎亚纳街2D号，<https://orcid.org/0000-0002-2912-6796>, Scopus ID: 55246875100, SPIN: 6180-3749, 电子邮箱：putins@mail.ru

摘要。 本文介绍了一种最新开发的人体代谢性外呼吸模拟器（呼吸机·代谢性呼吸模拟器·简称 MDI）——“OXY-ROBOT”的研究与开发成果。

“OXY-ROBOT”可模拟人的呼吸深度和频率、呼气温度、氧气消耗量、二氧化碳释放量及水分排出等关键参数。同时可实时监测吸呼气过程中的呼吸阻力、气体温度、氧气和二氧化碳浓度。

该 MDI 专为检测多种类型呼吸防护装备（RPD）性能而设计，涵盖隔离式和过滤式个人防护装备。它可按预设呼吸周期运行，或依据实际记录的肺功能图重现真实人体呼吸模式。另有可用于低压（如航空环境）和高压（如水下作业环境）下 RPD 测试的改进型版本。

本设备的设计基于对全球现有用于 RPD 参数测试的各类呼吸模拟器特性和功能的深入分析，同时参考了来自研发人员、防护装备制造商、专业实验室及认证机构等用户群体的建议与反馈。

本文探讨了“OXY-ROBOT”在科研和提高工业作业人员安全性方面的应用。文中展示了“OXY-ROBOT”的主要技术特性、潜在应用领域以及所采集数据的未来应用前景，并提供了其与其他测试平台和系统中的集成应用实例。

关键词：人体代谢性外呼吸模拟器、人工肺、肺通气、呼吸深度、呼吸频率、疏散路线、隔离式呼吸器、自救器。

Введение

Разработка и создание нового метаболического имитатора/симулятора внешнего дыхания человека было осуществлено силами разработчиков систем индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания. Творческий коллектив ученых и разработчиков, имеющих более чем 25-ти летний опыт в разработке фильтрующих и изолирующих СИЗОД неоднократно сталкивались с задачами, которые не смогли решить с помощью имеющихся у них дыхательных машин разных производителей.

Начало проведения работы было обусловлено следующими причинами (большинство из которых хорошо известны разработчикам СИЗОД):

1. Большая масса и габариты имеющихся МДИ, которые невозможно перемещать, например для подключения к климатическим камерам, расположенных в других местах.
2. Невозможность доработки и модификации МДИ для испытания СИЗОД при пониженном и повышенном давлении в барокамерах.
3. Большие трудности с сервисным обслуживанием и ремонтами различных дыхательных машин у одного пользователя, отсутствие унифицированной платформы МДИ для различных видов испытаний.
4. Очень сложное и всегда неоднозначное управление тепло-влажностным режимами. Проблемы с управлением работой увлажнителя, постоянная борьба с образующимся конденсатом.
5. Длительный выход МДИ на требуемый режим работы.
6. Большое «вредное» или «мертвое» пространство внутри дыхательной машины.
7. Проблемы с герметичностью МДИ.
8. Отсутствие систем самодиагностики состояния МДИ.
9. Ручное регулирование ряда параметров, проблемы с автоматическим контролем при проведении испытаний.
10. Необходимость нескольких высококвалифицированных специалистов для обслуживания и работы с дыхательной машиной.
11. Сложность или невозможность изменения режимов дыхания в рамках одного испытания. Невозможность проведения нестандартных испытаний и исследований СИЗОД.
12. Отсутствие возможности имитировать дыхание реального человека в виде записанной спирограммы.
13. Неудобное программное обеспечение или отсутствие такового вообще.
14. Отсутствие базы данных проведенных испытаний и автоматического создания протокола испытаний.
15. Другие эксплуатационные, эргономические и технические нюансы.

Несмотря на значительные достижения и прогресс в развитии СИЗОД остается ряд очевидных проблем и вопросов, характерных современным техническим средствам индивидуальной защиты органов дыхания человека. Все они касаются возможных путей совершенствования СИЗОД, направленных на повышение комфортности дыхания (сопротивление дыханию, температура на вдохе, вредное пространство – снижение CO_2 на вдохе), улучшение эргономических характеристик (снижение массы, удобство ношения), интеграция «умных» технологий (контроль основных параметров и прогноз остаточного времени защитного действия

(ВЗД) СИЗОД, позиционирование, аварийное оповещение при отсутствии движения, внешняя связь) и т.д. Разработка новых СИЗОД или модернизация существующих требует значительного количества проверок и испытаний для верификации правильности выбранных решений [1].

Помимо этого, у потребителей существует безусловная потребность в индивидуализации характеристик СИЗОД по отношению к физиологическим параметрам конкретного человека, но практические решения в этом вопросе не реализованы, а потребности «усредненного» человека обеспечиваются, как правило, избыточностью ресурса СИЗОД. Также индивидуализация необходима для повышения уровня безопасности и защищенности пользователя СИЗОД, так как позволит рассчитывать (настраивать) ВЗД конкретного СИЗОД для конкретного человека, что в свою очередь даст возможность объективно выбирать СИЗОД и планировать, например, маршруты эвакуации или объем работ (нагрузок), которые может выполнить конкретный человек. Так как у разных людей параметры дыхания могут отличаться существенно [2-4], то для полноценного проведения работ, направленных на решение задач индивидуализации требуется проведение дополнительных исследований и испытаний.

Испытания СИЗОД проводятся с участием испытателей-добровольцев и на имитаторах дыхания человека, последние позволяют добиться повторяемости условий эксперимента и решать ряд задач, которые сложно или невозможно решить с участием испытателей-добровольцев, в связи с условиями испытаний, в том числе возможными рисками для их здоровья (предельные нагрузки, длительные ресурсные испытания, жесткие условия окружающей среды, риск баротравмы) .

Основными функциями МДИ являются – обеспечение заданной глубины и частоты дыхания, обеспечение имитации потребления кислорода и выделения углекислого газа при заданных параметрах влажности и температуры на «выдохе», измерение сопротивления дыханию, температуры, концентраций кислорода и диоксида углерода на вдохе. Кроме этого, для обеспечения требований ряда стандартов, МДИ должен обеспечивать возврат в систему азота, который теряется из-за имитации потребления кислорода, рассчитывать работу дыхания, потребления кислорода и др.

В работе проведена оценка задач, которые требуется решать с применением МДИ, исследован рынок существующих технических решений и оборудования. Сформулированы основные технические требования к метрологическому, аппаратному и программному обеспечению. Проведена разработка новейшего метаболического имитатора внешнего дыхания человека.

Краткий обзор имитаторов внешнего дыхания человека.

Существует несколько основ для конструкций МДИ, это мембраны, поршни, меха и сильфон. Все они имеют свои достоинства и недостатки, которые хорошо известны [5, 6]. Как правило, все известные МДИ вполне качественно обеспечивают режимы, заданные в существующих стандартах, но не предоставляют пользователям достаточные возможности для исследований и проверки параметров СИЗОД в других условиях, а также имеют ряд недостатков, перечисленных во введении.

Особо можно выделить МДИ, который, помимо возможностей метаболического симулятора способен воспроизводить записанное дыхание реального человека или моделировать дыхание по заданной нагрузке - циклограмме (маршрут движения, вид работы или упражнения). Данный функционал МДИ не отражен в стандартах или других нормативных документах и используется при исследованиях и разработке СИЗОД. Таких установок существует немного.

МДИ, который мог достаточно «близко» повторять заданные кривые дыхания, был французский вариант - «SIMULATEUR RESPIRATOIRE S 2000», разработанный фирмой Fenzy SAS (сейчас подразделение «Honeywell»). На данном МДИ удалось провести набор испытаний и убедиться в целом ряде недостатков, которые были учтены и устранены при разработке «ОКСИ-РОБОТ».

Для информации хочется отметить один необычный МДИ. В нем использована модель грудной клетки из опыта Дондерса [7], где дыхание осуществляется изменением давления внутри герметичного резервуара, куда пропущена трубка и размещены легкие (латексные или настоящие, например, свиные). Через наружный конец трубки полость легких сообщается с атмосферным воздухом. При уменьшении давления в резервуаре объем легких увеличивается, а при увеличении возвращаются в исходное положение. Этот МДИ используется при проведении медицинских исследований и для демонстрации работы легких.

В таблице 1 приведены примеры дыхательных машин и метаболических симуляторов некоторых мировых производителей. В таблице не приведены все дыхательные машины на основе мембранных насосов фирмы Auer, так как авторы видели много таких машин, изготовленных самостоятельно разными лабораториями и компаниями и, кажется, что это было самым распространенным техническим решением до последнего времени.

МДИ используется в областях, где необходимо осуществить проверки изделий, материалов или технологий, взаимодействующих с дыханием человека или зависящими от него. Использовать при этом добровольца-испытателя часто не представляется возможным по ряду перечисленных выше причин. Тем не менее, на различных стадиях исследования и разработки средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), без привлечения добровольца-испытателя обойтись нельзя, так как МДИ не в состоянии оценить такие параметры СИЗОД как комфортность дыхания, удобство их использования и перемещения в них. Также МДИ не моделирует индивидуальные особенности, присущие органам дыхания и лица конкретного человека, например, функцию слюноотделения или строение губ, носа и т.д.

МДИ (на примере метаболического симулятора) состоит из:

- насоса в виде мембран, поршней, мехов или сильфонов с приводом;
- систем увлажнения, нагрева и охлаждения ГДС;
- систем дозирования диоксида углерода и азота (при необходимости);
- системы отбора ГДС для имитации потребления кислорода;
- системы клапанов;
- системы управления и контроля;
- систем измерения параметров работы МДИ и испытуемого СИЗОД

(давление/сопротивление, расходы, частота, время, состав ГДС, влажность, температура и др.).

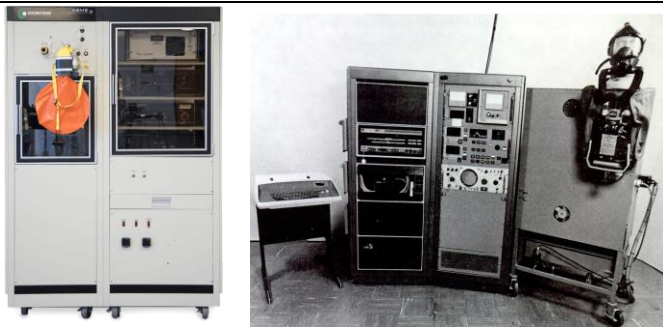
- системы записи и хранения информации, получаемой от систем измерения;
- системы электропитания;
- системы безопасности.

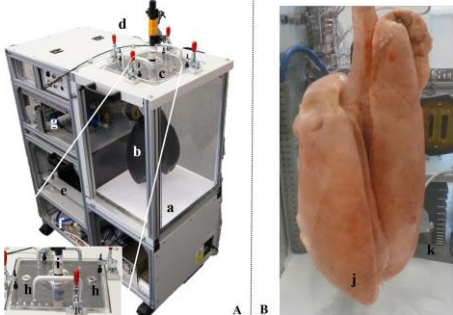
В состав не включены аксессуары и оборудование, которые используются совместно с МДИ (устройства и приспособления проверки параметров МДИ, крепления лицевых частей СИЗОД, термобарокамеры, пылевые и аэрозольные камеры и прочее). Они частично прописаны в соответствующих официальных стандартах и имеют множество специфических особенностей.

Современные стандарты (ISO, EN, SABS и другие), принятые в разных странах и регламентирующие проверки СИЗОД с использованием МДИ, имеют различные требования к условиям испытаний. Возможность автоматической настройки под требования разных стандартов

является немаловажной характеристикой МДИ, особенно для разработчиков и производителей СИЗОД, ориентирующимися на международный рынок.

Таблица 1.

№	Внешний вид	Название, производитель
1		ASL 5000 – дыхательная машина, IngMar Medical, США. https://www.ingmarmed.com/product/asl-5000-breathing-simulator/
2		MI LUNG SIMULATOR, Michigan Instruments, США. Дыхательная машина на основе мехов (производят большую линейку МДИ). https://www.michiganinstruments.com/lung-simulators/adult-test-lung-simulators/
3		МДИ компании «Si-plan» - дыхательная машина, Англия. https://si-plan.com/machine-type/breathing-simulator/
4		Metabolic Breathing Simulator ABMS, «Ocenco», США – сверху современный вид, снизу ABMS 1970-е годы. https://www.ocenco.com/products/breathing-simulator/
5		«ATOR Labs», США - метаболический симулятор. https://atorlabs.com/abms-platform/

6		«SIMULATEUR RESPIRATOIRE S 2000» - метаболический симулятор, Fenzy SAS, Франция (в настоящее время подразделение «Honeywell»).
7		Установка «Искусственные легкие» - метаболический симулятор, ООО «Метротекс», Россия. https://www.metrotex.ru
8		Индийский МДИ.
9		Нидерландский метаболический имитатор дыхания человека компании «Relitech» https://www.relitech.nl/metabolic-simulator/
10		xPulm simulator.Electro - Механический симулятор легких с использованием полимерных и органических эквивалентов человеческих легких для реалистичной имитации дыхания. (тип Дондерса)

На основе анализа существующих МДИ в ходе разработки «ОКСИ-РОБОТ» (рисунок 1) был сделан упор на следующие значимые характеристики:

1. Мобильность, низкая масса (возможность перемещать стенд при необходимости и без проведения комплексных работ по демонтажу-монтажу).
2. Автоматическое управление работой стенда, особенно управление тепло-влажностным режимом.
3. Возможность проверки СИЗОД в соответствии с разными международными стандартами (EN, BS, ISO (CFR), AS/NZS, SABS и т.д.), которые находятся в базе

данных. Возможность использования МДИ как составную часть других испытательных стендов (см. далее).

4. Способность повторить дыхание реального человека по записанной спирограмме (для исследователей и разработчиков).
5. Достижение максимальной скорости выхода на рабочий режим и переключения между режимами.
6. Увеличенный ресурс работы и минимальные ограничения на количество последовательных испытаний.
7. Удобство и простота управления и работы с МДИ, как оператору, так и обслуживающему персоналу.
8. Наличие функций самодиагностики и проверки собственной герметичности.
9. Низкая стоимость эксплуатации.
10. Наличие приспособлений и аксессуаров для проверки различных СИЗОД, подключения к климатическим камерам, барокамерам и т.д.
11. Модульность конструкции, позволяющая менять характеристики для других видов испытаний, где требуется имитация дыхания человека, в том числе при пониженном и избыточном давлении до 600 КПа.



Рисунок 1. Имитатор внешнего дыхания человека «ОКСИ-РОБОТ».

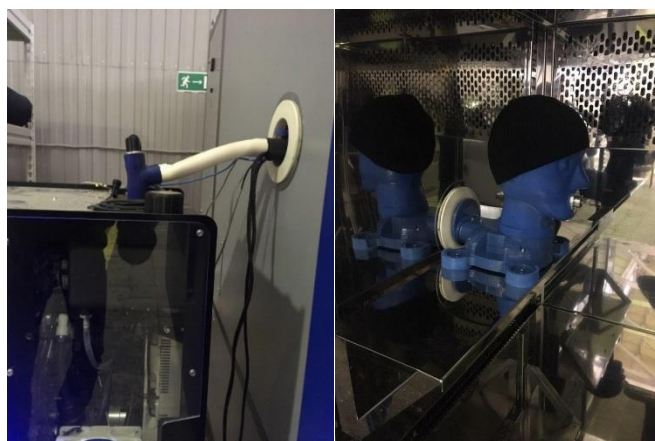


Рисунок 2. Макет головы человека с системой автоматической терморегуляции выдоха, подключенный к климатической камере.

Разработка проводилась с использованием последних достижений науки и техники, применением аддитивных технологий, математического моделирования. Был создан уникальный программный комплекс. Были привлечены эксперты в области инженерной эстетики и дизайна. Все это позволило обеспечить требуемые характеристики. В процессе разработки были проведены сотни испытаний различных самоспасателей и дыхательных аппаратов. В новой разработке удалось достичь высокого уровня автоматизации, наивысшей скорости выхода на рабочий режим, высокую производительность (перерыв между последующими испытаниями составляет не более 5 минут), простоту использования, которая позволяет быстро освоить все возможности МДИ, что позволяет оператору без специальной подготовки эксплуатировать стенд, автономность работы (не требует постоянного присутствия человека, что экономит рабочее время оператора), а также уникальные массогабаритные параметры (масса около 50 кг без технических веществ), что позволяет при необходимости легко перемещать МДИ на тележке. Дополнительные системы и

модули позволяют использовать стенд для высотных испытаний и испытаний СИЗОД под давлением.

Помимо перечисленного, для проведения испытаний СИЗОД в различных климатических условиях был разработан уникальный макет головы человека (рис. 2), управляемый от МДИ и позволяющий исключать потерю тепла и влаги на линии передачи дыхательной смеси от МДИ до климатической камеры и имеющий собственную автоматическую систему подогрева, обеспечивающую необходимую температуру газа на линии выдоха. Это позволяет испытывать СИЗОД в условиях низкой температуры (-40°C и ниже).

«ОКСИ-РОБОТ» автоматически сохраняет всю информацию, получаемую от датчиков в электронной базе данных, что создает основу для применения любых программных аналитических инструментов, инструментов математического моделирования. Это также является существенным преимуществом по сравнению со многими МДИ, используемыми на сегодняшний день в науке и производстве.

Области и примеры применения нового МДИ

Приведем основные области практического применения метаболического имитатора дыхания человека.

1. Для исследователей и разработчиков СИЗОД: исследование и проверка идей и решений при разработке и модернизации СИЗОД, их рабочих частей и элементов; создание предельных (экстремальных) условий эксплуатации СИЗОД; проведение ресурсных испытаний; проверка различных требований Заказчиков при проведении НИР и ОКР.

2. Проверка работы СИЗОД в условиях низкого и высокого давления для авиации, космонавтики и подводных работ.

3. Для производителей СИЗОД: проведение всех видов испытаний на всех стадиях жизненного цикла СИЗОД в соответствии со стандартами и нормативными документами; исследование изделий конкурентов.

4. Для потребителей СИЗОД: входной и периодический контроль СИЗОД [8], мониторинг качества СИЗОД на протяжении всего срока их эксплуатации; обеспечение возможности продления срока хранения и эксплуатации СИЗОД по результатам собственных испытаний; проверка параметров и подбор типа СИЗОД, подходящих для решения конкретных задач или заданных динамических нагрузок (имитация параметров дыхания, снятых с конкретного человека, выполняющего реальную работу); проверка работы СИЗОД при различных режимах и внешних условиях (формирование технических требований для разработчиков и производителей.)

5. Для сертификационных лабораторий и центров: проведение сертификационных испытаний; мониторинг качества СИЗОД; проведение объективных испытаний для сравнения характеристик аналогичных СИЗОД.

6. Для контролирующих органов и структур, отвечающих за промышленную безопасность: проведение периодических проверок партий СИЗОД, находящихся в эксплуатации на местах; выборочная проверка партий СИЗОД по фактам нарушения работоспособности СИЗОД или по проверке жалоб потребителей; разрешение вопросов при недобросовестной конкуренции.

Приведем нестандартный, наиболее интересный и сложный пример использования МДИ при оценке и проектировании маршрутов эвакуации, который имеет важное прикладное значение [9].

Рассмотрим маршрут эвакуации из шахты. В таблице 2 представлены фактические данные маршрута, а в таблице 3 параметры, которые рассчитывались по данным, полученным при реальных тренировках выхода горнорабочих из аварийного участка шахты при движении вверх.

Таблица 2

№	Длина, м	Уклон на участке, град	Скорость движения		Время движения по участку, мин	Время движения от начала, мин
			м/мин	км/ч		
1	77,3	4,8	44,15	2,65	1,75	1,75
2	486,6	5,1	43,77	2,63	11,12	12,87
3	108,4	3,3	45,97	2,76	2,36	15,23
4	284,1	4,3	44,78	2,69	6,34	21,57
5	205,4	2,0	47,38	2,84	4,34	25,91
6	300,8	3,9	45,27	2,72	6,64	32,55
7	43,7	4,8	44,15	2,65	0,99	33,54
8	125,8	7,1	41,05	2,46	3,06	36,60
9	57,9	0,0	49,21	2,95	1,18	37,78
10	154,2	1,4	47,98	2,88	3,21	40,99
11	35,7	4,4	44,66	2,68	0,80	41,79
12	57,1	1,0	48,35	2,90	1,18	42,98
Итого	1937,0				42,98	

Таблица 3

№	Частота дыхания, мин ⁻¹	Глубина дыхания, дм ³	Легочная вентиляция, дм ³ /мин
1	19	1,37	26,03
2	19	1,39	26,41
3	20	1,22	24,40
4	18	1,42	25,56
5	19	1,23	23,37
6	18	1,39	25,02
7	19	1,37	26,03
8	20	1,45	29,00
9	19	1,16	22,04
10	19	1,21	22,99
11	18	1,42	25,56
12	19	1,19	22,61

Простейшей интерполяцией были получены зависимости параметров дыхания от времени (рисунок 3) и введены в программу управления «ОКСИ-РОБОТ». Для проверки маршрута был выбран испытуемый образец – шахтный самоспасатель с ВЗД 60 минут (рисунок 4).

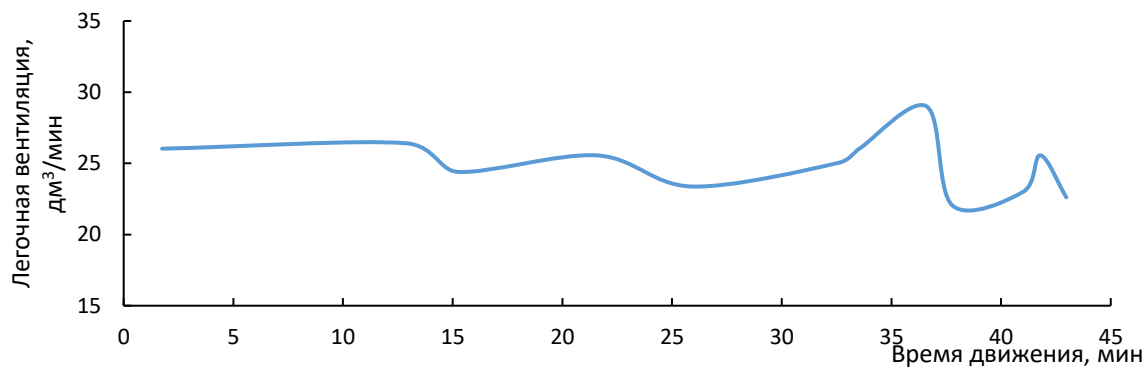


Рисунок 3. Интерполяционная кривая легочной вентиляции при моделировании движения человека по маршруту шахты.



Рисунок 4. Испытание самоспасателя на имитаторе внешнего дыхания «ОКСИ-РОБОТ» при моделировании движения человека по маршруту шахты.

Результаты проведенного испытания - имитация выхода по маршруту шахты в самоспасателе приведены на рис. 5-8. Их интерпретация позволяет сделать следующие выводы:

Самоспасатель полностью обеспечил человека при движении по заданному маршруту, более того, сохранился запас времени защитного действия самоспасателя, больше номинального (более 20%).

Нагрузка на человека на маршруте была умеренной и не приводила к избыточному потреблению ресурсов самоспасателя.

Выбранный тип самоспасателя со временем защитного действия 60 минут обеспечивает необходимый уровень защищенности горнорабочего при эвакуации на данном маршруте.

Маршрут не требует изменений, а движение по маршруту не требует организации дополнительных мер для защиты органов дыхания человека.

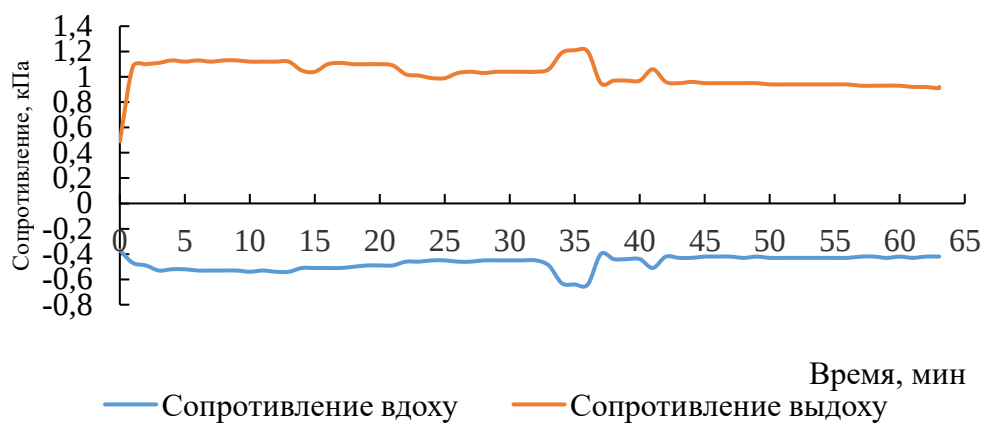


Рисунок 5 Сопротивление дыханию.

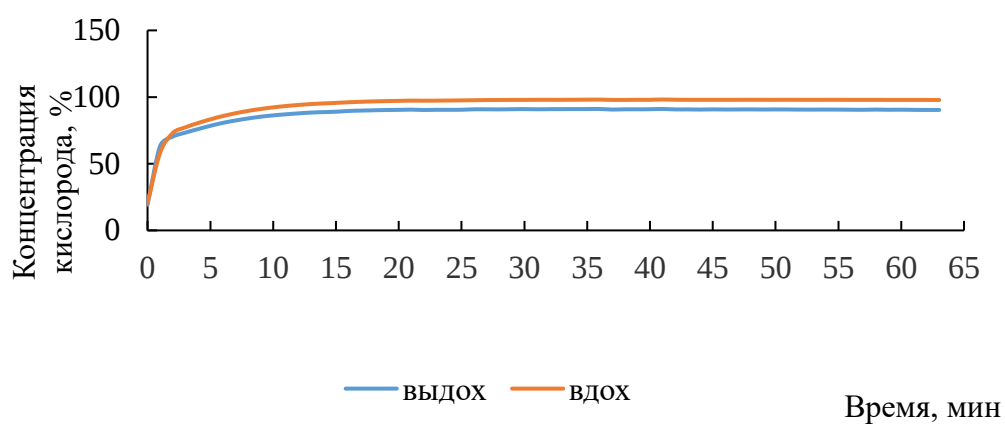


Рисунок 6 – Концентрация кислорода.

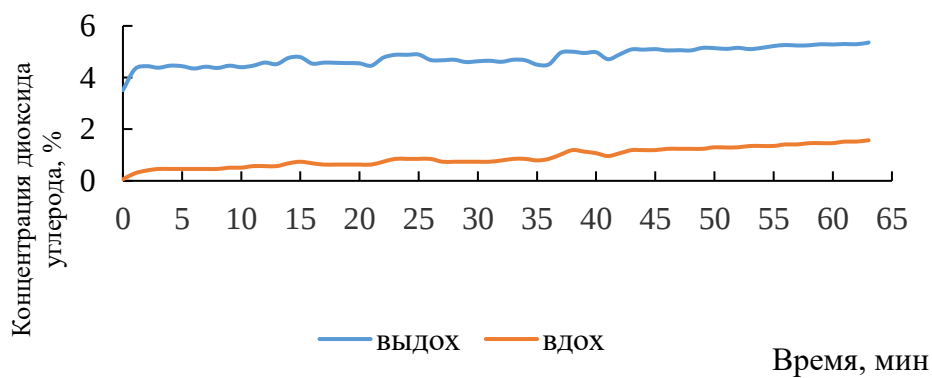
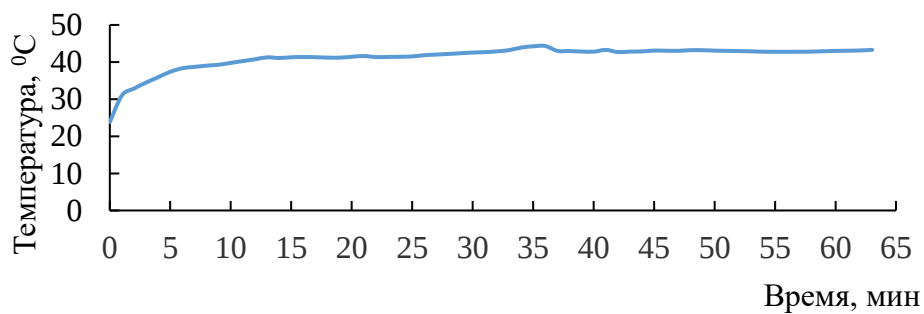
Рисунок 7 – Концентрация CO₂.

Рисунок 8 Температура на входе из самоспасателя.

Данный пример демонстрирует, насколько просто можно оценить маршрут эвакуации, имея в наличии МДИ «ОКСИ РОБОТ» и основные данные о маршруте. Такой подход будет полезен при проектировании новых маршрутов, при оценке достаточности ресурсов дыхательных аппаратов различного назначения (пожарных, шахтных и др.) при выполнении разных задач спасения, самоспасения или выполнения конкретной работы, например эвакуации людей из высотных зданий при пожаре. Принимая во внимание, что параметры дыхания у людей разные, то оценку маршрута желательно проводить по дыханию человека с наибольшим потреблением кислорода (с наибольшей частотой и глубиной дыхания, и наибольшим пульсом). А для получения таких данных необходимо индивидуализировать данные о дыхании человека, что может быть выполнено при использовании специальных устройств, позволяющих регистрировать дыхание конкретного человека при разных нагрузках и составлять его индивидуальный «Паспорт дыхания», но эта тема уже для другой более масштабной работы.

Второй нестандартный пример применения МДИ связан с исследованием достаточно типичной ситуации, которая возникает при использовании шахтных самоспасателей на химически связанном кислороде [10, 11]. Опыт эксплуатации самоспасателей на объектах, связанных с проведением подземных горных работ, показывает, что имеют место случаи, когда пользователь роняет загубник в результате падения, зацепления за выступающие предметы в условиях плохой видимости, либо извлекает загубник самостоятельно из-за необходимости подать сигнал или команду голосом, из-за скопления во рту слюны, першения в горле, кашля, рвоты и т.п. Поэтому возник вопрос о проведении исследований на тему возможности повторного включения в самоспасатель после паузы в работе. Исследования были проведены по просьбе одного крупного потребителя шахтных самоспасателей и данные, которые были получены, позволили ему поменять критерии при выборе самоспасателей, а также внести изменения в программу обучения и тренировок. Для исследований Заказчик представил данные конкретного маршрута, протяженностью около 3000 метров, с углами наклона всех участков и рекомендованными (проверенными) скоростями движения на каждом из них. Также были предоставлены образцы самоспасателей трех известных производителей с ВЗД 60-70 мин, назовем их образцами №1, №2 и №3.

Стенд «ОКСИ РОБОТ», который был использован для проведения испытаний, обеспечивал моделирование параметров внешнего дыхания в диапазоне значений, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Наименование параметра	Значение
1	2
Глубина дыхания (дыхательный объем), дм ³	от 0,1 до 3,0
Частота дыхания, мин ⁻¹	от 10 до 40
Легочная вентиляция, дм ³ /мин	от 10 до 120
Температура выдыхаемой ГДС, °С	37±0,8
Относительная влажность выдыхаемой ГДС, % RH	от 92 до 100
Объемная доля диоксида углерода в выдыхаемой ГДС, %об.	до 5
Объемный расход диоксида углерода, дм ³ /мин	от 0,2 до 6,0
Объемный расход отбираемой ГДС для имитации потребления кислорода, дм ³ /мин	от 0,2 до 17
Объемный расход азота (при необходимости), дм ³ /мин	от 0,2 до 15

На рисунок 9 представлен пример одного испытания из проведенных в исследовании.

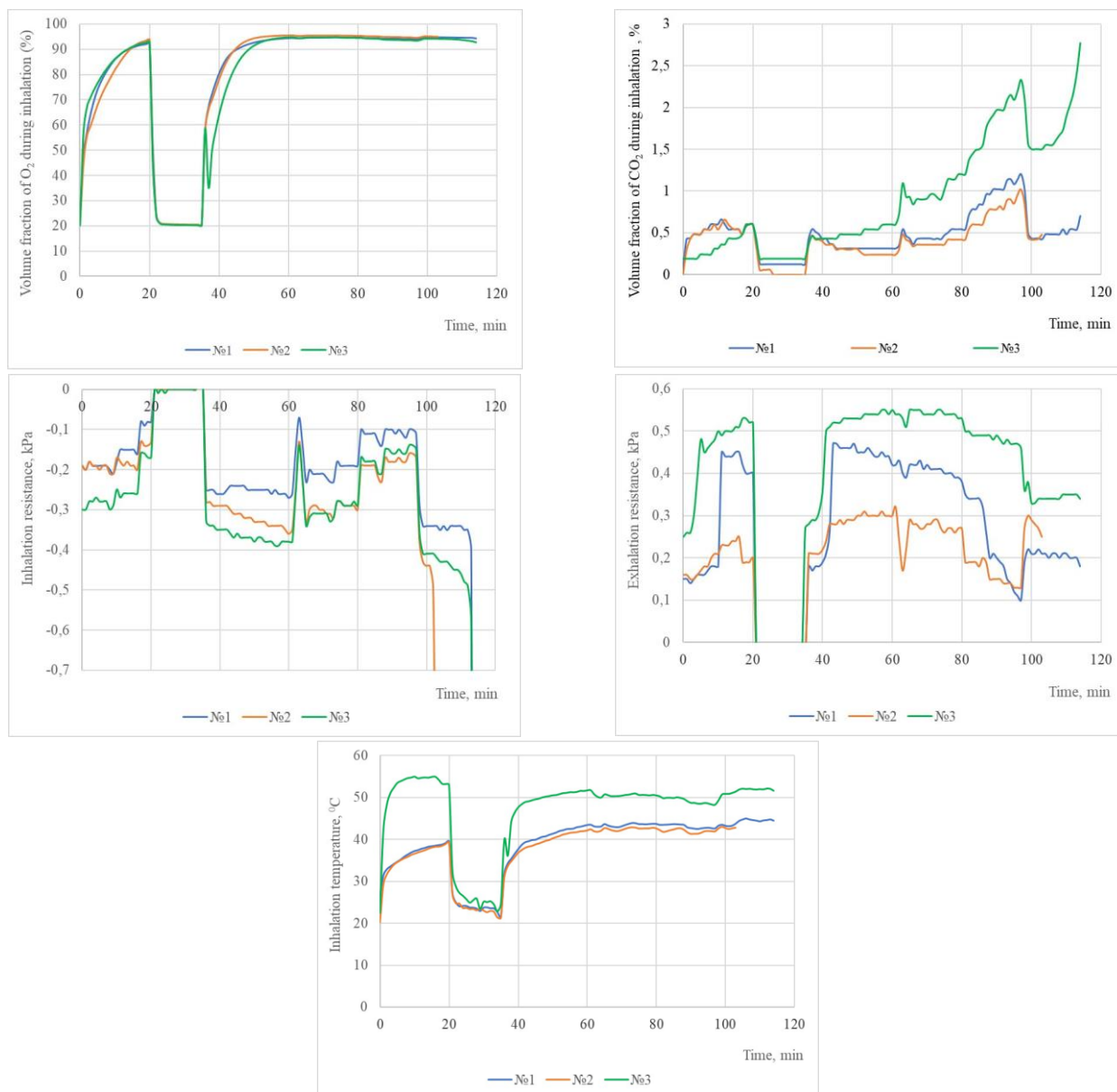


Рисунок 9 Пример результатов испытаний трех шахтных самоспасателей. Прекращение дыхания в самоспасателе (начало Паузы) на 20 минуте использования, возобновление дыхания на 35 минуте.

В ходе работы было проведено множество испытаний и была доказана возможность успешного повторного включения в самоспасатель после паузы, которая зависит от сочетания нескольких факторов:

1. Степени отработки регенеративного продукта до наступления паузы (зависит от нагрузки и времени работы до паузы).
2. Степени остывания шихты и продуктов реакции в регенеративном патроне (зависит от условий внешней среды и длительности паузы).
3. Использования заглушки в загубнике.
4. В отличие от испытаний на установке типа «Искусственные легкие», в реальной ситуации важную роль будет играть способность конкретного человека «раздышать» самоспасатель после паузы, которая зависит от физического состояния, психологической готовности, степени тренированности и наличия соответствующего навыка.

5. Для успешно включившихся после паузы самоспасателей характер зависимости общего ВЗД от нагрузки практически такой же, как и для самоспасателей, работающих без пауз, однако присутствует четкий тренд на снижение общего ВЗД при увеличении времени работы до паузы.

6. Если степень отработки самоспасателя не превышал 60% от номинального ВЗД для диапазона ЛВ от 25 до 40 дм³/мин, а время паузы не превышало 15 мин, то возможно неоднократное (не менее 3-х циклов) прерывание работы и повторное включение в самоспасатель, через приблизительно равные промежутки времени.

Третий пример использования МДИ демонстрирует его универсальность - программное обеспечение, а также модульность позволяет с легкостью использовать одну и ту же платформу для разных испытательных стендов при минимальных затратах на внесение изменений и настройку. Благодаря этому был разработан ряд испытательных стендов.

1. Стенд «ДИОКСИД» - для динамических испытаний СИЗОД фильтрующего типа с целью определения содержания углекислого газа во вдыхаемом воздухе рисунок 10.



Рисунок 10. Испытательный стенд «Диоксид». Рисунок 11. Испытательный стенд «Доломит»

2. Стенд «ДОЛОМИТ» - для испытаний средств индивидуальной защиты на определение их пыленепроницаемости рисунок 11.

3. Стенд «МОНООКСИД» - для динамических испытаний СИЗОД фильтрующего типа с целью определения времени защитного действия от угарного газа рисунок 12.



Рисунок 12. Испытательный стенд «Монооксид».

4. Стенд для испытаний СИЗОД при повышенном давлении рисунок13.

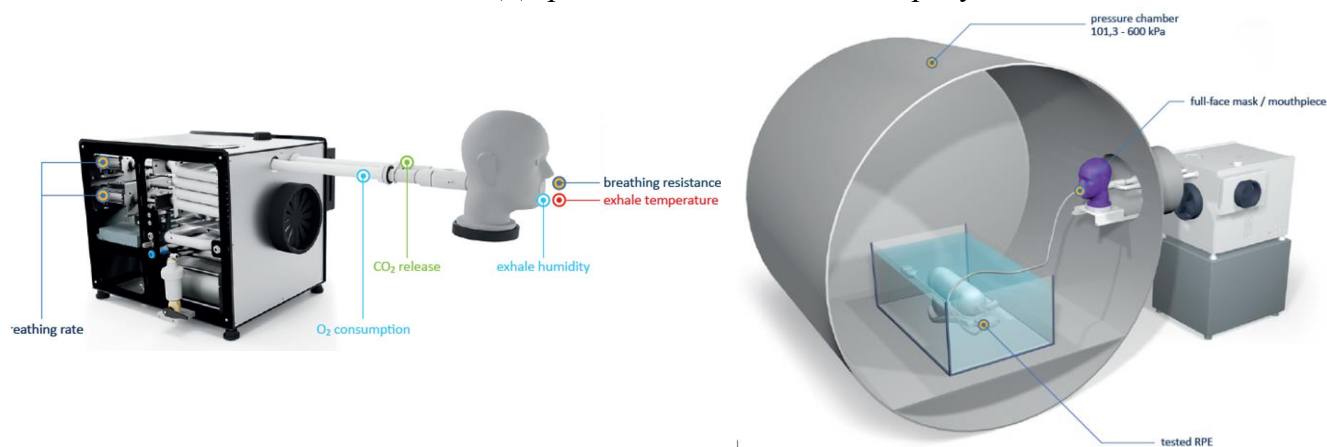


Рисунок 13. Стенд для испытаний СИЗОД при повышенном давлении.

5. «Silica Dust» испытательный стенд для проверки соответствия требованиям к испытаниям на наличие кремниевой пыли в фильтрах HEPA, предназначенных для электроприводных воздухоочистительных респираторов (PAPR), рисунок 14.

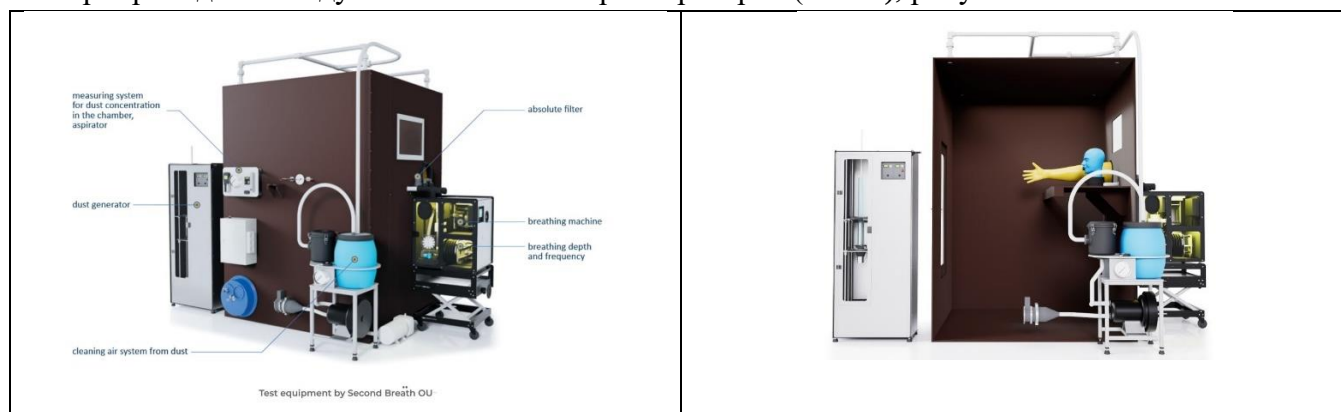


Рисунок 14. «Silica Dust».

Использование Заказчиком нескольких унифицированных стендов на основе одного типа МДИ позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты и затраты на обучение операторов. Один оператор одновременно может управлять работой нескольких стендов.

Заключение

Развитие технологий, методов и технических средств, обеспечивающих безопасность человека, требует проведения обширных исследований и большого количества экспериментов. Представленный новый метаболический имитатор внешнего дыхания человека «ОКСИ-РОБОТ» создан с учетом всех достоинств и недостатков существующих аналогов, требований российских и международных стандартов, с учетом пожеланий и замечаний различных потребителей – исследователей, разработчиков, производителей, специализированных лабораторий и сертификационных центров.

Использование МДИ «ОКСИ-РОБОТ», а также его модификаций и линейки испытательных стендов на его основе, обеспечит более эффективный инструментарий для разработки и совершенствования СИЗОД и повышение их защитных и эксплуатационных характеристик.

Соответственно и нормативная база, определяющая технические, эксплуатационные и эргономические требования к СИЗОД будет ускоренно эволюционировать.

Библиография

1. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С.В. Гудков, С.И. Дворецкий, С.Б. Путин, В.П. Таров – М.: Машиностроение. 2008. – 187 с.
2. Nicholas Kyriazi, Performance comparison of breathing and metabolic simulators // Journal of the International Society for Respiratory Protection Vol. 28, № 1, 2011.
3. R. Paštěka, M. Forjan, Actively Breathing Mechanical Lung Simulator Development and Preliminary Measurements // IFMBE Proceedings, 2018, Vol. 65, P. 750-752, DOI: 10.1007/978-981-10-5122-7_188
4. R. Calay, J. Kurujareon, A. Holdo, Numerical simulation of respiratory flow patterns within human lung // Respiratory Physiology & Neuro-biology, Vol. 130(2), P.201–221, 2002, DOI:10.1016/S0034-5687(01)00337-1
5. Zbigniew Talaśka, The construction of a breathing simulator for research of the diving breathing apparatus in compliance with the pn-en 250:2014 standard // Scientific journal of polish naval academy, Vol.3, 2016, P.121-130, DOI: 10.5604/0860889X.1224754
6. Hisashi Yuasa, Mikio Kumita, Takeshi Honda, Kazushi Kimura, Kosuke Nozaki, Hitoshi Emi, Breathing simulator of workers for respirator performance test // Industrial Health 2015, Vol. 53, P. 124–131.
7. Arthur B. Otis, History of Respiratory Mechanics // Supplement 12. Handbook of Physiology, The Respiratory System, Mechanics of Breathing, 2011, <https://doi.org/10.1002/cphy.cp030301>
8. Loss of Start-Up Oxygen in CSE SR-100 Self-Contained Self-Rescuers, NIOSH Respirator User Notice, Issue Date: April 26, 2012, Heinz Ahlers, Chief, Technology Evaluation Branch, National Personal Protective Technology Laboratory. Режим доступа: www.cdc.gov/niosh/npptl/usernotices/notices/notice04262012.html
9. Бабков, В. С. Применение новейшего имитатора внешнего дыхания человека для повышения безопасности промышленного персонала / В. С. Бабков, В. Н. Костеренко, С. Б. Путин // Уголь. – 2020. – № 11(1136). – С. 29-35. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-11-29-35. – EDN GANULN.
10. Бабков, В. С. Исследование потенциальной возможности продолжения дыхания в изолирующем самоспасателе с химически связанным кислородом после перерыва в его работе / В. С. Бабков, С. Б. Путин, В. Н. Костеренко // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2021. – № 1. – С. 70-82. – EDN DJTTAC.
11. Бабков, В. С. Исследования дыхания в шахтном самоспасателе с неоднократными перерывами / В. С. Бабков, В. Н. Костеренко, С. Б. Путин // Уголь. – 2020. – № 12(1137). – С. 17-22. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-12-17-22. – EDN RKZBKK.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В ОРГАНИЗАЦИЯХ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Цветкова А.Д., ст. преподаватель, **Шумилов Р.В.**, студент, кафедра биотехносферной безопасности, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,

Аннотация. Проведен анализ производственного травматизма в основных организациях городского электрического транспорта Санкт-Петербурга. Анализ производственного травматизма (ПТ) в основных организациях выполнен по статистическим отчетным формам за 2018–2023 гг. Для анализа динамики ПТ использовались рассчитанные относительные величины ПТ, линейный регрессионный анализ, статистические контрольные карты.

Ключевые слова: производственный травматизм, риск, работники, городской электрический транспорт, охрана труда.

ANALYSIS OF OCCUPATIONAL INJURIES IN URBAN ELECTRIC TRANSPORT ORGANIZATIONS IN ST. PETERSBURG

Tsvetkova A.D., Shumilov R.V.

Annotation. The analysis of occupational injuries in the main organizations of urban electric transport in St. Petersburg is carried out. The analysis of occupational injuries (OP) in the main organizations was carried out according to statistical reporting forms for 2018-2023. Calculated relative OP values, linear regression analysis, and statistical control maps were used to analyze the dynamics of PT.

Keywords: occupational injuries, risk, workers, urban electric transport, labor protection.

Работники предприятий электрического городского транспорта ежедневно сталкиваются с комплексом профессиональных рисков, оказывающих существенное влияние на их здоровье и безопасность. Водители испытывают постоянное психоэмоциональное напряжение, вызванное необходимостью соблюдения жесткого графика движения и высокой ответственностью за жизнь пассажиров. Их рабочая среда характеризуется повышенным уровнем шума и постоянной вибрацией, что создает дополнительные стрессовые факторы. Персонал, занятый техническим обслуживанием, работает в условиях повышенной опасности поражения электрическим током, особенно при проведении ремонтных работ на контактной сети и электрооборудовании вагонов.

Длительное воздействие этих производственных факторов приводит к развитию серьезных профессиональных заболеваний. Наиболее распространенными являются нарушения слуха, вызванные постоянным шумовым воздействием, заболевания опорно-двигательного аппарата из-за вибрации и физических перегрузок, а также различные сердечно-сосудистые патологии. Особую опасность представляет высокий уровень производственного травматизма, где значительную долю составляют электротравмы и механические повреждения, полученные при обслуживании сложного оборудования.

Количество несчастных случаев за период 2018-2023 гг. (Рисунок 1) позволяет говорить о некоторой тенденции к снижению травматизма в отрасли. Прежде всего это связано с ужесточением трудового законодательства в последние годы, а как результат, повышенное внимание вопросам

охраны труда на предприятии, непосредственно влияющие на причины возникновения несчастных случаев. Большую роль в снижении количества несчастных случаев сыграла обязательная процедура Оценки профессиональных рисков, которую стали проводить на предприятиях городского электрического транспорта.

Выявление и оценка профессиональных рисков требуют дальнейшей разработки и внедрения комплексной системы профилактических мероприятий, включающей современные средства индивидуальной защиты, оптимизацию рабочих процессов, регулярные медицинские осмотры и программы по сохранению здоровья работников. Особое внимание необходимо уделять вопросам электробезопасности и созданию комфортных условий труда для снижения психоэмоциональной нагрузки на персонал.

Проведение оценки рисков перед началом работ, выявление потенциально опасных участков, разработка мер по их устранению, все это способствует постепенному снижению количества несчастных случаев на производстве.

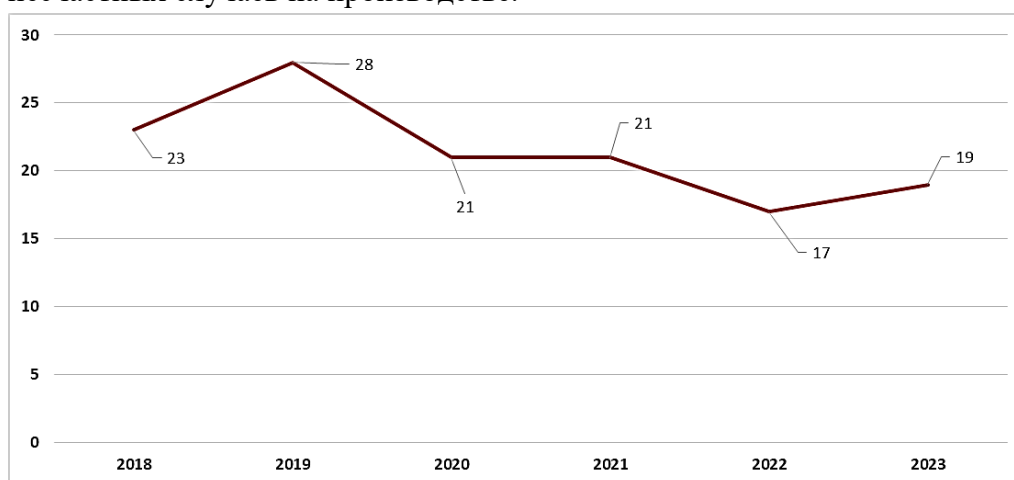


Рисунок 1. Количество несчастных случаев в организациях городского электрического транспорта Санкт-Петербурга за период 2018-2023 гг.

Анализ аварийности электрического городского транспорта выявляет устойчивую тенденцию - на его долю приходится 12-15% всех городских ДТП. При этом причины происшествий распределяются следующим образом: почти половина (45%) связана с нарушениями ПДД другими участниками движения, что подчеркивает уязвимость электрического городского транспорта в условиях плотного городского трафика.

Анализ аварийности электрического городского транспорта выявляет устойчивую тенденцию - на его долю приходится 12-15% всех городских ДТП. При этом причины происшествий распределяются следующим образом: почти половина (45%) связана с нарушениями ПДД другими участниками движения, что подчеркивает уязвимость электрического городского транспорта в условиях плотного городского трафика. Около трети случаев (30%) вызваны техническими неисправностями - от отказа тормозных систем до дефектов путевого хозяйства. Оставшиеся 25% приходятся на человеческий фактор, включая ошибки водителей и нарушения при обслуживании техники.

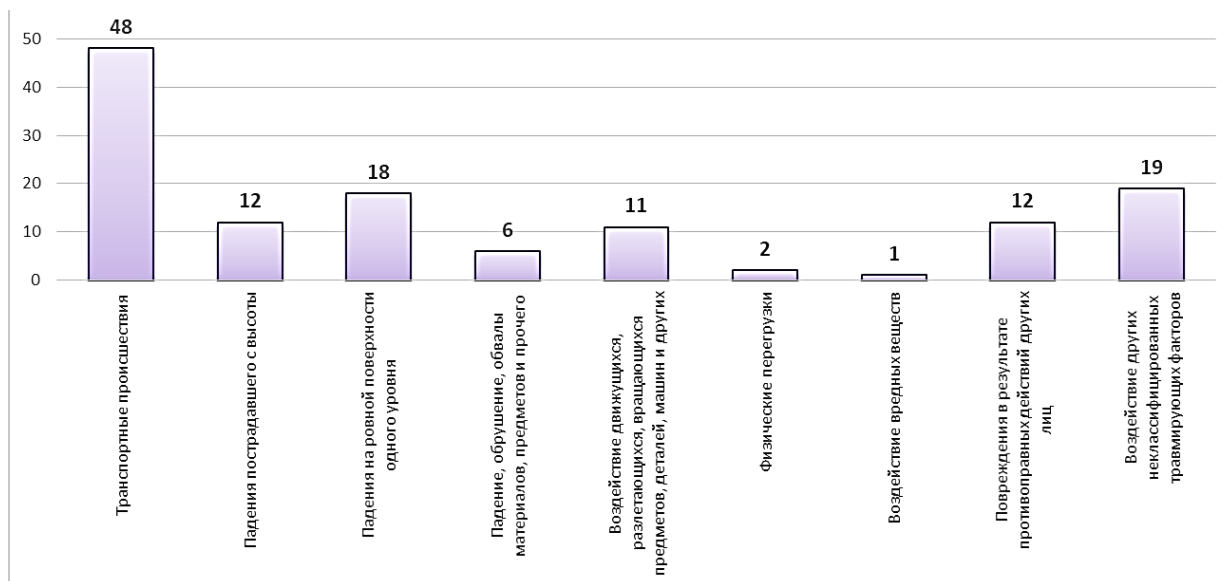


Рисунок 2. Количество несчастных случаев по видам происшествия.

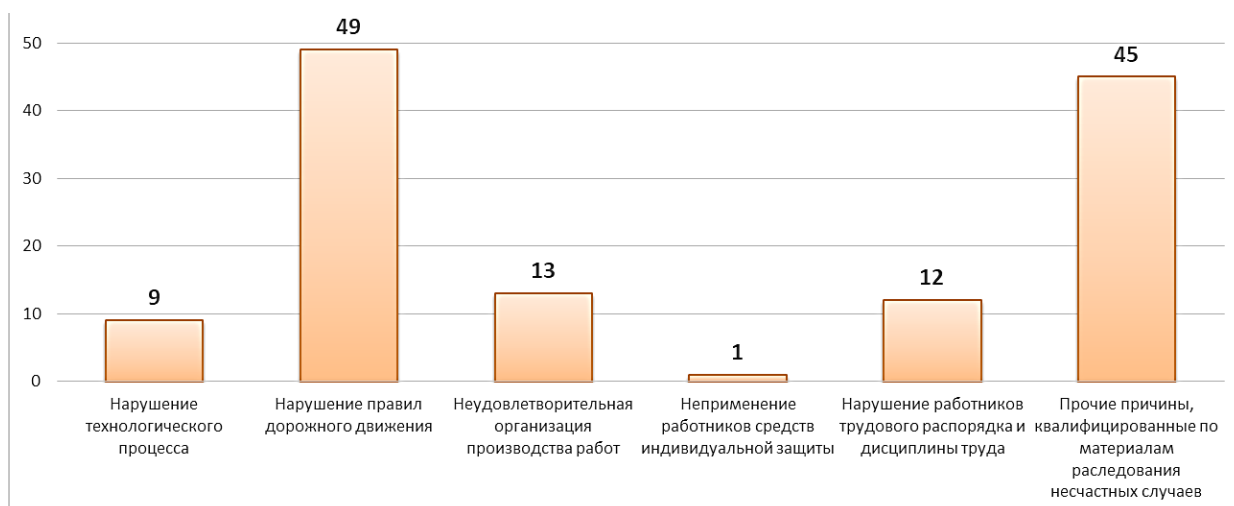


Рисунок 3. Количество несчастных случаев по видам причин происшествия.

Такая структура аварийности наглядно показывает, что обеспечение безопасности электрического городского движения требует комплексного подхода. Необходимо одновременно совершенствовать техническое состояние подвижного состава, повышать культуру поведения всех участников дорожного движения, оптимизировать подготовку персонала и внедрять современные системы мониторинга. Только такой многосторонний подход позволит существенно снизить аварийность и повысить надежность работы трамвайных систем в условиях современного мегаполиса. Особое внимание следует уделить защите трамваев от действий других участников движения, так как именно этот фактор является наиболее распространенной причиной происшествий.

Современные подходы к повышению безопасности электрического городского сообщения должны развиваться по трем основным направлениям, формирующим комплексную систему защиты.

Технологические инновации кардинально поменяют облик электрического городского транспорта:

- Внедрение низкопольного электрического транспорта нового поколения с улучшенной эргономикой;
- Автоматизированные системы экстренного торможения с компьютерным зрением;
- Умные датчики мониторинга препятствий в слепых зонах;
- Комплексные системы диагностики технического состояния в реальном времени;
- Огнестойкие материалы внутренней отделки вагонов.

Организационные преобразования должны охватить:

- Научно обоснованные графики работы с учетом человеческого фактора;
- Многоуровневую систему подготовки кадров с VR-тренажерами;
- Регулярные аттестации с элементами неожиданного тестирования;
- Внедрение системы управления безопасностью по стандартам ISO 45001.

Профилактические программы должны включать:

- Углубленные медицинские обследования с применением цифрового мониторинга здоровья;
- Психологическую поддержку с элементами когнитивного тренинга;
- Корпоративные wellness-программы по управлению стрессом;
- Систему раннего выявления профессионального выгорания.

Такой многофакторный подход позволит не просто реагировать на происшествия, а создать превентивную систему безопасности, адаптирующуюся к вызовам современной городской среды. Особый акцент необходимо сделать на прогнозирование и предупреждение потенциально опасных ситуаций за счет интеграции цифровых технологий и достижений поведенческой науки.

Комплексные исследования условий труда в организациях электрического городского транспорта представляют собой научно обоснованный подход к совершенствованию системы безопасности. Эти исследования учитывают весь спектр факторов - от технического состояния подвижного состава до психофизиологических особенностей работников, что позволяет разрабатывать адресные решения для каждого конкретного предприятия.

Методика включает всесторонний анализ производственной среды с замерами шума, вибрации, электромагнитного излучения и других параметров. Особое внимание уделяется изучению технологических процессов и медико-биологическим аспектам, включая оценку профессионального стресса и функционального состояния персонала. Только такой подход обеспечит глубокое понимание взаимосвязи между условиями труда и показателями безопасности.

Сформированный комплекс практических мер, охватывающих техническую модернизацию, организационные изменения и индивидуальные рекомендации для работников продемонстрирует устойчивую положительную динамику: снижение профессиональных рисков, уменьшение травматизма, а также заметное повышение надежности перевозок электрическим городским транспортом и производительности труда.

Библиография

1. Контур норматив - [Электронный ресурс] URL: <https://normativ.kontur.ru>. / (дата обращения: 10.07.2025).
2. ГЭТ – электротранспорт Санкт-Петербурга - [Электронный ресурс] URL: <https://normativ.kontur.ru>. / (дата обращения: 10.07.2025).

БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

УДК 622:577;622.34:502.719

Алборов И.Д., профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой Экологии и техносферной безопасности Северокавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета), старший научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН e-mail: ekoskgmi@rambler.ru;

Тедеева Ф.Г., кандидат технических наук, профессор кафедры экологии и техносферной безопасности Северокавказского горно-металлургического института(государственного технологического университета), e-mail: ekoskgmi@rambler.ru;

Бурдзиева О.Г., кандидат географических наук, ученый секретарь Геофизический института Владикавказского научного центра РАН;

Вернигор В.В., аспирант кафедры. экологии и техносферной безопасности Северокавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) , e-mail: ekoskgmi@rambler.ru;

Ревазов В.Ч., кандидат педагогических наук, доцент, кафедры философии и гуманитарных технологии, e-mail Северокавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета) , e-mail: revazov.v@yandex.ru

ТЕХНОГЕННЫЕ И ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЗДОРОВЬЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГОРНОРАБОЧИХ

Аннотация: В статье показан механизм формирования современного эколого-антропогенного состояния зоны промышленного освоения месторождений полезных ископаемых территорий Восточного склона Кавказских гор. Дается санитарно экологическая оценка качества атмосферы в зоне деятельности горнопромышленных предприятий и сопровождающей поверхностной инфраструктуры, показано, что орография горной экосистемы вносит существенные изменения в формировании атмосферных вихрей, способствует фрагментарной деградации естественного ландшафта. Приводятся природные и техногенные факторы загрязнения атмосферы, рассматриваются характер ветровых потоков с учетом влияния близкого расположения зон вечных снегов и ледников и механизм влияния метеорологических параметров на распространение пылевой фракции в атмосферу от источников поверхностной инфраструктуры и технологических процессов добычи и переработки руд. Указаны узкие места в формировании качества компонентов биосферы и их влияние на здоровье населения. Приведены источники и факторы, опасного загрязнения атмосферного воздуха и других компонентов природной среды в процессе добычи и переработки руд. Показано влияние загрязнения воздуха на здоровье детского населения на примере одного из районов Республики Северная Осетия-Алания. Показана взаимосвязь барометрического давления с нормируемым показателем загрязнения воздуха, что позволяет рекомендовать ввести корректировку в нормативы качества атмосферного воздуха в соответствии с поправочными коэффициентами на разряжение атмосферы в условиях, отличных от стандартных. Сформулированы теоретические положения, разработаны формулы и методы

определения поправочных коэффициентов. Приведенные выводы и разработанные рекомендации могут быть полезны для предприятий, работающих в аналогичных условиях.

Ключевые слова: запыленность воздуха; орография местности; зона деятельности горного предприятия; разрушение ландшафта; отвалы пустых порол; некондиционные руды; штольневое вскрытие; условия труда; барометрический коэффициент; турбулизация воздуха.

TECHNICAL AND NATURAL FACTORS AFFECTING THE HEALTH AND EFFICIENCY OF MINERS

Alborov I.D., Tedeeva F.G., Burdzieva O.G., Vernigor V.V., Revazov V.Ch.

Abstract: The article shows the mechanism of formation of the modern ecological and anthropogenic state of the zone of industrial development of mineral deposits in the Eastern slope of the Caucasus Mountains. A sanitary and ecological assessment of the quality of the atmosphere in the area of activity of mining enterprises and accompanying surface infrastructure is given; it is shown that the orography of a mountain ecosystem makes significant changes in the formation of atmospheric vortices and contributes to the fragmented degradation of the natural landscape. Natural and man-made factors of air pollution are presented, the nature of wind flows is considered, taking into account the influence of the close proximity of zones of eternal snow and glaciers and the mechanism of influence of meteorological parameters on the spread of dust fraction into the atmosphere from sources of surface infrastructure and technological processes of ore mining and processing. The bottlenecks in the formation of the quality of biosphere components and their impact on public health are indicated. The sources and factors of dangerous pollution of atmospheric air and other components of the natural environment in the process of mining and processing of ores are given. The impact of air pollution on the health of children is shown using the example of one of the regions of the Republic of North Ossetia-Alania. The relationship between barometric pressure and the standardized indicator of air pollution is shown, which allows us to recommend introducing adjustments to atmospheric air quality standards in accordance with correction factors for rarefaction of the atmosphere in conditions other than standard ones. Theoretical principles have been formulated, formulas and methods for determining correction factors have been developed. The findings and recommendations developed may be useful for enterprises operating in similar conditions.

Keywords: air dustiness; orography of the area; area of activity of the mining enterprise; landscape destruction; empty dumps; substandard ores; adit opening; working conditions; barometric coefficient; air turbulization.

Введение

Техногенная деятельность по добыче и переработке руд на Северном склоне Кавказских гор берет свое начало с середины XIX века, хотя первые сведения о серебряных рудах Садона относятся к X веку. Большой дефицит свинца для военных нужд заставлял Россию форсировать работы по промышленному освоению месторождений на территории Северной Осетии, в первую очередь Садонского, как самого благонадежного и богатого. В 1830 году в одном из французских журналов было опубликовано сообщение о свинцово-цинковых рудах Садона, привлечшее внимание бельгийских промышленников-монополистов по извлечению цинка. В разгар Крымской войны завод и рудники смогли обеспечить только часть военных нужд России [1]. В конце XIX века русское правительство образовало русско-бельгийское акционерное горнопромышленное и химическое общество «Алагир» во главе с Льежским банком, в руках которого оказалось 80% всех

акций. Освоение Тырныаузского месторождения шеелито-вольфрамовых руд в Кабардино-Балкарской Республике началось в конце 40-ых годов прошлого столетия. Позднее в состав Тырныаузского горно-металлургического комбината вошли: рудник «Молибден», карьеры «Мукуланский», «Высотный», обогатительная фабрика и Нальчинский гидрометаллургический завод. Позже были вовлечены в эксплуатацию Эльбрусское месторождение и свинцово-цинковых руд и Урупское месторождение медных руд в Карачаево-Черкесской Республике, Лермонтовское месторождение радиоактивных руд в Ставропольском крае. Все рудные поля приведенных выше месторождений объединяет орография и специфические природно-климатические условия, поэтому инструмент распознавания негативных факторов на рассматриваемой территории может быть с высокой эффективностью использован в других регионах Северного Кавказа. К негативным последствиям добычи и переработки полезных ископаемых относятся: деформация ландшафта[2-8]; загрязнение водных ресурсов[3.4]; техногенное загрязнение почвенного горизонта[5-7]; устойчивое загрязнение воздушного бассейна[3,4,9-11]; деградация растительного покрова и животного мира[3-5]; отягощение традиционных форм болезней и развитие новых форм заболеваний[12-19]. Поэтому, в рассматриваемых условиях, изучение факторов, формирующих экосферу и ее качественные показатели является актуальной научно-практической задачей. Приоритетное внимание уделено экологическому состоянию природной среды на территории Республики Северная Осетия – Алания.

Предмет цели и методы и исследований

Объектом исследования является горнопромышленная зона Северного Кавказа, охватывающая горные отводы и ареал рассеяния вредных компонентов горной индустрии и сопровождающей ее инфраструктуры на примере эксплуатации горных предприятий Республики Северная Осетия-Алания.

Как научный так и практический интерес представляют источники загрязнения атмосферного воздуха природного и техногенного генезиса, динамика эмиссии пылевой аэрозоли в атмосферный воздух и влияние природно-климатических факторов на этот процесс, уточнение параметров источников загрязнения и факторов, влияющих на вынос аэрозоля с пылящей поверхности, а в случае, когда источником загрязнения является технологический процесс – взаимосвязь и взаимовлияние с другими источниками, масштабы развития во времени и в пространстве. Важным фактором в выполнении исследований является установление взаимовлияния различных факторов с учетом колебаний температурно-влажностных факторов, скорости и направления ветров на поверхности, циркуляций атмосферных потоков и др. Это позволяет установить приоритетные факторы, влияющие на пылевую обстановку в приземной атмосфере и на других высотных уровнях, что необходимо при оценке санитарно-гигиенической обстановки для принятия решения по очистке входящего в шахту потока воздуха. Формы и масштабы пылегазовых источников разнообразны, интенсивность эмиссионных процессов на которых зависит: от рельефа местности, географии расположения, структуры и содержание пылящего объекта (морфология поверхности, близкое расположение водоема, реки и пр.). При выполнении полевых экспериментов следует выбирать наиболее неблагоприятные метеорологические условия и засушливый период времени для установления максимальных значений параметров негативных пылевых выделений в атмосферу. Для достоверности результатов химических анализов проб воздуха одновременно отбирались пробы воздуха в четырех точках замера (двух противоположных пунктах замера, на уровне 1,8м от поверхности площадного источника загрязнения). Для выявления корреляции между заболеваемостью детского населения

и санитарным состоянием воздуха в зоне техногенной деятельности были использованы результаты (анкетирования) наблюдений поликлинических учреждений района среди детского населения.

Содержание исследований

Добыча полезных ископаемых относится к одной из самых пылеемких отраслей экономики с выделением в атмосферу аэрозоли фиброгенного и токсического действия, в зависимости от химического и минерального состава. Все месторождения Северного Кавказа сосредоточены в среднегорной зоне по вертикальной зональности с развитой орографией, рудные минералы характеризуются высоким содержанием свободного кремнезема SiO_2 (более 30%), поэтому все горные предприятия относятся к силикозоопасным. Объектам производства. Особенностью нахождения людей в этих условиях заключается в том, что запыленный воздух разрушает дыхательные пути, слизистые оболочки глаз, органов дыхания, слуха и кожу. При длительном воздействии пыльной атмосферы на человека она вызывает заболевание, именуемое пневмокониозом. Продолжительная эксплуатация полиметаллических месторождений на рудниках Садонского свинцово-цинкового комбината создали техногенный ландшафт, негативно влияющий на атмосферный бассейн не только в рамках горного отвода, но и далеко за его пределами. Поверхностная инфраструктура, сопровождающая добычу и переработку руды за длительный период времени способствовала созданию многочисленных источников пылевыведений различной формы и размеров. Интенсивность пылеобразования от них зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются влагосодержание атмосферного воздуха, суточные колебания температуры, скорости и направления ветра. Твердые минеральные образования на дневной поверхности, сформированные из отходов добычи полезных ископаемых являются постоянными источниками загрязнения окружающей среды на протяжении многих лет. Они способствуют фрагментарному загрязнению ландшафта, деградируют и разрушают его, вызывают гибель отдельных видов биоразнообразия и живых организмов, деформируют экосистему в целом. На приведенное состояние биосферы дополнительное отрицательное влияние оказывают орография местности, связанная с трехмерностью ландшафта, и резкие колебания направления и скорости движения приземного воздуха из-за близости зон с вечными снегами и ледниками. В рассматриваемых условиях состояние здоровья и работоспособности людей приобретает особое значение, связанное с физиологией человека, его жизнеспособностью.

Для установления взаимосвязи между негативными экологическими факторами и состоянием здоровья детского населения, наиболее уязвимой части человеческой популяции, путем анкетирования были рассмотрены следующие задачи:

- выявление связи между экологической ситуацией и заболеваемостью детей;
- развитие заболеваний органов дыхания у детского населения;
- определить наиболее чувствительный и информативный показатель здоровья детей

для оперативной оценки медико-экологической обстановки.

Анкетирование проводилось по обращаемости в поликлинические учреждения по зонам обслуживания в РСО-А. Было обследовано организованное и неорганизованное детское население в возрасте до 14 лет (около 8000 человек). Одновременно, было проведено углубленное выборочное обследование 50 детей методом комплексного медицинского осмотра с участием педиатров, отоларинголога, психоневролога, и, установлено, что преобладающая часть болезней органов дыхания (93%) составляли, как и в других горнопромышленных зонах респираторные заболевания.

Эколого-медицинская обстановка в одной из зон районов г. Владикавказа, наиболее полно характеризующая состояние здоровья детей, приведена в таблице 1.

Таблица 1. Эколого-медицинская обстановка (зима)

Загрязняющее вещество	Показатель по зонам в долях ПДК				
	I	II	III	IV	V
Пыль	5,2	3,3	0,78	0,25	5,2
Двуокись серы	1,9	0,5	2,3	3,36	0,4
Двуокись азота	1,8	1,3	0,7	0,7	1,8
Свинец	8,0	5,0	1,5	1,0	1,0
Окись углерода	1,9	0,7	0,6	1,0	1,5
Заболеваемость на 1000 чел.	618	579	807	795	835

Из приведенных данных концентраций примесей в атмосферном воздухе варьирует, по пыли от 0,25 до 5,2 ПДК, по двуокиси серы от 0,4 до 3,36 ПДК, по двуокиси азота от 0,7 до 1,8 ПДК, по свинцу от 1 до 8 ПДК, по окиси углерода от 0,6 до 1,9 ПДК.

Погодные условия в течение выполнения эксперимента характеризовались осадками в виде снега (от 2 до 8 мм), стояла снежная дымка, туман, скорость ветра от 1 до 3 м/с, направление ветра ночью преобладало южное, днём – северо-западное. Такие метеоусловия способствовали вымыванию загрязнителей из атмосферного воздуха [2-4,11], что в свою очередь приводит к повышению их концентрации в приземном слое воздуха.

Летний период отражается на показателях заболеваемости населения, приведённых в таблице 2.

Таблица.2 Эколого-медицинская обстановка (лето)

Загрязняющее вещество	Показатель по зонам в долях ПДК				
	I	II	III	IV	V
Пыль	2,6	2,0	4,16	1,8	2,6
Двуокись серы	2,5	0,3	5,94	3,5	0,4
Двуокись азота	1,3	1,3	1,13	1,02	1,5
Окись углерода	1,5	1,0	0,9	0,9	0,6
Свинец	3,5	3,0	1,0	1,0	3,2
Заболеваемость на 1000 чел.	299	370	285	235	248

Из таблицы видно, что летом концентрация вредных примесей несколько уменьшается. Сокращается и заболеваемость в 3 и более раза, что является результатом более равномерного распространения вредных примесей от источников их поступления в окружающую среду

Особенности нормирования содержания пыли в воздухе рабочей зоны в меняющихся барометрических условиях

При работе в условиях, соответствующих стандартным (нормальным) предельное содержание вредностей на рабочих местах определяются санитарными нормами с ГН 2.2.5.3532.18. В частности, предельно допустимое содержание токсичной (силикозоопасной) пыли в воздухе при содержании в ней свободного кремнезема более 70% составляет 1 мг/м³, а при содержании свободного кремнезема в воздухе рабочей зоны от 10 до 70% предельно допустимая концентрация не должна превышать 2 мг/м³. В то же время нормирование вредностей как на рабочих местах, так и в населенных пунктах определяется по условиям (P=760мм.рт.ст., t=15°C), что является недопустимой с точки зрения физиологии человека. Учитывая, что все

горнодобывающие предприятия Северного Кавказа находятся на уровне от 1300–3 500м над уровнем моря, фактические условия труда относятся к напряженным. По мнению авторов в Правилах безопасности должны быть внесены коррективы по нормированию вредных веществ в воздухе рабочей зоны в нестандартных условиях по фактору барометрического давления. Это обусловлено стабильной потребностью кислорода красными кровяными клетками, а разреженный воздух снижает плотность контакта вдыхаемого воздуха с ними, следовательно, необходимо через легкие пропускать больший объем воздуха, что достигается ростом частоты дыхания человеком.

Изменение барометрического давления приводит к изменению плотности воздуха определяемой по формуле:

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T}, \quad (1)$$

где: p – фактическое барометрическое давление на местности, мм. рт. ст.; p_0 –стандартное барометрическое давление, $p_0 = 760$ мм. рт. ст.; T_0 –абсолютная температура в градусах Кельвина 273°K ; T – фактическая температура воздуха на местности, $T = T_0 + t$, где t –температура в градусах Цельсия.

Таким образом, при одинаковых запыленностях в единице объема атмосферного воздуха ПДК должна изменяться на величину коэффициента, определяемый по формуле

$$k_\epsilon = \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

где: p и p_0 - то же, что и в предыдущей формуле.

Изменение ПДК происходит по формуле:

$$g_{\text{о.с.}} = g_0 \cdot k_\epsilon \text{ мг/м}^3 \quad (3)$$

где: g_0 – ПДК загрязняющего вещества в рабочей зоне, мг/м^3 . В соответствии с ГН 2.2.5.3532.18 мг/м^3 (для условий ТВМК и Садонского СЦК $g_0 = 2 \text{ мг/м}^3$); $g_{\text{о.в.}}$ – ПДК загрязняющего вещества в высокогорных условиях, мг/м^3 ; k_ϵ – коэффициент, характеризующий уровень разреженности атмосферы местности, определяется по приведенной таблице. Графически эта зависимость показана на рисунке, приведенном ниже на рисунке.

Таблица 3. Значение поправочного коэффициента давления.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Барометрическое давление, мм рт.ст.	700	660	620	580	540	500	460	420
Коэффициент, K_ϵ	0,92	0,86	0,81	0,76	0,71	0,66	0,6	0,55

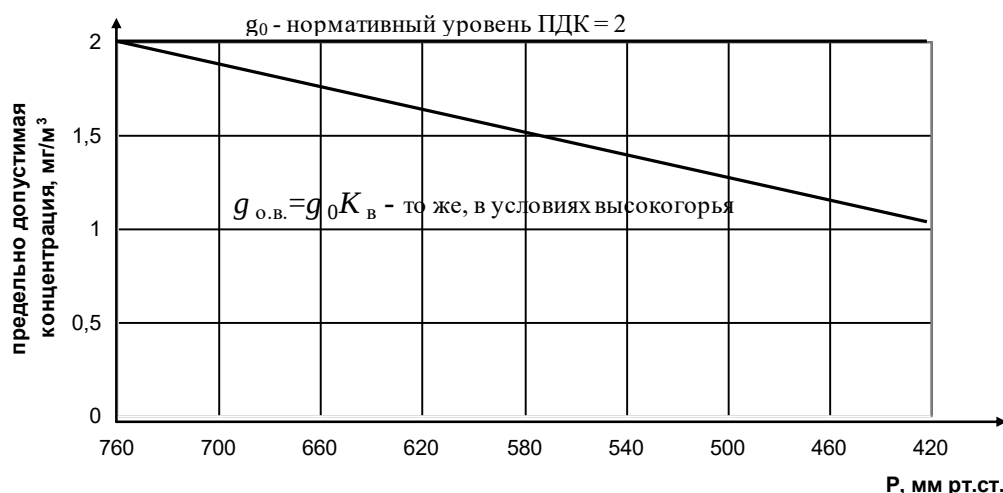


Рисунок. Изменение ПДК пыли в воздухе рабочей зоны в зависимости от барометрического давления (температурный фактор опускается в виду его малозначительности)

Для нормирования запыленности воздуха на рабочих местах в меняющихся барометрических условиях необходимо иметь правовую основу учета такого норматива. При стандартных барометрических условиях (геодезическая высота $-Z = 0$, давление воздуха $-p = 760$ мм. рт. ст. содержание кислорода в атмосфере составляет 20,96%). частота дыхания человека при этом в среднем около 12 раз в минуту.

Главной характеристикой рассматриваемых горных ландшафтов является вертикальная зональность с температурным градиентом и барометрическим коэффициентом не свойственным равнинной территории планеты Земля. В связи с этим горными территориями считаются местности, где среда обитания: высота, рельеф и климат – создает особые условия, влияющие на повседневную человеческую деятельность. В соответствии с принятым в Республике Северная Осетия-Алания законом горные территории подразделяются на [20]:

- низкогорье - до 1000 метров над уровнем моря;
- среднегорье - от 1001 до 2000 метров над уровнем моря;
- высокогорье - свыше 2001 метра над уровнем моря.

Плотность воздуха γ_{cp} увязана с барометрическим давлением, в стандартных условиях она равна $1,29 \text{ кг/м}^3$, для рассматриваемых условий она достигает величины около 1 кг/м^3 .

Выводы

В трехмерных ландшафтах, особенностью эксплуатации месторождений является их вскрытие, вносящее большие препятствия в обеспечении надлежащих условий труда трудящимся на подземных и открытых работах из-за высокой турбулизации наземных воздушных потоков и высокой изменчивости барометрического давления.

По имеющимся статистическим данным (более 30% больных) в рассматриваемой зоне, население страдает болезнями органов дыхания, поэтому приоритетное внимание должно быть обращено на эту проблему с учетом меняющихся барометрических условий.

При равных запыленностях в единице объема атмосферного воздуха ПДК должна изменяться на величину коэффициента высокогорья, определяемый по приведенной формуле.

Для нормирования запыленности воздуха на рабочих местах в меняющихся барометрических условиях расчеты потребного объема для проветривания шахт и рудников следует корректировать с учетом величины барометрического давления воздуха.

Вести в «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» нормативы условий труда, учитывающие вертикальную зональность территорий горного отвода.

Библиография

1. Вопросы совершенствования горного производства. К 125-летию Садонских рудников. Орджоникидзе, 1968. - С.3-20.
2. Алборов И.Д., Камлия Р.А., Зорина И.Ю. Прогнозирование направлений использования природных ресурсов горных территорий Северного Кавказа на примере РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. №4 (26). 2015. С.53-59.
3. Алборов И.Д., Бурдзиева О.Г., Тедеева Ф.Г., Гегелашвили М.В. Экологическая напряженность в зонах добычи цветных металлов на Северном Кавказе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 18–31. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-18-31.
4. Алборов И.Д., Тедеева Ф.Г., Гуцаев Ф.Х., Бурдзиева О.Г., Гегелашвили М.В. Влияние горнодобывающего комплекса на качество среды обитания в условиях горных территорий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 32–39. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-32-39
5. Бубнова М.Б., Озарян Ю.А. Комплексная оценка воздействия добычи полезных ископаемых на окружающую среду // Журнал горной науки. 2016. Том. 52. № 2. С. 401—409.
6. Бисчоков Р.М. Нейроструктурное моделирование экологических процессов // Безопасность жизнедеятельности. №11(263). 2022. - С.24-30.
7. Катаева М.В. Эколого-экономические проблемы комплексного освоения и развития территорий // Безопасность жизнедеятельности. №3 (207). 2018. - С.51-54.
8. Bhargava A., Srivastava A., Mukherjee R. On a mathematical model involving I-function for studying the effect of environmental pollution // Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences. 2017. Vol. 87. No 1. Pp. 19—21. DOI: 10.1007/ s40010-016-0319-4.
9. Zhe Zhu, Junxue Zhang, Zhiqiang Yang, Aljaddani A.H., Cohen W.B., Shi Qiu, Congliang Zhou Continuous monitoring of land disturbance based on Landsat time series // Remote Sensing of Environment. 2020, Vol. 238. Article 111116. DOI: 10.1016/j.rse.2019.03.009.
10. Каледина Н.О. Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности горных предприятий. Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Горный информационно-аналитический бюллетень / МИАВ, 2020; (6-1):5-14 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-5-14.
11. Oparin V.N., Potapov V.P., Giniyatullina O.L., Bykov A.A., Schastlivtsev E.L. Integrated monitoring of induced air pollution in mining regions // Journal of Mining Science. 2017. Vol. 53. No 5. Pp. 945—953. DOI: 10.1134/S1062739117052982.
12. Растанина Н.К., Крупская Л.Т., Голубев Д.А., Черенцова А.А. Оценка риска для здоровья населения, связанного с техногенным загрязнением от отходов бывшего горного

- предприятия «Хрустальненский ГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 12. — С. 88—95. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-88-95.
13. Блинов И.Л., Перфилова Л.В. Экологическая обстановка и здоровье человека // Здоровье-основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. -2010.-№1.-С143-147.
 14. Естропов В.М. Медико-биологические аспекты безопасности жизнедеятельности в экстремальных и чрезвычайных ситуациях. монография. Ростов-н/Д: Ростовский государственный строительный университет. 2013.-166с.
 15. Бывалец О.А. К вопросу о влиянии загрязнения окружающей среды на здоровье человека // Вестник Челябинского государственного университета. -2016.-88с.
 17. Антипов Н.А. Урбанизация и здоровье населения: экологический аспект // Здоровье основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения: -2010.-№1.-С.137-142.
 18. Трошин В. В. Экология и нервно-психическое здоровье // Медицинский альманах. -2010.-№1-С. 69-77.
 19. Маслова Т.В., Егорова Г.Г. Проблемы экологии и состояние здоровья животных // Современные наукоемкие технологии. -2005.-№7.-С. 37-38.
 20. Закон Республики Северная Осетия-Алания от 30.12.1998 N 30-РЗ «О горных территориях в Республике Северная Осетия-Алания»

УДК 712-1

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ БЕЗОПАСНОСТИ БЛАГОУСТРОЙСТВА СКВЕРОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФОНТАНОВ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Кича М.А. кандидат технических наук, член-корреспондент, Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: rulmaks@bk.ru

Аннотация. В сообщении приводятся наиболее характерные опасные факторы благоустройства скверов, возникающие (сохраняющиеся) при реконструкции малых фонтанов в сложившейся городской среде и выявленные при проведении строительно-монтажных работ, в том числе по сохранению объектов культурного наследия на территории Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: планировка, благоустройство, сквер, фонтан, ландшафтная архитектура

BASIC FACTORS OF SQUARE SAFETY DURING FOUNTAINS RECONSTRUCTION IN THE ESTABLISHED URBAN ENVIRONMENT

Kicha M.A.

Abstract. The report provides information on the most common hazards in public gardens that arise (or persist) during the reconstruction of small fountains in the existing urban environment and have been identified during the preservation of cultural heritage sites in St. Petersburg.

Keywords: layout, landscaping, square, fountain, landscape architecture

Комфортная городская среда непосредственно обеспечивает физическую, психологическую и социальную благоустроенность городских жителей, гармоничное, общественное и экономическое процветание города. Городская среда выступает как

многофункциональный комплекс природных, природно-антропогенных и общественно-экономических факторов, являющих большое и многообразное влияние на жителей и гостей города [1-6]. Целью настоящего исследования является выявление наиболее характерных опасных факторов благоустройства скверов, возникающих (сохраняющиеся) при реконструкции малых фонтанов в сложившейся городской среде, в том числе при проведении работ по сохранению объектов культурного наследия на территории Санкт-Петербурга.

Материалы и методы. Методология основана на обобщении опыта проектирования благоустройства при выполнении работ по реконструкции более десяти городских фонтанов в Санкт-Петербурге завершённых и реализованных в форме капитального ремонта в период с 2022 по 2025 годы.

Результаты и их обсуждение. По результатам выполненных работ можно сформулировать наиболее характерные опасные факторы благоустройства скверов, возникающие (сохраняющиеся) при реконструкции фонтанов в сложившейся городской среде – социальные и архитектурно-технические.

К социальным факторам можно отнести скопления людей, вызывающих тревогу – распивающих спиртные напитки, стирающих одежду или спящих. Являются следствием стесненных условий – малые тротуарные зоны вокруг фонтана и расположенные на них лавки (скамьи) создают предпосылки для использования фонтана в качестве стола. Предполагаемые решения – исключение из элементов благоустройства лавок, расширение тротуарных зон вокруг фонтанов или замена их на газон.

Архитектурно-технические факторы включают ненормативные продольные/поперечные уклоны путей движения пешеходов (особенно маломобильных), аномально высокие и/или короткие ступеньки, застойные зоны поверхностных сточных вод. Являются следствием полного восстановления прилегающего к фонтану благоустройства без проведения реконструкции его элементов, что в свою очередь является следствием различной подведомственности фонтанов (ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга») и окружающих их скверов, в том числе содержащих сооружения их инженерно-технического (технологического) обеспечения (Комитет по благоустройству Санкт-Петербурга или управляющие компании многоквартирных домов).

Возможным исключением архитектурно-технических факторов может быть разработка и применение способа определения границ восстановления благоустройства при строительстве, реконструкции или капитальном ремонте малых сооружений в сложившейся городской среде, обеспечивающий водоотвод поверхностных сточных вод и безопасность движения пешеходов на всей территории сквера.

Выводы

Сквер и фонтан являются составными частями единого архитектурного ансамбля, что должно учитываться при планировании работ по сохранению объектов культурного наследия и создании новых мест комфортной городской среды.

Учет выявленных факторов может быть использован при обеспечении и оценке технико-экономического совершенства скверов в рамках новой методологии обеспечения и оценки комфорта и безопасности городской среды.

Библиография

1. Вишневская, Е. В. Формирование комфортной городской среды // Экономика знаний: теория, практика, перспективы развития: Сборник материалов Международной научно-

- практической конференции, посвященной 50-летию юбилею института, Донецк, 25 октября 2019 года / Научный редактор Н.В. Шемякина. – Донецк: Институт экономических исследований, 2020. – С. 513-523. – EDN PYCCJQ.
2. Шардаков, А. К. Реализация программ формирования комфортной городской среды как инструмент повышения качества жизни населения / А. К. Шардаков, О. Н. Козырева, С. Д. Воронин // Научное обозрение: теория и практика. – 2023. – Т. 13, № 3(97). – С. 363-372. – DOI 10.35679/2226-0226-2023-13-3-363-372.
 3. Харьковская, О. М. Взаимодействие органов исполнительной власти в формировании комфортной городской среды / О. М. Харьковская, В. В. Петрова // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. – 2024. – № 3(39). – С. 31-33.
 4. Полянцева, Е. Р. Формирование комфортной и безопасной жилой городской среды // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2023. – Т. 2. – С. 195-200. – EDN PTYRUU.
 5. Вариант оформления документа "Перечень контролируемых и измеряемых параметров" / Е. И. Кича, М. А. Кича, Д. С. Маловик [и др.] // Вестник МАНЭБ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 73-80. – EDN LEUPRP.
 6. Кича, М. А. Методика определения уровня технико-экономического совершенства продукции / М. А. Кича, Е. И. Кича // Вестник МАНЭБ. – 2022. – Т. 27, № 3. – С. 84-89.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЗОН И АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ «ГОРЯЧИХ ТОЧЕК» В ЗАНГИЛАНСКОМ РАЙОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНА

Алиев Ч.С., доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент Академии наук Азербайджана, - зав. отделом, e-mail: aliyev.chingiz47@gmail.com; **Гаджи-заде Ф.М.**, доктор технических наук., профессор, заслуженный инженер Азербайджана, главный научный сотрудник e-mail: fuad77amaka@mail.ru; **Ахади Ю.М.**, научный сотрудник, e-mail: yehedi@gmail.com; **Ахади Н.Ю.**, научный сотрудник, e-mail: nicatehedi@gmail.com; **Багирли Р.Дж.**, научный сотрудник, e-mail: bagirli@gmail.com; **Алиева А.Р.**, кандидат геолого-минералогических наук, e-mail: aliyeava22@gmail.com. Институт Геологии и Геофизики Министерства Науки и Высшего образования Азербайджана

Аннотация. Зангиланский район, расположенный на юго-западе Азербайджана, является жизненно важным регионом Карабаха, который характеризуется плодородными почвами, благоприятным климатом и богатыми природными ресурсами. Этот стратегический район столкнулся с серьезным экологическим и инфраструктурным ущербом за время своей 27-летней оккупации, включая эксплуатацию ресурсов, военные разрушения и наземные мины. После освобождения в 2020 году во время Второй Карабахской войны начались восстановительные работы, охватывающие сельскохозяйственную реконструкцию, восстановление жилья и инфраструктурные проекты. Однако решение экологических проблем, в частности радиоактивного загрязнения и выбросов радонового газа, остается критически важным для обеспечения безопасности человека и окружающей среды.

В этом исследовании используются два взаимодополняющих подхода. Во-первых, для выявления экологических горячих точек использовались географические информационные системы (ГИС) и анализ дистанционного зондирования. Спутниковые данные, такие как карта индекса

растительности, дали представление об экологическом состоянии региона. Во-вторых, полевые измерения с использованием портативного гамма-спектрометра оценили мощность дозы гамма-излучения и эффективные уровни активности изотопов, таких как ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th . Интеграция этих методов способствовала всестороннему пониманию радиоактивного загрязнения на местном и региональном уровнях.

Результаты направлены на выявление и оценку экологических рисков в процессе реконструкции Зангилана. Анализируя горячие точки и геологические структуры, это исследование устанавливает научную основу для минимизации рисков и руководства усилиями по устойчивой реконструкции.

Ключевые слова: Зангилан, радиоактивное загрязнение, выбросы радонового газа, ГИС, дистанционное зондирование, анализ горячих точ

*(Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки Азербайджана.
Грант № AEF-MQM-QA-2-2023-3(45)-05/03/2-M-03)*

STUDY OF RADIOACTIVE ZONES AND ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL NATURE OF “HOT SPOTS” IN THE ZANGILAN REGION OF AZERBAIJAN.

Aliyev Ch., Hajizadeh F., Ahadi Y., Ahadi N., Bagirli R., Aliyeva A.

Abstract. Zangilan district, located in southwestern Azerbaijan, is a vital region of Karabakh characterized by fertile soils, favorable climate, and rich natural resources. This strategic area faced severe environmental and infrastructural damage during its 27-year occupation, including resource exploitation, war-induced destruction, and landmines. After liberation in 2020 during the Second Karabakh War, reconstruction efforts began, encompassing agricultural redevelopment, residential rebuilding, and infrastructure projects. However, addressing the environmental impacts, particularly radioactive contamination and radon gas emission, remains critical for ensuring human and ecological safety.

This study adopts two complementary approaches. First, Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing analyses were employed to identify environmental hot spots. Satellite data such as vegetation index map provided insights into the region's ecological state. Second, field measurements using a portable gamma spectrometer evaluated gamma radiation dose rates and effective activity levels of isotopes like ^{40}K , ^{226}Ra , and ^{232}Th . The integration of these methods facilitated a comprehensive understanding of radioactive contamination at local and regional scales.

The findings aim to identify and assess environmental risks in Zangilan's reconstruction process. By analyzing hot spots and geological structures, this research establishes a scientific framework to minimize risks and guide sustainable redevelopment efforts.

Keywords: Zangilan, radioactive contamination, radon gas emission, GIS, remote sensing, hot spots analysis.

Введение.

Азербайджанская Республика, освободив свои территории от оккупации, вступила в новый этап исторического развития. Этот этап, характеризующийся масштабными проектами реконструкции и развития, основанными на принципах устойчивого мира и прогресса, служит примером для многих стран. После Отечественной войны были предприняты значительные усилия по разминированию освобожденных территорий, строительству современной жилой, промышленной и сервисной инфраструктуры, восстановлению экономической деятельности, транспортных и коммуникационных сетей.

Общеизвестно, что 30-летняя оккупация Арменией азербайджанских территорий нанесла серьезный экологический ущерб из-за различных техногенных мероприятий и военных операций.

В период оккупации на этих территориях, оставшихся вне контроля международных экологических организаций, произошло нарушение экосистем и возникли радиоэкологические проблемы. Одним из основных источников этой радиоэкологической катастрофы стало использование обедненного урана во время войны. Эксперты полагают, что воздействие обедненного урана на почву не только вызывает радиоактивное загрязнение, но и значительно увеличивает риск возникновения злокачественных заболеваний и генетических нарушений у местного населения в будущем. Кроме того, радиоактивное загрязнение изменяет температуру поверхности почвы, в конечном итоге разрушая растительный покров. Эти неблагоприятные эффекты затрудняют сельскохозяйственную деятельность и вызывают опасения относительно потенциальной вредности выращиваемых в этом районе культур для здоровья человека.

Влияние обедненного урана на окружающую среду и температуру поверхности почвы было тщательно изучено с использованием технологий дистанционного зондирования и полевых исследований. Спутниковые снимки высокого разрешения способствовали обнаружению изменений поверхности почвы, выявлению горячих точек и анализу экологического состояния этих территорий. Целью данной статьи является демонстрация эффективности методов дистанционного зондирования при исследовании регионов радиоактивного загрязнения, анализ изменений температуры поверхности почвы в этих областях и оценка влияния этих изменений на растительность и сельское хозяйство. [1]

Исследования ГИС

Географические информационные системы (ГИС) являются современной технологией для анализа больших территорий и оценки экологических изменений. Анализы на основе ГИС были проведены для выявления радиоактивных зон в Зангиланском районе. Используя спутниковые снимки Landsat 8-9 (Рисунок 1), были изучены радиоактивные зоны и активность распределения радонового газа в Зангиланском районе, а также проанализирована геологическая природа «горячих точек». Кроме того, были определены яркостная температура, индекс растительности, влажность почвы и температура поверхности земли, а также оценены потенциальные зоны риска. Анализы были выполнены с использованием программного обеспечения ArcMap. [2]

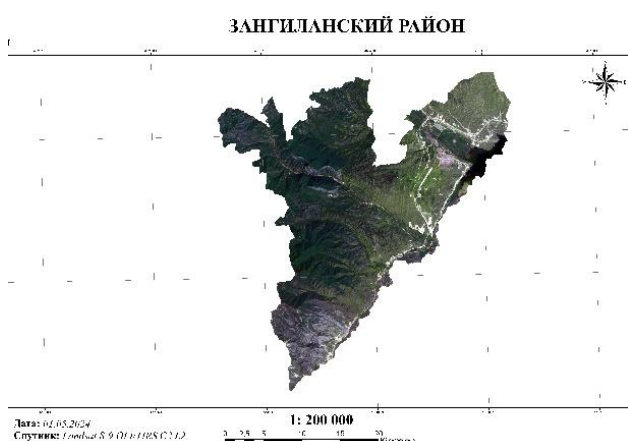


Рисунок 1. Спутниковый снимок Landsat 8-9 Зангиланского района

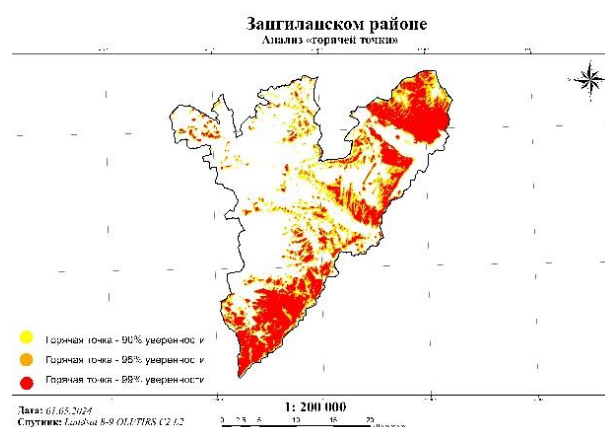


Рисунок 2. Зангиланский район – анализ «горячей точки»

Выявление «горячих точек».

«Горячие точки» — это области, характеризующиеся высокими показателями радиации или температуры, и эти точки несут потенциальный риск для окружающей среды и здоровья человека. На карте Зангиланского района «горячие точки» наблюдались в основном в областях с высокими яркостными температурами. (Рисунок 2.)

Плотность радиоактивных изотопов, особенно ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , в этих точках высока и требовала детального исследования с точки зрения воздействия на окружающую среду. Эти точки, расположенные вблизи сельскохозяйственных угодий и водных источников, требовали более серьезного мониторинга и мер вмешательства.

Данные, полученные из «горячих точек», интегрируются с анализами ГИС и оказывают важную поддержку для более точной оценки воздействия радиации и управления потенциальными экологическими рисками. [3]

Анализ «горячих точек», проведенный в районе Зангелана, позволил провести масштабную идентификацию потенциально радиоактивных зон в регионе. Зоны, отмеченные красным цветом, указывают на наличие высоких радиационных или тепловых аномалий и связаны с высокими концентрациями изотопов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th .

Проекция «горячих точек» на спутниковые снимки позволила более точно понять их географическое положение и связь с окружающей средой. Было отмечено, что эти точки в основном сосредоточены в долинах и районах с низким растительным покровом, что указывает на роль как природных факторов, так и антропогенного воздействия.

Эти анализы считаются важной отправной точкой для классификации «горячих точек» и оценки их потенциальных экологических воздействий. Кроме того, был сделан вывод о том, что эти анализы необходимо проводить совместно с полевыми исследованиями для выявления зон, представляющих риск для окружающей среды и здоровья человека. [4]

Карта «горячих точек» классифицируется на основе 3 различных уровней: 90%, 95% и 99%. Эта классификация позволяет более точно оценить потенциальный уровень риска территорий.

- Уровень 90%: показан желтым цветом, и эти территории представляют относительно низкую вероятность радиационного воздействия. Однако эти территории также следует рассматривать для мониторинга окружающей среды.

- Уровень 95%: показан оранжевым цветом и представляет собой территории с более высокой вероятностью радиационного воздействия. Эти территории требуют приоритетного исследования, поскольку они связаны как с сельским хозяйством, так и с водными источниками.

- Уровень 99%: показан красным цветом и представляет собой самую высокую вероятность радиационного воздействия. Эти точки считаются зонами особого риска и были начальными территориями для получения образцов почвы во время полевых исследований для измерения уровней радиации.

Достоверность анализа «горячих точек».

Как упоминалось ранее, анализ «горячих точек» является эффективным инструментом для выявления экологических рисков и радиоактивных участков. Однако для повышения достоверности результатов и подтверждения их точности были проведены сравнительные анализы с различными экологическими показателями. В этом исследовании для детального изучения физических и экологических характеристик горячих точек использовались анализы влажности почвы, яркостной температуры, температуры поверхности земли и индекса растительности.

Каждый анализ оценивал характеристики «горячих точек» с разных точек зрения и позволял лучше понять экологические риски этих областей. [5]

Яркостная температура и «горячие точки».

Результаты анализа яркостной температуры показали, что высокие значения яркостной температуры совпадают с «горячими точками». Это указывает на то, что тепловые аномалии могут наблюдаться в областях, где присутствуют радиоактивные изотопы. Эти результаты, помимо подтверждения достоверности анализа «горячих точек», указывают на то, что изменения температуры поверхности могут использоваться для выявления радиоактивных участков. (Рисунок 3.) [6]

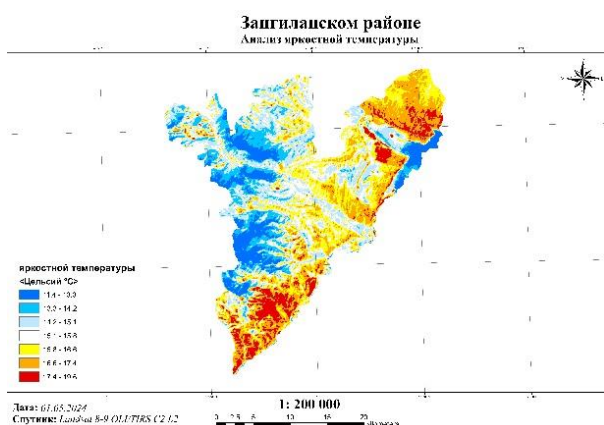


Рисунок 3. Зангилашский район – Анализ яркостной температуры

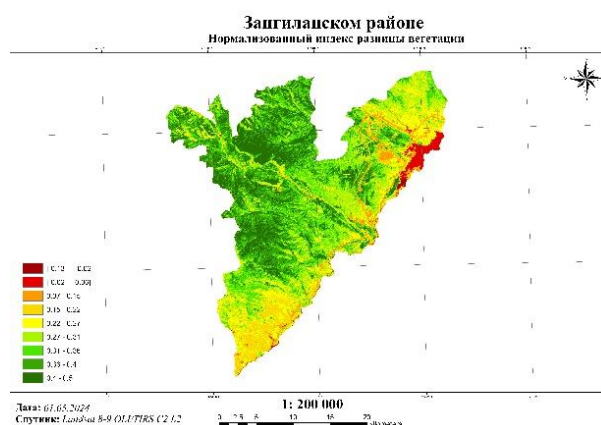


Рисунок 4. Зангилашский район – Анализ индекса растительности

Индекс растительности и «горячие точки».

Анализ индекса растительности показал, что «горячие точки» обычно располагаются в районах с низкими значениями индекса растительности. По мере уменьшения индекса растительности интенсивность «горячих точек» увеличивается. Негативное влияние радиоактивных изотопов и послевоенных воздействий на растительность наглядно демонстрируют результаты индекса растительности. Кроме того, было отмечено, что в районах с высокой плотностью радиоактивности развитие растительности ослабевает, а баланс экосистемы нарушается. (Рисунок 4.) [7]

Влажность почвы и «горячие точки».

Анализ влажности почвы показал, что «горячие точки» обычно располагаются в областях с низкими значениями влажности. Низкая влажность почвы связана с низким растительным покровом и плохой водоудерживающей способностью в этих областях. В частности, отсутствие влажности почвы в засушливых и бесплодных областях указывает на то, что эти области больше подвержены экологическому стрессу. Кроме того, низкий уровень влажности может увеличить подвижность радиоактивных изотопов, что приводит к распространению радиоактивного загрязнения. Эти результаты демонстрируют значительную связь между влажностью почвы и «горячими точками». (Рисунок 5.) [8]

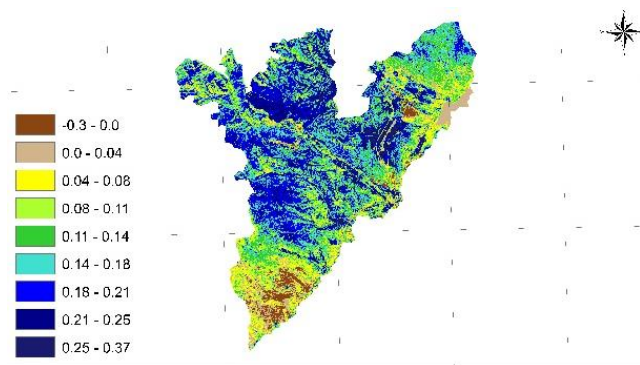


Рисунок 5. Зангиланский район – Анализ влажности почвы

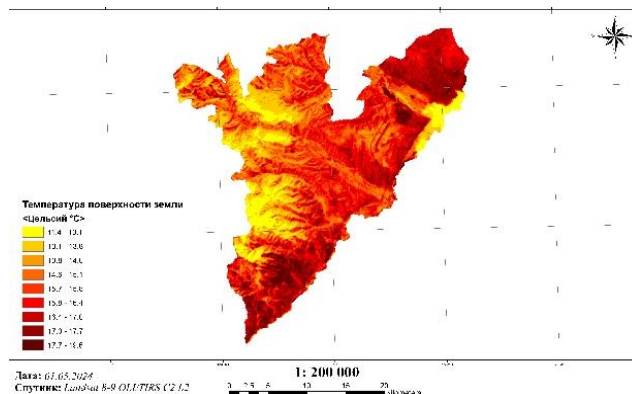


Рисунок 6. Зангиланский район – Анализ температуры поверхности

Температура поверхности и «горячие точки».

Анализ температур поверхности показал, что горячие точки имеют более высокую температуру поверхности, чем окружающая среда. Температура поверхности может повышаться в областях, где присутствуют радиоактивные изотопы, что является индикатором тепла, излучаемого поверхностью. Этот анализ подтверждает влияние радиации на температуру поверхности в областях горячих точек и предполагает, что послевоенные физические изменения могли повлиять на температуру в этих областях. (Рисунок 6.) [9]

Заключение

Комбинированный анализ этих анализов позволил провести более детальную оценку воздействия горячих точек на окружающую среду. Анализы влажности почвы, яркостной температуры, температуры поверхности земли и индекса растительности предоставили убедительные доказательства, подтверждающие обоснованность анализа горячих точек. В частности, соответствие результатов индекса растительности и температуры поверхности земли горячим точкам дополнительно продемонстрировало эффективность этих методов для определения радиоактивных участков. Эти результаты показывают, что анализ горячих точек является критически важным инструментом не только для выявления экологических рисков, но и для детального понимания этих рисков. [10]

Библиография

1. J.R. Jensen (2018) Remote Sensing for Environmental Monitoring: 156–189.
2. N. Chrisman (2018) Geographic Information Systems and Environmental Applications: 202-229
3. G. S. Johnson (2020) Environmental Radioactivity and Risk Assessment: 112-138
4. R. T. Matthews (2018) Geospatial Analysis of Environmental Risks: 185-202
5. J. D. Smith and K. L. Turner (2016) Remote Sensing and GIS for Environmental Studies: 120-135
6. M. N. Gill and P. R. Harper (2018) Thermal Remote Sensing in Environmental Studies: 45-60
7. J. L. Smith and A. R. Thomas (2017) Remote Sensing of Vegetation and Environmental Health: 87-102

УДК 528.88

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ГАЗОВЫХ И АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ

Эль-Салим С.З. доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории, АО «ГосНИИХиманалит»; **Михайленко В.С.** научный сотрудник, e-mail: vamih60@yandex.ru; **Кириллова Н.В.** научный сотрудник, ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Аннотация. Статья посвящена основным современным методам и средствам оперативного дистанционного контроля газовых и аэрозольных выбросов на опасных энергетических и промышленных объектах; аналитическим возможностям, имеющимся на сегодняшний день активных и пассивных методов дистанционного зондирования (контроля) ядовитых отравляющих веществ, радиоактивных веществ и бактериальных аэрозолей.

Ключевые слова: отравляющие вещества, газоанализаторы, дистанционное зондирование, пассивный и активный методы, спектральный метод анализа, лазерная и микроволновая спектроскопия, лидары, диодная лазерная спектроскопия.

ANALYTICAL REVIEW OF OPERATIONAL REMOTE SENSING METHODS FOR HAZARDOUS GAS AND AEROSOL EMISSIONS

El'-Salim S.Z., Mikhailenko V.S., Kirillova N.V.

Annotation. The article is devoted to the main modern methods and means of operational remote monitoring of gas and aerosol emissions at hazardous energy and industrial facilities; analytical capabilities of active and passive remote sensing (control) methods of toxic substances, radioactive substances and bacterial aerosols available today.

Keywords: toxic substances, gas analyzers, remote sensing, passive and active methods, spectral analysis method, laser and microwave spectroscopy, lidar, diode laser spectroscopy.

В настоящее время актуальность задач оперативного контроля газовых, аэрозольных и радиоактивных выбросов опасных энергетических и промышленных объектов резко возрастает. Это связано, прежде всего, с современной политической обстановкой в мире: расширением блока НАТО к границам Российской Федерации, появлением очагов вооруженных конфликтов в сопредельных государствах, угрозой терроризма с применением вредных, токсичных, а также и радиоактивных химических веществ [1, 2].

Контроль состояния химической и экологической обстановки вблизи крупных технологических комплексов и военных объектов с целью предотвращения крупномасштабных аварий, террористических актов и других проявлений является важной государственной проблемой. Однако, проводимые меры по защите окружающей среды и человека на этих предприятиях и полигонах по уничтожению высокотоксичных материалов недостаточны. Существует большая вероятность аварийных выбросов высокотоксичных молекулярных соединений, отравляющих (ОВ), сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) и бактериальных аэрозолей (БА), а также и радиоактивных веществ (РВ) [3-12].

В первую очередь речь идет о возможных последствиях аварийных ситуаций с участием высокотоксичных соединений и РВ. Кроме того, методы оперативного контроля приобретают все возрастающее значение для контроля за незаконным оборотом ОВ и СДЯВ на стадиях изготовления, транспортировки и хранения, мониторинга состояния окружающей среды при проведении работ по уничтожению ОВ.

Вопрос локального обнаружения и идентификации ОВ во время военных конфликтов, в том числе и противодействия химическому терроризму, широко изучается. Создана и используется аппаратура на основе методов газовой хроматографии, спектрометрии ионной подвижности и ряда других.

Вместе с тем, очевидно, что существует потребность в эффективных и чувствительных методах дистанционного контроля СДЯВ, ОВ и БА, которые обеспечивают личную безопасность операторов при проведении измерений в агрессивных средах при высоких уровнях химического заражения или аномальных режимах измерений. Необходимы мобильные (носимые и возимые) измерительные комплексы, позволяющие с достаточной чувствительностью вести дистанционные измерения (зондирование) в реальном масштабе времени [13].

В настоящей статье рассмотрены аналитические возможности имеющихся на сегодняшний день активных и пассивных методов дистанционного зондирования (контроля) ОВ, РВ, СДЯВ и БА, основанные на достижениях спектроскопии поглощения, флуоресценции, микроволновой (МВ) спектроскопии и др., а также проводится анализ тенденций их развития.

К одним из наиболее перспективных и быстро развивающихся направлений дистанционного мониторинга объектов окружающей среды можно отнести спектральные методы анализа в УФ, видимом, ИК и СВЧ областях спектра [14]. Анализ природных катаклизмов, техногенных катастроф, терактов и других проявлений, имевших место в мире за последние 10-15 лет, показал, что особо опасные газовые и аэрозольные выбросы относятся в основном к веществам со сложной молекулярной структурой [15-17].

Как известно, существуют два метода зондирования объектов: локальный и дистанционный. Дистанционный служит для получения информации об объекте или явлении без непосредственного контакта с ним [18].

На первый взгляд, различие между локальными и дистанционными методами, использующими одни и те же механизмы взаимодействия излучения с веществом, минимально, и единственным различием является так называемая «задача распространения» зондирующего и информационного потоков излучения в атмосфере с заданными параметрами. В то же время, дистанционные методы позволяют решать ряд задач мониторинга окружающей среды и в ряде случаев могут быть незаменимыми. В такой ситуации дистанционные методы и средства мониторинга параметров аэрозольных выбросов и скоплений фрагментов, и микрочастиц ОВ и БА на поверхностях представляют собой единственный надежный и практически безопасный для персонала метод измерения.

Наиболее ярко выраженная специфика дистанционных методов и средств состоит в использовании направленных потоков излучения для получения и переноса полезной информации. Здесь могут использоваться потоки излучения как естественного происхождения (пассивные), так и специально создаваемые высоконаправленные потоки излучения для реализации процесса дистанционного зондирования – в этом случае речь идет об активных системах и методах зондирования.

Можно следующим образом классифицировать методы зондирования:

активное дистанционное зондирование это мониторинг, при котором объекты окружающей среды зондируются электромагнитным излучением и регистрируются эффекты его взаимодействия с газовыми, аэрозольными примесями и загрязнениями различных поверхностей. Эти эффекты различают по следующим видам физических явлений:

- обратное упругое рассеяние (молекулярное или аэрозольное);
- обратное неупругое рассеяние (комбинационное рассеяние света и люминесценция) и переизлучение (вторичное ИК-излучение);
- дифференциальное поглощение или рассеяние.

пассивное дистанционное зондирование это мониторинг, при котором регистрируются эффекты взаимодействия электромагнитного излучения естественных источников с примесями химической природы или собственное излучение анализируемых примесей на трассе наблюдения.

Пассивные методы дистанционного зондирования. Основными областями применения метода пассивного зондирования являются:

- мониторинг химически- и радиохимически опасных предприятий и производств;
- нахождения мест утечек экологически-, взрыво- и пожароопасных газов;
- оперативный контроль атмосферного воздуха при различных ЧС;
- специальные задачи в условиях применения токсичных химикатов, ОВ и БА.

Известно, что при работе предприятий как в штатном режиме, так и при аварийных выбросах длительное время наблюдается «свечение» воздуха, обусловленное ионизирующим воздействием от какого-либо источника на атмосферные газы. Под действием ионизирующего воздействия происходит возбуждение компонента воздуха, различные химические реакции, приводящие к разложению атмосферных газов и паров воды. В результате в атмосфере появляется большое количество возбужденных атомов и ионов, релаксирующих к исходному состоянию с излучением энергии. Использование этих излучений в качестве индикаторов химического загрязнения открывает возможности создания принципиально новых пассивных методов диагностики различных объектов [4, 5].

Основные требования, предъявляемые к таким индикаторам – стабильность их концентрации в атмосфере и концентрационная чувствительность к действию ионизирующих воздействий. При таком подходе реакционные процессы в атмосфере можно рассматривать не только как процессы, ответственные за изменение ионов, но и как процессы рождения таких компонент, как атомы N, O, H, возбужденные молекулы N₂, молекулы NO, NO₂, NO₃, радикалы OH, ионы H₃O⁺ и ряд других.

Пассивное зондирование химических соединений основывается на спектральном анализе их собственного излучения. Рабочий диапазон в этом случае выбирается из соображения максимума излучения паров и газов химических соединений при типичных значениях температуры воздуха в атмосфере и наличия окна прозрачности атмосферы. Эти факторы определяют для целей пассивной локации средний ИК-диапазон 7-13 мкм (770-1400 см⁻¹).

В качестве основного технического решения при пассивной локации в последнее время рассматриваются методы ИК Фурье - спектрометриии (ФСР). Развитие методов ИК ФСР обусловлено возможностью реализации беспробоотборной методики по идентификации и определению концентраций загрязнителей на открытых трассах в реальном времени [19].

Важнейшими практическими достоинствами ИК ФСР являются:

- сравнительно высокая светосила, одновременность регистрации протяженных участков спектра (измерения всех компонент исследуемой среды) за короткое время, возможность накопления сигнала;
- постоянство спектрального разрешения во всем рабочем спектральном диапазоне;
- сравнительно высокая быстрота регистрации всех компонент исследуемой среды.

Метод ФСР может быть применен в аналитических задачах по дистанционной диагностике ОВ и СДЯВ, а также кислот, аминов, тяжелых углеводородов и других веществ, которые могут входить в состав аварийных выбросов на опасных энергетических и промышленных объектах.

Активные методы дистанционного зондирования. Активные дистанционные методы зондирования атмосферы основаны на использовании лазеров с длинами волн от УФ- до ИК-диапазона и источников МВ излучения. При этом используются данные по различным типам спектров молекул, связанных с электронным поглощением, комбинационным рассеянием (КР) и люминесценцией в УФ- и видимом диапазонах, ИК поглощением на основных, составных переходах и обертонах, поглощением на вращательных переходах и т.д. Анализ спектров примесей показывает, что из-за большого разброса спектральных параметров оказывается затруднительно выбрать универсальный тип лазерного локатора (лидара) или спектрорадиометра для обнаружения всей гаммы загрязнителей с одинаково низкими пределами обнаружения и высокой селективностью. В лидарных системах, работающих в режиме приема обратного сигнала, используются в основном лазеры и другие источники УФ-, видимого, ИК- и СВЧ диапазонов. Многочастотные лазеры используются для работы в режиме дифференциального поглощения с отражением сигналов от катафотов или топографических объектов и дифференциального рассеяния при отражении от аэрозолей [20].

Активные дистанционные средства зондирования атмосферы основаны, как правило, на использовании лазеров с длинами волн генерации от УФ- до дальнего ИК-диапазона. К методам активного дистанционного лазерного контроля можно отнести:

- мониторинг выбросов в атмосферу вблизи опасных химических и радиохимических производств и контроль за газовой-аэрозольными утечками на этих предприятиях;
- выявление ЧС, оценка обстановки по загрязненности атмосферы при авариях и терактах;
- определение динамики распространения газовой-аэрозольных облаков, содержащих экологически опасные компоненты, в атмосфере при широкомасштабных техногенных катастрофах (терактах) и картирование зон заражения;
- использование в антитеррористических целях – оперативное обнаружение токсичных химических веществ в различных местах концентрации населения;
- дистанционный контроль (например, с борта вертолета, самолета или беспилотного летательного аппарата – БПЛА) выбросов специфических газов и аэрозолей с различных объектов в третьих странах с целью их идентификации.

Среди лазерно-оптических методов детектирования загрязнителей атмосферы, основанные на поглощении лазерного излучения, наибольшее развитие получили следующие:

1. Методы, регистрирующие изменение интенсивности оптического луча при прохождении по трассе, которые применяются в спектральном диапазоне от УФ до средней ИК области и позволяют детектировать малые концентрации примесей дистанционно на расстояниях более 10

км. Предельная чувствительность по измерению коэффициента поглощения примеси в отдельных случаях достигает 10^{-10} - 10^{-12} см⁻¹.

2. Методы, основанные на генерации акустических волн при поглощении лазерного излучения или оптико-акустические (ОА) методы.

Наибольшая чувствительность активных методов зондирования по поглощению (10^{10} - 10^{11} см⁻¹ и выше) реализуется при локальной диагностике, однако возможны и дистанционные системы с дальностью действия в пределах 10-100 м.

Чувствительность для ОВ и СДЯВ методом ФСР (дистанция 100 м, спектральное разрешение – 4 см⁻¹, экспозиция – 60 с

Соединение	Молярная масса, г/моль	Коэффициент экстинкции, м ² /мг	Предельно обнаруживаемая концентрация	
			мг/м ³	ppb
Табун	162	0,0006	1	150
Зарин	140	0,0012	5	80
Зоман	182	0,0008	8	100
Люизит	207	0,0003	2,1	250
Синильная кислота	27	0,0018	0,3	300
Фосген	99	0,0014	0,4	110

Активные методы позволяют производить идентификацию молекул БА, ОВ, СДЯВ благодаря особенностям их электронно-колебательных спектров.

Методы диодной лазерной спектроскопии. Одним из наиболее перспективных лазерно-оптических методов, как для локального, так и для дистанционного зондирования является метод диодной лазерной спектроскопии (ДЛС).

В настоящее время диодные лазеры (ДЛ) различных типов перекрывают огромный спектральный интервал от ближнего УФ до дальнего ИК-диапазонов. В этом диапазоне находятся полосы поглощения практически всех молекул, представляющих практический интерес, что позволяет обеспечить их детектирование на единой аппаратной и методической основе.

В НИЦ «Курчатовский институт» совместно с Военной академией РХБЗ и ИВ им. С.К. Тимошенко (г. Кострома) предложен способ дистанционной индикации аэрозолей ОВ на основе метода дифференциального поглощения (ДП) и рассеяния (ДР) в области составных частот и обертонов С-Н колебаний с использованием ДЛ ближнего ИК-диапазона [21, 22].

Определение аналитических возможностей методов ДП и ДР по дистанционной индикации аэрозолей V-газов предполагает наличие информации по оптическим постоянным и спектральным зависимостям обратного рассеяния аэрозолей V-газов и мешающих примесей в исследуемом диапазоне. Для ближней ИК области спектра, в частности, для диапазона обертонов и составных СН-колебаний (0,8-2,5 мкм), такие данные отсутствуют. Поэтому расчеты выполнены в действительной и мнимой части комплексного показателя преломления V-газов, их моделей, мешающих примесей и спектрального хода факторов эффективности обратного аэрозольного рассеяния указанных веществ. Рассчитаны возможные дальности дистанционного обнаружения аэрозолей V-газов методом ДР в ближнем ИК – диапазоне лидаром на основе ДЛ ($E_{имп}$ – 500 мкДж, $t_{имп}$ – 30 нс) и различных типов приемников. Дальность достоверного обнаружения данного метода, в силу низкой интенсивности обратно рассеянного излучения, колеблется в пределах 100-500 м, при этом время экспозиции превышает 3-5 мин, что значительно снижает метрологические характеристики.

Методы лазерно-индуцированной флуоресценции. Метод лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) основан на измерении и интерпретации спектров флуоресценции, индуцированной в исследуемом объекте при его освещении монохроматическим излучением (рисунок 1). Поскольку спектральный состав флуоресцентного отклика связан с молекулярной структурой исследуемых объектов, анализ спектров флуоресценции позволяет идентифицировать вещество и определить его концентрацию в объекте. Применение лазеров делает возможным проведение такого анализа в дистанционном режиме.



Рис. 1. Схема эксперимента по дистанционной диагностике HF в открытой атмосфере

Рисунок 1 – Пример схемы, реализующей метод лазерно-индуцированной флуоресценции

В спектрах ЛИФ одного из возможных компонентов аварийного выброса на объектах ЯТЦ – уранила UO_2 [7] – проявляется характерная структура, состоящая обычно из 6-8 полос в интервале длин волн 470-630 нм, причём наиболее интенсивными являются полосы в области 470–530 нм. Уранил-ионы UO_2^{2+} могут образовывать флуоресцирующие соединения со многими веществами, содержащимися в воде, почве, на различных поверхностях, что позволит обнаруживать выбросы компонентов ядерного топлива в объектах окружающей среды.

Поверхностная чувствительность обнаружения токсичных соединений составляет 10^{-1} г/м^2 на расстоянии 1 км. При зондировании с расстояния 100 м (например, ведение мониторинга с вертолета) чувствительность обнаружения может составить $10^{-4} \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$, а в случае анализа вод – $10^{-3} \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Однако следует иметь в виду, что из-за неоднозначности многих параметров при дистанционном количественном определении токсичных соединений на различных поверхностях и в водоёмах необходима калибровка аппаратуры в каждом конкретном случае.

Методы лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии. Среди нелинейно-оптических методов дистанционного зондирования широкое распространение получили методы анализа элементного состава, основанные на лазерной абляции или образовании лазерной искры (рисунок 2). При плотности мощности лазерного импульса, превышающей порог режима абляции, происходит микровзрыв с образованием кратера на поверхности образца и светящейся плазмы вместе с разлетающимися твёрдыми и аэрозольными частицами. Регистрируя и анализируя эмиссионный спектр лазерной плазмы, характеристические линии атомов и молекул, возбужденных в плазме, можно определить элементный состав объекта, а в ряде случаев – молекулярный состав находящихся в плазме частиц [23].

Большой интерес вызывают аналитические возможности ЛИЭС для контроля аварийных и штатных (технологических) атмосферных выбросов предприятий, которые, как правило, сопровождаются генезисом большой группы аэрозолей, содержащей токсиканты. При этом практически единственным дистанционным способом экспресс-анализа элементного состава аэрозольной фазы в атмосфере является спектрохимический эмиссионный анализ веществ в

протяженной лазерной искре. Одним из эффективных источников излучения при использовании спектрохимического метода в атмосферных условиях является импульсный CO_2 -лазер с длиной волны 10,6 мкм, так как в этой области имеются сильные полосы поглощения большинства конденсированных веществ и наблюдается высокая эффективность процессов каскадной ионизации в парах.

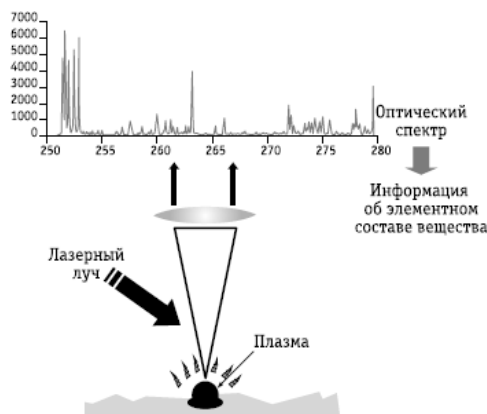


Рисунок 2 – Пример схемы, реализующей метод лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии

Для грубодисперсных частиц различного химического состава размером более 3 мкм пороги пробоя практически не зависят от их размеров, для субмикронных частиц пороги монотонно возрастают, приближаясь к порогу пробоя чистого воздуха.

Для больших концентраций грубодисперсного аэрозоля порог пробоя уменьшается на порядок за счет реализации коллективного механизма ионизации. Следует отметить, что достигнутые в настоящее время энергетические характеристики Nd-YAG и HF(DF)-лазеров, также позволяют применять их в качестве источников возбуждения плазменных образований на аэрозолях.

Важным преимуществом метода прямого спектрального анализа элементов по их эмиссионным спектрам является его высокая чувствительность к малым концентрациям детектируемого элемента, что позволяет решать проблему обнаружения содержания высокотоксичных и радиоактивных элементов. Достигнуты следующие технические характеристики аэрозольного спектрохимического лидара: дальность зондирования до 250 м; пространственное разрешение – 3-6 м; средняя концентрационная чувствительность – 0,1-100 мкг/м³.

Методы лазерной оптико-акустической спектроскопии. Методы лазерной оптико-акустической спектроскопии (ЛОАС) уже в течение 40 лет широко применяются для исследования спектров поглощения различных сред в широком диапазоне давлений и температур при использовании излучения от УФ- до радиоволновой области [24].

Метод ЛОАС основан на оптико-акустическом (ОА) эффекте, заключающемся в возникновении акустических колебаний в образце при воздействии на поглощающую газовую среду модулированного по амплитуде (или частоте) лазерного излучения. В результате поглощения газ нагревается и в объеме среды возникают колебания давления (звук) на частоте модуляции источника излучения. Метод ЛОАС относится к группе методов, основанных на схеме прямого детектирования, в которых детектором поглощенной мощности является сам образец.

Очевидные преимущества ОА-метода в сочетании с использованием достаточно мощных перестраиваемых по частоте лазеров делают его особенно привлекательным для решения задач,

требующих измерения слабого поглощения излучения молекулярными газами (средами). В первую очередь, это касается задач газового анализа при измерениях малых и сверхмалых концентраций молекул (порядка 10^9 - 10^{13} см⁻³) в газовой среде в ограниченном объеме с использованием специализированных ячеек, снабженных оптико-акустическими датчиками (ОАД). Для ЛОАС дальность обнаружения ограничена и составляет не более 1-3 м.

Методы микроволновой спектроскопии. Миллиметровый диапазон волн (30-300 ГГц) характеризуется рядом особенностей распространения в атмосфере. Так, отмечаются максимумы поглощения водяных паров на частотах 26 и 188 ГГц, при этом на частоте 188 ГГц ослабление составляет 30 дБ/км. Атмосферный кислород имеет максимум поглощения на частотах 60 ГГц (16 дБ/км) и 118,7 ГГц (2,5 дБ/км). Наряду с указанными резонансами, в этом диапазоне имеются окна прозрачности на длинах волн 8,6, 3,2, 2,1 и 1,2 мм, где ослабление излучения составляет всего 0,5-0,05 дБ/км.

Разработка надежных монохроматических источников миллиметровых (мм) и субмиллиметровых волн открыла возможность создания быстродействующих компактных приборов на базе газовой МВ спектроскопии. Причем достигнутая разрешающая способность МВ спектрометров позволяет реализовать в мм и субмм диапазонах высокую специфичность спектров (в этих диапазонах расположено порядка 106 спектральных линий). В результате появилась возможность прецизионного исследования в этом диапазоне МВ спектров ряда органических веществ, включая ОВ, СДЯВ и др. [25-29].

Вращательный спектр представляет собой своеобразный «паспорт» молекулы, при этом малейшее изменение молекулярной структуры может радикальным образом изменить ее спектр. Вращательные спектры молекул настолько характерны, что измерения на одной линии бывает достаточно, чтобы определить молекулу (или ее фрагмент), которым эта линия принадлежит. Аппаратура этого диапазона позволяет наблюдать линии поглощения, ширина которых не превышает 0,25 МГц. Это допускает размещение, например, в диапазоне 20-40 ГГц порядка 4104 линий и позволяет выделить линии принадлежащих каждому из газов, находящихся в смеси.

Для выяснения возможности использования вращательных спектров компонентов ракетных топлив для дистанционного зондирования атмосферы с помощью методов МВ спектроскопии проанализированы вращательные спектры гептила и одного из самых ядовитых продуктов его химической трансформации – НДМГ в диапазоне длин волн 2,9-4,0 мм [30].

На основании анализа имеющихся спектральных данных можно утверждать, что имеющиеся на сегодняшний день спектрометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазона позволяют регистрировать концентрации примесей гептила и НДМА в воздушной среде с чувствительностью не хуже 4×10^{-3} мг/л при времени измерения 1-2 мин, на расстоянии не более 100 м.

Отметим, что работ, в которых описаны результаты дистанционного МВ зондирования ОВ, РВ и СДЯВ, пока нет. Возможно, решение вопросов о чувствительности МВ радаров, выборе аналитического участка длин волн, дальности трассы зондирования с учетом пропускания атмосферы позволит в ближайшем будущем обеспечить обнаружение и идентификацию ОВ, СДЯВ и КРТ в атмосфере на дистанции от 100 м и до 500 м более с чувствительностью не хуже 10^{-5} г/м³ в сочетании с высокими быстродействием и точностью контроля.

Выводы и перспективы

Анализ существующих в настоящее время дистанционных методов зондирования показывает, что наиболее полно общим требованиям работы в реальных условиях, таким как:

- мониторинг в режиме реального времени;
- высокая чувствительность (на уровне ПДК);
- низкий уровень ложных тревог и др.,
- могут удовлетворять методы, использующие явления, возникающие при поглощении и излучении света ИК, видимого и УФ диапазонов искомыми молекулами.

Приведенные результаты по разработке и созданию информационно-измерительных комплексов на базе метода спектрорадиометрии в УФ, ИК, СВЧ диапазонах указывают на некоторую перспективность разработки комплексов пассивной локации химических соединений в атмосфере на малых дистанциях.

Исследования последних лет по разработке панорамных дистанционных газоанализаторов на основе тепловизионной камеры с матричным фотоприемным устройством позволяют формировать изображения облаков газов и аэрозолей.

Другой модификацией дистанционного газоанализатора может стать устройство на основе акустооптического ИК – спектрометра для визуализации газово-аэрозольного облака и его компонентов. Такое устройство, снабженное малогабаритным сканером верхней полусферы зондируемого пространства, может обеспечить получение изображений газово-аэрозольных облаков с хорошим пространственно-временным разрешением.

Использование технологий активного дистанционного лазерного контроля высокотоксичных соединений, основанных на ряде методов лазерной спектроскопии, позволяет проводить измерения следовых количеств HF, OB, СДЯВ и КРТ на дистанциях, не превышающих 100-500 м.

В то же время в задачах активного зондирования следовых количеств OB, СДЯВ, КРТ методами лазерной спектроскопии остается ряд нерешенных проблем.

Из методов, которые пока не получили реализации для целей дистанционного зондирования в атмосфере, необходимо отметить метод ЛОАС.

Для достоверного научно-технического обоснования перспективности различных методов внелабораторного дистанционного беспробоотборного обнаружения и идентификации широкого перечня веществ необходимо сформулировать более конкретно все возможные постановки задач обнаружения и идентификации для различных видов OB. При формулировании постановок задач следует не только уточнить возможный перечень OB, но и условия, в которых может осуществляться такой анализ.

Таким образом, в каждой постановке задачи предлагается отражать требования к:

- селективности (минимально оптимальный перечень веществ);
- чувствительности;
- быстродействию;
- надежности и достоверности обнаружения и идентификации;
- портативности и энергопотреблению;
- системе сигнализации и передачи измерительной аппаратуры на внешнюю аппаратуру сбора и передачи информации;
- стоимости и т.п.

Необходимость таких уточнений можно проиллюстрировать на примере решения задачи дистанционного обнаружения и идентификации токсичных веществ в воздухе, решенной с применением следующих методов: КРС; ИК-спектроскопии; лазерной спектроскопии, спектроскопии дифференциального поглощения.

Для анализа твердых веществ и жидкостей применяется метод КРС. В случае, когда перечень детектируемых веществ ограничен парами различных по составу токсичных соединений, наиболее перспективными представляются методы ИК-спектроскопии. Для задач детектирования простых газов наиболее эффективны методы лазерной спектроскопии (например, метод лазерно-индуцированной флуоресцентной спектроскопии).

Лидарные системы, реализующие метод дифференциального поглощения, могут быть использованы при детектировании токсичных аэрозолей. Следует отметить, что во всем мире ведутся исследования по расширению возможностей практического применения различных методов обнаружения ОБ, в том числе с учетом достоинств и недостатков альтернативных методов.

Таким образом, решение этих проблем позволит производить эффективное дистанционное зондирование окружающей среды (в т.ч. с борта авианосителя) методами лазерной спектроскопии. Определяемые этими методами величины концентраций ряда опасных веществ, в том числе ОБ и БА, являются приемлемыми для мониторинга опасных загрязнений атмосферы, водоемов и почвы вблизи опасных энергетических и промышленных объектов.

Очевидно, что применение спектроскопических методов в лидарных системах дело будущего. Основной проблемой дистанционного обнаружения является снижение метрологических характеристик с увеличением дистанции и снижением концентрации целевых веществ. На рисунке 3 показана зависимость вероятности обнаружения целевых веществ в зависимости от дистанции и концентрации примеси. Диаграммы построены по данным, приведенным в настоящем литературном обзоре, показывают, что достоверность обнаружения уменьшается по экспоненциальному закону с увеличением дистанции и снижением концентрации.

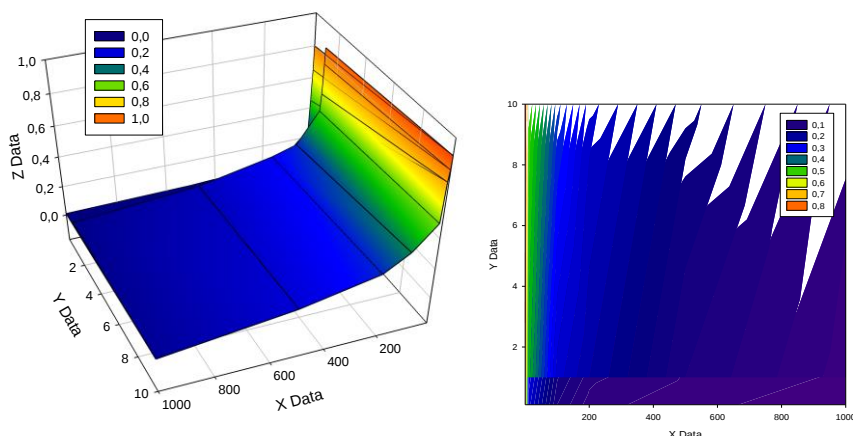


Рисунок 3 – Зависимость вероятности обнаружения целевых веществ в зависимости от дистанции и концентрации примеси

Таким образом, применение лидарных систем, основанных на различных физических принципах, актуальны на малых дистанциях – не более 100 м. Следует отметить, что метрологические характеристики обнаружения целевых веществ не стабильны, сильно зависят от концентраций. Повышение точности и чувствительности обнаружения требует длительной

экспозиции измерения – более 5 мин, что, в свою очередь, снижает стабильность и воспроизводимость измерений.

В заключение необходимо отметить, что в сложившейся современной военной международной обстановке: применение сложнейших систем вооружения и военной техники, высокоточного, гиперзвукового оружия, средств радиоэлектронной борьбы, оружия на новых физических принципах, информационно-управляющих систем, а также беспилотных летательных и автономных морских аппаратов, управляемой роботизированной техники, требует дальнейшего ускоренного развития и совершенствования оперативного контроля и зондирования местности в целях укрепления потенциала России в области мониторинга объектов и событий в интересующем пространстве.

Библиография

1. Гетман, С. И. Глобальные угрозы национальной безопасности / С. И. Гетман. – Санкт-Петербург : Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2025. – 134 с. – ISBN 978-5-91155-366-1. – DOI 10.52565/9785911553661.
2. Головачев, Д. В. Метод очистки воздуха корабельных помещений с использованием установки противохимической вентиляции агрегатированной / Д. В. Головачев, М. А. Кича, Д. С. Маловик // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2023. – № 2(404). – С. 91-96. – DOI 10.24937/2542-2324-2023-2-404-91-96.
3. Пшежецкий С.Я., Дмитриев М.Т. Радиационные физико-химические процессы в воздушной среде. М.: Атомиздат. 1978. 181 с.
4. Военная доктрина РФ (Указ Президента РФ №706 от 21.04.2000 г.), МИД РФ, 2000.
5. Основные технические решения и характеристики штатного средства нормализации газовой среды после пожара и пожаротушения системой азотного пожаротушения / М. А. Кича, В. С. Михайленко, А. В. Бочаров [и др.] // Вестник МАНЭБ. – 2021. – Т. 26. – № 3. – С. 44-48. – EDN IKADOC.
6. Кича, М. А. Обоснование показателей экологичности изделий на этапе утилизации как развитие методологии обеспечения химической безопасности / М. А. Кича // Современные проблемы экологии : сб. докладов по материалам XXXIII всероссийской научно-практической конференции, Тула, 06 марта 2025 года. – Тула, 2025. – С. 33-35. – EDN ZVFSIC.
7. Кича, М. А. Обоснование актуальности нормирования токсикологических величин, используемых при расчете показателей химической безопасности потенциально-опасных объектов / М. А. Кича, В. А. Валуйский, В. С. Михайленко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2025. – № 2. – С. 249-256.
8. Кича, М. А. О развитии методологии в области оценки химической безопасности морских транспортных средств Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу / М. А. Кича, Е. И. Кича // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2024. – № 3(31). – С. 209-214. – EDN AALMZT.
9. Кича, М. А. Анализ нормативно-технических и руководящих документов по оценке экологической безопасности кораблей и судов ВМФ : Монография / М. А. Кича, В. С. Михайленко, Д. С. Маловик. – Санкт-Петербург : Сциентиа, 2023. – 58 с. – ISBN 978-5-6049390-2-4. – DOI 10.32415/scientia_978-5-6049390-2-4. – EDN JNFZRO.

10. Кича, Е. И. Сравнительный анализ использования различных критериев оценки индивидуального риска на объектах Военно-Морского Флота / Е. И. Кича, М. А. Кича // Токсикологический вестник. – 2023. – Т. 31, № 4. – С. 226-231. – DOI 10.47470/0869-7922-2023-31-4-226-231. – EDN LXYGJZ.
11. Применение многофакторного анализа для прогнозирования промышленных выбросов и их последствий / Е. И. Кича, М. А. Кича, Д. С. Маловик, В. С. Михайленко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2021. – № 6. – С. 31-36. – EDN BEXYUQ.
12. Кича, М. А. Направление и этапы развития требований к обеспечению химической безопасности герметичных обитаемых объектов / М. А. Кича, Е. И. Кича // Вестник МАНЭБ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 50-54. – EDN KYUKAN.
13. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера. 2006. 335 с.
14. Рабинович Е., Белфорд Р. Спектроскопия и фотохимия соединений уранила. М.: Атомиздат. 1968. 343 с.
15. Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы: В 2-х т. С-Пб.: «Крисмас+». 1998. Т. I. 735 с., Т. II. 592 с.
16. Зверева Н.А., Набиев Ш.Ш., Пономарев Ю.Н. Структура и свойства молекулярных комплексов воды с малыми газовыми составляющими атмосферы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2003. 140 с.
17. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. Современные проблемы атмосферной оптики. Том 8. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат. 1992. 230 с.
18. Копытин Ю.Д., Носов В.В., Антипов А.Б. и др. Дистанционные методы прогноза нефтяных, рудных и техногенных аномалий по геоатмосферным проявлениям. Томск: ИОА СО РАН. 2000. 314 с.
19. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы Фурье – спектрометриии. М.: Наука. 2006. 280 с.
20. Васильев Б.И., Маннун У.М. ИК лидары дифференциального поглощения для экологического мониторинга окружающей среды // Кв. электр. 2006. Т. 36. №9. С. 801-820.
21. Набиев Ш.Ш., Пономарев Ю.Н. Спектрохимические аспекты дистанционного лазерного контроля аварийных выбросов на объектах ядерного топливного цикла // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. №12. С. 1274–1280.
22. Набиев Ш.Ш., Болясов Д.А. Аналитические возможности метода дифференциального поглощения и рассеяния для дистанционной диагностики ОВ с использованием диодных лазеров ближнего ИК-диапазона // Тез. докл. съезда аналитиков России. Москва. 2010. С. 200.
23. Горелик В.С. Сущинский М.М., ред. Современные проблемы спектроскопии комбинационного рассеяния света, Москва, Наука, 1978. с. 28–47.
24. Сильверстейн Р., Басслер Г., Морил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений (пер. с англ.) Москва, Мир, 1977, 590 с.
25. Michaelian K.H. Photoacoustic IR Spectroscopy: Instrumentation, Applications and Data Analysis. N.Y.: Wiley-VCH. 2010. 402 p.
26. Bousquet R.R., Chu P.M., DaBell R.S., et al. Trends in microwave spectroscopy for the detection of chemical agents // Sensors. J. IEEE. 2005. Vol. 5. №4. P. 656–664.
27. Laser Induced Breakdown Spectroscopy. Eds. A. Miziolek, V. Palleschi, I. Schechter. Cambridge: Cambridge University Press. 2006. 640 p.

28. Sharpe S.W., Johnson T.J., Chub P.M., et al. Quantitative Infrared Spectra of Vapor Phase Chemical Agents // Proc. SPIE. 2003. Vol. 5085. P. 19–27.
29. Морозов А.Н., Светличный С.И. Основы Фурье-спектрометрии, Москва, Наука, 2006
30. Сущинский М.М. Применение вращательных спектров комбинационного рассеяния для определения структурных параметров молекул. Успехи физических наук, 1958, т. 65.
31. Бобович Я.С. Последние достижения в спектроскопии спонтанного комбинационного рассеяния света. Успехи физических наук, 1969, т. 97, вып. 1.

Учредитель и издатель журнала:

Международная академия наук экологии безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ)

Издательство «БЕЗОПАСНОСТЬ»

Адрес редакции:

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

тел./факс: (812) 670-93-76, e-mail: vestnik_maneb@mail.ru.

Технический редактор: кандидат технических наук Н.Г. Занько

Отпечатано в цифровой типографии ИП Павлушкина В.Н.

Санкт-Петербург, Греческий проспект, 25

Свидетельство о регистрации 78 № 006844118 от 06.06.2008

Сдано в набор 07.07.2025. Подписано в печать 16.07.2025

Печать цифровая. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»

Формат обрезной 205х290. Усл.изд.л.-8,350. Усл.печ.л.-7,810

Заказ 07/25. Тираж 500 экз.

Цена договорная