

ЭКОЛОГИЯ

промышленного
производства



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 4
Москва 2022





Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России
(4 выпуска)
Подписной индекс **79379**
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал
Конструкции из композиционных материалов
(4 выпуска)
Подписной индекс **80089**
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал
Информационные технологии в проектировании и производстве
(4 выпуска)
Подписной индекс **79378**
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал
Экология промышленного производства
(4 выпуска)
Подписной индекс **80090**
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал
Вопросы защиты информации
(4 выпуска)
Подписной индекс **79187**
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);
факс: 8 (495) 491-44-80.
E-mail: izdanie@ntckompas.ru

ЭКОЛОГИЯ

промышленного

производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выпуск 4 (120)

Издается с 1993 г.

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Пикалов Е. С. Теплоизоляционный строительный материал на основе древесной золы и полимерных отходов 2

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА

Ксенофонтов Б. С. Возможности использования технологий очистки сточных вод для улавливания и утилизации углекислого газа 8

Глазунова Е. В., Волков Д. В., Вербенко И. А. Создание экологически безопасных материалов для системы мониторинга водных объектов народного хозяйства 13

Ильина М. Е., Селиванов О. Г., Курочкин И. Н. Оценка эффективности комбинированной технологии обеззараживания фильтрационной воды полигонов ТБО на основе ультрафиолетового излучения 16

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Овчинников Е. В., Уютов С. Ю., Лавров А. В., Дмитриев К. С. Экономическая оценка экологических показателей трактора, работающего на рапсовом масле 20

Саенко С. С., Никулин Ю. Я., Дядченко В. А. Экологический аспект выбора технологии и оборудования на этапе проектирования битумного терминала 26

Овчаренко А. С., Дмитриев К. С. Повышение экологических параметров безопасности электрического транспортно-технологического средства 31

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ЛИКВИДАЦИЯ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Неёлова О. В., Дзасохова З. А. Экологическая оценка степени антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Республики Северная Осетия-Алания (Обзор) 35

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Воробьевская Е. Л., Седова Н. Б., Слипенчук М. В., Цымбал М. Н. Современная геоэкологическая ситуация в Мурманске: зимний аспект 43

Горин Н. В., Кучинов В. П., Чебесков А. Н., Шидловский В. В. Экологические вызовы современности и атомная энергетика с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ядерным топливным циклом 48

Бураева Е. А., Маломыжева Н. В., Каменев О. В. Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в крупных промышленных центрах Ростовской области 54

Главный редактор

М. В. Слипенчук, д-р эконом. наук, проф., зав. кафедрой рационального природопользования географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

Заместители главного редактора:

В. Ф. Гракович, д-р техн. наук, проф., Национальный фонд содействия устойчивому развитию регионов;
А. Г. Ишков, д-р хим. наук, проф., ПАО «Газпром»;
Н. П. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ИжГТУ им. М. Т. Калашникова

Ответственный секретарь К. В. Трыкина, начальник отдела научных и информационных изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Редакционный совет:

М. Ч. Залиханов, акад. РАН, проф., РАН; **И. Н. Мешков**, акад. РАН, проф., Объединенный институт ядерных исследований; **Н. П. Тарасова**, чл.-кор. РАН, д-р хим. наук, проф., Институт проблем устойчивого развития РХТУ им. Д. И. Менделеева

Редакционная коллегия:

А. М. Амирханов, канд. биол. наук, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; **С. С. Бабкина**, д-р хим. наук, проф., Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова РТУ МИРЭА; **Я. И. Вайсман**, д-р мед. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет; **В. А. Девислов**, д-р тех. наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана; **О. Д. Доронина**, д-р биол. наук, проф., Академия труда и социальных отношений; **Е. Ю. Дорохина**, д-р эконом. наук, проф., РЭУ им. Г. В. Плеханова; **М. Н. Дадашев**, д-р техн. наук, проф., РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **В. Г. Исаков**, д-р техн. наук, проф., ИжГТУ им. М. Т. Калашникова; **М. А. Корепанов**, д-р техн. наук, ИжГТУ им. М. Т. Калашникова; **Б. С. Ксенофонтов**, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана; **В. Н. Ложкин**, д-р тех. наук, проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; **В. Ю. Мелешко**, д-р техн. наук, проф., Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН; **В. Ф. Меньшиков**, канд. техн. наук, Госкорпорация «Росатом»; **Н. Г. Рыбальский**, д-р биол. наук, проф., НИА «Природные ресурсы»; **И. Ш. Сайфуллин**, д-р хим. наук, проф., НИИ инновационного развития промышленности РЭУ им. Г. В. Плеханова; **А. А. Соловьянов**, д-р хим. наук, проф., Центр научных исследований и разработок ФГБУ «ВНИИ «Экология»; **В. А. Тенев**, д-р физ.-мат. наук, проф., ИГТУ им. М. Т. Калашникова; **В. В. Тетельмин**, д-р техн. наук, проф., Ответственный совет при Минэнерго РФ; **Ю. В. Трофименко**, д-р техн. наук, проф., НИИ энергетических проблем автотранспортного комплекса при МАДИ; **Б. С. Федоров**, д-р техн. наук, проф., ООО «Концерн ЭКОМАШ»; **С. Г. Харченко**, д-р физ.-мат. наук, проф., РУДН; **С. С. Чеботарев**, д-р эконом. наук, проф., АО «ЦНИИ экономики, информатики и систем управления»

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»), 2022



Обезвреживание, утилизация и переработка промышленных и бытовых отходов

УДК 666

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_2

EDN: CPAGKS

Теплоизоляционный строительный материал на основе древесной золы и полимерных отходов

Е. С. ПИКАЛОВ, канд. техн. наук

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
г. Владимир, Россия

Представлены результаты исследований возможности получения композиционного материала теплоизоляционного назначения при использовании золы от сжигания древесных отходов в качестве наполнителя и вторичного полистирола, полученного при растворении отходов изделий из пенополистирола в метиленхлориде, в качестве связующего. Получение разрабатываемого строительного материала предусматривает холодное перемешивание наполнителя с раствором связующего и холодное прессование с последующей термообработкой для удаления растворителя. Приведены зависимости, позволяющие оценить влияние соотношения полимера и растворителя в составе сырьевой смеси и количества наполнителя в составе материала на его основные эксплуатационные характеристики. Выбран состав сырьевой смеси для получения материала, соответствующего нормативным требованиям для теплоизоляционных и отделочных древесноволокнистых плит, для которых разрабатываемый материал является альтернативным аналогом.

Ключевые слова: древесная зола, полимерные отходы, утилизация отходов, полимерный композиционный материал, теплоизоляционный материал, растворение полимеров, метиленхлорид.

Древесная зола, представляет собой продукт сжигания топливной древесины или древесных отходов производства и потребления. Использование древесины в качестве топлива для получения тепловой энергии остается актуальным в связи с тем, что она представляет собой возобновляемый ресурс, практически не содержит серы и является CO_2 -нейтральной, т. е. при ее сжигании выделяется такое же количество углекислого газа, какое было поглощено в процессе роста растений, а, следовательно, в атмосфере поддерживается баланс углекислого газа [1, 2]. Важным преимуществом древесины, особенно

древесных отходов, является и более низкая цена по сравнению с ископаемыми видами топлива, что особенно актуально в условиях постоянного роста цен на них. Кроме того, для предприятий лесопромышленного комплекса сжигание древесных отходов, которые образуются там в больших количествах, является не только наиболее простым методом их утилизации, но и позволяет снизить затраты на выработку тепловой энергии для работы оборудования, особенно сушильных камер, и обогрева помещений [3, 4]. В связи с этим древесное топливо, особенно древесные отходы, всё более широко используют на теплогенерирующих установках, преимущественно в качестве частичной замены угольного топлива [5].

Образующуюся при сжигании древесины золу подразделяют на зольный остаток (подовая или колосниковая зола), который содержит много таких примесей, как песок, камни и земля, что часто вызывает образование шлака и спекание частиц зольного

Пикалов Евгений Сергеевич, доцент кафедры "Химические технологии".

E-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 6 июля 2022 г.

© Пикалов Е. С., 2022

остатка, и золу уноса из циклонов (циклонная зола) и фильтров (фильтрационная зола) [6, 7]. Одним из основных направлений утилизации древесной золы из-за высокого содержания кальция, калия и фосфора является ее использование в качестве удобрения. Однако данный метод не находит широкого промышленного применения и в основном используется в личных подсобных хозяйствах [3]. Фактором, ограничивающим применение древесной золы в качестве удобрения, является наличие в ней тяжелых металлов: нелетучие соединения меди и хрома остаются в более крупных фракциях золы, а летучие соединения мышьяка, кадмия, ртути, свинца и цинка при горении конденсируются на частицах золы уноса [6]. В связи с этим золу от древесины деревьев, которые росли вблизи предприятий и дорог, являющихся источниками загрязнения тяжелыми металлами, а также фильтрационную золу уноса нельзя использовать в сельском хозяйстве. Кроме того, не рекомендуется применение древесной золы для нейтральных и щелочных почв, т. к. зола повышает щелочность, и использование совместно с азотными удобрениями, т. к. это приводит к образованию аммиака. Другими направлениями использования древесной золы являются получение фосфора, кремния или углекислого калия (потаха), применение в качестве заполнителя в цементно-бетонной промышленности и в качестве наполнителя для композиционных материалов, в качестве сорбента для очистки воды, для закрепления влажного материала на земле при строительстве дорог и в качестве уплотнителя осадочных вод при рекультивации земель и в ландшафтном дизайне [6–8]. В то же время часть древесной золы не перерабатывается, а подвергается захоронению на свалках и полигонах.

Накопление полимерных отходов, в частности отходов упаковки из пенопластов, связано, — с одной стороны с широким применением данного вида упаковочных материалов, а с другой стороны, — с сравнительно невысоким периодом ее эксплуатации до момента потребления упакованной продукции. С учетом малой плотности пенопластов, длительности разложения под действием внешних факторов и выделения токсичных продуктов при сжигании необходима их утилизация в качестве вторичного сырья, что в случае отходов потребления ограничивается наличием в них примесей и частичной деструкции полимеров [9–11]. Другим ограничением утилизации данных отходов в полимерной промышленности является низкая стоимость производства пенопластов из первичного сырья.

Таким образом, оба рассмотренных вида отходов являются одними из самых крупнотоннажных и не перерабатываются в достаточной мере, что является причиной их накопления в больших количествах, поэтому важен поиск возможностей по их утилизации.

Цель данной работы — разработка теплоизоляционного строительного материала, в котором древесная зола будет являться наполнителем, а отходы потребления изделий из пенопласта будут использоваться для получения связующего; определение наиболее эффективного соотношения количества

этих отходов для получения высоких показателей основных эксплуатационных свойств.

Сырьевые материалы и методы исследования

В данной работе применяли золу от сжигания древесных отходов лесозаготовки, лесопиления и деревообработки, от очистной, санитарной и других видов рубки, а также отходов потребления древесных материалов и изделий. Перед использованием древесную золу измельчали до фракции с размером частиц не более 0,63 мм, затем смешивали фракции из разных источников для усреднения состава и высушивали до постоянной массы при температуре 110 °С.

В качестве отходов изделий из пенопластов применяли отработанные элементы упаковки для бытовой техники, оборудования и т. п. из пенополистирола, отобранные из общей массы отходов потребления. Отходы из пенополистирола предварительно измельчали до размера частиц не более 6 см, смешивали фракции из разных источников для усреднения состава и высушивали до постоянной массы.

Для перевода отходов пенополистирола в растворенное состояние в состав сырьевой смеси сверх 100 % вводили метилен хлористый технический первого сорта по ГОСТ 9968-86 с содержанием основного вещества не менее 98,8 масс. %. Как уже ранее упоминалось автором, в случае промышленного применения раствора полистирола в метиленхлориде для снижения расхода растворителя должны быть предусмотрены герметизация оборудования и конденсация образующихся паров для повторного использования [12].

Для получения образцов разрабатываемого материала предварительно подготовленные отходы пенополистирола растворяли в метиленхлориде при заданных массовых соотношениях полимер растворитель до получения однородного раствора связующего, который затем перемешивали до однородной сырьевой массы с заданным количеством предварительно подготовленной древесной золы. Из полученной сырьевой смеси одноступенчатым холодным прессованием при давлении 8,2 МПа, которое обеспечивает оптимальное уплотнение смеси с раствором полистирола [13], формовали образцы, которые подвергали термообработке при температуре 45–50 °С в течение 45 мин, что позволяет удалить растворитель при температуре выше температуры его кипения (39,6 °С для метиленхлорида) и исключает термодеструкцию полимера, которая начинается при температурах около 200 °С для полистирола. Для каждого исследуемого состава сырьевой смеси были подготовлены образцы сериями по пять штук с последующим определением средних арифметических значений исследуемых показателей.

У серий образцов по стандартным для строительных материалов методикам определяли плотность (ρ , кг/м³), прочность на изгиб ($\sigma_{изг}$, МПа), разбухание по толщине за 48 ч (t_w , %), водопоглощение (B , %) и теплопроводность (λ , Вт/(м·°С)).

Результаты экспериментов и их обсуждение

В начале исследований была оценена технологичность раствора связующего при разном соотношении отходов пенополистирола и метилхлорида. Было установлено, что при соотношении полимер : растворитель $> 1 : 1,5$ раствор отличается высокой вязкостью, что затрудняет его перемешивание с частицами древесной золы, снижает однородность смеси при перемешивании и формовании, растворитель слишком быстро улетучивается из раствора, что затрудняет работу с ним и приводит к прилипанию растворителя к перемешивающим и формующим инструментам, и всё это приводит к низким эксплуатационным характеристикам получаемых образцов. При соотношении полимер : растворитель $< 1 : 2,25$ раствор отличается излишней для перемешивания с древесной золой текучестью, это приводит к образованию слишком пластичной сырьевой смеси, что вызывает перепрессовку из-за высоких степеней уплотнения и выдавливанию части раствора при прессовании, а также является причиной недостатка связующего, увеличивает длительность улетучивания растворителя и приводит к низким характеристикам получаемых образцов.

Также было предварительно установлено, что при наличии менее 55 масс. % древесной золы в составе образцов материал отличается низкой прочностью и высокой теплопроводностью из-за избытка связующего, что также проявляется в высокой усадке и деформациях при выпрессовке и термообработке, сопровождается указанными ранее недостатками, связанными с избытком связующего. При наличии более 85 масс. % древесной золы в составе образцов наблюдается недостаток связующего, проявляющийся в низкой прочности и высоком водопоглощении образцов, осыпанию их граней и поверхностей, а также сопровождается указанными недостатками, связанными с нехваткой связующего.

В связи с этим эксперименты проводили при соотношениях полимер : растворитель от $1 : 1,5$ до $1 : 2,25$ с получением образцов, в которых содержание наполнителя составляло от 55 до 85 % от массы готового образца (рис. 1).

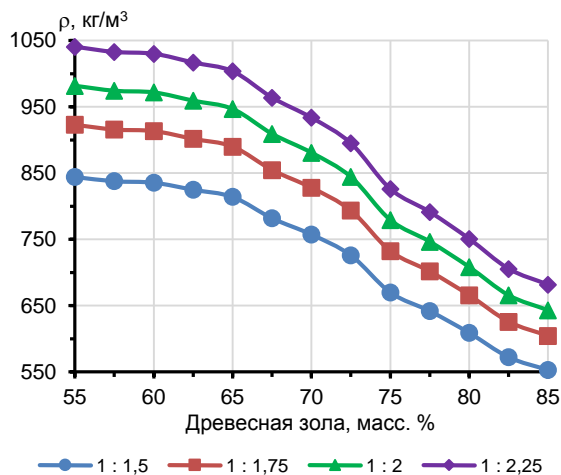


Рис. 1. Зависимость плотности разрабатываемого материала от соотношения компонентов сырьевой смеси

Из полученных данных следует, что при увеличении количества древесной золы происходит уменьшение плотности материала. Это связано с высокой микропористостью частиц древесной золы, а также с неровной поверхностью частиц золы и неидеальной смачиваемостью этой поверхности раствором связующего, что приводит к образованию пор на границе раздела фаз наполнитель — связующее.

Из представленных данных также видно, что плотность материала повышается с уменьшением количества полимера в составе раствора связующего. Это связано с тем, что с ростом количества растворителя вязкость раствора полистирола снижается, а это приводит к более эффективному перемешиванию и уплотнению.

В результате эксперимента также было установлено, что увеличение содержания древесной золы в рассматриваемых пределах приводит к уменьшению прочности (рис. 2).

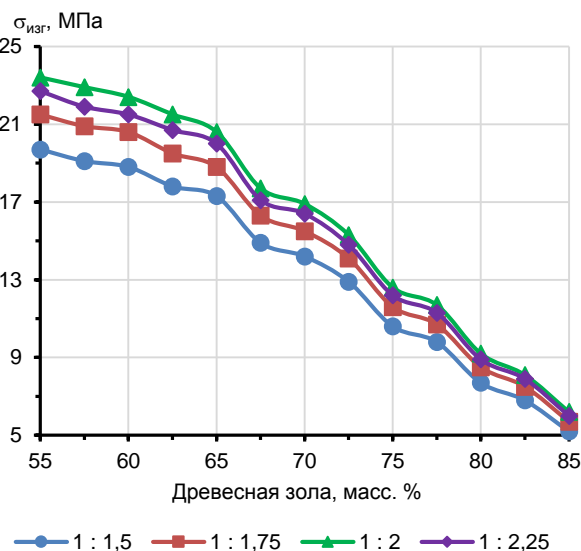


Рис. 2. Зависимость прочности на изгиб разрабатываемого материала от соотношения компонентов сырьевой смеси

Это объясняется тем, что с увеличением доли наполнителя снижается доля связующего, что приводит к его нехватке и препятствует образованию каркаса из частиц наполнителя, связанных между собой через связующее. Кроме того, с увеличением доли наполнителя снижается толщина слоев связующего между частицами древесной золы и приводит к образованию обособленных областей, где связующего больше. Из рис. 2 также следует, что с увеличением доли растворителя в соотношениях от $1 : 1,5$ до $1 : 2$ происходит повышение прочности материала, что связано с упомянутым ранее эффективным уплотнением смеси при прессовании, а снижение прочности при соотношении $1 : 2,25$ связано с недостатком связующего в таком растворе и излишней пластичности сырьевой смеси в данном случае, что приводит к перепрессовке образцов, сопровождающейся трещинообразованием. При этом близкое расположение линий на рис. 2 является признаком того, что влияние соотношения полимер : растворитель на прочность незначительно.

Из других данных, полученных в результате эксперимента, следует, что повышение доли древесной золы приводит к росту водопоглощения (рис. 3).

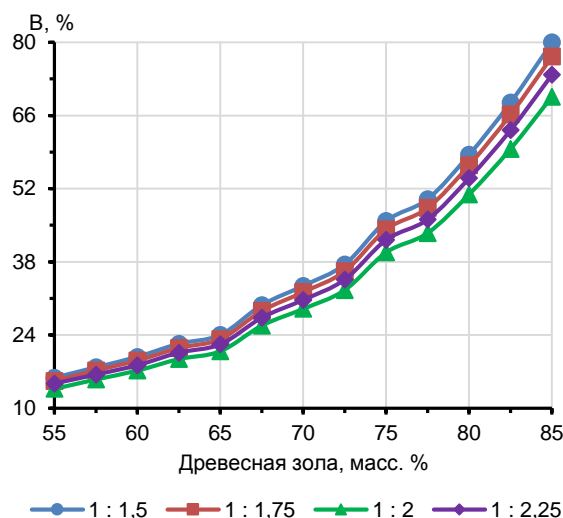


Рис. 3. Зависимость водопоглощения разрабатываемого материала от соотношения компонентов сырьевой смеси

Это можно объяснить микропористостью частиц древесной золы, образованием пор на границе раздела фаз наполнитель—связующее, и тем, что при увеличении доли наполнителя доля связующего уменьшается, а это также приводит к образованию пор, увеличению их размера и повышению доли открытых пор. Всё это способствует проникновению воды в объем материала. Как видно по близкому положению линий на рис. 3, влияние соотношения полимер : растворитель на водопоглощение практически отсутствует, хотя можно выявить некоторое снижение данного свойства при увеличении соотношения от 1 : 1,5 до 1 : 2.

Водопоглощение оказывает влияние на разбухание образцов по толщине, поэтому зависимости, полученные для данного свойства, имеют аналогичный с зависимостями для водопоглощения характер (рис. 4).

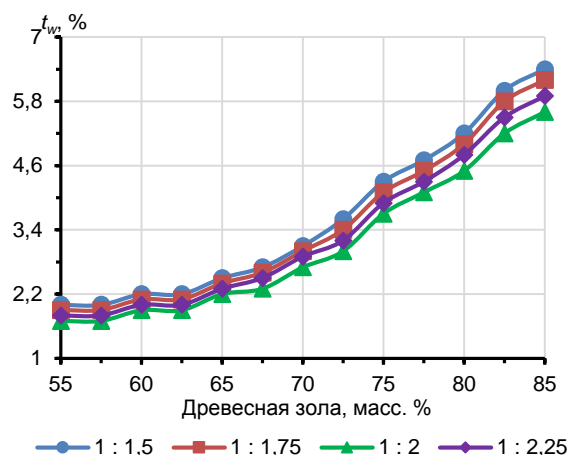


Рис. 4. Зависимость разбухания по толщине разрабатываемого материала от соотношения компонентов сырьевой смеси

Это связано с тем, что высокая пористость, являясь причиной снижения прочности и повышения водопоглощения, способствует его разбуханию в процессе насыщения водой. При этом, чем меньше в объеме материала связующего, тем ниже его водостойкость, т. к. слои полистирола защищают частицы древесной золы от воздействия воды.

В то же время высокая пористость материала и микропористость частиц древесной золы приводят к снижению теплопроводности, что подтверждается данными рис. 5.

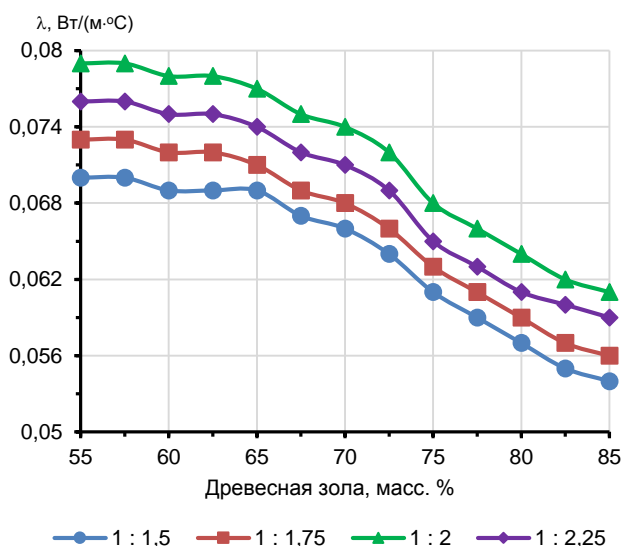


Рис. 5. Зависимость теплопроводности разрабатываемого материала от соотношения компонентов сырьевой смеси

Видно, что повышение содержания древесной золы снижает теплопроводность, а повышение доли растворителя в соотношениях от 1 : 1,5 до 1 : 2 повышает теплопроводность получаемого материала из-за роста степени уплотнения. В то же время при соотношении 1 : 2,25 происходит снижение теплопроводности из-за трещинообразования в материале в результате перепрессовки. Невысокая теплопроводность материала в целом также связана с низкой теплопроводностью, как наполнителя (около 0,15 Вт/(м·°C) для древесной золы), так и связующего (около 0,082 Вт/(м·°C) для полистирола).

Таким образом, изменения в количестве древесной золы и метилхлорида в составе сырьевой смеси влияют на формирование структуры разрабатываемого композиционного материала. Чем больше в объеме смеси и материала наполнителя, тем структура неоднородней и тем больше повышение доли пор и пустот, что способствует снижению плотности и теплопроводности при одновременном уменьшении прочности, росте водопоглощения и разбухания по толщине.

В тоже время увеличение доли растворителя по отношению к доле полимера в растворе связующего от 1 : 1,5 до 1 : 2 приводит к повышению однородности структуры и уменьшению доли пор за счет эффективного растворения полимера, образования оптимальной для перемешивания и уплотнения

вязкости раствора. На основании полученных данных было принято решение, что наиболее эффективным для данного состава сырьевой смеси является соотношение полимер : растворитель, равное 1 : 2.

Чтобы определить количество наполнителя, соответствующее целям данной разработки, в качестве наиболее близкого по составу, свойствам и области применения материала были выбраны древесноволокнистые плиты, показатели которых регламентируются ГОСТ 4598-2018. В соответствии с требованиями выбранного стандарта прочность полутвердых плит должна быть не ниже 15 МПа, что соответствует 72,5 масс. % древесной золы в составе материала.

В таблице представлены данные по соответствию разработанного материала требованиям ГОСТ 4598-2018 для полутвердых и мягких древесноволокнистых плит.

Соответствие разработанного материала нормативным требованиям

| Показатель | Требования ГОСТ 4598-2018 | | Разработанный материал |
|----------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------|
| | Полутвердые плиты | мягкие плиты | |
| Плотность, кг/м ³ | ≥ 600 | 100—400 | 844,2 |
| Прочность на изгиб, МПа | ≥ 15 | ≥ 0,4—1,8 | 15,3 |
| Разбухание по толщине за 24 ч, % | ≤ 30 | — | 2,9 за 48 ч |
| Водопоглощение, % | — | 34 за 2 ч | 32,6 за 48 ч |
| Теплопроводность, Вт/(м·°C) | — | 0,05—0,09 | 0,072 |

Таким образом, разработанный материал соответствует предъявляемым требованиям, отличается низкими показателями водопоглощения и разбухания по толщине. Следовательно, разработанный материал может наравне с древесноволокнистыми плитами применяться в строительстве в качестве теплоизоляционно-отделочного материала.

Заключение

В результате проведенных исследований был получен теплоизоляционный композиционный материал на основе древесной золы и полимерных отходов со степенью наполнения 72,5 масс. %. Для его получения применяют сырьевую смесь, состоящую из 46,9 масс. % древесной золы, 17,7 масс. % отходов пенополистирола и 35,4 масс. % метилленхлорида. При этом соотношение полимер : растворитель в составе смеси должно составлять 1 : 2, что обеспечивает однородное перемешивание и эффективное уплотнение при прессовании.

Разработанный материал соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к полутвердым и мягким древесноволокнистым плитам, являясь их альтернативным аналогом. При этом полученный

материал отличается более низкими показателями водопоглощения и разбухания по толщине. Также стоит отметить, что за счет применения древесной золы вместо древесного наполнителя разработанный материал будет отличаться более низкой горючестью, а, следовательно, являться более пожаробезопасным. Данный композиционный материал можно применять для внутренних работ по теплоизоляции и отделке помещений.

Разработанный состав сырьевой смеси и полученный на ее основе композиционный материал будут способствовать расширению сырьевой базы и ассортимента строительных материалов и изделий, позволят экономить первичные сырьевые ресурсы и комплексно утилизировать древесную золу и полимерные отходы. При этом возможна технология, по которой древесные отходы вначале утилизируются путем сжигания с получением тепловой энергии, а полученная при этом древесная зола может быть использована в производстве строительных материалов и изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пивненко Ю. А. Исследование процесса сжигания древесных отходов в топках с кипящим слоем // Экология и промышленность. 2016. № 2. С. 73—76.
2. Крылова А. Г., Лавриченко В. А. Экономические аспекты использования древесного топлива в малой энергетике // Economics. 2018. № 2. С. 5—10.
3. Куликова Е. Г., Ефремова С. Ю. Использование отходов деревоперерабатывающего производства в сельском хозяйстве // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 1. С. 103—109.
4. Семенов М. И. Производство электро- и теплоэнергии из отходов лесозаготовок и деревообработки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 7. С. 86—91.
5. Дремичева Е. С., Зверева Э. Р., Бурганова Ф. И., Зверев Л. О. Перспективы технологии совместного сжигания биомассы и угля на объектах энергетики // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2021. № 1. С. 119—130.
6. Передерий С. Переработка и утилизация древесной золы в Германии // ЛесПромИнформ. 2021. № 4 (158). С. 100—103. URL: <https://lesprominform.ru/articles.html?id=5973>.
7. Захарова А. Ю. Исследование направлений утилизации отходов от сжигания древесины: тр. XVII Междунар. симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых "Проблемы геологии и освоения недр". 2013. Т. 2. С. 171—173.
8. Фоменко А. И., Соколов Л. И. Сорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2015. № 5. С. 8—12.
9. Шинский О. И., Стрюченко А. А., Дорошенко В. С. Два направления в области рециклинга отходов пенополистирола // Экологический вестник России. 2012. № 12. С. 45—49.
10. Пикалов Е. С. Полимерстеклянный строительный материал на основе отходов // Экология промышленного производства. 2022. № 1. С. 7—12.
11. Перовская К. А., Петрина Д. Е., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 7—11.
12. Торлова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. № 7. С. 36—41.
13. Колосова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов // Экология и промышленность России. 2020. № 2. С. 28—33.

Thermal insulation building material based on wood ash and polymer waste

E. S. PIKALOV

Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletovs,
Vladimir, Russia

This article presents the results of research on the possibility of obtaining a composite material for thermal insulation purposes when using ash from burning wood waste as a filler and secondary polystyrene obtained by dissolving waste products from expanded polystyrene in methylene chloride as a binder. The preparation of the building material under development involves cold mixing of the filler with a binder solution and cold pressing followed by heat treatment to remove the solvent. The article presents dependences that allow us to evaluate the influence of the ratio of polymer and solvent in the composition of the raw mixture and the amount of filler in the composition of the material on its main operational characteristics. The composition of the raw material mixture was selected to obtain a material that meets the regulatory requirements for thermal insulation and finishing fiberboard, for which the material being developed is an alternative analogue.

Keywords: wood ash, polymer waste, recycling of wastes, polymer composite material, thermal insulation material, polymer dissolution, methylene chloride.

Bibliography — 13 references.

Received July 6, 2022



Водоподготовка и водоочистка

УДК 628.54

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_8

EDN: CWFFQR

Возможности использования технологий очистки сточных вод для улавливания и утилизации углекислого газа

Б. С. КСЕНОФОНТОВ, д-р техн. наук

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,
Москва, Россия

Впервые показана возможность использования технологий очистки сточных вод для улавливания и утилизации углекислого газа. Проанализированы варианты применения физико-химических, в том числе флотационных, технологий очистки сточных вод для улавливания и утилизации углекислого газа, а также выращивание микроводорослей, для которых углекислый газ является субстратом. Подчеркивается, что для выращивания 1 тонны биомассы микроводорослей требуется почти 2 тонны углекислого газа. Приведены примеры аппаратурного оформления процессов улавливания и утилизации углекислого газа.

Ключевые слова: улавливание и утилизация углекислого газа, использование технологий очистки сточных вод, экоэнергокомбайны.

Известно, что решение проблем глобального потепления отчасти связано с увеличением в атмосфере парниковых газов, в том числе углекислого газа и метана. Известны различные способы и устройства очистки газовых выбросов от газообразных загрязнений, в том числе от углекислого газа. Одним из вариантов решения данной проблемы является способ очистки газовых выбросов по принципу сорбции — десорбции углекислого газа в воде [1].

В простейшем варианте такой способ включает абсорбер, работающий при повышенном давлении, и десорбер, в котором вследствие снижения давления из воды выделяется углекислый газ. Для рекуперации энергии может быть иногда применена турбина, позволяющая использовать часть энергии за счет снижения давления жидкости и последующего расширения абсорбированного газа.

Основные преимущества такой водной очистки по принципу абсорбции—десорбции: простота способа и

конструкции установки, отсутствие теплообменников и кипятильников; отсутствие расхода тепла; дешевизна растворителя; отсутствие паров дорогого или токсичного растворителя, переходящего в газовую фазу.

Основные недостатки процесса водной очистки по принципу сорбции—десорбции: невысокая степень очистки, большие потери газа при высоком давлении вследствие значительного повышения его растворимости; низкая поглощательная емкость воды по углекислому газу.

Известен способ [2], суть которого состоит в том, что очистку газов от углекислого газа проводят путем сорбции углекислого газа поглотителем с последующей десорбцией под пониженным давлением при нагревании, причем в качестве поглотителя применяется сульфон.

Существенным недостатком известного способа является невысокая степень очистки газовых выбросов от углекислого газа, а также дороговизна поглотителя. Задачей в этом случае является разработка нового способа, обеспечивающего увеличение эффективности очистки газовых выбросов от углекислого газа и снижение затрат на поглотитель.

Поставленная задача и указанный технический результат достигаются тем, что предложен способ

Ксенофонов Борис Семенович, профессор кафедры "Экология и промышленная безопасность".
E-mail: kbsflot@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26 июня 2022 г.

© Ксенофонов Б. С., 2022

очистки газов от углекислого газа [3] путем сорбции поглотителем с последующей десорбцией под пониженным давлением при нагревании, причем отличительной особенностью является то, что на стадии промывки в качестве поглотителя используют водный щелочной раствор с pH 7—9, а на стадии десорбции — кислый водный раствор с pH 1—5, причем изменение pH с щелочного до кислого значения происходит в течение 1—5 минут при воздействии на водный раствор магнитного поля с напряженностью в пределах от 500 до 5000 эрстед и градиентом магнитного поля от 10 до 200 эрстед/м.

Предлагаемый автором способ очистки газовых выбросов от углекислого газа [3] осуществляется путем сорбции поглотителем с повышенным давлением с последующей десорбцией под пониженным давлением и при нагревании, причем на стадии сорбции давление процесса составляет в пределах 0,3—2,9 МПа, а в качестве поглотителя используется водный щелочной раствор с pH 7—9, а на стадии десорбции — кислый водный раствор с pH 1—5, причем изменение pH с щелочного до кислого значения происходит в течение 1—3 минут при воздействии магнитного поля напряженностью в пределах от 300 до 5000 эрстед с градиентом поля от 10 до 200 эрстед/м. При этом на стадии сорбции используется режим с повышенным давлением 0,3—2,9 МПа и пониженными температурами до 1—10 °С, а на стадии десорбции пределы давления составляют 0,01—0,1 МПа, температуры 20—90 °С.

Реализация предлагаемого способа осуществляется путем пропускания газовых выбросов при повышенном давлении 0,3—2,9 МПа через слой водного щелочного раствора, имеющего pH 7—9 и температуру 1—100 °С, а затем в течение 1—3 минут pH понижают до значений 1—5 в зоне действия магнитного поля с напряженностью поля 300—5000 эрстед с градиентом поля в пределах от 10 до 200 эрстед/м. Использование магнитного поля с указанными параметрами, как показали авторские исследования, позволяет при изменении pH практически за доли минуты привести состояние водного раствора до равновесного, который можно далее эффективно использовать на стадиях сорбции—десорбции.

При этом сорбцию проводят в режиме с повышенным давлением 0,3—2,9 МПа и пониженными температурами до 1—10 °С, а десорбцию углекислого газа из кислого водного раствора с pH 1—5 проводят при пониженном давлении в пределах 0,01—0,1 МПа и повышенной температуре 20—90 °С. Выбранные параметры режимов абсорбции и десорбции были обоснованы при проведении экспериментальных исследований. При значениях параметров, выходящих за пределы заявленных интервалов, степень очистки заметно падала, и в этой связи необходимо было повторно проводить технологическую операцию очистки газовых выбросов, следовательно, повышать эксплуатационные затраты.

Растворенный в воде углекислый газ можно использовать для производства различных продуктов, в том числе газировки, сухого льда и др. На рис. 1 схематично показано, что в процессе производства основная продукция (Π_1) с основной стадии 2 поступает на финишную стадию комплектования 3 и далее направляется заказчику. Образующиеся отходы по-

сле предварительной обработки на стадии 1 направляются на использование в качестве сырья на стадию 5, где получается продукция Π_2 . При этом образующиеся отходы (О) подвергают обработке на стадии 4 и направляют на утилизацию.

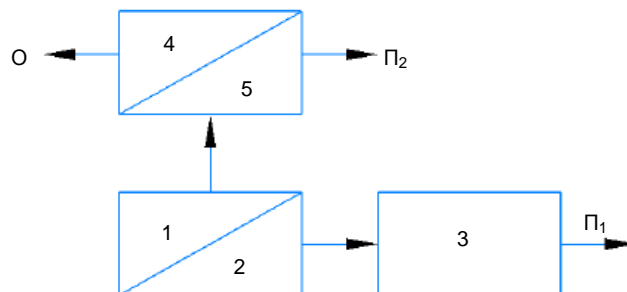


Рис. 1. Схема производства с попутным получением продукции из углекислого газа

Другой вариант улавливания и использования углекислого газа может быть реализован с использованием технологий очистки воды. Ранее был разработан и реализован в начале 90-х гг. XX в. способ напорной флотации с двумя рабочими жидкостями, одна из которых представляла собой насыщенный раствор углекислого газа [4].

Интенсифицировать процесс напорной флотацией можно с помощью реагентной обработки. Используются коагулянты, флокулянты, ПАВ. Это позволяет увеличивать размеры агрегатов, повышать их гидрофобность. К недостаткам реагентной обработки нужно отнести увеличение количества пены, которое влечет за собой сложности обезвреживания и утилизации осадков.

Эту проблему частично можно решить конструктивными способами, например, установкой после блока тонкослойного отстаивания или фильтра. Можно провести вторичное насыщение флотируемой среды газовыми пузырьками большего размера. Часто насыщение проводят барботированием. Но при таком способе кроме коалесценции пузырьков происходит разрушение флотоагрегатов, в связи с созданием высокого скоростного градиента большим пузырком.

Наибольшей эффективности в коалесценции при напорной флотации удалось добиться при условиях, когда малый и большой пузырьки образуются непосредственно в жидкой фазе. Эти условия возможны, например, при использовании двух и нескольких рабочих жидкостей с газами разной растворимости.

Эта идея впервые была высказана автором в 1989 г. и подробно исследована в ряде его работ и особенно в монографии [5], а в широком аспекте возможного применения защищена патентом [6].

Согласно данным автора работы при введении одной рабочей жидкости, насыщенной воздухом, образуется пузырек размером 0,01—0,05 мм в среднем. Скорость подъема таких флотоагрегатов 0,13—0,26 мм/с. При добавления второй рабочей жидкости, насыщенной углекислым газом, образуется комплекс агрегат — пузырек воздуха (труднорастворимый газ) — пузырек углекислого газа (легкорастворимый газ). И пузырек углекислого газа коалесцирует через пузырек воздуха.

При таком способе флотации переход флотируемых частиц загрязнений в пену происходит в 2—2,5 раза быстрее. Таким образом, габариты флотационных аппаратов уменьшаются в 1,8 раза. Также происходит уплотнение пенного слоя, что подробным образом рассмотрено в работе. Процесс напорной флотации можно интенсифицировать путем введения второй рабочей жидкости [4]. Введение второго рабочего раствора — раствора легкорастворимого газа приводит к повторению процесса образования второй фазы — газообразной. Для образования пузырька легкорастворимого газа необходимо затратить энергию, причем большую, чем при выделении пузырька воздуха, из-за хорошей растворимости газа, поэтому для выделения второго газа также требуются центры зарождения. Поскольку мгновенно из раствора выделился труднорастворимый газ — воздух, его пузырьки и являются центрами зарождения новой газообразной фазы — легкорастворимого газа. Выделение из раствора легкорастворимого газа идет медленнее, чем воздуха, и, следовательно, занимает большее время, но при этом увеличение газовых пузырьков происходит плавно, и прочность их не нарушается. В итоге образуется флотокомплекс, представляющий собой частицу загрязнения, в объеме и на поверхности которой расположены газовые пузырьки размером примерно 2—3 мм.

Флотационное извлечение хлопьев активного ила можно описать, используя многостадийную модель автора. Процесс флотационного извлечения имеет три состояния: А, В, С.

Состояние А — находящиеся в объеме жидкости хлопья активного ила и пузырьки не связаны и не контактируют. На первой стадии происходит контакт хлопья с пузырьком газа. В процессе слипания образуется флотокомплекс хлопок—пузырек (состояние В), который всплывает за счет архимедовых сил. Всплывшие в верхнюю часть жидкости флотокомплексы образуют пенный слой (состояние С). При этом возможны переходы не только из состояния А в состояние В и далее в состояние С, но и обратные переходы, соответственно, из состояния С в состояние В и далее в состояние А. При таком подходе к изучению флотационного извлечения и разделению всего процесса на три состояния, в общем, весь процесс можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A + k_2 C_B - k_5 C_C + k_6 C_C \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_B - k_3 C_B + k_4 C_C \\ \frac{dC_C}{dt} = k_3 C_B - k_4 C_C + k_5 C_A - k_6 C_C \end{cases}$$

где C_A , C_B , C_C — концентрации активного ила, соответственно в состояниях А, В, С;

k_1 , k_2 — константы скорости перехода из состояния А в состояние В и обратно;

k_3 , k_4 — константы скорости перехода из состояния В в состояние С и обратно;

k_5 , k_6 — константы скорости перехода из состояния С в состояние А и обратно.

Определение кинетических констант флотационного процесса $k_1—k_6$ является достаточно сложной задачей, однако именно они позволяют проводить подробные исследования и выполнять научно обоснованные расчеты аппаратов.

Автором для всех констант, кроме k_1 , были предложены выражения для их вычисления.

Надежное слипание флотируемых частиц с пузырьками воздуха обеспечивается за счет того, что при напорной флотации размер пузырька минимален и выделяется непосредственно на извлекаемой частице.

Экспериментальные исследования, направленные на интенсификацию процесса напорной флотации путем введения второго рабочего раствора, (образованного легкорастворимым газом) показали, что средние размеры газовых пузырьков во флотокомплексах составляют порядка 2 мм. Для флотокомплекса, размеры пузырька в котором ~2 мм, скорость подъема достигает до 5 см/с. Однако, при этом значительно возрастает и турбулентная составляющая процесса, приводящая к разрушению комплексов и выпадению частиц. Согласно проводившимся опытно-промышленным испытаниям, проведенным автором, было установлено, что процесс флотации с использованием раствора CO_2 в качестве второго рабочего раствора ускоряется в 2—2,5 раза [4].

Другой вариант использования водоочистных технологий связан с использованием микроводорослей, использующих в качестве субстрата углекислый газ [7]. При этом требуется почти двукратная масса углекислого газа на единицу биомассы микроводорослей, а точнее этот показатель равен 1,8. При этом важным является также то, что микроводоросли утилизируют остаточные питательные вещества, в том числе азот и фосфор. Такой вариант выращивания микроводорослей на финишной стадии очистки сточных вод способствует повышению эффективности очистки сточных вод, и делает эту технологию более конкурентоспособной.

Подобная технологическая схема (рис. 2), как правило, включает источник образования углекислого газа (рис. 2, поз. 1), сорбцию углекислого газа водным раствором (поз. 2), культивирование микроводорослей (поз. 3), выделение биомассы микроводорослей 4 и узел доочистки воды 5.

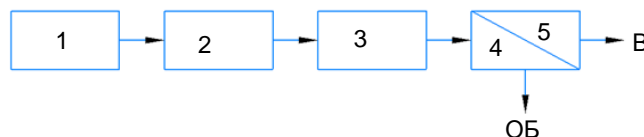


Рис. 2. Принципиальная схема улавливания и утилизации углекислого газа:

1 — источник образования углекислого газа; 2 — сорбция углекислого газа водным раствором; 3 — культивирование микроводорослей; 4 — выделение биомассы микроводорослей; 5 — узел доочистки воды; В — очищенная вода; ОБ — отделенная биомасса

Достаточно эффективным оборудованием для утилизации парниковых газов, в том числе углекислого газа и метана являются экоэнергокомбайны [7].

Известны метантенки на основе технологии сбраживания осадка сточных вод [9—12]. Образующий в них биогаз может быть использован для получения тепла и электроэнергии.

Следует отметить, что известные электрогенераторы используют метантенки с системой очистки биогаза и генератора электрической и тепловой энергии.

Недостатком известных экоэнергокомбайнов является невысокий выход биогаза при сбраживании осадков сточных вод, а также отсутствие компактности размещения оборудования.

Известен экоэнергокомбайн, имеющий составные части в виде метантенка с системой очистки биогаза и генератора электрической и тепловой энергии с блоками рекуперации электрической и тепловой энергии.

Недостатком известного экоэнергокомбайна является невысокий выход биогаза при сбраживании осадков сточных вод.

Техническим результатом разработки новой конструкции экоэнергокомбайна, обеспечивающей более высокий выход биогаза, является повышение эффективности процесса сбраживания осадка с более высоким выходом биогаза.

Поставленная задача и указанный технический результат достигаются тем, что экоэнергокомбайн [8] включает метантенк цилиндрического типа с системой очистки биогаза и генератор с блоками рекуперации электрической и тепловой энергии, причем отличительной особенностью которого является то что все составные части расположены в едином корпусе, выполненном из теплоизоляционного композитного материала, и наверху корпуса размещен фильтр для улавливания углекислого газа, а используемый метантенк выполнен с высотой, превышающей его диаметр соответственно от 3 до 10 раз. Блоки рекуперации электрической и тепловой энергии выполнены из диэлектрического материала.

На рис. 3 изображена схема экоэнергокомбайна.

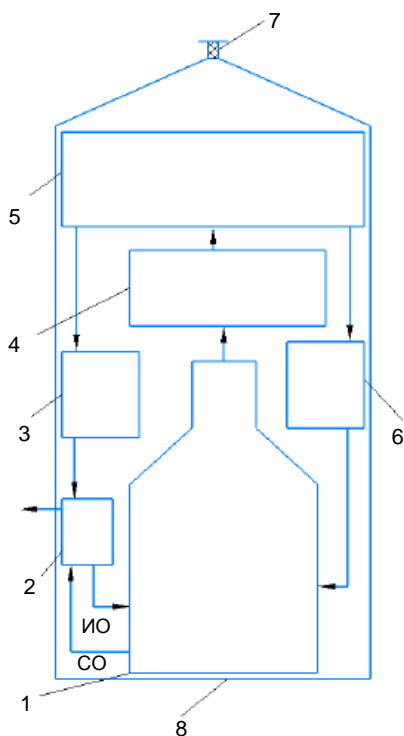


Рис. 3. Схема экоэнергокомбайна

Предлагаемый экоэнергокомбайн имеет корпус 8, в котором внутри внизу расположен метантенк 1 цилиндрического типа с системой очистки биогаза 4 и с подводящим и отводящим осадок блоком 2, узел очистки газов, генератор 5 с блоками рекуперации электрической 3 и тепловой 6 энергии, выполненными из диэлектрического материала, наверху корпуса 8 расположен фильтр для улавливания углекислого газа 7. При этом используется метантенк цилиндрического типа, высота которого больше его диаметра от 3 до 10 раз. Все составные части экоэнергокомбайна расположены в едином корпусе, выполненном из теплозащитного композитного материала.

Принцип работы предлагаемого автором экоэнергокомбайна [8] заключается в следующем: исходный осадок (ИО) сточных вод подается в метантенк 1 для сбраживания; для подогрева осадка в метантенк 1 подается теплоноситель из блока 6 рекуперации тепловой энергии; образующийся при сбраживании осадка биогаз подвергается очистке в системе очистки биогаза 4; очищенный биогаз далее подается в генератор электрической и тепловой энергии 5; генератор 5 подает образующуюся электроэнергию в рекуператор 3, а тепловую энергию в рекуператор 6, которые являются источниками дальнейшего использования электрической и тепловой энергии; избыточные газы выбрасываются в атмосферу через фильтр для улавливания углекислого газа 7, сброженный осадок (СО) выводится из метантенка на утилизацию.

Использование предлагаемого экоэнергокомбайна позволит получить выход биогаза примерно на 10—15 % больше, чем в случае применения известных установок, и что площадь, занимаемая экоэнергокомбайном меньше площади известных установок той же производительности в 5—10 раз.

Выводы

Впервые предложены комплексные решения по улавливанию и утилизации углекислого газа с использованием технологий очистки сточных вод. Предложено комплексное аппаратное оформление процесса по улавливанию и утилизации углекислого газа с использованием экоэнергокомбайнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Перевалов С. Д.** Анализ способов очистки газов // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2020. Т. 1. № 1. С. 97—104.
2. **Карл Хози Дил и др.** Способ очистки газов от углекислого газа. Патент SU 166619. МКИ: В 01 D 53/14, пр. 1963.03.02: опубл. 1964.11.19.
3. **Ксенофонтов Б. С.** Способ очистки газовых выбросов от углекислого газа. Заявка на изобретение РФ № 2021137681, пр. 17.12.2021.
4. **Ксенофонтов Б. С.** Очистка сточных вод флотацией с несколькими рабочими жидкостями. — Тверь: изд-во Тверского государственного университета, 2021. — 144 с.
5. **Ксенофонтов Б. С.** Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. — М: Химия, 1992. — 144 с.
6. **Ксенофонтов Б. С.** Способ очистки сточных вод. Патент РФ на изобретение № 2108974, пр. 22.04.1996, рег. 20.04.1998 г.
7. **Киселева С. В., Чернова Н. И.** Использование микроводородных биотехнологий в решении проблем рационального

природопользования // Инновационные технологии XXI века для рационального природопользования, экологии и устойчивого развития. — М.: Ноосфера, 2004. С. 205—217.

8. Ксенофонтов Б. С. Экоэнергокомбайн. Патент РФ на полезную модель № 210722, пр. 12.01.22, рег. 01.04.22.

9. Ксенофонтов Б. С. Биологическая очистка сточных вод. — М.: Инфра, 2020. — 255 с.

10. Ксенофонтов Б. С. Основы микробиологии и экологической биотехнологии: учеб. пособ. — М.: ИД "Форум": Инфра-М, 2015. С. 163—167.

11. Ксенофонтов Б. С. Обработка осадков сточных вод. — М.: Инфра-М, 2019. С. 178—181.

12. Ксенофонтов Б. С. Флотационная обработка воды, отходов и почвы. — М.: Новые технологии, 2010. — 272 с.

Possibilities of using wastewater treatment technologies for capturing and utilizing carbon dioxide

B. S. KSENOFONTOV

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

The article shows for the first time the possibilities of using wastewater treatment technologies for capturing and utilizing carbon dioxide. The options for the use of physical and chemical, including flotation, wastewater treatment technologies for capturing and utilizing carbon dioxide, as well as the cultivation of microalgae, for which carbon dioxide is a substrate, are analyzed. It is emphasized that almost 2 tons of carbon dioxide is required to grow 1 ton of microalgae biomass. Examples of instrumentation for the processes of capturing and utilizing carbon dioxide are given.

Keywords: capture and utilization of carbon dioxide, use of wastewater treatment technologies, eco-energy harvesters.

Bibliography — 12 references.

Received June 26, 2022

УДК 639

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_13

EDN: DBAWIS

Создание экологически безопасных материалов для системы мониторинга водных объектов народного хозяйства

Е. В. ГЛАЗУНОВА, канд. физ.-мат. наук; Д. В. ВОЛКОВ;

И. А. ВЕРБЕНКО, д-р физ.-мат. наук

Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Россия

Представлены результаты оптимизации сегнетопьезоэлектрических свойств твердых растворов $Li_aK_bNa_cNb_dTa_mSb_nO_3$ путем варьирования технологических режимов, а также введения модифицирующих добавок. Показано, что полученные материалы можно эффективно использовать в рыбопромысловых хозяйствах при создании надежных, экологически безопасных систем гидроакустического мониторинга, а также активных пьезоэлектрических маркеров для контроля гидробионтов.

Ключевые слова: экологически безопасные материалы, водное хозяйство, рациональное использование биоресурсов, ниобат натрия-калия, гидроакустические системы.

Приоритетным рыночным сегментом в Национальной технологической инициативе РФ является рынок — Маринет. Одной из основных задач которого является освоение ресурсов мирового океана и устойчивое хозяйственное использование водных биоресурсов. Ранее эта задача решалась выборочными контрольными обловами сетными или траловыми орудиями лова и использованием данных промысловой статистики. Использование подобных методов в силу их неполноты и недостоверности, обострившихся в стране в 90-е гг., привело к многочисленным нарушениям баланса водных биоценозов и агроценозов, что способствовало резкому снижению продуктивности рыбных хозяйств. Экологическая безопасность постоянно находится в фокусе национальных и международных регуляторов отрасли, законодательство в этой сфере постоянно ужесточается, что служит мощным инструментом внедрения новых материалов и технологий.

Согласно Концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2030 г., утвержденной Правительством РФ, планируется обеспечить к 2030 г. увеличение валовой добавленной стоимости за счёт развития производства продукции глубокой переработки; увеличение общего количества рабочих мест в рыбохозяйственном комплексе на 24,5 тыс.; рост производительности труда в 1,4 раза по сравнению с 2018 г.; разработку и внедрение национальной

системы экологической сертификации добытых(выловленных) водных биологических ресурсов и произведённой из них рыбной и иной продукции [1].

Таким образом, совершенно необходимым условием экологически безопасного инновационного развития народного хозяйства в 21 в. является обеспечение экологической безопасности, повышение экономичности и надёжности функционирования систем водного хозяйства, а также обеспечения рационального использования водных ресурсов и охраны от загрязнений. В этих целях возможно использовать методы различной физической природы — оптической и акустической. В силу физической природы водной среды именно акустический контроль позволяет получить более полные и точные данные на больших расстояниях.

Гидроакустические приборы, такие как гидролокаторы, рыбопоисковые эхолоты, траловые зонды, получили самое широкое применение во всем мире. Использование гидроакустических приборов в водных средах включает: поиск гидробионтов, изучение их распределения в толще воды и по акватории, мечение рыб и других животных акустическими метками в целях изучения их миграций, биоакустическое исследование звуков живых существ в водной среде. Количественная оценка гидробионтов, возможно, является самым важным применением гидроакустики в рыбном хозяйстве.

Как известно, основу любого гидроакустического комплекса, используемого для гидроакустического мониторинга, составляют антенны, фазированные дискретные решетки сложной формы, состоящие из пьезокерамических преобразователей, которые должны обеспечить прием сигналов из водной среды. На протяжении уже многих десятилетий лидирующие позиции среди используемых в гидроакустике пьезоматериалов занимают керамики на основе свинецосодержащих соединений кислороднооктаэдрического типа со структурой типа перовскита [2]. Однако ис-

Глазунова Екатерина Викторовна, научный сотрудник.

E-mail: kate93g@mail.ru

Волков Дмитрий Вячеславович, аспирант.

E-mail: werhider@yandex.ru

Вербенко Илья Александрович, главный научный сотрудник, директор.

E-mail: ilich001@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11 октября 2022 г.

© Глазунова Е. В., Волков Д. В., Вербенко И. А., 2022

пользование этих соединений мера скорее вынужденная, так как сопряжена с рядом трудностей.

Во-первых, свинец, составляющий более 50 % массы таких керамик, является чрезвычайно токсичным элементом, ядом с кумулятивным действием, наносящим серьезный вред как окружающей среде, так и человеку, что делает недопустимым его применение в проектах экологической направленности [3, 4]. Во-вторых, параметры пьезокерамических материалов, применяемых в отрасли, изменяются в довольно широких пределах, что обусловлено не только низкой технологичностью производств, но и свойствами самих соединений (высокой химической активностью в водных средах, эффектами старения). В-третьих, низкая частотная селективность современных пьезопреобразователей, обуславливающая необходимость использования сложной электроники для подавления паразитных колебаний, выделения и усиления необходимого целевого сигнала.

Наконец, существующие пьезокерамические преобразователи, из которых создаются антенны, обладают чрезвычайно сложной конструкцией, а поскольку пьезокерамика сама по себе — очень хрупкий материал, то требуются значительные усилия для придания ей необходимой прочности.

Решение указанных проблем, а также необходимость снижения массогабаритных характеристик гидроакустических комплексов, являются важнейшими условиями создания универсальной системы контроля и управления водным пространством и его биоресурсами.

Решением может стать создание новых бессвинцовых пьезоматериалов, с целевыми для гидроакустических применений пьезоэлектрическими характеристиками [5, 6], применимых для контроля и управления водным пространством и его биоресурсами.

Одними из наиболее привлекательных и исследуемых бессвинцовых материалов являются системы на основе ниобатов щелочных металлов, при этом значительное количество работ посвящено изучению керамик на основе системы $K_{1-x}Na_xNbO_3$ (KNN). Однако внедрению керамик на основе KNN в промышленность препятствуют некоторые кристаллохимические и технологические трудности, обусловленные высокой химической активностью исходных веществ [7] и критической зависимостью свойств объектов от термодинамической предыстории (условий изготовления). В ряде случаев снижения влияния указанных трудностей удавалось добиться за счет введения модификаторов, например, различных Cu-содержащих добавок. Их введение приводит к значительному снижению оптимальных температур спекания, сохранению заданного стехиометрического состава и повышению относительной плотности керамических образцов [8, 9]. Можно предположить, что комбинированное модифицирование системы $Li_aK_bNa_cNb_dTa_mSb_nO_3$ оксидами Bi_2O_3 и Fe_2O_3 , а также $CuNb_2O_6$ позволит получить высокоплотную керамику с необходимым набором свойств, применимых в гидроакустической отрасли.

Анализ литературы [10] показывает, что для применения материала в рыбопромысловой гидроакустической отрасли он должен обладать при комнатной температуре средним значением относительной диэлектрической проницаемости поляризованных образцов, $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$, (1200), достаточно высоким коэффициентом электромеханической связи планарной моды колебаний K_p (более 0,40), низкой механической добротностью, Q_m , (менее 200).

Анализ патентной литературы (RU 2580538, RU 2571465, US 2013/0162109, KR 2013/0029476) свидетельствует, что наиболее перспективные для гидроакустической отрасли материалы отвечают химической формуле $Li_aK_bNa_cNb_dTa_mSb_nO_3$. При добавке к указанному ТР различных модификаторов, например NiO и Bi_2O_3 (RU 2580538, RU 2571465) удается достичь средней $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$ поляризованных керамик ≈ 1200 , достаточно высокого пьезомодуля, $|d_{31}| \approx 60$ пКл/Н, коэффициента электромеханической связи планарной моды колебаний $K_p \approx 0,30$, низкой механической добротности $Q_m \approx 80$. Однако для указанных применений материал обладает недостаточной пьезоактивностью (K_p). При введении в систему оксидов Bi_2O_3 и Fe_2O_3 (RU 2015/2542009) пьезоактивность удастся значительно повысить, $K_p \sim 0,50$, но при этом происходит снижение $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$ до ~ 600 , что в два раза меньше требуемого значения. Добавка к системе ZrO_2 , MnO и SiO_2 (US 2013/0162109) дает высокие значения $K_p \sim 0,40$, $|d_{31}| \approx 80$ пКл/Н, но при этом недостаточную величину $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0 \approx 900$.

Экспериментальные результаты

Методом двухстадийного твердофазного синтеза и спекания по обычной керамической технологии (ОКТ) были изготовлены образцы системы $Li_aK_bNa_cNb_dTa_mSb_nO_3$, модифицированные ($Fe_2O_3 + Bi_2O_3$) и $CuNb_2O_6$. В работе использовали три схемы сверхстехиометрического модифицирования твердых растворов (ТР): № 1 — 0,5 масс. % ($Fe_2O_3 + Bi_2O_3$) и 0,5 масс. % $CuNb_2O_6$, № 2 — 1,5 масс. % ($Fe_2O_3 + Bi_2O_3$) и 1,5 масс. % $CuNb_2O_6$ и № 3 — 2,0 масс. % ($Fe_2O_3 + Bi_2O_3$) и 2,0 масс. % $CuNb_2O_6$. По результатам комплексного анализа (фазового, анализа плотности, диэлектрических и пьезоэлектрических) свойств была выбрана схема № 2.

В таблице приведено сравнение характеристик, полученного материала с аналогами, приведенными в патентной литературе.

Сравнение с материалом, модифицированным $CuNb_2O_6$ [RU 2561439], показывает, что полученный в ходе исследования материал обладает более высокой диэлектрической проницаемостью и пьезоэлектрическими коэффициентами, а также необходимым низким значением механической добротности. Наш материал также существенно превосходит [RU 2542009], модифицированный Fe_2O_3 и Bi_2O_3 по значению $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$.

Диэлектрические, пьезоэлектрические и сегнетоэластические характеристики исследуемых ТР
 $K_{0,4324}Na_{0,5076}Li_{0,06}Nb_{0,846}Ta_{0,094}Sb_{0,06}O_3$ с 1,5 масс. % $(Fe_2O_3 + Bi_2O_3)$ и 1,5 масс. % $CuNb_2O_6$

| Технология | ρ , г/см ³ | $\varepsilon_{33}^T / \varepsilon_0$ | $K\rho$ | $ d_{31} $, пКл/Н | d_{33} , пКл/Н | Q_M | $V_1^E \cdot 10^3$, км/с |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------|--------------------|------------------|-------|---------------------------|
| RU 2561439C2 ($CuNb_2O_6$) | 4.30 | 345 | 0.32 | 30.0 | 90 | 500 | 4.745 |
| RU 2542009 C1 ($Fe_2O_3 + Bi_2O_3$) | 4.10 | 603 | 0.51 | 63.0 | 160 | 115 | 4.150 |
| ОКТ Схема № 2 | 4.42 | 1135 | 0.42 | 52.0 | 85 | 35.4 | 4.446 |

Таким образом, данные, приведенные в таблице, подтверждают преимущества сложного комбинированного модифицирования оксидами Fe_2O_3 , Bi_2O_3 и $CuNb_2O_6$ по сравнению с найденными в литературе материалами, за счет значительного снижения Q_M и повышения $\varepsilon_{33}^T / \varepsilon_0$ до значения 1135 при сохранении высоких $K\rho$ и $|d_{31}|$ — 0,42, 52 пКл/Н соответственно.

Заключение

Результатом работы явилось создание материалов и производственной технологии их получения, которые могут найти применение в новых экологически безопасных системах контроля водного хозяйства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № 0852-2020-0032)/(БА30110/20-3-07ИФ) при использовании оборудования Центра коллективного пользования "Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел" НИИ физики ЮФУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 года № 2798-р "Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года".
2. Kajewski D., Zajdel P., Soszyński A., Koperski J., Lazar I., Roleder K. Bismuth doped $PbZr_{0.70}Ti_{0.30}O_3$ ceramics and their properties driven by high temperature local polarity // *Ceramics International*. 2019. V. 45. № 8. P. 9871—9877.
3. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment // *Official Journal of the European Union*. 2003. V. 13. P. 10—24.
4. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment // *Official Journal of the European Union*. L 174. 2011. V. 54. P. 88—110.
5. Varghese J., Whatmore R. W., Holmes J. D. Ferroelectric nanoparticles, wires and tubes: synthesis, characterisation and applications // *J. Mater. Chem. C*. 2013. № 1. P. 2618—2638.
6. Zhou J. J., Li J. F., Zhang X. W. Orthorhombic to tetragonal phase transition due to stress release in (Li,Ta)-doped(K,Na)NbO₃ lead-free piezoceramics // *J. Eur. Ceram. Soc.* 2012. V. 32. P. 267—270.
7. Сахненко В. П., Дергунова Н. В., Резниченко Л. А. Энергетическая кристаллохимия твердых растворов соединений кислородно-октаэдрического типа и моделирование пьезокерамических материалов. — Ростов-на-Дону: Изд-во РГПУ, 1999. — 321 с.
8. Yang M.-R., Chu S.-Y., Chan I.-H. et al. Disk-type Piezoelectric Transformer of a $Na_{0.5}K_{0.5}NbO_3$ - $CuNb_2O_6$ Lead-Free Ceramic for Driving T5 Fluorescent Lamp // *J. Alloys. Compd.* 2012. V. 522. P. 094103 (1—5).
9. Tan X., Fan H., Ke S. et al. Structural Dependence of Piezoelectric, Dielectric and Ferroelectric Properties of $K_{0.5}Na_{0.5}(Nb_{1-2x}Cu_x)O_3$ Lead-Free Ceramics with High QM // *Mater. Res. Bull.* 2012. V. 47. P. 4472—4477.
10. Карлик Я. С., Марапулец Ю. В. Рыбопромысловая гидроакустика: уч.-метод. пособие. — Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. — 262 с.

Creation of environmentally friendly materials for the monitoring system of water objects in the national economy

E. V. GLAZUNOVA, D. V. VOLKOV, I. A. VERBENKO

Sciences Research Institute of Physics Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

This article presents the results of optimizing the ferropiezoelectric properties of $Li_aK_bNa_cNb_dTa_mSb_nO_3$ solid solutions by varying the technological regimes as well as the introduction of modifiers. It is shown that the obtained materials can be effectively used in fisheries to create reliable, environmentally friendly systems for hydroacoustic monitoring as well as active piezoelectric markers for monitoring hydrobionts.

Keywords: environmentally friendly materials, water management, rational use of bioresources, sodium-potassium niobate, hydroacoustic systems.

Bibliography — 10 references.

Received October 11, 2022

УДК 628.3

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_16

EDN: DCOSQI

Оценка эффективности комбинированной технологии обеззараживания фильтрационной воды полигонов ТБО на основе ультрафиолетового излучения

М. Е. ИЛЬИНА, канд. техн. наук; О. Г. СЕЛИВАНОВ; И. Н. КУРОЧКИН
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых»,
г. Владимир, Россия

Представлены результаты оценки эффективности комбинированной технологии обеззараживания фильтрационной воды полигонов ТБО. Исследования проводили на экспериментальной установке дезинфекции воды, в состав которой входили УФ-стерилизатор со встроенным ультразвуковым излучателем, узел дозирования пероксида водорода и узел озонирования. Результаты исследований показали, что необходимое качество обеззараживания достигается при дозе УФ-облучения 65 мДж/см², при этом с увеличением дозы облучения эффективность обеззараживания увеличивается.

Ключевые слова: фильтрационная вода, ультрафиолетовое излучение, пероксид водорода, озон, ультразвук, комбинированные технологии.

Объем воды, используемой человеком для питьевых и технических целей, с каждым годом возрастает. При этом вода из природных поверхностных источников настолько сильно загрязнена, что без предварительной очистки использовать ее для питьевых и технических целей опасно. Она может содержать повышенные концентрации тяжелых металлов, нефтепродуктов, фенолов, сложной хлорорганики, антибиотиков, поверхностно-активных веществ, пестицидов, свободных радикалов, патогенных микроорганизмов и т. д. [1—3]. Для очистки сильно загрязненных сточных вод (хозяйственно-бытовых, производственных, фильтрационных вод полигонов ТБО) до нормативных требований используют сложные комплексные многостадийные технологии водочистки, основанные на механической очистке, ультра- и нанофильтрации, обратном осмосе, ионном обмене, выпаривании, электрохимических методах обработки, сорбции, использовании ультрафиолетового излучения и т. д. [4—6]. При этом перед сбросом очищенной сточной воды в водоём в качестве завершающей стадии обработки необходимо провести обязательную дезинфекцию воды [7].

Наиболее перспективным представляется процесс обеззараживания воды с использованием ультрафиолетового облучения [8—10]. Основным пре-

имуществом данной технологии в сравнении с традиционными технологиями обеззараживания, является отсутствие ввода реагентов (хлор, озон и т. п.), что исключает возможность образования побочных продуктов реакции (в основном хлорзамещённых органических соединений) при сохранении высокой эффективности дезинфекции. Одно из направлений улучшения качества дезинфекции — это разработка комбинированных методов воздействия на микрофлору с использованием ультрафиолетового способа обеззараживания и других методов.

Цель исследования является оценка эффективности комбинированной технологии обеззараживания фильтрационной воды полигонов ТБО в целях повышения качества ее дезинфекции.

Объекты и методы исследования

Отработку технологии обеззараживания фильтрационной воды полигонов ТБО проводили на экспериментальной установке дезинфекции воды, разработанной и изготовленной ООО «БМТ» г. Владимир.

В состав экспериментальной установки дезинфекции воды входят три узла:

- ультрафиолетовый стерилизатор комбинированного действия (ультрафиолет + ультразвук);
- узел дозирования пероксида водорода;
- узел озонирования.

Принципиальная технологическая схема установки представлена на рисунке. Основной исследовательский узел имеет емкость исходной воды ($E_{исх}$), ультрафиолетовый стерилизатор с ультрафиолетовыми лампами и источником ультразвука (УФС), насос подачи исходной воды в ультрафиолетовый стерилизатор (Н), емкость приема очищенной воды $E_{ов}$.

Ильина Марина Евгеньевна, доцент кафедры "Биология и экология".

E-mail: ilina4@mail.ru

Селиванов Олег Григорьевич, инженер — исследователь кафедры "Биология и экология".

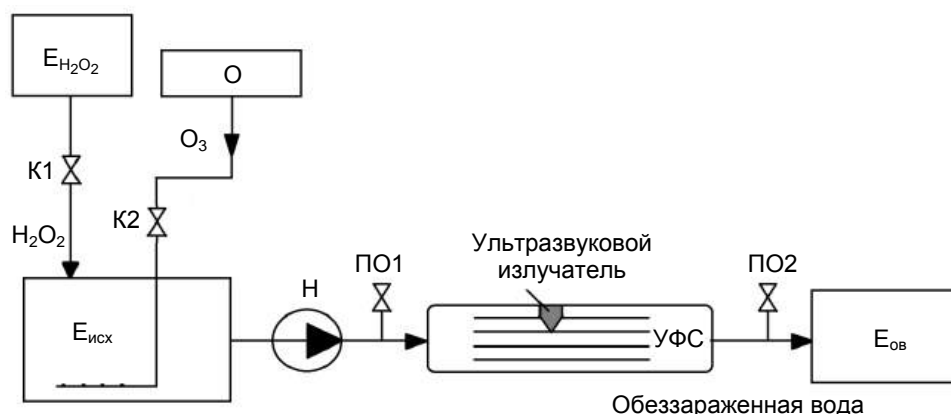
E-mail: selivanov6003@mail.ru

Курочкин Иван Николаевич, ассистент кафедры "Биология и экология".

E-mail: ivan33vl@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16 августа 2022 г.

© Ильина М. Е., Селиванов О. Г., Курочкин И. Н., 2022



Принципиальная технологическая схема экспериментальной установки дезинфекции воды

Узел дозирования пероксида водорода включает в себя мерную емкость раствора пероксида водорода ($E_{H_2O_2}$), который подается в емкость с исходной водой. Узел озонирования включает в себя озонатор (О), из которого озон подается в емкость с исходной водой. С помощью данной установки можно проводить исследования по дезинфекции воды в следующих режимах:

- ультрафиолетом с различными дозами облучения;
- ультрафиолет + ультразвук;
- H_2O_2 + ультрафиолет;
- озон + ультрафиолет.

Исходная вода из емкости $E_{исх}$ насосом Н подается для дезинфекции в ультрафиолетовый стерилизатор УФС с встроенным в него ультразвуковым излучателем, предназначенным для повышения эффективности дезинфекции. Обеззараженная вода собирается в емкости приема очищенной воды $E_{ов}$. Для изучения комбинированной технологии дезинфекции "ультрафиолет + H_2O_2 " в состав установки входит расходная мерная емкость раствора пероксида водорода.

Для изучения комбинированной технологии дезинфекции "ультрафиолет + озон" в состав установки входит озонатор. В качестве ультрафиолетового стерилизатора на экспериментальной установке использовался стерилизатор "Лазурь М-1К", предназначенный для обеззараживания воды с помощью ультрафиолетового излучения и ультразвука.

Определение биологического потребления кислорода (БПК₅) проводили на анализаторе "Эксперт-001-БПК" в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:3.4.123-97. Определение общего микробного числа (ОМЧ) проводили по ГОСТ 24849-2014.

Результаты и обсуждение

Для проведения испытаний на экспериментальной установке по обеззараживанию использовали предварительно очищенную, в том числе и обратным осмосом, фильтрационную воду полигона ТБО "Дмитровский" (Московская область). Состав очищенной фильтрационной воды представлен в табл. 1.

Таблица 1

Состав очищенной фильтрационной воды полигона ТБО

| Наименование показателей, единицы измерения | Величины показателей |
|---|----------------------|
| рН, единиц | 6,7 |
| Жесткость, мг-экв/л | 0,18 |
| Кальций (Ca^{2+}), мг/л | 2,6 |
| Магний (Mg^{2+}), мг/л | 0,6 |
| Щелочность, мг*экв/л | 20 |
| Бор, мг/л | 6,1 |
| Железо ($Fe_{общ.}$), мг/л | 0,01 |
| Аммоний (NH_4^+), мг/л | 276 |
| Нитраты (NO_3^-), мг/л | 110 |
| Сульфаты, мг/л | 18 |
| Хлориды (Cl^-), мг/л | 420 |
| АПАВ, мг/л | 1,25 |
| НПАВ, мг/л | <0,02 |
| Нефтепродукты, мг/л | 0,25 |
| ХПК, mgO_2/l | 91 |
| БПК ₅ , mgO_2/l | 30 |
| Общее микробное число (ОМЧ), КОЕ/мл | 345 |
| Солесодержание, мг/л | 1675 |

На первом этапе работы были проведены исследования по обеззараживанию воды УФ-излучением и УФ-излучением совместно с ультразвуком (УЗ). Для этого исходную воду из емкости $E_{исх}$ насосом Н подавали в ультрафиолетовый стерилизатор УФС с встроенным ультразвуковым излучателем, предназначенным для повышения эффективности дезинфекции.

Введение в зону обработки упругих колебаний достаточной мощности с ультразвуковой частотой позволяет получать уровни обеззараживания, достижение которых только лучевой энергией невозможно. Ультразвуковое излучение при воздействии на обеззараживаемую воду вызывает в ней кавитацию, благодаря чему разрушаются оболочки болезнетворных бактерий, вирусов и спор, происходит образование активных радикалов, что повышает эффективность дальнейшей обработки воды ультрафиолетовым излучением и приводит к интенсивному окислению органических примесей.

При расходе подаваемой исходной воды на установку дезинфекции, равной 1 м³/ч, доза УФ-облучения составляла 65 мДж/см². Исследования показали, что для обеспечения более высоких доз облучения необходимо уменьшать расход подаваемой исходной воды на установку.

Результаты исследований по дезинфекции воды УФ-излучением и УФ-излучением совместно с ультразвуком приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что необходимое качество обеззараживания достигается уже при дозе УФ-облучения 65 мДж/см², тем не менее с увеличением дозы облучения эффективность обеззараживания увеличивается. Совместное использование УФ-излучения и ультразвука увеличивает эффективность обеззараживания в среднем на 20 %.

Учитывая полученные результаты, последующие исследования проводили при дозе облучения 65 мДж/см² совместно с ультразвуком.

На втором этапе работ были проведены исследования по дезинфекции исходной воды с использованием перекиси водорода и УФ-излучения.

В исходную воду из мерной емкости Е_{Н₂O₂} добавлялось расчетное количество перекиси водорода. Исходная вода из емкости Е_{исх} насосом Н подавалась в ультрафиолетовый стерилизатор УФС. Обеззараженная вода собиралась в емкости приема очищенной воды Е_{ов}. Результаты исследований по дезинфекции воды по технологии Н₂O₂ + УФ-излучение представлены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что при увеличении дозы вводимого окислителя (перекиси водорода) при равной дозе УФ-излучения 65 мДж/см² увеличивается эффективность процесса обеззараживания исходной воды. Учитывая тот факт, что исходная вода, посту-

пающая на обеззараживание, подается после глубокой очистки, в т. ч. обратным осмосом, удаляющим большую часть присутствующих в воде бактерий и вирусов, в данном случае, для обеззараживания достаточно УФ-облучения с дозой 65 мДж/см² без дополнительного введения окислителя перекиси водорода. Применение технологии обеззараживания Н₂O₂ + УФ-излучение будет целесообразно при обеззараживании сточных вод, не подвергавшихся глубокой очистке, для окисления присутствующей в них органики и эффективного обеззараживания.

На третьем этапе работ были проведены исследования по дезинфекции исходной воды с использованием озона и УФ-излучения. Насыщенная озоном (O₃) вода из емкости Е_{исх} насосом Н подавалась в ультрафиолетовый стерилизатор УФС. Обеззараженная вода собиралась в емкости приема очищенной воды Е_{ов}. Результаты исследований по дезинфекции воды по технологии Озон + УФ-излучение представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что с увеличением дозы O₃ при дозе УФ-излучения, равной 65 мДж/см², увеличивается эффективность процесса обеззараживания исходной воды. В случае, когда исходная вода, взятая с полигона ТБО, уже прошла предварительную очистку, в том числе и обратным осмосом, удаляющим большую часть присутствующих в воде бактерий и вирусов, для обеззараживания воды достаточно будет УФ-облучения с дозой 65 мДж/см² без дополнительного введения озона.

Применение технологии обеззараживания Озон + УФ-излучение целесообразно для сточных вод, еще не подвергнутых глубокой очистке, для окисления присутствующей в них органики.

Таблица 2

Дезинфекции воды УФ-излучением и по технологии УФ-излучение + ультразвук

| Расход подаваемой исходной воды, л/ч | Доза УФ-облучения, мДж/см ² | Значение показателя БПК ₅ , мгO ₂ /л | | Общее микробное число, КОЕ/мл | |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| | | УФ-излучение | УФ-излучение + ультразвук | УФ-излучение | УФ-излучение + ультразвук |
| 1000 | 65 | 3,5 | 3,0 | 55 | 50 |
| 750 | 80 | 2,5 | 2,0 | 45 | 40 |
| 500 | 130 | 2 | <2 | 37 | 30 |
| 450 | 145 | <2 | <2 | 25 | 22 |
| 350 | > 150 | <2 | <2 | 23 | 22 |

Таблица 3

Дезинфекция воды по технологии Н₂O₂ + УФ-излучение

| Доза перекиси водорода, мг/л | Расход подаваемой исходной воды, л/ч | Доза УФ-излучения, мДж/см ² + УЗ | Значение показателя БПК ₅ , мгO ₂ /л | Общее микробное число, КОЕ/мл |
|------------------------------|--------------------------------------|---|--|-------------------------------|
| 1 | 1000 | 65 | 3,0 | 50 |
| 3 | 1000 | 65 | 2,8 | 45 |
| 5 | 1000 | 65 | 2,5 | 41 |
| 10 | 1000 | 65 | <2 | 35 |

Таблица 4

Дезинфекция воды по технологии Озон + УФ-излучение

| Доза озона, мг/л | Расход подаваемой исходной воды, л/ч | Доза УФ-облучения, мДж/см ² + УЗ | Значение показателя БПК ₅ , мгO ₂ /л | Общее микробное число, КОЕ/мл |
|------------------|--------------------------------------|---|--|-------------------------------|
| 1 | 1000 | 65 | 3,0 | 50 |
| 3 | 1000 | 65 | 2,5 | 42 |
| 5 | 1000 | 65 | 2,4 | 37 |
| 10 | 1000 | 65 | <2 | 23 |

Выводы

Проведенные исследования показали, что требуемое качество для очищенной фильтрационной воды и степень обеззараживания обеспечивает комбинированная технология ультрафиолет + ультразвук с дозой облучения 65 мДж/см² без дополнительного введения окисляющих агентов (перекиси водорода или озона).

Увеличение дозы облучения до 150 мДж/см² позволяет повысить эффективность процесса, но не является целесообразным для обеззараживания воды, прошедшей комплексную глубокую очистку, в том числе обратным осмосом и сорбционной очисткой низкомолекулярной органики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савостикова О. Н., Мамонов Р. А., Тюрина И. А., Алексеева А. В., Николаева Н. И. Ксенобиотики и продукты их трансформации в сточных водах (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 11. С. 1218—1223.
2. Трифонова Т. А., Селиванова Н. В., Селиванов О. Г., Ширкин Л. А., Михайлов В. А. Утилизация гальваношламов сложного состава // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 5–3. С. 849—851.
3. Высотина А. Е., Игнатова Е. В., Калинин Р. Г. Сорбционная очистка сточных вод предприятий стекольной промышленности // Siberian journal of life sciences and agriculture. 2019. Т. 11. № 3–2. С. 12—20.
4. Трифонова Т. А., Поворов А. А., Ширкин Л. А., Селиванов О. Г., Ильина М. Е. Комплексная технология очистки фильтрационных вод полигонов твердых бытовых отходов // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 11. С. 4—9.
5. Трифонова Т. А., Селиванова Н. В., Ширкин Л. А., Селиванов О. Г., Ильина М. Е. Проблемы утилизации ТБО на полигонах // Изв. Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 3–2. С. 685—687.
6. Ильина М. Е., Селиванов О. Г., Пикалов Е. С. Оценка эффективности метода ультрафильтрации при очистке фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов // Водоснабжение и санитарная техника. 2022. № 3. С. 52—57.
7. Водный кодекс Российской Федерации. Текст с последними изменениями и дополнениями на 2017 год. — М.: Эксмо, 2017. — 64 с.
8. Лебедев Н. М., Грачев В. А., Плямина О. В., Лебедев О. Ю., Лукичева Д. С., Доильницын В. А., Акатов А. А., Леонов Л. В. Испытание комбинированного способа ультрафиолетового и ультразвукового обеззараживания сточных вод // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 7. С. 23—30.
9. Бокарев М. А., Кузнецов С. М., Майдан В. А., Лихачёв И. В., Фёдоров И. С., Кузьмин С. Г., Гайсин Р. А. Анализ эффективности перспективных технологий обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением // Вестник российской военно-медицинской академии. 2016. № 4(56). С. 210—216.
10. Костюченко С. В., Ткачев А. А., Фроликова Т. Н. УФ-технологии для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей: принципы и возможности // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2020. Т. 19. № 5. С. 112—119.

Evaluation of the effectiveness of the combined technology of disinfection of filtration water of landfills based on ultraviolet radiation

M. E. IL'INA, O. G. SELIVANOV, I. N. KUROCHKIN

Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletovs, Vladimir, Russia

The results of evaluating the effectiveness of the combined technology for disinfecting seepage water from solid waste landfills are presented. The studies were carried out on an experimental water disinfection unit, which included a UV sterilizer with a built-in ultrasonic emitter, a hydrogen peroxide dosing unit, and an ozonation unit. The research results showed that the required quality of disinfection is achieved at a dose of UV irradiation of 65 mJ/cm², while with an increase in the dose of radiation, the efficiency of disinfection increases.

Keywords: seepage water, ultraviolet radiation, hydrogen peroxide, ozone, ultrasound, combined technologies.

Bibliography — 10 references.

Received August 16, 2022



Экологически безопасные технологии

УДК 621.436

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_20

EDN: DIUHWY

Экономическая оценка экологических показателей трактора, работающего на рапсовом масле

*Е. В. ОВЧИННИКОВ; С. Ю. УЮТОВ; А. В. ЛАВРОВ, канд. техн. наук;
К. С. ДМИТРИЕВ*

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Представлены показатели, полученные при сравнении использования дизельного топлива (ДТ) и топлива на основе рапсового масла (РМ), по экономическим и экологическим параметрам на примере трактора Беларусь 320.4. По результатам исследований и расчетов определено, что использование РМ сокращает затраты на топливо при выполнении технологических операций до 90 %, а также снижает негативное воздействие на окружающую среду в среднем на 30 %.

Ключевые слова: дизельный двигатель, рапсовое масло, экология, экономика, негативное воздействие.

Во всем мире проводятся многочисленные исследования по применению альтернативных видов топлива в существующих транспортно-технологических средствах. Как правило, рассматривают использование нескольких основных видов топлива, а именно: газомоторное топливо, биотопливо на основе растительных масел и водородное топливо [1]. Цель таких исследований — дать оценку эффективности применения различных видов топлив для сельскохозяйственных предприятий.

В данной работе дан сравнительный анализ энергетической, экологической и экономической оценки применения топлива на основе рапсового масла

на базе трактора Беларусь 320.4, адаптированном для работы на альтернативных видах топлива в различных сочетаниях. В данном исследовании рассмотрим вариант использования дизельного топлива и рапсового масла.

Методика проведения исследований

Для сравнительной энергетической оценки применена "Методика топливно-энергетической оценки производства продукции растениеводства" [2], позволяющая определить возможность повышения энергетической эффективности колесного трактора тягового класса 3 (технические характеристики представлены в табл. 1.) в полном жизненном цикле за счет уменьшения удельного расхода топлива машинно-тракторных агрегатов на базе модификаций данного трактора, работающих на альтернативных видах топлива. Расчеты проводили для почвенно-климатических условий Республики Башкортостан (Агрозона 4.2, лесостепная подзона) на примере модельного хозяйства [3].

Параметры модельного хозяйства Агрозона 4.2 лесостепная подзона представлены в табл. 2, 3.

Овчинников Евгений Валентинович, научный сотрудник.

E-mail: evo-xpro-info@yandex.ru

Уютлов Сергей Юрьевич, младший научный сотрудник.

E-mail: s_uutov@mail.ru

Лавров Александр Владимирович, ведущий научный сотрудник.

E-mail: vimlavrov@mail.ru

Дмитриев Кирилл Сергеевич, младший научный сотрудник.

E-mail: kir0597@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20 октября 2022 г.

© Овчинников Е. В., Уютлов С. Ю., Лавров А. В., Дмитриев К. С., 2022

Таблица 1

Технические характеристики базовой модели трактора и его модификаций

| Показатель | Модель | |
|--|-----------------|------------------|
| | БЕЛАРУС 320.4 Д | БЕЛАРУС 320.4 БД |
| Масса эксплуатационная, кг | 1720 | 1910 |
| Удельный расход топлива, г/(кВт·ч) | 310 | 322 |
| Эксплуатационная мощность двигателя, кВт | 22,5 | 21 |
| Тяговое усилие, кН | 7,1 | 7,3 |
| Вид топлива | Дизельное | Рапсовое масло |
| Стоимость топлива, руб./кг | 64,12 | 3,2* |
| Стоимость трактора, руб. | 1060000 | 1260000 |
| Удельная теплота сгорания, МДж/кг | 42,9 | 35,8 |

* Стоимость рапсового масла при закупке у производителей, при самостоятельном производстве стоимость может составлять 0 рублей (обоснование приведено в экономической части).

Таблица 2

Характеристика фермерского хозяйства лесостепи Поволжья

| Характеристика | Показатели модельного хозяйства |
|---|---------------------------------|
| Площадь сельскохозяйственных угодий, га | 43 |
| Площадь пашни, га | 38 |
| Зерновые, всего, га | 26 |
| Подсолнечник, га | 2,5 |
| Сахарная свекла, га | 0,72 |
| Кормовые, га | 7,0 |
| Картофель, га | — |
| Овощи, га | — |
| Лен, га | — |
| Масштабный коэффициент | 1014 |
| Доля полей сложной конфигурации, % | 3 |

Таблица 3

Технология уборки трав на сено, прессованное в рулоны

| Наименование операции | Состав агрегата | | Тип машин, марка (аналог) | Выработка агрегата в час эксплуатационного времени, га/ч (норматив) | | Расход топлива, кг/га (норматив) | |
|----------------------------------|--|-------------------|---------------------------|---|-----|----------------------------------|------|
| | Трактор, тяговый класс, марка (аналог) | | | Д | РМ | Д | РМ |
| Скашивание трав | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | КСП-2,1 | 1,5 | 1,5 | 2,23 | 2,4 |
| Воршение провяленной массы | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | (Pronar PWP)460 | 4,6 | 4,6 | 1,34 | 1,39 |
| Воршение провяленной массы | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | (Pronar PWP)460 | 4,6 | 4,6 | 1,34 | 1,39 |
| Сгребание провяленной массы | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Kuhn GA 300G | 4,5 | 4,5 | 1,2 | 1,26 |
| Оборачивание валка | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | (Pronar PWP)460 | 4,6 | 4,6 | 1,34 | 1,39 |
| Подбор валков с прессованием | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | ППР 0850 | 1,5 | 1,5 | 3,5 | 3,66 |
| Погрузка в транспортное средство | | | | | | | 0 |
| Транспортировка рулонов | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | Тр. 0,6 МТЗ 320.4 | ПСТ-3,5 | 1,5 | 1,5 | 1,9 | 1,99 |
| Загрузка в сенохранилище | | | | | | | 0 |

Оценка энергетической эффективности трактора, работающего на биодизельном топливе (рапсовое масло)

Для расчета энергетических затрат на производство продукции использована технология уборки трав на сено, прессованное в рулоны (табл. 3), по двум вариантам новому (биодизельный) и базовый (дизельный).

Удельные энергетические затраты рассчитывают по следующей формуле:

$$E_{уд} = \frac{E_{п} + E_{к}}{S},$$

где $E_{п}$ — прямые энергозатраты, МДж;
 $E_{к}$ — косвенные энергозатраты, МДж;
 S — площадь полевого участка, га.

Прямые энергетические затраты рассчитываются по следующей формуле:

$$E_{\text{п}} = g S (\alpha_{\text{т}} + \beta_{\text{т}}),$$

где g — погектарный расход топлива, кг/га;
 $\alpha_{\text{т}}$ — энергетический эквивалент топлива, МДж/га;
 $\beta_{\text{т}}$ — теплотворная способность топлива, МДж/га.

Косвенные энергетические затраты рассчитывают по следующей формуле:

$$E_{\text{к}} = M_{\text{мэс}} \theta_{\text{мэс}} (k_{\text{мэс}}^{\text{а}} + k_{\text{мэс}}^{\text{р}}) + M_{\text{схм}} \theta_{\text{схм}} (k_{\text{схм}}^{\text{а}} + k_{\text{схм}}^{\text{р}}),$$

где $M_{\text{мэс}}, M_{\text{схм}}$ — масса мобильного энергосредства и сельхозмашины, кг;
 $\theta_{\text{мэс}}, \theta_{\text{схм}}$ — энергетический эквивалент мобильного энергосредства и сельхозмашины, МДж/га;
 $k_{\text{мэс}}^{\text{а}}, k_{\text{мэс}}^{\text{р}}, k_{\text{схм}}^{\text{а}}, k_{\text{схм}}^{\text{р}}$ — коэффициенты отчисления на амортизации и ремонт мобильного энергосредства и сельхозмашины.

Остальные составляющие для энергетического расчета не принимались во внимание, в связи с тем, что для нового и базового варианта они имели одинаковые значения.

Исходные данные для расчета представлены в табл. 4.

Таблица 4

Данные для расчета энергетических затрат

| Наименование, единица измерения | Значение |
|---|----------|
| Теплотворная способность дизельного топлива, МДж/кг | 42,7 |
| Энергетический эквивалент дизельного топлива, МДж/кг | 10,0 |
| Теплотворная способность рапсового масла, МДж/кг | 37,374 |
| Энергетический эквивалент рапсового масла, МДж/кг | 7,8 |
| Энергетический эквивалент мобильных энергосредств, МДж/кг | 144 |
| Энергетический эквивалент сельхозмашины, МДж/кг | 83 |
| Коэффициент отчисления на амортизацию (Беларус 320.4), % | 12,5 |
| Коэффициент отчисления на амортизацию (Беларус 320.4-БД), % | 9,7 |

В результате расчетов получили удельные энергетические затраты для нового и базового вариантов: 1429 МДж/га и 1570 МДж/га соответственно.

Экономическая оценка эффективности трактора, работающего на биодизельном топливе

Экологические проблемы актуальны во всем мире. Множество программ направлено на снижение потребления углеводородного топлива. Однако одномоментно отказаться от использования традици-

онных видов топлива не представляется возможным, поэтому осуществляют частичные замещения биотопливом. Очень популярным видом биотоплива является рапсовое масло, которое используют как в чистом, так и в смесевом виде. Использование чистого рапсового масла осложняется его относительно высокой температурой самовоспламенения, при использовании в стандартном дизельном двигателе, поэтому существуют системы, позволяющие избегать неблагоприятных режимов работы двигателя на рапсовом масле. К примеру, сотрудниками лаборатории была разработана, изготовлена и испытана автоматизированная двухтопливная система, позволяющая работать как на рапсовом масле, так и при неблагоприятных режимах (холостой ход и режимы работы до 15 % максимальной мощности) на дизельном топливе. Данная система с установкой оценивается в 200 тыс. руб.

Для производства рапсового масла необходимы ряд операций и условий севооборота, а также химзащита растений, так как рапс очень подвержен нападкам насекомых, таких, как рапсовый пилильщик, рапсовый цветоед, блоха, мотылек и др. Согласно параметрам модельного хозяйства, зерновые занимают 26 га, которые участвуют в севообороте с рапсом. Таким образом, принимаем, что площадь рапса составляет 26 га.

Технология выращивания ярового рапса:

1. Лушение после уборки предшественника.
2. Анализ почвы агрономом.
3. Внесение минеральных удобрений.
4. Рыхление или вспашка на глубину от 10 до 25 см.
5. Весеннее боронование.
6. Культивация перед посевом.
7. Посев с внесением дополнительных удобрений.
8. Прикатывание вслед за посевом.
9. Обработка почвы гербицидами.
10. Внесение дополнительных удобрений.
11. Опрыскивание биостимуляторами.
12. При отсутствии осадков орошение в период роста.
13. Борьба с вредителями, болезнями и сорняком в период роста.
14. Сбор урожая и транспортировка.

После сбора урожая необходимо произвести отжим масла с помощью пресса. Наиболее предпочтительный вариант (соотношение цена/качество/производительность) маслопресс МГ-300 с производительностью 300 кг/ч и стоимостью 270000 руб. Для подобного хозяйства с такими площадями посева рекомендуемое количество прессов составит 2. При качестве отжима 90 % и маслянистости рапса 50 % с одной тонны рапсового семя получится 450 кг масла и 550 кг жмыха с маслянистостью до 10 %. Рапсовый жмых — это высокопротеиновая кормовая добавка, позволяющая повысить производство молока и набор мышечной массы у животных. Стоимость 1 кг жмыха составляет от 27 руб./кг. Урожай ярового рапса с 1 гектара выходит в среднем 1,7 т [4]. С 1 гектара получится 0,765 т масла и 0,935 т жмыха. Таким образом, стоимость жмыха с одного гектара составляет 25245 руб. Стоимость рапсового масла на торговых площадках составляет от 85 руб./кг. Однако при про-

изготовлении рапсового масла и последующем использовании его в качестве топлива стоимость будет нулевой.

Затраты на производство одной тонны рапса:

- оплата труда с отчислениями на социальные нужды — 160 руб.;
- семена ярового рапса — 312 руб.;
- средства защиты ярового рапса — 1463 руб.;
- электроэнергия всех видов — 90 руб.;
- нефтепродукты — 512 руб.;
- содержание и оснащение транспортных средств — 116 руб.;
- Прочие затраты — 200 руб.

Для производства одной тонны ярового рапса среднему хозяйству требуется затратить 2541 руб. Данные были взяты из 12 крупных и мелких хозяйств, которые давали отчет о финансово-экономической деятельности в 2019 г. [5, 6].

Учитывая среднюю урожайность в 1,7 т с гектара, произведем расчет общей стоимости производства рапса на площади в 26 га, по следующей формуле:

$$\Sigma = \bar{U} A S$$

$$\Sigma = 1,7 \cdot 2541 \cdot 26 = 112312 \text{ руб.}$$

где \bar{U} — урожайность с 1 га;

A — себестоимость 1 т рапса, руб.;

S — площадь посева, га.

С площади в 26 га, урожай составит 44,2 т, т. е. 19,89 т масла и 24,31 т жмыха. Как указано ранее, рыночная стоимость жмыха составляет 27 руб./кг. Произведем расчет от реализации жмыха по следующей формуле:

$$X = 2724310 = 656370 \text{ руб.},$$

где X — доход от реализации жмыха, руб.

Как показывают расчеты, затраты на производство рапсового масла и жмыха составят:

$$112312 + 2 \cdot 270000 = 652312 \text{ руб.}$$

Общие затраты с учетом реализации жмыха составят

$$652312 - 656370 = -4058 \text{ руб.}$$

Таким образом, стоимость 19,89 т рапсового масла выйдет бесплатно.

Обязательно стоит учитывать тот фактор, что 2 пресса, купленные в первый год, имеют срок службы минимум 10 лет, учитывая годовую загруженность. Таким образом, в следующем году при прочих равных условиях, стоимость 1 кг рапсового масла составит

$$W = \Sigma - X = 112312 - 656370 = -544058 \text{ руб.},$$

где W — общий доход/расход с учетом реализации жмыха, руб.

Как показывают расчеты, на следующий год, выручка от реализации жмыха с учетом всех расходов составит 544058 руб., при том масло будет совершенно бесплатно.

В экономическом расчете рассматривался трактор МТЗ 320.4, использующий дизельное и рапсовое топливо, оснащенный трехцилиндровым двигателем "LOMBARDINI"/MM3-3LD с системой адаптации для работы на рапсовом масле холодного отжима и на сжиженном углеводородном газе по газодизельному процессу. Максимальная мощность МТЗ 320.4 составляет 27 кВт, номинальная — 25 кВт, эксплуатационная — 22,5 кВт.

Стоимость дизельного топлива на заправочных станциях составляет 64 руб. за кг. Стоимость рапсового масла при самостоятельном производстве — 0 руб. за кг. При использовании рапсового масла процент замещения составляет 90 %. Во время эксплуатации на рапсовом масле существуют негативные режимы работы двигателя, а именно на холостом и на режимах малой мощности (до 15 %). В это время автоматизированная система переключает рапсовое масло на дизельное топливо. Время работы на дизельном топливе во время смены составляет 10 %, а расход топлива на таких режимах составит не более 2 кг/ч.

Для расчета был предложен коэффициент замещения дизельного топлива рапсовым маслом ∂ , который рассчитывается следующим образом:

$$\partial = Q_{\text{дт}} / Q_{\text{рм}} = 42,9 / 35,8 = 1,2$$

где $Q_{\text{дт}}$ — теплотворная способность ДТ, МДж/кг равна 42,9;

$Q_{\text{рм}}$ — теплотворная способность РМ / МДж/кг равна 35,8.

Таким образом для замещения 1 кг ДТ, необходимо 1,2 кг РМ.

Произведем расчет стоимости замещения рапсовым маслом одного кг ДТ по следующей формуле:

$$V_{\text{рм}} \cdot \partial = 0 + 0,05 \cdot 64 = 3,2 \text{ руб.};$$

где $V_{\text{рм}}$ — стоимость 1 кг РМ и 5 % ДТ

Также стоит отметить, что по результатам стендовых испытаний при использовании РМ происходит понижение уровня мощности на 5 %. Таким образом, получается, что затраты на топливо при выполнении различных операций на тракторе с использованием РМ будут выше в сравнении с дизельным исполнением и рассчитываются по формуле

$$G_{\text{дт}} = 0,10 \cdot G_{\text{дт}} + 0,9 \cdot G_{\text{рм}} \cdot 1,05 \cdot N;$$

где $G_{\text{дт}}$ — расход дизельного топлива;

$G_{\text{рм}}$ — расход РМ;

N — мощность двигателя, 1,05 относительно мощности использования РМ.

Учитывая, что режим работы свыше 15 % мощности и на холостом ходу занимает не более 10 % времени и расход топлива ДТ составляет 5 %, РМ соответственно 95 %, введем поправочный коэффициент 0,95, таким образом, формула будет иметь следующий вид

$$G_{\text{дт}} = (0,05 \cdot G_{\text{дт}} + 0,95 \cdot G_{\text{рм}} \cdot 1,05 \cdot N) \cdot 0,95.$$

Для подсчета удельного расхода топлива в руб-лях, используем следующую формулу:

$$G_y = g_y \cdot V_{\text{топл}};$$

где g_y — удельный расход топлива, г/(кВт·ч);

$V_{\text{топл}}$ — стоимость 1 кг топлива.

$$G_{\text{удт}} = 0,31 \cdot 64 = 19,84 \text{ руб./кВт·ч};$$

$$G_{\text{урм}} = 0,016 \cdot 64 = 0,099 \text{ руб./кВт·ч};$$

где $G_{\text{удт}}$ — удельный расход ДТ;

$G_{\text{урм}}$ — удельный расход РМ + ДТ.

При эксплуатационной мощности 22,5 кВт затраты на топливо в час составят:

$$19,84 \cdot 22,5 = 446,4 \text{ руб./ч} - \text{ДТ}$$

$$0,099 \cdot 22,5 = 2,2 \text{ руб./ч} - \text{РМ + ДТ}$$

В месяц при 40 часовой рабочей неделе и 4,5 недели в месяце, затраты составят:

$$446,4 \cdot 40 \cdot 4,5 = 80352 \text{ руб.} - \text{ДТ}$$

$$2,2 \cdot 40 \cdot 4,5 = 409 \text{ руб.} - \text{РМ + ДТ}$$

В год затраты на топливо составят:

$$80352 \cdot 12 = 964224 \text{ руб.} - \text{ДТ}$$

$$414 \cdot 12 = 4908 \text{ руб.} - \text{РМ + ДТ}$$

При сравнении затрат на топливо, в год экономия от использования РМ + ДТ в биодизельном варианте составит:

$$964224 - 4968 = 959194 \text{ руб.}$$

Экологическая оценка трактора, работающего на биодизельном топливе на основе рапсового масла

По результатам испытаний были получены значения (табл. 5), которые показывают, что при использовании рапсового масла в чистом виде в качестве топлива количество вредных выбросов снижается в среднем на 30 %.

Выводы

Как показывают расчеты, использование рапсового масла в качестве топлива в биодизельном варианте позволяют получить понижение энергетических показателей до 7 %, однако, учитывая эксплуатационные мощностные характеристики, для трактора это не критично. По экономическим показателям, использование РМ относительно дизельного топлива при тех же операциях позволяет сэкономить до 95 % затрат на топливо. Что касается экологических показателей, то снижение вредных выбросов составляет от 20 до 40 %.

Таблица 5

Сравнительные показатели вредных выбросов при использовании ДТ и РМ

| Вещество | Соответствие нормам | Удельные выбросы, г/(кВт·ч) | |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------|
| | | ДТ | РМ |
| CO _{ср} | По результатам испытаний | 0,77 | 0,315 |
| | Нормы Евро2 | 4,0 | |
| | Нормы Евро3 | 2,0 | |
| | Нормы Евро4 | 1,5 | |
| | Нормы Евро5 | 1,0 | |
| | Удовлетворяет нормам | Евро 5 | Евро 5 |
| HC _{ср} | По результатам испытаний | 0,6 | 0,49 |
| | Нормы Евро2 | 1,1 | |
| | Нормы Евро3 | 0,6 | |
| | Нормы Евро4 | 0,5 | |
| | Нормы Евро5 | 0,5 | |
| | Удовлетворяет нормам | Евро 3 | Евро 4 |
| NO _x _{ср} | По результатам испытаний | 4,3 | 3,2 |
| | Нормы Евро2 | 7,0 | |
| | Нормы Евро3 | 5,0 | |
| | Нормы Евро4 | 3,5 | |
| | Нормы Евро5 | 2,0 | |
| | Удовлетворяет нормам | Евро 3 | Евро 4 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Уютов С. Ю., Овчинников Е. В., Чаплыгин М. Е. Оценка эффективности систем адаптации газодизельного двигателя для работы в закрытых помещениях // Экология промышленного производства. 2022. № 1(117). С. 42—49. DOI 10.52190/2073-2589_2022_1_42. EDN: BZWPUX.
2. Методика топливно-энергетической оценки производства продукции растениеводства. — М.: Издательство ВИМ, 2005. — 186 с.
3. Бейлис В. М., Московский М. Н., Лавров А. В. Инновационная система машинно-технологического обеспечения фермерских хозяйств, селекционных и семеноводческих организаций: моногр. — М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2022. — 288 с.
4. Ovchinnikov E., Uyutov S., Fedotkin R., Kryuchkov V. Ways to Reduce Negative Impacts from the Use of Rapeseed Oil as a Fuel for Diesel Engines // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. V. 463 LNNS. P. 290—301. DOI: 10.1007/978-3-031-03877-8_26.
5. Затраты на производство одной тонны ярового рапса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zen.yandex.ru/media/id/5d8b350ffe289100b11935c1/zatraty-na-proizvodstvo-odnoi-tonny-iarovogo-rapsa-5dec7ba443863f00ae06e2e7>.
6. Кучер Р. Бизнес идея выращивание рапса с расчетами. 01.12.2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zarabatyvayemsami.ru/raps-kak-biznes/#punkt5>.

Economic assessment of the environmental performance of a tractor powered by rapeseed oil

E. V. OVCHINNIKOV, S. Yu. UYUTOV, A. V. LAVROV, K. S. DMITRIEV
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

This article presents the indicators obtained by comparing the use of diesel fuel (DF) and fuel based on rapeseed oil (RM) in terms of economic and environmental parameters using the Belarus 320.4 tractor as an example. Based on the results of studies and calculations, it was determined that the use of PM reduces the cost of fuel when performing technological operations by up to 90 %, and also reduces the negative impact on the environment by an average of 30 %.

Keywords: diesel engine, rapeseed oil, ecology, economy, negative impact.

Bibliography — 6 references.

Received October 20, 2022

УДК 504.3.054

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_26

EDN: DJNLTW

Экологический аспект выбора технологии и оборудования на этапе проектирования битумного терминала

¹ С. С. САЕНКО, канд. техн. наук; ² Ю. Я. НИКУЛИН, канд. техн. наук;¹ В. А. ДЯДЧЕНКО¹ Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия² ООО "Энергоэффективные битумные технологии", г. Ростов-на-Дону, Россия

Проведена оценка влияния технических особенностей резервуаров, их режимов работы и технологии битумного терминала на суммарные годовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Расчет потерь от дыхания и рабочих потерь выполнен по американской методике AP42. Установлено, что основным источником загрязнений являются рабочие потери, происходящие при заполнении-опорожнении резервуаров. Конструкция резервуара и его тип оказывает влияние на потери от дыхания, происходящие в процессе нагрева битума, а использование вертикальных резервуаров в качестве догревочных емкостей является предпочтительнее с точки зрения снижения загрязнений. Ключевым фактором в обеспечении "экологичности" битумного терминала является принятая на предприятии технология, так технологии внутреннего нагрева битумов Купол, за счет значительного сокращения циклов заполнения-опорожнения резервуара и обеспечения возможности подачи самотеком битума из одного резервуара в другой, позволяют в 6 и более раз сократить суммарные выбросы от резервуарного парка.

Ключевые слова: битумный терминал, резервуар, рабочие потери, потери от дыхания.

При проектировании битумных терминалов, в первую очередь при формировании резервуарного парка, основными факторами выбора количества и номенклатуры резервуаров являются: капитальные затраты, количество хранимых марок продукта, скорость выхода на рабочий режим, площадь участка под технологические нужды, противопожарные ограничения и ограничения по лимитам на энергию и др. В данной статье рассматривается степень загрязнения атмосферного воздуха резервуарами как фактор выбора номенклатуры резервуаров и технологии битумного терминала.

Резервуары битума являются источниками организованных загрязнений воздуха вследствие выделения паровоздушной смеси при заполнении резервуаров (так называемые "большие дыхания резервуара" или "рабочие потери") и при нагреве продукта (так называемые "малые дыхания резер-

вуара" или "потери от дыхания") [1—4]. Итоговые значения выбросов могут быть получены расчетным путем.

Методика расчета

В российской практике на этапе проектирования учет загрязнения расчетным методом чаще всего выполняют на основе Методического пособия по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (ОАО "НИИ Атмосфера"). Методика позволяет рассчитать суммарные годовые выбросы от резервуаров и в первую очередь предназначена для расчета выбросов от расходных емкостей асфальтобетонных заводов. Данная методика фактически не учитывает габаритные размеры резервуара и его тип, конструктивные особенности крыши и степень наполнения, что является важным при расчете "потерь от дыхания" [5]. К тому же, руководство ОАО "НИИ Атмосфера" не позволяет проводить раздельно расчет по статьям "большие дыхания" и "малые дыхания", а также в полной мере учитывать особенности инновационных подходов к нагреву битумов (при использовании систем внутреннего нагрева битумов КУПОЛ [6]). Поэтому для данного исследования использовалась американская методика расчета загрязнений атмосферы по руководству AP42, обеспечивающая учет конструктивных особенностей резервуаров и позво-

Саенко Сергей Сергеевич, доцент.

E-mail: svkube@mail.ru

Никулин Юрий Яковлевич, профессор, научный руководитель.

E-mail: info@bitumtech.ru

Дядченко Владимир Андреевич, магистр.

E-mail: dyadchenkovova@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 19 октября 2022 г.

© Саенко С. С., Никулин Ю. Я., Дядченко В. А., 2022

ляющая вести отдельно учет загрязнений от "рабочих потерь" и "потерь от дыхания". Ранние работы авторов показывают, что расчетные среднегодовые выбросы от битумных терминалов объемами от 2 000 до 25 000 м³, полученных по методике ОАО "НИИ Атмосфера" в 2—3 раза ниже, чем аналогичные по руководству АР42.

"Потери от дыхания" (L_s) и "рабочие потери" (L_w) с учетом рекомендаций ERA Environmental для резервуаров нагрева битумов [5] определяли по следующим формулам:

$$L_w = 0,0010 \cdot M_v \cdot P_{va} \cdot Q \cdot K_n \cdot K_p, \quad (1)$$

$$L_s = n \cdot V_v \cdot W_v \cdot K_e \cdot K_s, \quad (2)$$

где M_v — молекулярная масса паров битума, фунт/(фунт·моль);
 P_{va} — давление насыщенных паров битума, фунт/дюйм²;
 Q — количество жидкости, перекачиваемое за год, фут³;
 K_n — коэффициент оборачиваемости;
 K_p — коэффициент производства рабочих потерь, $K_p = 1$;
 n — количество циклов нагрева;
 V_v — объем парового пространства, фут³;
 W_v — стандартная плотность паров жидкости, фунт/фут³;
 K_e — коэффициент расширения парового пространства в сутки;
 K_s — коэффициент насыщения вентилируемых паров.

Стандарт АР42 предусматривает расчет суммар-

ных выбросов (L_t), как сумму "потерь от дыхания" (L_s) и "рабочих потерь" (L_w).

Расчетные выбросы

Функционально, в традиционной технологии подготовки битумов (с использованием догревочных емкостей) можно выделить два участка: участок длительного хранения и участок интенсивного нагрева. Участки длительного хранения как правило состоят из резервуаров номинальным объемом от 1000 до 5000 м³, в которых предусмотрен нагрев битума от температуры окружающей среды до 100—110 °С для внутриваровской перекачки. Участок интенсивного нагрева включает от 1—2 до нескольких резервуаров, номинальный объем каждого при этом кратен суточной производительности терминала. Чаще всего это горизонтальные или вертикальные резервуары от 30 до 400 м³, встречаются догревочные емкости объемом 1000 м³. В таких резервуарах осуществляется нагрев битума от конечной температуры подготовки на участке длительного хранения (100—110 °С) до рабочей температуры отгрузки на внешний транспорт 150—160 °С.

Расчетные суммарные выбросы на один цикл наполнения и нагрева резервуара с разбиением на категории: "потери от дыхания" и "рабочие потери" для резервуаров стандартных номинальных объемов по ГОСТ 31385 от 1000 до 5000 м³ представлены на рис. 1.

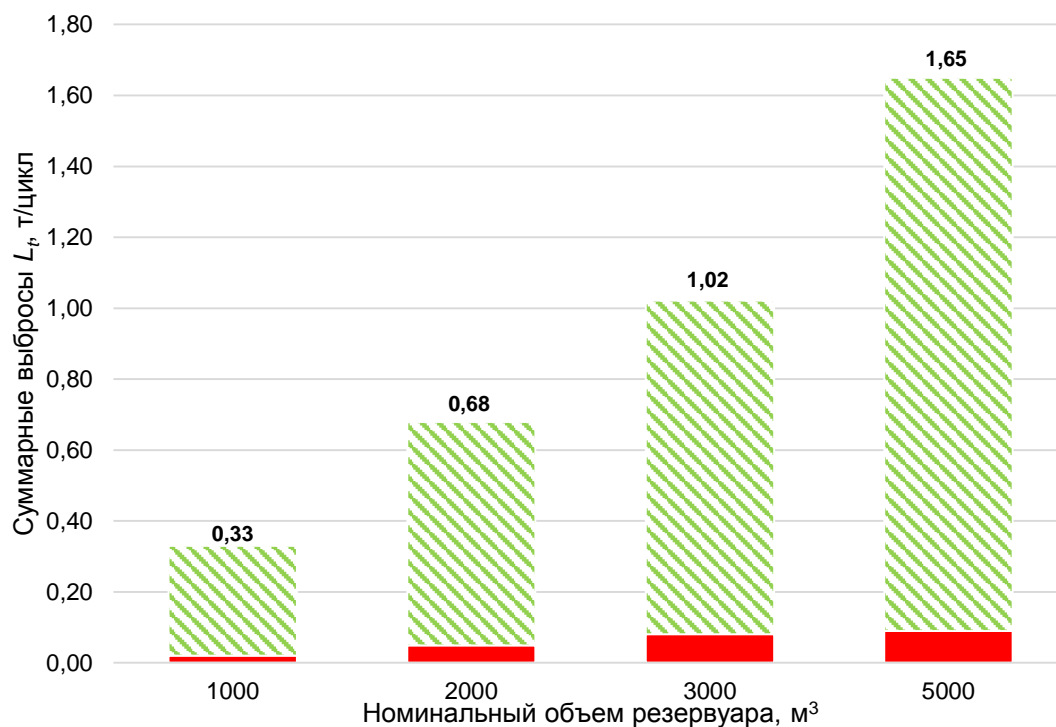


Рис. 1. Расчетные выбросы от резервуаров участка хранения в традиционной технологии подготовки битумов:

■ — потери от дыхания; ■ — рабочие потери

"Потери от дыхания" для резервуаров номинальным объемом от 1000 до 5000 м³ находятся в диапазоне от 5,45 до 7,9 % от общих суммарных выбросов на один цикл заполнения и последующего нагрева после длительного хранения.

Использование резервуаров меньшего объема в диапазоне до 3000 м³ обеспечивает незначительное снижение суммарных выбросов — до 10—20 кг/цикл, а использование одного резервуара РВС 5000 по сравнению с группой из РВС2000 + РВС3000 позволяет сократить суммарные выбросы всего на 50 кг/цикл.

Расчетные суммарные выбросы на 1000 т подготовки битума на участке интенсивного нагрева для резервуаров номинальных объемов от 50 до 400 м³ представлены на рис. 2.

Как и для резервуаров большого объема участка хранения, выбросы у догревочных емкостей участка интенсивного нагрева в первую очередь формируются за счет рабочих потерь, потери от дыхания в общем объеме составляют не более 3,5 %. При этом предпочтительно использование вертикальных резервуаров, обеспечивающих снижение потерь от дыхания при том же номинальном объеме на 1—1,3 % на каждые 1000 т нагретого битума. Например, для резервуаров объемом 100 м³, суммарные выбросы при вертикальном исполнении резервуара сокращаются на 40 кг на 1000 т битума по сравнению с резервуарами в горизонтальном исполнении.

При сравнении диаграмм на рис. 1 и 2 видно, что основным источником выбросов в атмосферу на терминалах с традиционной технологией подготовки битумов являются участки интенсивного нагрева. В первую очередь это рабочие потери, формируемые в результате внутриваровской перекачки с участка хранения на участок интенсивного нагрева.

При использовании технологии внутреннего нагрева битумов Купол участок хранения битума, является также и участком интенсивного нагрева. Битум в резервуаре большого объема нагревают до температур не ниже температуры текучести, а интенсивный разогрев битума до температуры отгрузки 150—160 °С осуществляют во внутреннем устройстве купольного типа. По мере выдачи битума, битум из основного объема хранения поступает во внутреннее устройство самотеком, при такой схеме не происходит рабочих потерь.

В случае, когда резервуарный парк состоит из трех и более резервуаров, на терминалах с технологией внутреннего нагрева битумов Купол, выделяют дополнительно участки хранения, состоящие из стандартных резервуаров большого объема. В такой схеме подачу битума с участка хранения на участок хранения и интенсивного нагрева (в резервуар с системой Купол) обеспечивают самотеком, что также не приводит к рабочим потерям.

Суммарные выбросы от резервуаров с системами Купол представлены на рис. 3. Для равнозначного сравнения представлены суммарные выбросы от резервуарного парка (участок хранения и участок интенсивного нагрева) при традиционной технологии подготовки. В зависимости от номинального объема резервуара выбросы при традиционной технологии подготовки от 6,6 до 13,3 раз больше, чем при использовании систем внутреннего нагрева Купол, что объясняется сокращением объемов перекачки битума внутри терминала. При использовании большого парка значения для резервуаров с системами Купол на рис. 3 могут быть дополнены выбросами для стандартных резервуаров из диаграммы на рис. 1.

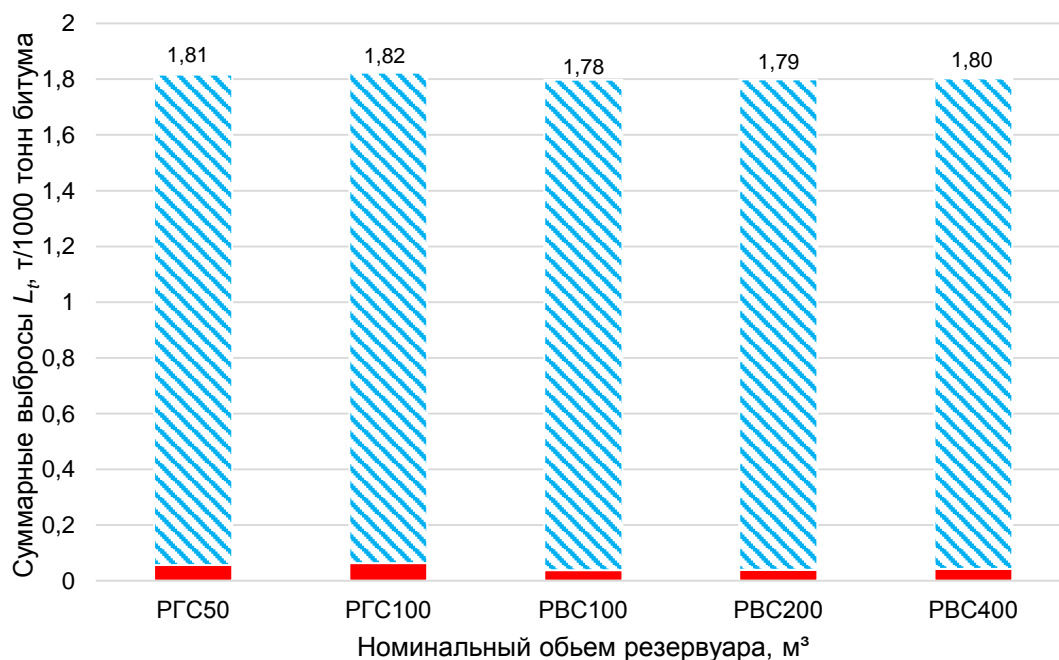


Рис. 2. Расчетные выбросы от резервуаров участка интенсивного нагрева в традиционной технологии подготовки битумов:

■ — потери от дыхания; ■■■ — рабочие потери

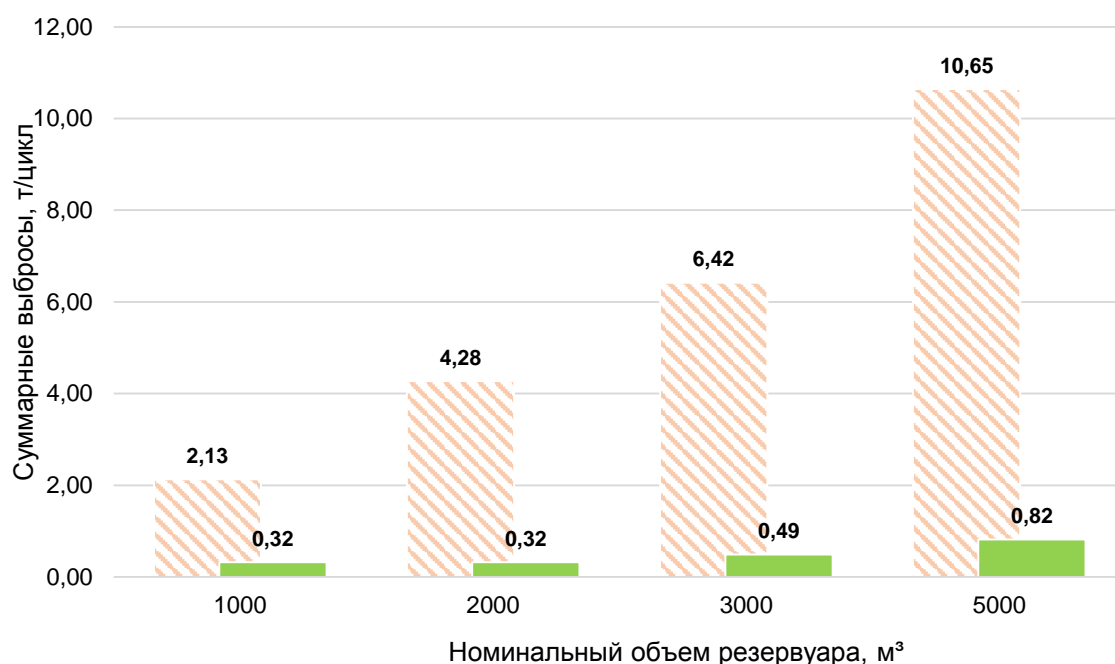


Рис. 3. Расчетные выбросы от резервуаров с традиционной технологией подготовки (догревочные емкости) и с использованием систем внутреннего нагрева Купол:

— традиционная технология; — система Купол

Совершенствование подходов

Для выбора резервуарного парка и технологии битумного терминала можно использовать критерий суммарных выбросов терминала:

$$\sum L_t = \sum_{i=1}^n L_t^{j1} n_i^j N_i^j + \frac{B}{1000} L_t^{j2} + \sum_{i=1}^n L_t^{j3} n_i^j N_3 \quad (3)$$

- L_t^{j1} — суммарные потери (выбросы) от резервуаров j -номинального объема участка хранения, т/цикл. Принимается из диаграммы на рис. 1;
- n_i^j — количество резервуаров j -номинального объема на участке хранения, ед.;
- N_i^j — оборачиваемость резервуаров j -номинального объема участка хранения за рассматриваемый период, раз;
- B — масса битума, проходящая подготовку на участке интенсивного нагрева, тонн. При использовании технологии внутреннего нагрева битумов Купол $B = 0$;
- L_t^{j2} — суммарные потери (выбросы) от резервуаров j -номинального объема участка интенсивного нагрева, т/1000 тонн. Принимается из диаграммы на рис. 2;
- N_3 — оборачиваемость резервуаров с системами Купол за рассматриваемый период (без учета докачек из резервуаров хранения), раз. При использовании технологии с догревочными емкостями $N_3 = 0$;
- L_t^{j3} — суммарные потери (выбросы) от резервуаров с системами Купол j -номинального объема, т/цикл. Принимается из диаграммы на рис. 3.

Резервуарные парки, для которых суммарные выбросы терминала меньше, являются предпочтительными с позиции сокращения загрязнений атмосферы.

Заключение

На основе изложенного можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Основным источником организованных выбросов от резервуаров битумного терминала, независимо от технологического участка, являются рабочие потери, происходящие вследствие операций наполнения резервуаров. Доля выбросов от рабочих потерь составляет до 90—95 % от общих суммарных выбросов.

2. Особенности работы участка интенсивного нагрева битумов на терминалах с традиционной технологией приводят к тому, что основные загрязнения атмосферы приходятся на догревочные емкости. На каждые 1000 т хранения и нагрева суммарные выбросы от догревочных резервуаров превышают суммарные выбросы от резервуаров хранения более чем в 5 раз. При этом использование вертикальных резервуаров на участке интенсивного нагрева является более предпочтительным и позволяет несколько снизить суммарные выбросы в атмосферу.

3. Наименьшие суммарные выбросы в атмосферу у резервуаров, оборудованных системами внутреннего нагрева Купол. Исключение перекачек между резервуарами, значительно сокращает объемы рабочих выбросов. По сравнению с традиционной технологией, технология внутреннего нагрева Купол экологичнее и снижает суммарные выбросы в атмосферу до 13 и более раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kriech A. J., Schreiner C. A., Osborn L. V., Riley A. J. Assessing cancer hazards of bitumen emissions — a case study for complex petroleum substances // *Crit Rev Toxicol*. 2018. V. 48(2). P. 121—142. DOI: 10.1080/10408444.2017.1391170.
2. Preiss A., Koch W., Kock H., Elend M., Raabe M., Pohlmann G. Collection, Validation and Generation of Bitumen Fumes for Inhalation Studies in Rats Part 1: Workplace Samples and Validation Criteria // *Annals of Occupational Hygiene*. 2006. V. 50. № 8. P. 789—804, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mel047>.
3. Law B. F., Stone S., Frazer D., Siegel P. D. Characterization of laboratory simulated road paving- like asphalt by high-performance liquid chromatography and gas chromatography-mass spectrometry // *J. Occupational and Environmental Hygiene*. 2006. V. 3(7). P. 343—50. DOI: 10.1080/15459620600732795.
4. Kriech A. J. Bitumen fume composition as a function of binder temperature — Physical and chemical analysis of binder fumes at various relevant temperatures using two different laboratory fume generation techniques. — Heritage Research Group, 2006.
5. Hot and heated liquid storage tank emissions. Best practices for understanding the science of hot & Heated tanks. ERA Environmental Guide.
6. Саенко С. С. Правильный подход // *Автомобильные дороги*. 2021. № 6(1075). С. 130—135.

Environmental aspect of the choice of technology and equipment at the design stage of a bitumen terminal

¹ S. S. SAENKO, ² Yu. Ya. NIKULIN, ¹ V. A. DIADCHENKO

¹ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

² LLC "Energy-efficient bitumen technologies", Rostov-on-Don, Russia

The article is devoted to the study of the influence of technical features of tanks, their operating modes and bitumen terminal technology on the total annual emissions of pollutants into the atmosphere. Calculation of losses from breathing and working losses was performed according to the American method AP42. It has been established that the main source of pollution is the working losses that occur during the filling and emptying of tanks. The design of the tank and its type have an impact on the breathing losses that occur during the bitumen heating process, and the use of vertical tanks as day tanks is preferable from the point of view of reducing pollution. The key factor in ensuring the "environmental friendliness" of the bitumen terminal is the technology adopted at the plant, so the technologies of internal heating system Kupol, due to a significant reduction in the cycles of filling and emptying the tank and providing the possibility of supplying bitumen by gravity from one tank to another, allow to reduce 6 or more times total emissions from the tank farm.

Keywords: bitumen terminal, tank, working loss, breathing loss.

Bibliography — 6 references.

Received October 19, 2022

УДК 62-523.8; 62-529
DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_31
EDN: ETFSTK

Повышение экологических параметров безопасности электрического транспортно-технологического средства

А. С. ОВЧАРЕНКО; К. С. ДМИТРИЕВ

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

Рассмотрено электрическое транспортно-технологическое средство, применяемое как в городских и парковых хозяйствах, так и в сельскохозяйственном производстве. Помимо очевидных достоинств электротранспорта — отсутствие вредных выбросов, минимальное шумовое воздействие, существует ряд недостатков, в частности — повышенное давление движителей на опорную поверхность, ограничивающих применение подобных машин в некоторых сферах. Авторами спроектирована, изготовлена и испытана ходовая система, обеспечивающая нормативные значения давления на почву. Сделаны выводы о необходимости адаптации ходовых систем для повышения экономической эффективности использования подобных машин.

Ключевые слова: экологическая безопасность, уплотняющее воздействие на почву, шины, сельское хозяйство, электротранспорт.

С развитием электрического транспорта становится очевидным необходимость его внедрения в городское хозяйство и различные технологические процессы производства, в том числе сельскохозяйственного. Хорошим примером служит использование подобных электрических транспортных средств в Московском зоопарке, в природоохранных, лесопарковых и исторических зонах. Небольшие грузовые транспортные средства способны заменить легковые и грузовые автомобили на транспортных работах в селекции, семеноводстве, животноводстве и многих других. Свой вклад в продвижение электротранспорта в сельское хозяйство также внесли ученые из ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [1]. Существующие образцы электрических грузовых транспортных средств не в полной мере соответствуют требованиям сельскохозяйственного производства, в частности, по давлению движителя на опорную поверхность.

Исследование давления движителя штатного электрического трицикла на почву

Различные исследования влияния уплотняющего воздействия колес, гусениц на почву, проводились учеными всего мира [2—5].

Для работы в полях сельскохозяйственная техника должна удовлетворять нормам уплотняющего воздействия на почву, приведенным в ГОСТ Р 58655-2019.

Овчаренко Александр Сергеевич, ведущий инженер.

E-mail: peterbilt@list.ru

Дмитриев Кирилл Сергеевич, младший научный сотрудник.

E-mail: kir0597@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11 октября 2021 г.

© Овчаренко А. С., Дмитриев К. С., 2021

В целях соответствия действующим нормам по уплотняющему воздействию, для грузового электрического транспортного средства повышенной проходимости (ГЭТпп) необходимо выбрать оптимальную компоновку и рассчитать необходимую площадь пятен контакта движителей с почвой, исходя из полной массы машины. Общий вид ходового образца и его пятна контакта приведены на рис. 1.

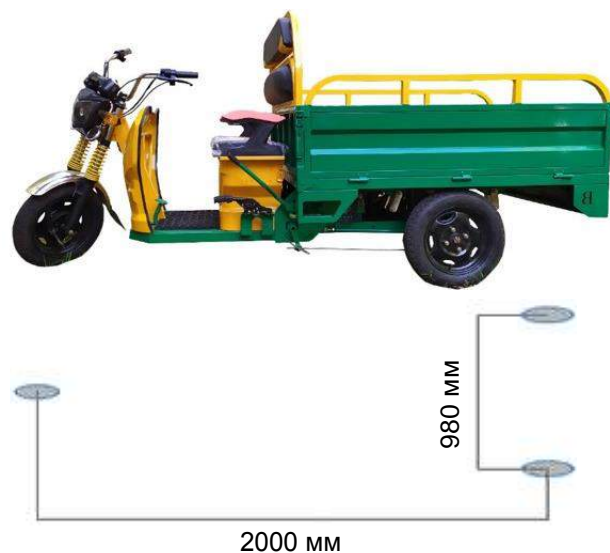


Рис. 1. Внешний вид транспортного средства и пятен контактов колес с опорной поверхностью

На ходовом образце ГЭТпп установлены шины следующих размерностей:

- передняя 3,50–12; камерная;
- задние 4,00–12; камерная.

Рекомендуемое давление в шинах:

- передняя: 250 кПа (2,5 кг/см²);
- задние: 300 кПа (3,0 кг/см²).

Влажность грунтовой дороги в период конца июля — начала августа составляет до 0,9 НВ, максимальное давление на почву колесного движителя должно составлять не более 100 кПа. С учетом того, что нагрузка на единственный колесный движитель не превышает 8 кН, норма давления увеличивается на 25 %, следовательно, максимальное давление на почву не должно превышать 125 кПа. Некоторые ученые на разных континентах провели обзорное исследование, чтобы выявить влияние уплотняющего воздействия от колес на снижение урожайности земли, а также, проведена параллель со снижением урожайности и нанесением урона земле движителями [6, 7].

Для определения уплотняющего воздействия на почву ходового макета ГЭТпп необходимо определить следующие параметры — вес ГЭТпп, площадь пятен контактов переднего и заднего колес в порожнем состоянии и с полной нагрузкой, изменение распределения веса между передней и задней осями (развесовка) в порожнем состоянии и с полной загрузкой. Результаты измерения распределения веса между осями машины представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения распределения веса между осями машины

| Масса груза, кг | Процентное соотношение нагрузки по осям, % | | Нагрузка, кН | |
|-----------------|--|------------|--------------|------------|
| | Передняя ось | Задняя ось | Передняя ось | Задняя ось |
| 0 | 45 | 55 | 1600 | 1950 |
| 250 | 23 | 77 | 1400 | 4650 |
| 490 | 15 | 85 | 1300 | 7150 |
| 740 | 11 | 89 | 1200 | 9750 |
| 955 | 10 | 90 | 1300 | 13100 |

Масса порожнего ГЭТпп с учётом массы оператора (95 кг) составляет 355 кг, с полной загрузкой — 1310 кг.

Измерения изменения пятна контакта проводили для порожнего ГЭТпп с частичной и с полной нагрузкой. Значения массы нагрузки приведены для каждого конкретного случая.

Свой метод расчета глубины следа относительно размеров пятен контактов представили к рассмотрению ученые Московского политехнического университета [8]

Измерение площади пятен контактов производили по отпечаткам на листе бумаги, при нагрузке транспортного средства. Определение веса производили механическим динамометром, установленным на кран-балку. Процесс измерений представлен на рис. 2.



Рис. 2. Измерение пятен контактов шин

В процессе измерений фиксируется изменение площади пятен контактов в зависимости от веса груза, также производится взвешивание передней оси ГЭТпп. Данные общей площади пятен контакта, общая масса ГЭТпп и вес, приходящийся на колеса задней оси, высчитывали на основе известных данных.

Для измерения площади пятен контактов полученные образцы оцифровывали, в САД-системе очерчивали контуры, после чего измерялась площадь полученной фигуры. Процесс измерения и некоторые отпечатки представлены на рис. 3.

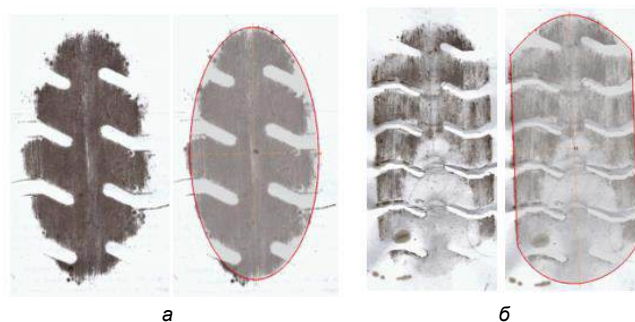


Рис. 3. Процесс измерения и некоторые отпечатки пятен контактов шин:

а — задняя левая шина, без загрузки;
б — задняя левая шина, загрузка кузова 490 кг

Результаты измерений и расчетов площадей пятен контакта и распределение массы по осям приведены в табл. 2.

Таблица 2

Пятно контакта и масса по осям

| | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Мгр, кг | 0 | | 250 | | 490 | | 740 | | 955 | |
| Скп, м ² | 5,327 | | 5,007 | | 4,763 | | 4,633 | | 4,734 | |
| Рп, кПа | 300 | | 280 | | 274,5 | | 259 | | 274,6 | |
| Скз, 10 ⁻³ м ² | Правое 5,0 | Левое 5,0 | Правое 8,953 | Левое 8,925 | Правое 10,882 | Левое 11,161 | Правое 14,0 | Левое 14,390 | Правое 16,5 | Левое 16,8 |
| Рз, кПа | 195 | 195 | 259,6 | 260,5 | 328,5 | 320,3 | 348,2 | 338,8 | 357,6 | 351,2 |
| Рдп, мм | 230 | | 232 | | 234 | | 235 | | 234 | |
| Рдз, мм | Правое 252 | Левое 253 | Правое 244 | Левое 244 | Правое 238 | Левое 238 | Правое 235 | Левое 235 | Правое 229 | Левое 228 |
| Мпер, кг | 160 | | 140 | | 130 | | 120 | | 130 | |
| Мзад, кг | 195 | | 465 | | 715 | | 975 | | 1180 | |
| Мсум, кг | 355 | | 605 | | 845 | | 1095 | | 1310 | |

После определения площади пятен контактов выбирается колесо с наибольшим давлением на опорную поверхность. Из графика, представленного на рис. 4, видно, что максимальное давление на почву оказывает заднее правое колесо, значение составляет 357,6 кПа при норме в 125 кПа.

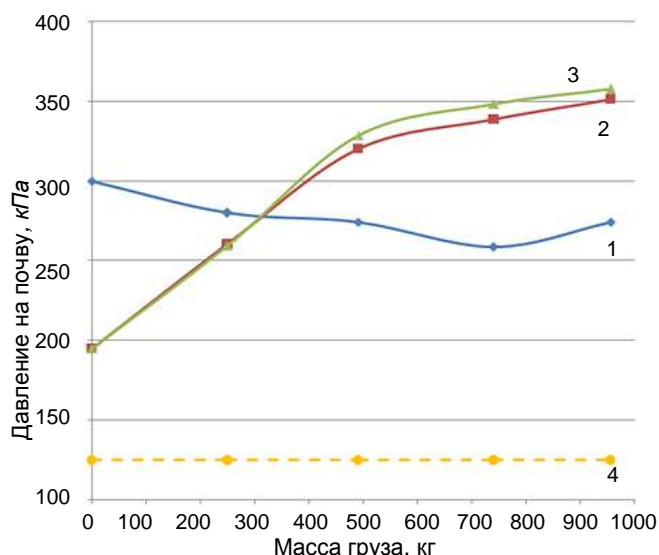


Рис. 4. График зависимости давления на почву при различной загрузке трицикла:

1 — переднее колесо; 2 — заднее левое колесо; 3 — заднее правое колесо; 4 — норма

Проведенные измерения показали, что допустимое давление на почву превышено в 2,86 раза колесами задней оси. Для снижения давления на почву необходимо увеличение пятна контакта, что возможно достигнуть подбором шин пропорционально большей ширины.

Выбор компоновки ГЭТпп

В качестве мер снижения давления на почву предполагается увеличить ширину шин и число колес. Вклад в снижение уплотняющих воздействий на почву вносят, в том числе, новые разработки в сфере производства шин. Так, ученые из Дании провели исследование в области разработок новых технологий в производстве шин [9].

В задней части транспортного средства предусмотрена установка дополнительного ведущего моста, а спереди — двух управляемых колес. Предполагаемая компоновка ГЭТпп приведена на рис. 5.



Рис. 5. Предполагаемая компоновка ГЭТпп

Для данной компоновки была определена допустимая площадь S контакта движителей с опорной поверхностью. Принимаем, что снаряженная масса подобной машины составит 400 кг, масса водителя-оператора — 100 кг, полная масса груза — 1100 кг. Таким образом, полная масса машины составит 1600 кг, соответственно вес машины $G = 15,7$ кН. Максимально допустимое давление на почву P_n , принятое в расчет, составляет 125 кПа.

$$S = \frac{G}{P_n} = \frac{15,7 \cdot 10^4}{1,25 \cdot 10^5} = 0,126 \text{ м}^2.$$

Из формулы получаем, что минимально допустимая общая площадь контакта с опорной поверхностью равна 0,126 м². Исходя из того, что предполагается 6 опорных колес, рассчитаем площадь пятна контакта одного колеса S_k :

$$S_k = \frac{0,126}{6} = 0,021 \text{ м}^2.$$

Полученное значение является приблизительным и не учитывает неравномерность давления в пятне контакта шины с опорной поверхностью. Также из табл. 1 видно, что с ростом нагрузки на ходовой образец ГЭТпп распределение веса между осями меняется, достигая соотношения 9:1 в пользу задней оси, что негативно сказывается на устойчивости и управляемости машины. Поэтому одной из задач для разрабатываемой машины является равномерное распределение нагрузки между осями при любых значениях загрузки вплоть до максимальных. В таком

случае становится возможным использование одинаковых шин и дисков распространенных типоразмеров, применяемых на легковых автомобилях, на всех осях разрабатываемой машины, что сулит заметные преимущества.

Так, при использовании шин типоразмера 175/70R13 на стальных штампованных дисках масса 6 колес в сборе составит 76,2 кг, что на 22,5 кг больше, чем при использовании трехколесной схемы с широкопрофильными сельскохозяйственными шинами. При этом, стоимость штампованного диска в среднем составляет 1,5 тыс. руб., стоимость шины типоразмера 175/70R13 — 3,5 тыс. руб., соответственно, стоимость комплекта из 6 колес — 30 тыс. руб., что в 2,8 раза меньше, чем при использовании трехколесной схемы.

Были измерены площади контактов шин размерности 175/70R13 при нагрузке 3 кН при давлении в шине 2,0; 1,4 и 1,0 кг/см². Результаты измерений и вычислений приведены в табл. 3. Полученные отпечатки пятен контактов приведены на рис. 6.

Таблица 3

Результаты измерений и вычислений площади пятен контактов колеса с почвой и давления на почву

| | | | |
|--|--------|--------|--------|
| Давление в шине, кг/см ² | 2,0 | 1,4 | 1,0 |
| Площадь пятна контакта, м ² | 0,0150 | 0,0229 | 0,0275 |
| Давление на почву, кПа | 200 | 131 | 109 |

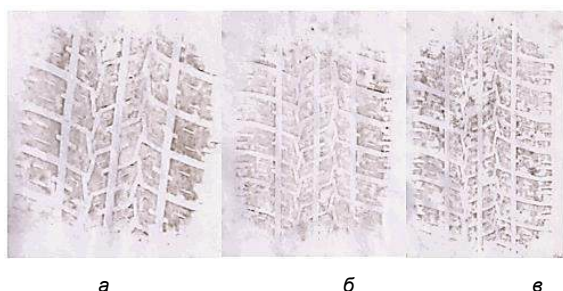


Рис. 6. Пятно контакта, шины 175/70R13 при нагрузке 3 кН:

а — давление в шине 2,0 кг/см²; б — давление в шине 1,4 кг/см²; в — давление в шине 1,0 кг/см²

Из приведенных расчетов видно, что при снижении давления в шине возможно достичь целевого показателя давления на почву в 125 кПа и ниже, однако в дальнейшем необходимо уточнить типоразмер шин и оптимальное давление в них.

Выводы

Несмотря на обилие предложений легких грузовых электрических транспортных средств для работы в городском и сельском хозяйстве, необходимо создание новых машин, соответствующих требованиям, предъявляемым к технике, и адаптированным к существующим технологиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годжаев З. А., Измайлов А. Ю., Лачуга Ю. Ф. и др. Перспективы применения автоматизированных и роботизированных электроприводов на мобильных энергосредствах и рабочих органах сельхозмашин // Известия МГТУ МАМИ. 2018. № 2(36). С. 41—47.
2. Abdolmajid M., Ghoalmhossein S., Yousef A. G., Mohammad K., Mariusz S. Investigating the effect of the tractor driving system type on soil compaction using different methods of ANN, ANFIS and step wise regression// Soil and Tillage Research. 2022. № 222.
3. Mansonia P., Lars J. M., Per S. Wheel load, repeated wheeling, and traction effects on subsoil compaction in northern Europe// Soil and Tillage Research. 2019. № 186. P. 300—309.
4. Mileusnić I. Z., Saljnikov E., Radojević L. R., Petrović V. D. Soil compaction due to agricultural machinery impact// Journal of Terramechanics. 2022. № 100. P. 51—60.
5. Chan K. Y., Oates A., Swan A. D., Hayes R. C., Dear B. S., Peoples M. B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil// Soil and Tillage Research. 2006. № 89(1). P. 13—21.
6. Hu W., Drewry J., Beare M., Eger A., Müller K. Compaction induced soil structural degradation affects productivity and environmental outcomes: A review and New Zealand case study // Geoderma. 2021. № 395.
7. Bilson P., Ugarte M. C. A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield// Soil and Tillage Research. 2021. № 186.
8. Balabina T., Karelina M., Mamaev A. Method for calculating the track depth after successive wheel runs on deformable soil// Transportation Research Procedia. 2022. № 63. P. 223—228.
9. Damme L., Stettler M., Pinet F., Vervaeke P., Keller T., Munkholm L. J., Lamandé M. The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks// Soil and Tillage Research. 2019. № 194.

Improving the environmental safety of an electric vehicle

A. S. OVCHARENKO, K. S. DMITRIEV

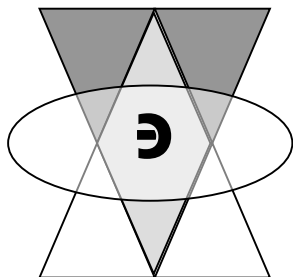
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

This article discusses an electric vehicle used both in urban and other economic areas. In addition to the obvious advantages of using electric transport in various technological operations, such as the absence of harmful emissions and minimal noise impact, there are also a number of disadvantages, namely, increased pressure on the supporting surface. The authors designed, developed, manufactured and tested the running system, which allows to reduce this impact on the soil. The results obtained confirm the effectiveness of this development and are cost-effective.

Keywords: environmental safety, sealing effect on soil, tires, agriculture, electric transport.

Bibliography — 9 references.

Received November 11, 2022



Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка и ликвидация их последствий

УДК 502.521:631.4

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_35

EDN: EUIOFC

Экологическая оценка степени антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв Республики Северная Осетия-Алания (Обзор)

О. В. НЕЁЛОВА, канд. хим. наук; З. А. ДЗАСОХОВА

Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова,
г. Владикавказ, Россия

Представлен обзор результатов агроэкологических исследований почв, проводимых в РСО-Алания за последние 20 лет. Проанализированы литературные данные по основным источникам техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами и их воздействия на окружающую природную среду. Показано, что главными и постоянными источниками техногенного загрязнения на протяжении многих десятков лет в республике являются предприятия горно-обогатительной и металлургической промышленности. Ряд предприятий уже не функционирует, но проблема экологической безопасности региона по-прежнему является актуальной.

Ключевые слова: РСО-Алания, загрязнение почв, тяжелые металлы, отходы горнодобывающей и металлургической промышленности, рекультивация почв.

Основоположник Российского почвоведения В. В. Докучаев ещё в 1878 г. стал первым исследователем физико-химических свойств почв Северной Осетии. На протяжении последующих более 140 лет значительный вклад в изучение почв республики внесли ряд ученых республики: профессор Горского сельскохозяйственного института А. М. Панков организовал 29 почвенных экспедиций, является основателем музея почв, составителем почвенных карт Северной Осетии, Дагестана, Кабардино-Балкарии и других регионов Северного Кавказа [1]. Его ученики доктора наук К. И. Трофименко и Е. В. Рубилин продолжили углубленное исследование почв предгорной зоны Северного Кавказа. В двухтомной монографии «Агрономическая характеристика почв Северного Кавказа» профессор П. Е. Простаков обобщил работу по исследованию почв региона.

Неёлова Ольга Владимировна, доцент кафедры "Общая и неорганическая химия".

E-mail: o.neelova2011@yandex.ru

Дзасохова Зарина Асланбековна, магистрант 1 курса.

E-mail: zdzasoxova00@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25 октября 2022 г.

© Неёлова О. В., Дзасохова З. А., 2022

В изучение агрохимических и физико-химических свойств почв значительный вклад внесли профессора Горского аграрного университета Э. Д. Адиньяев, Г. Г. Джанаев, С. Х. Дзанагов, А. В. Газданов, Б. К. Кациев, К. Е. Сокаев, К. Х. Бясов, И. С. Грабовский [1].

Республика Северная Осетия-Алания и её столица город Владикавказ представляют собой крупный индустриальный центр с интенсивным движением транспорта. Почвенный покров республики Северная Осетия-Алания отличается большим разнообразием, что является следствием сложности климатических и литолого-геоморфологических условий. Еще в 1990 г. К. Х. Бясов в соавторстве с Э. Н. Молчановым составили почвенную карту республики, в которой выделено 28 типов и 108 подтипов почв. Интенсификация земледелия в республике привела к увеличению антропогенной нагрузки на почвы, что ухудшило их физико-химические свойства: снизило содержание гумуса, изменило баланс макро- и микроэлементов в почвах. Поэтому в республике важную роль играют агроэкологические исследования, обеспечивающие наблюдения за динамикой изменения свойств почв.

На протяжении последних 20 лет в республике активно ведутся исследования по изучению загрязненности почв тяжелыми и особо токсичными металлами, а также изучению содержания этих металлов в

плодово-ягодных и травянистых лекарственных растениях, произрастающих на этих почвах. В [1], приводится подробное исследование агрохимических показателей, влияющих на плодородие различных типов почв, а также представлены результаты изучения количественного содержания валовых и подвижных форм микроэлементов бора, марганца, меди, цинка, кобальта и молибдена в почвах разных ландшафтов РСО-Алания.

По результатам проведенных исследований установлено, что общее количество микроэлементов (валовое содержание) в пахотном слое почв Северной Осетии колеблется в широких пределах в зависимости от типа почв и составляет (мг/кг почвы): В — 37,3...75; Мп — 887...1561; Cu — 10...90; Zn — 30...200; Со — 11...33; Мо (подвижный в оксалатной вытяжке) — 0,1...0,31.

Цель работы — экологическая оценка степени антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами в Республике Северная Осетия-Алания за последние 20 лет, а также изучение влияния главных антропогенных факторов на загрязнение почв.

Обсуждение

В работах [2, 3] приводится оценка влияния антропогенной деятельности на свойства почв различных регионов Северной Осетии — выявлены степень и интенсивность загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами (ТМ), радионуклидами и остаточными количествами пестицидов. Установлено, что тяжелыми металлами наиболее загрязнены почвы пригородной зоны г. Владикавказа, расположенные вблизи металлургических предприятий ОАО «Электроцинк» и ОАО «Победит».

В [3] приведены результаты агроэкологического мониторинга почв проводимого станцией агрохимслужбы «Северо-Осетинская» (Республика Северная Осетия-Алания), в течение последних 25 лет. Авторы отмечают, что наблюдается значительное ухудшение показателей плодородия пахотных почв — снижается содержание подвижных форм фосфора, калия и гумуса, происходит увеличение площадей кислых почв. Сотрудники агрохимической службы регулярно проводят обследования почв республики на содержание меди, свинца, цинка, кадмия и никеля. Результаты этих исследований показали, что содержание кислоторастворимых форм ТМ в почвах колеблется в довольно широких пределах, но не выходит за пределы ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) (табл. 1).

Таблица 1

Результаты исследований содержания тяжелых металлов в почвах РСО-Алания, проводимых на станции агрохимслужбы «Северо-Осетинская»

| Металл | ОДК, мг/кг | Среднее содержание металла в почве, мг/кг |
|--------|------------|---|
| Цинк | 110 | 50 |
| Свинец | 65 | 40 |
| Кадмий | 1,0 | 0,45 |
| Медь | 66 | 35 |
| Никель | 40 | 25 |

Авторы делают вывод, что более половины обследованных земель в хозяйствах РСО-Алания характеризуется низким содержанием цинка, меди, свинца, никеля и средним уровнем кадмия. Однако в работе не указываются приборы и методики проведения анализа на содержание ТМ в почвах, а также методы пробоподготовки образцов почв для анализа.

В работе [4], выполненной в период 2005—2009 гг., показано влияние техногенного загрязнения на состояние почв г. Владикавказа и определено содержание тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Pb, Cd, Со и Ni, в исследуемых объектах почв трех типов: в черноземе выщелоченном, в лугово-черноземных почвах и в хемоземе. Подвижные формы ТМ экстрагировали 1 М раствором HNO₃. Определение ТМ проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре «Спектр-5» в пламени ацетилен—воздух. Исследование содержания ТМ проводилось по профилям от верхних до нижних горизонтов. В табл. 2 приведены результаты определения содержания кислоторастворимых форм цинка и меди в различных типах почв.

Таблица 2

Результаты исследования содержания цинка и меди в различных типах почв

| Тип почвы | Содержание ТМ по профилю, мг/кг | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | Zn | | Cu | |
| | Верхний горизонт | Нижний горизонт | Верхний горизонт | Нижний горизонт |
| Чернозем выщелоченный | 205,0 | 197,4 | 95,0 | 15,3 |
| Лугово-черноземная почва | 18,8 | 14,5 | 75,7 | 15,0 |
| Хемозем | 3224 | 1891 | 550 | 120,3 |

Автор отмечает, что содержание ТМ в хемоземе во много раз превышает их содержание в первых двух типах почв. Во всех типах почв наблюдается снижение содержания ТМ по профилю от верхнего горизонта к нижнему.

В работе также исследовано влияние деятельности металлургического предприятия ОАО «Электроцинк» на содержание ТМ в почве совхоза «Восход», расположенного в 5 км от источника загрязнения. Показано, что на выщелоченных черноземах, наблюдается превышение ПДК кислоторастворимых форм меди в 25 раз; свинца — в 24,5 раза; цинка — в 8,5 раз; кадмия — в 3,8 раз; никеля — в 1,4 раза; кобальта — в 1,4 раза. Однако в данной работе некорректно сравниваются полученные результаты исследований содержания ТМ с показателями ПДК, которые приняты для подвижных форм тяжелых металлов, извлекаемых из почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8. Но и с учетом валового показателя содержание ТМ в почвах верхних горизонтов в исследованных образцах также значительно превышает величину ОДК, особенно для цинка, меди и свинца.

В [5], опубликованной в 2019 г., авторы, исследуя состояние почв-урбаноземов г. Владикавказа, показали, что главными загрязняющими веществами городской почвы являются тяжелые металлы: свинец,

кадмий, цинк и медь. Это объясняется авторами статьи особенностью микроклимата г. Владикавказа, который расположен в предгорной котловине и характеризуется слабыми ветрами, а чаще штилями, что создает застойную атмосферу, которая приводит к накоплению загрязняющих веществ в почве.

Результаты мониторинга объектов окружающей среды, в том числе и почв, ежегодно приводятся в Государственных докладах, в частности, "О состоянии окружающей природной среды и природных ресурсов РСО-Алания" за 1993—2017-е гг. Анализируя доклады за период 2014—2016 гг., авторы приводят данные о том, что удельный вес почвенных проб, не отвечающих показателям ОДК в республике, составил 51,8—60,6 % [5]. Самое высокое содержание тяжелых металлов наблюдается в Иристонском и Промышленном районах г. Владикавказа. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в целом по РСО-Алания превышает фоновую концентрацию: по цинку — до 10 раз, по свинцу — в 10 раз, по кадмию — от 3 до 8 раз. Авторы делают вывод, что состояние многих городских почв г. Владикавказа близко к критическому или даже катастрофическому, когда в большинстве почв содержание многих загрязняющих веществ превышает значения ОДК от нескольких раз до десятков и сотен раз. При этом мониторинг урбанизированных осуществляется различными ведомствами с различным аналитическим оборудованием и методиками анализа и, как правило, полученные данные по результатам этих анализов часто расходятся.

Главными и постоянными источниками техногенного загрязнения на протяжении многих десятков лет в РСО-Алания являются предприятия горно-обогатительной и металлургической промышленности.

В работе [6] представлены результаты изучения накопления тяжелых металлов Zn, Pb, Cd, Mn, Co и Ni почвами в 10 различных населенных пунктах РСО-Алания, в том числе в районе хвостохранилища Мизурской горно-обогатительной фабрики (селение Нижний Унал), за период 2010—2011 гг. Авторы приходят к выводу, что во всех исследованных почвах республики наибольшей степенью накопления отличаются цинк, свинец, кадмий и марганец. Содержание кобальта и никеля в почвах незначительно и не превышает ПДК. Для определения содержания ТМ в почвах в работе указывается на применение метода атомно-абсорбционного анализа с использованием спектрофотометра «КВАНТ-2АТ». Методики минерализации образцов почв и проведения измерений и расчетов авторами не приводятся. Сравнение экспериментальных данных проводилось с величинами ОДК валового содержания ТМ в почвах РСО-Алания, приведенных в монографии З. Г. Джанаева (2004 г.) в мг/кг: Mn — 1500, Co — 50, Zn — 50, Cd — 3, Ni — 50, Pb — 30 [7].

Авторы приводят результаты исследований содержания ТМ в почвах различных в экологическом отношении районов РСО-Алания, которые варьируются в широких пределах, мг/кг: Mn — 5,6...3387; Co — 1...3; Zn — 0,8...1650; Cd — 0,1...14,3; Ni — 5...18; Pb — 16...182. Меньше всего наблюдалось накопление ТМ в почве в районе пансионата

«Урсдон», а наиболее высокое превышение ОДК — на окраине села Нижний Унал в районе хвостохранилища Мизурской горно-обогатительной фабрики.

В период 2009—2018 гг. в РСО-Алания проводили комплексные исследования геохимических особенностей промышленных отходов Мизурской горно-обогатительной фабрики (МГОФ) Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК), называемых «Унальское хвостохранилище», для оценки масштабов загрязнения ими почв прилегающих территорий [8—10].

Результаты проведенных исследований показали, что Унальское хвостохранилище и МГОФ являются главными и постоянными техногенными источниками сильного загрязнения прилегающих территорий (сельскохозяйственных угодий, почв природных пастбищ и воды реки Ардон и её притоков) и оказывают негативное воздействие на экосистему и здоровье населения ряда поселков Алагирского района в течение многих десятков лет [8]. Содержащаяся в хвостохранилище отходов МГОФ тонкодисперсная фракция в виде пылевых облаков, образующихся при сильном ветре, постоянно загрязняет почву и воду рек токсичными элементами (As, Sb, Cd, B, Li, Pb, Zn и др.), что представляет постоянную угрозу экологической безопасности региона.

До начала 90-х гг. 20 в. вблизи поселка Садон действовало семь рудников ССЦК, с которых полиметаллическая руда поступала на Мизурскую горно-обогатительную фабрику, расположенную в поселке Мизур. МГОФ была основана в марте 1929 г. и производила методом селективной флотации концентраты свинцовой и цинковой руды, перерабатывая до 20 000 тонн руды в сутки. В свинцовом концентрате содержались следующие элементы: Bi, Sb, Ag, Au, Cu, Zn, Co, As; в цинковом концентрате — Cd, Co, Pb, S, Sb, Ag, Fe, In. Концентраты автотранспортом доставлялись на завод «Электроцинк» в г. Владикавказ для последующей переработки [8]. В настоящее время МГОФ и ОАО «Электроцинк» не функционируют после пожара на предприятии в октябре 2018 г., но проблема экологической безопасности региона по-прежнему является актуальной.

До 1984 г. МГОФ промышленные отходы (т. н. "хвосты") ежегодно полностью сбрасывала в реку Ардон в паводковый период, что привело к значительному загрязнению речной воды и донных отложений Pb, Zn, Cu, Cd, Ag на всем ее протяжении до впадения в реку Терек, что могло привести к экологической катастрофе. Поэтому в 1984 г. возникла необходимость строительства нового хвостохранилища, которое располагалось в долине реки Ардон на её левом берегу между селениями Унал и Зинцар, в 12—15 км к северо-востоку от МГОФ. Хвостохранилище имело овальную форму — его длина составляла 1 км, максимальная ширина — 300 м; площадь — 16 га. В чаше хвостохранилища находилось водосборное сооружение с отводящим трубопроводом, по которому осуществлялся сброс в реку Ардон осветленной части пульпы, поступающей в хвостохранилище с МГОФ (рис. 1). Большую часть поверхности хвостохранилища занимал пруд-отстойник глубиной до 15 м.



Рис. 1. Унальское хвостохранилище до рекультивации

Расстояние от хвостохранилища до г. Владикавказа составляет 60 км, до г. Алагир — 40 км. Рядом проходит федеральная автомобильная магистраль «Транскам».

С 1984 г., по данным различных источников, в хвостохранилище захоронено от 2,6 до 3,2 млн. т промышленных отходов. В целях определения содержания макро- и микроэлементов в районе деятельности ССЦК и хвостохранилища проводили мониторинговые исследования почвы, растительности, поверхностных вод прилегающих территорий (пастбищ, равнин и сельхозугодий). В работах [8–10] количественный элементный анализ выполнен сотрудниками лаборатории «Анализ минерального вещества» ИГЕМ РАН методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФА) на спектрометре PW-2400 производства компании Philips Analytical B.V. (Нидерланды, 1997).

В табл. 3 приведены результаты исследований содержания и запасов металлов, содержащихся в промышленных отходах Унальского хвостохранилища [10].

Таблица 3

Содержание металлов и их запасов в промышленных отходах Унальского хвостохранилища

| Металл | Содержание металла, % | Запасы, т |
|--------|-----------------------|-----------|
| Pb | 0,21 | 5460 |
| Zn | 0,32 | 8320 |
| Cu | 0,1 | 2600 |
| Fe | 6,2 | 161200 |
| Ti | 0,18 | 4680 |
| Mn | 0,16 | 4160 |
| Ag | 4,2 г/т | 10,92 |

В работе [8] приведены результаты выборочного инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) ряда проб как из материала хвостохранилища, так и из почв с дерниной прилегающих к нему пастбищ при облучении образцов нейтронным потоком мощностью 2,1013 нейтрон/(см²·с) в течение 10 часов. Авторы проведенных геохимических исследований убедительно доказали, что поверхностные слои (до глубины 0,5 м) промышленных отходов МГОФ характеризуются аномально высоким содержанием Zn, Pb, Cu, As, Sb и Sn, варьирующимся от

многих сотен до десятков и сотен тысяч г/т, что соответствует их содержанию в полиметаллических рудах. Однако наличие высокотоксичных элементов в отходах приводит к значительному техногенному загрязнению прилегающих территорий.

Авторы [11] провели исследование содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвенных пробах поселений Унал, Архон и Зинцар, расположенных вблизи Унальского хвостохранилища, и поэтому в большей степени подверженных техногенному загрязнению. В каждом населенном пункте было отобрано по 9 образцов почвы на глубине до 20 см: 3 пробы с пастбищ, 3 пробы с равнины и 3 пробы с сельхозугодий. Результаты исследований за исключением аномально высоких и низких единичных значений представлены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвах поселков, расположенных вблизи хвостохранилища

| Элемент | ОДК, мг/кг почвы (валовое содержание с учетом фона) | Содержание элемента в почве, мг/кг почвы | | |
|----------|---|--|---------|---------|
| | | Наименование поселения | | |
| | | Архон | Зинцар | Унал |
| Ni | 20—80 | 43—59 | 43—51 | 46—49 |
| Cu | 33—132 | 59—89 | 54—82 | 56—114 |
| Zn | 55—220 | 423—725 | 324—699 | 473—623 |
| Pb | 32—130 | 55—511 | 317—818 | 328—534 |
| As | 2—10 | 19—38 | 6—46 | 23—82 |
| Cr (III) | — | 92—129 | 92—165 | 115—136 |
| Co | — | 11—34 | 12—18 | 2—23 |

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что в исследованных образцах почв наблюдается превышение концентраций Pb, Zn и As в сравнении с показателями ОДК для валового содержания элементов. Авторы проводят сравнение результатов анализа с показателями ПДК подвижных форм элементов. Но методики рентгенофлуоресцентного анализа, использованные в данной работе, устанавливают общее, т. е. валовое содержание элементов в почве. Поэтому более корректно сравнивать полученные результаты с фоновыми содержаниями исследуемых элементов в почвах горно-рудных зон Северного Кавказа.

В работах [12, 13] приведены результаты количественного определения 39 химических элементов, находящихся в Унальском хвостохранилище. Аналитические исследования количественного содержания элементов были выполнены в Объединённом институте ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна Московской области. Для многоэлементного анализа состава образцов авторы использовали рентгенофлуоресцентный (РФА) и инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА). Рентгеновские спектры образцов измеряли с помощью стандартного спектрометра фирмы Canberra. Инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА) проводили на реакторе ИБР-2 в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка (ЛНФ ОИЯИ).

В обоих методах использовали стандартные образцы (ГСО) или сертифицированные эталонные материалы, что обеспечивало высокую точность анализа. Для расчета концентраций элементов использовали пакет программ, разработанных в ЛНФ ОИЯИ.

Результаты проведенных исследований показали, что содержание таких элементов, как Zn, As, S, Cu, превышает кларковые концентрации более чем в сотни раз, а содержание Sb, Se, Ag, In, Pb — в тысячи раз. Содержание в отходах особенно токсичного элемента кадмия более чем в двадцать тысяч раз превышает его кларк в земной коре. Установлено, что количественный состав отходов в разных частях хвостохранилища значительно различается.

Авторы делают вывод, что аномальное содержание в верхних (10 см) слоях хвостохранилища высокотоксичных элементов (Zn, As, Cu, Sb, Ni, Pb, Cd) представляет большую опасность для окружающей среды, а также для здоровья населения.

Экологические проблемы в РСО-Алания связаны не только с МГОФ и Унальским хвостохранилищем, но и с другим объектом переработки цинковой и свинцовой руды — Фиагдонской обогатительной фабрикой (ФОФ), входившей в состав Садонского свинцово-цинкового комбината. Фабрика расположена в Куртатинском ущелье недалеко от поселка Верхний Фиагдон в долине реки Ханикомдон в 44 км от г. Владикавказа. Для хранения отходов горнодобывающего производства в 1971 г. было создано Фиагдонское хвостохранилище, в котором на площади 5,6 га были размещены отходы переработки рудных материалов объемом 2382,3 тыс. т. [14]. В 1985 г. ФОФ прекратила свою деятельность в связи с нерентабельностью производства из-за низкого содержания свинца и цинка в руде. В 90-е годы была проведена частичная рекультивация хвостохранилища, его засыпали грунтом, а для реки Ханикомдон построили специальный 70-метровый тоннель. Но ливни и паводки привели к частичному обрушению тоннеля в центре хвостохранилища, и загрязняющие опасные вещества вместе с водами реки Ханикомдон стали выноситься в реку Фиагдон (рис.2). Это создавало постоянную угрозу безопасности проживающего здесь населения и окружающей природной среде.



Рис. 2. Фиагдонское хвостохранилище до рекультивации

В отличие от Унальского хвостохранилища научных исследований, связанных с определением содержания тяжелых металлов в почвах поселка Фиагдон и прилегающих к хвостохранилищу территорий, проведено значительно меньше. По данным Министерства природных ресурсов и экологии, «зафиксированы превышения ПДК загрязняющих веществ: по цинку 50—140 ПДК, по меди 20—40 ПДК. В реке Фиагдон в 100 м от устья реки Ханикомдон превышение нормативов: по цинку — 6-65 ПДК, по меди — 10 ПДК». За счет ветрового пылепереноса превышение фоновых концентраций ТМ в почвах в долине реки Ханикомдона составило: по свинцу — 3... 40 раз, по цинку — 2... 15 раз.

В [14] авторы приводят результаты исследования содержания металлов и мышьяка в отходах переработки руд, находящихся в Фиагдонском хвостохранилище (табл. 5).

Таблица 5

Содержание металлов и мышьяка и их запасов в промышленных отходах Фиагдонской обогатительной фабрики

| Элемент | Содержание элемента, % | Запасы, т |
|---------|------------------------|-----------|
| Pb | 0,13 | 3069 |
| Zn | 0,15 | 3573 |
| Bi | 0,002 | 47 |
| Fe | 3,73 | 88850 |
| Ca | 6,25 | 148890 |
| Mg | 2,15 | 51210 |
| Al | 10,24 | 243940 |
| As | 0,06 | 1420 |

Авторы [14] также анализируют деятельность металлургического предприятия ОАО «Электроцинк», санитарно-защитная зона которого непосредственно прилегает к селитебной части города Владикавказа. В течение более 100 лет ОАО «Электроцинк» перерабатывал свинцово-цинковые концентраты полиметаллических руд. Отходы переработки в объеме 3,5 млн т размещали на промплощадках на территории предприятия, что привело к нанесению значительного вреда окружающей среде и здоровью населения. На территории предприятия размещены все виды отходов металлургического производства на отвальном поле. По данным Минприроды РСО-Алания, там находится более 107 т ртути, 50 т селена, 6200 т мышьяка, 240 т кадмия, 150 тыс. т свинца и других металлов. Тяжелые металлы вместе с осадками попадают в почву. Показано, что суммарный показатель загрязнения почвы в радиусе 1 км по основным восьми видам ТМ составляет 400—2000 мг/кг почвы.

Коллектив авторов продолжил исследования негативного воздействия на природную среду горно-долинной индустриальной агломерации РСО-Алания [15—17]. Авторы утверждают, что более 600 км² территории РСО-Алания, из них около 400 км² в г. Владикавказе, загрязнено вредными и опасными веществами. Превышение ПДК по тяжелым металлам в почве наблюдают в радиусе до 8 км от источника загрязнения.

Таким образом, с деятельностью горно-обогатительных и металлургических предприятий в Республике Северная Осетия-Алания связан целый ряд экологических проблем, в первую очередь, это размещение и утилизация отходов переработки рудных материалов, т. к. на площади 250 га накоплено около 10 млн т металлосодержащих отходов. Поэтому согласно Указу Президента РФ № 204 от 7 мая 2018 г. в рамках Национального проекта «Экология», реализуемого Минприроды РФ (региональный проект «Чистая страна»), для проведения работ по ликвидации негативного воздействия Унальского и Фиагдонского хвостохранилищ на окружающую среду в 2019 г. было выделено более 645 млн руб.

Еще в 2012 г. на Фиагдонском хвостохранилище произошло обрушение плотины, в результате которого горнорудные отходы попали в реку Ханикомдон, а затем в реку Фиагдон. В Унале селевые потоки повредили дамбу хвостохранилища. Поэтому согласно проекту необходимо было провести работы по инженерной защите их территории с последующей рекультивацией земель, загрязненных тяжелыми металлами. Главная задача при выполнении работ по проекту заключалась в том, чтобы исключить попадание токсичных веществ в бассейны рек Ханикомдон и Ардон. Обе реки берут начало в горах и характеризуются бурным течением. Поэтому вокруг Унальского хвостохранилища должна быть сооружена стена из железобетона, а вся его площадь должна быть покрыта несколькими слоями грунта толщиной не менее 1,5 м. Последним слоем должен быть чернозем, на котором необходимо высадить траву и саженцы кустарников и деревьев. Аналогичную задачу необходимо было решить и для Фиагдонского хвостохранилища.

Работы по рекультивации обоих хвостохранилищ начались в июне 2019 г., а к началу 2020 г. были закончены. Для защиты территорий от селей были установлены подпорные и паводко-регулирующие стены, вся территория хвостохранилищ покрыта в нижней части полуметровым слоем глины (так называемый «глиняный замок»), изолирующим токсичные отходы от поверхностных вод. Затем было нанесено несколько слоев грунта общей толщиной от 2 до 4 м, которые выравнивали бульдозерами и укладывали специальными виброкатками (рис. 3, 4). Последним слоем был уложен чернозем толщиной до 40 см, засеяна трава и высажены можжевельники и сосны.



Рис. 3. Рекультивация Унальского хвостохранилища



Рис. 4. Рекультивация Фиагдонского хвостохранилища

Автор многочисленных экологических исследований в РСО-Алания доктор технических наук И. Д. Алборов, являющийся председателем комиссии по экологии и рациональному природопользованию Общественной палаты Северной Осетии, считает, что выделенных средств по национальному проекту «Экология» было недостаточно для проведения полного обезвреживания токсичных отходов. Проект по извлечению тяжелых металлов из «хвостов», а безопасные отходы использовать, как стройматериалы был предложен ещё в 2014 г. стоимостью 2,9 млрд руб., но его не смогли профинансировать. В связи со значительным ростом заболеваемости населения этого региона за счет загрязнения почвы, воздуха и природных вод. Руководством РСО-Алания было принято решение провести рекультивацию загрязненных территорий в рамках выделенного финансирования.

Однако, как считает И. Д. Алборов, несмотря на проведенную рекультивацию территорий хвостохранилищ физико-химические процессы в них не прекратились, и токсичные элементы попадают в подземные воды и далее выносятся в реки. Поэтому проведение экологического мониторинга состояния рекультивированных территорий хвостохранилищ по-прежнему является актуальной задачей. В сентябре 2021 г. было обнаружено, что поверхность Унальского хвостохранилища покрылась трещинами, а его края размывают ливневые стоки. Оперативно были выполнены работы по обнаружению мест утечек стоков и их ликвидации и укреплению бортов хвостохранилища.

Тем не менее, экологи РСО-Алания уверены, что опасная зона выходит далеко за пределы хвостохранилищ. Частичной рекультивации земли недостаточно, т. к. почва близлежащих поселков остается загрязненной тяжелыми металлами вследствие их накопления на протяжении многих десятилетий. И только при комплексном подходе к этой проблеме можно сделать почву плодородной.

После крупного пожара 21 октября 2018 г. в электролизном цехе ОАО «Электроцинк», расположенном недалеко от центра города, руководством предприятия было принято решение о прекращении производственной деятельности и консервации завода. Но на территории металлургического предприятия осталось более 1,5 млн т токсичных отходов 3-го класса опасности (так называемого клинкера), накопленных в течение вековой деятельности завода, которые яв-

ляются постоянным источником опасного воздействия на окружающую среду и здоровье населения. Кроме этого клинкера, завод в течение многих лет размещал металлургические отходы на специально выделенном участке на окраине города (ул. 1-я Промышленная) массой 1,8 млн т. В соответствии с Комплексной программой по улучшению санитарно-эпидемиологической ситуации в г. Владикавказе начиная с 2016 г. предприятие ведет отгрузку отвального клинкера на предприятия Урала для их переработки и извлечения ряда металлов. Отгрузка отвального клинкера с территории ОАО «Электроцинк» продолжается.

Земельный участок завода «Электроцинк» занимает площадь 64 га и по решению правительства РСО-Алания должен перейти в муниципальную собственность г. Владикавказа и интегрироваться в городское пространство. Промышленные отходы должны быть вывезены с территории РСО-Алания для дальнейшей их переработки и извлечения ценных металлов, а загрязненный почвенный слой необходимо рекультивировать. По оценке экспертов, на это потребуется не один год, идет поиск технологий, позволяющих эффективно восстанавливать загрязненные почвы. Программа рекультивации должна пройти самую объективную государственную экологическую экспертизу с привлечением ведущих ученых-экологов республики.

Заключение

Систематизированы результаты агроэкологических исследований почв, проводимых в Республике Северная Осетия-Алания за последние 20 лет. Показано, что наиболее опасными загрязнителями почвы в РСО-Алания являются тяжелые металлы: цинк, свинец, кадмий, медь, никель, кобальт, а также мышьяк. В среднем по республике содержание многих загрязняющих веществ в городских и сельских почвах превышает значения ПДК (ОДК) от нескольких раз до десятков и сотен раз. Главными и постоянными источниками техногенного загрязнения на протяжении многих десятков лет в РСО-Алания являются предприятия горно-обогатительной и металлургической промышленности. Многие из этих предприятий не функционируют, но проблема экологической безопасности региона по-прежнему является актуальной. В 2019 г. в рамках Национального проекта «Экология» была проведена рекультивация территории этих объектов, однако физико-химические процессы в них не прекратились, и токсичные элементы продолжают поступать в подземные воды и далее выноситься в реки. Поэтому актуальной задачей в республике является проведение экологического мониторинга состояния рекультивированных и техногенно-загрязненных территорий РСО-Алания. Также необходимо создание единой системы мониторинга почв и единых аналитических методов количественного анализа для определения содержания ТМ

в почвах с применением современного оборудования для их проведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Природные ресурсы РСО-Алания. В 18-ти томах. Почвы Республики Северная Осетия-Алания // Министерство охраны окружающей среды РСО-Алания / под редакцией К. Х. Бясова. — Владикавказ: Проект-Пресс, 2000. Т. 6. — 383 с.
2. Сокаев К. Е., Сокаева Р. М. Мониторинг тяжелых металлов в почвах Северной Осетии // Агрохимический вестник. 2003. Т. 8. № 5. С. 12—13.
3. Сокаев К. Е., Бестаев В. В. Динамика плодородия почв Республики Северная Осетия-Алания // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 12. С. 56—60.
4. Зангелиди В. В., Бясов К. Х. Влияние антропогенного фактора на экологическое состояние почв и продуктов растениеводства в зоне техногенного загрязнения // Вестник МАНЭБ. 2008. Т. 13. № 3. С. 106—110.
5. Цгоев Т. Ф., Бестаев А. Г. Мониторинг состояния урбанизированных земель г. Владикавказа и меры по детоксикации загрязненных земель // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). 2019. № 4-2 (44). С. 44—51.
6. Цугкиев Б. Г., Гагиева Л. Ч., Купеева В. М. Исследование содержания некоторых тяжелых металлов в почвах РСО-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2013. Т. 50. № 4. С. 250—253.
7. Джанаев З. Г. Почвенно-агрохимическая оценка состояния плодородия почв Северного Кавказа. — М.: Издательство МГУ, 2004. 758 с.
8. Гурбанов А. Г. и др. Промышленные отходы Мизурской горно-обогатительной фабрики Садонского свинцово-цинкового комбината: геохимические особенности, оценка их воздействия на экологическую обстановку прилегающих территорий (почвы и воду р. Ардон) // Вестник Владикавказского научного центра. 2012. Т. 12. № 4. С. 29—40.
9. Лолаев А. Б., Гурбанов А. Г., Дзедоев С. О., Илаев В. Э. Загрязнение прилегающих территорий в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) // Успехи современной науки. 2017. Т. 6. № 2. С. 177—181.
10. Гурбанов А. Г. и др. Геохимические особенности промышленных отходов мизурской горно-обогатительной фабрики (Унальское хвостохранилище, Республика Северная Осетия-Алания) как основа для оценки масштабов загрязнения ими почв прилегающих территорий // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 1. С. 34—47.
11. Дзодзикова М. Э., Цгоева Л. М. Загрязненность солями тяжелых металлов окрестностей селения Унал в Северной Осетии // Вестник МАНЭБ. 2019. Т. 24. № 4. С. 30—36.
12. Каманина И. З., Пухаева Н. Е., Густова М. В., Фронтасьева М. В., Чигоева Д. Н., Каплина С. П. Использование ядерно-физических методов для анализа отходов горно-обогатительной промышленности на примере Унальского хвостохранилища // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 142—150.
13. Каманина И. З., Каплина С. П., Чигоева Д. Н. Определение токсичности почв в зоне влияния горнодобывающей промышленности // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 3. С. 21—26.
14. Алборов И. Д., Тедеева Ф. Г., Елканов А. Б., Глазов А. П. Изменение природной среды в зоне добычи руд в условиях Северного Кавказа // Вестник МАНЭБ. 2016. Т. 21. № 3. С. 9—12.
15. Алборов И. Д., Тедеева Ф. Г., Глазов А. П., Бекоев К. А. Экологическая нагрузка на природную среду в зоне деятельности горных объектов // Вестник МАНЭБ. 2018. Т. 23. № 2. С. 61—64.
16. Алборов И. Д., Тедеева Ф. Г., Губиева А. Г., Мхчиев З. Г., КошкарOVA О. М., Габараев С. В. Формы развития негативного воздействия на природную среду в зоне добычи и переработки полезных ископаемых Центрального Кавказа // Вестник МАНЭБ. 2019. Т. 24. № 4. С. 19—25.
17. 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.

Ecological assessment of the degree of anthropogenic pollution heavy metals of the soils of the Republic of North Ossetia-Alania (Review)

O. V. NEELOVA, Z. A. DZASOKHOVA

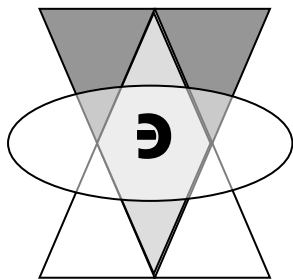
North Ossetian State University named after Kosta Levanovich Khetagurov, Vladikavkaz, Russia

A review of the results of agroecological studies of soils carried out in North Ossetia-Alania over the past 20 years is presented. Literature data on the main sources of technogenic soil pollution with heavy metals and their impact on the environment are analyzed. It is shown that the main and constant sources of technogenic pollution for many decades in the Republic are enterprises of the mining and processing and metallurgical industries. A number of enterprises are no longer functioning, but the problem of environmental safety in the region is still relevant.

Keywords: North Ossetia-Alania, soil pollution, heavy metals, mining and metallurgical industry waste, soil recultivation.

Bibliography — 17 references.

Received October 25, 2022



УДК 502.55

DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_43

EDN: FDPPZS

Современная геоэкологическая ситуация в Мурманске: зимний аспект

Е. Л. ВОРОБЬЕВСКАЯ, канд. геогр. наук; *Н. Б. СЕДОВА*, канд. геогр. наук;
М. В. СЛИПЕНЧУК, д-р эконом. наук; *М. Н. ЦЫМБАЛ*
МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Проведен анализ геоэкологической ситуации в г. Мурманске в зимний период. Выявлены основные источники загрязнения атмосферного воздуха и основные загрязняющие вещества. Рассмотрены природно-климатические факторы, которые усугубляют антропогенное воздействие и вызывают ухудшение состояния окружающей среды. Представлены результаты эколого-геохимических исследований снежного покрова г. Мурманска по выявлению загрязнения пылевыми частицами в связи с деятельностью промышленных предприятий и транспорта. Отмечено превышение фоновой концентрации твердых пылевых частиц почти во всех пробах от 2 до 30 раз, в среднем по всем пробам — в 10 раз. Сравнительный анализ содержания органического вещества в снеговой воде показал значительное присутствие угольной пыли в составе твердых частиц, содержащихся в пробах снега. Наибольшее количество пыли на единицу площади выявлено в функциональных зонах: производственной, транспортной инфраструктуры, многоэтажной жилищной застройки в центральной и северо-восточной частях города.

Ключевые слова: геоэкологическая ситуация, Мурманск, загрязнение угольной пылью.

Городская среда представляет собой комплекс природных, природно-антропогенных и социально-экономических факторов, оказывающих значительное и разнообразное влияние на жителей. Своевременное выявление, контроль и, по возможности, устранение неблагоприятных антропогенных последствий хозяйственной деятельности в городах — важнейшая задача современности.

Мурманская область — часть Российской Арктики, один из самых промышленно-развитых регионов России. Мурманск является самым большим городом за северным полярным кругом — его население составляет около 300 тыс. человек. Наличие промышленных комплексов на данной территории обусловило большую нагрузку на экосистемы. Интерес к геоэкологической ситуации в Мурманске вызван тем, что в городе, который расположен в тундровой зоне с низкой ассимиляционной емкостью экосистем, в неблагоприятных для жизни метеорологических условиях, создана высокая концентрация промышленности, причем распределение промышленных объектов по территории города таково, что под ее воздействие попадают и жилые, и рекреационные территории. Постепенно идет ухудшение состояния окружающей среды, растет заболеваемость и смертность местного населения. Причину этих явлений, во многом, связывают с ухудшением геоэкологической обстановки в городе.

Воробьевская Елена Леонидовна, старший научный сотрудник.

E-mail: lvorob@mail.ru

Седова Наталья Борисовна, старший научный сотрудник.

E-mail: nsedova@mail.ru

Слипенчук Михаил Викторович, заведующий кафедрой.

E-mail: ecologmsu@gmail.com

Цымбал Марина Николаевна, старший преподаватель.

E-mail: cymbal_mar@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18 октября 2022 г.

© Воробьевская Е. Л., Седова Н. Б., Слипенчук М. В.,
Цымбал М. Н., 2022

Одним из основных путей поступления химических соединений в организм человека является респираторный [1, 2]. Антропогенное загрязнение окружающей среды и поступление в организм человека поллютантов из воздуха вызывает острые интоксикации и состояние со специфической симптоматикой, хронические состояния, ухудшение функции внешнего дыхания. Неблагоприятное воздействие на организм человека загрязнением атмосферного воздуха усугубляется экстремальными климатическими условиями [3], характерными для Мурманска: длительный период низких температур (более 80 дней в году); перепады барометрического давления (амплитуды до 500 мм. рт. ст.), напряженный ветровой режим вследствие высокой циклонической активности. Немаловажным фактором, оказывающим существенное влияние на перераспределение загрязняющих веществ в атмосфере, является рельеф. Самая высокая точка города — 305,9 м (безымянная сопка на окраине). Самая низкая точка — берег Кольского залива, совпадающая с уровнем моря. Максимум загрязнения получают автономные ландшафты привершинных холмов, склонов сопок и их наветренные части. Город с северо-востока обрамляют сопки высотой 230—260 м, их склоны служат естественной преградой на пути воздушных масс по направлению от порта и аккумулируют загрязнители, характерные для выбросов основных предприятий города. Неблагоприятная ситуация усугубляется тем, что зимой в атмосферном слое 0—2 км частота проявления приземных инверсий составляет 92 % [4], что создает условия для застоя воздушных масс.

Естественная растительность изучаемой территории не отличается высоким флористическим разнообразием, т. к. расположена в тундровой зоне, лишь незначительный участок — лесотундровая зона. Однако сохранение зеленых зон, в особенности фрагментов природных лесов, произрастание которых в столь высоких полярных широтах само по себе явление уникальное, обусловленное близостью течения Гольфстрим, имеет важное значение для обеспечения комфортной и благоприятной среды в городе. В результате городской застройки, размещения промышленных зон и объектов иного назначения, природные ландшафты здесь значительно трансформированы. Сохранившиеся леса на настоящий момент представлены в основном мелколиственными формациями с примесью хвойных (ели и сосны).

Таким образом, одним из определяющих факторов формирования урболов ландшафтов Мурманска в связи с экстремально-северным положением города по широтному градиенту является природно-климатический фактор. Совокупность показателей годовых и суточных температур, радиационного баланса, влажности, режима осадков, характера ветров и т. д. создает условия для формирования здесь тундровых, лесотундровых и горно-тундровых ландшафтов, в пределах которых располагается город.

Основными источниками поступления загрязняющих веществ в Мурманске являются: "Мурманский морской торговый порт", теплоэлектроцентраль, "Завод ТО ТБО", "Атомфлот", "Сплав" и другие предприятия. Основой экономики города является мурман-

ский морской порт — один из крупнейших незамерзающих портов в России. В последние годы наблюдается тенденция увеличения экспорта каменного угля и ряда других минеральных ресурсов, для приема и хранения которых Мурманск имеет необходимую инфраструктуру. В результате в окружающую среду выделяются загрязняющие вещества: оксид железа, оксид кадмия, соединения марганца, оксид никеля, свинец и его неорганические соединения, хром, оксид цинка и прочие [5]. Зимой отмечается повышение концентрации загрязняющих веществ в районе работы ТЭЦ и мурманского торгового порта, в котором идет перегрузка угля через терминалы открытого типа. Угольная пыль ветром переносится за территорию порта в пределах города. Местные жители, Роспотребнадзор и мурманская природоохранная прокуратура неоднократно указывали на несоответствие порта санитарным правилам и нормам.

Основная цель исследования — выявление степени загрязнения пылью Мурманска в зимний период в связи с деятельностью промышленных предприятий.

Материалы и методы исследований

Исследовательские работы в Мурманске проводили сотрудники и студенты кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова в зимнее время, индикатором загрязнения служил снег. Работы выполнены с использованием полевых материалов, а также по литературным, картографическим, нормативно-правовым материалам, данным Интернет-ресурсов и проведенным социологическим исследованиям (опросы, интервьюирование, наблюдение) и др.

Теоретическую и методологическую основу исследования составили работы ученых в области геоэкологии (Г. Н. Голубев, С. П. Горшков, Б. И. Кочуров и др.); геоэкологических проблем Севера (Г. А. Агранат, А. В. Евсеев, В. В. Крючков, Т. М. Красовская, Г. В. Калабин, А. А. Тишков, Н. А. Константинова, С. А. Куропат и др.); промышленной экологии (С. А. Сюрин, В. П. Чащин, В. В. Шилов, А. Ш. Гершенкоп, А. Д. Маслов); геохимии окружающей среды (Г. В. Калабин, Н. С. Касимов, Н. И. Коронкевич, Н. Е. Кошелева, Б. И. Ревич и др.), нормативные документы, правовые акты и данные официальной статистики.

В ходе работы проанализированы данные по выбросам в атмосферный воздух предприятий, расположенных в Мурманске. Основным источником загрязнения атмосферного воздуха является "Завод ТО ТБО", торговый порт.

Для выявления качества природной среды проводили экологи-геохимические исследования снежного покрова [6—13]. Во время маршрутов проводили отбор проб снега на разном удалении от источников загрязнения в различных функциональных зонах города с учетом этажности застройки, особенностей рельефа, розы ветров, распределения зеленых насаждений. При выборе точек для отбора проб руководствовались действующим руководящим документом (РД) 52.44.2-94 от 1994 г. По разработанным бланкам в заранее намеченных точках отбора проб

проводили комплексные описания участков, включающие характеристику природных особенностей и природопользования, характер и степень антропогенного воздействия.

Исследования полученной талой снежной воды включали в себя: фильтрацию через фильтр "синяя лента" для отделения от раствора мелкокристаллических осадков, после чего фильтры с осадком взвешивали и были получены данные по массе пыли; и фильтрацию через мембранные фильтры. Взвешивание фильтров и анализ талой воды проводили в эколого-аналитической лаборатории кафедры рационального природопользования и в лаборатории атомной абсорбции географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Был определен вес твердого остатка на фильтре, и рассчитана концентрация твердых частиц в пробах снеговой воды по разнице масс фильтров до и после фильтрования. Для каждой пробы также было определено 14 гидрохимических параметров (рН, общая минерализация (мг/л), нитраты (NO_3^- , мг/л), фосфор минеральный (Р мин., мг/л), катионы натрия (Na^+ , мг/л), калия (K^+ , мг/л), кальция (Ca^{2+} , мг/л), хлориды (Cl^- , мг/л), фториды (F^- , мг/л), сульфаты (SO_4^{2-} , мг/л), сумма тяжелых металлов (тяж. мет., 10^{-3} ммоль/л), железо общее (Fe общ., мг/л) и параметры, характеризующие растворенное органическое вещество: цветность (Цв°) и оптическую плотность при длине волны 260 нм ($D_{\lambda 260 \text{ нм}}$) [14]. Также пробы были проанализированы на ряд тяжелых металлов, являющихся основными загрязняющими веществами предприятиями города Мурманска: свинец, медь, железо, кобальт, никель, кадмий.

Выявление твердых частиц проводили с помощью мембранных фильтров [7, 15]. Проведены измерения количества твердых пылевых частиц размером $>0,45$ мкм, для отделения угольной пыли от ила (<1 мкм), мелкой и средней пыли (1—10 мкм) и крупной пыли (10—50 мкм). Затем полученная пыль с фильтров была изучена под микроскопом универсального аппаратно-технического цифрового комплекса высокого разрешения VHX-5000 Keyence Corporation в лаборатории экологической экспертизы при Министерстве юстиции Российской Федерации. Полученные результаты анализов проб снега (снеговой воды) сравнивались с выбранными усредненными фоновыми значениями проб снега, которые были отобраны в 30 км на юг от Мурманска, также в юго-восточных предгорьях Ловозерского горного массива; на равнине в устье реки Цага; в устье реки Сара; на о. Волшебный (о. Ловозеро).

Полученные результаты

На рис. 1 приведены результаты анализа проб по загрязнению снега Мурманска твердыми частицами.

При анализе фильтров под микроскопом и дальнейшем исследовании полученных фотографий в графическом редакторе было определено количество угольных частиц на фильтрах (рис. 2).

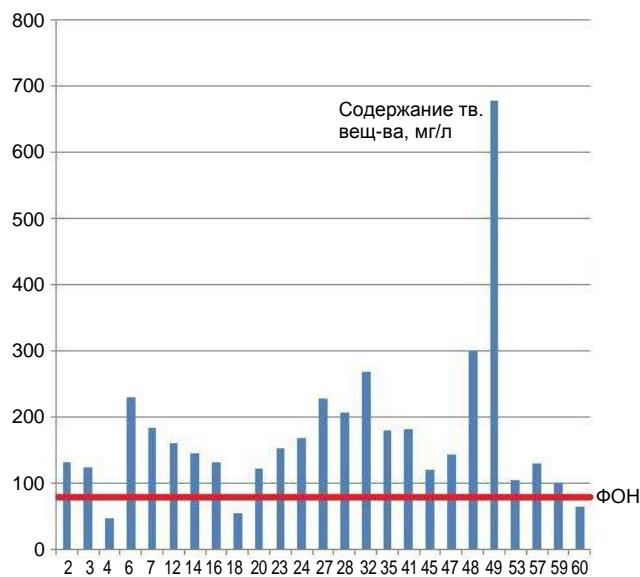


Рис. 1. Загрязнение твердыми пылевыми частицами снежного покрова г. Мурманска и его окрестностей (по концентрации в снеговой воде, мг/л)

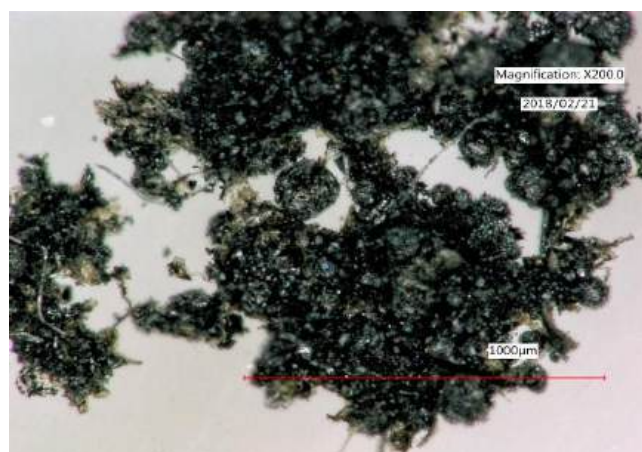


Рис. 2. Угольная пыль в твердых частицах $>0,45$ мкм в пробе снега (порт)

Содержание органических веществ с дисперсностью $<0,45$ мкм преимущественно ароматического строения оценивали по оптической плотности снеговой воды при длине волны $\lambda = 260$ нм (рис. 3).

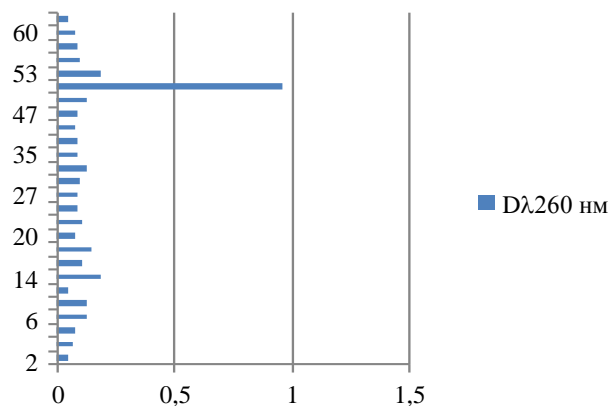


Рис. 3. Содержание в пробах снеговой воды растворенного органического вещества ($D_{\lambda 260 \text{ нм}}$)

При сравнительном анализе содержания растворенного органического вещества (РОВ) и твердого вещества в снеге получены данные о том, что коэффициент корреляции между содержанием твердых частиц и РОВ составляет 0,91 и достоверность аппроксимации этих данных $R^2 = 0,82$ (рис. 4). Это позволяет сделать вывод, что при содержании твердых частиц $>0,45$ мкм в пробах выше фоновых значений в их составе преобладает углеводородная компонента, в частности, угольная пыль [15].

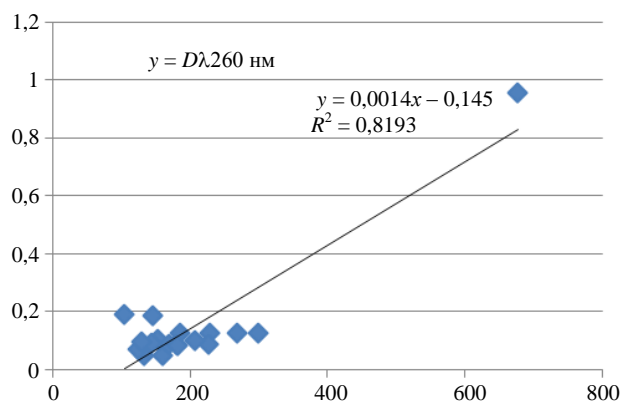


Рис. 4. Корреляционная зависимость концентрации РОВ ($D\lambda 260$ нм) от содержания твердого вещества ($>0,45$ нм) в снеговой воде

Результаты исследований получили наглядное отображение на карте (рис. 5), составленной с использованием программы ArcMap 10.4, были также использованы онлайн-карты Esri, программы Google Earth, Global Mapper 18.

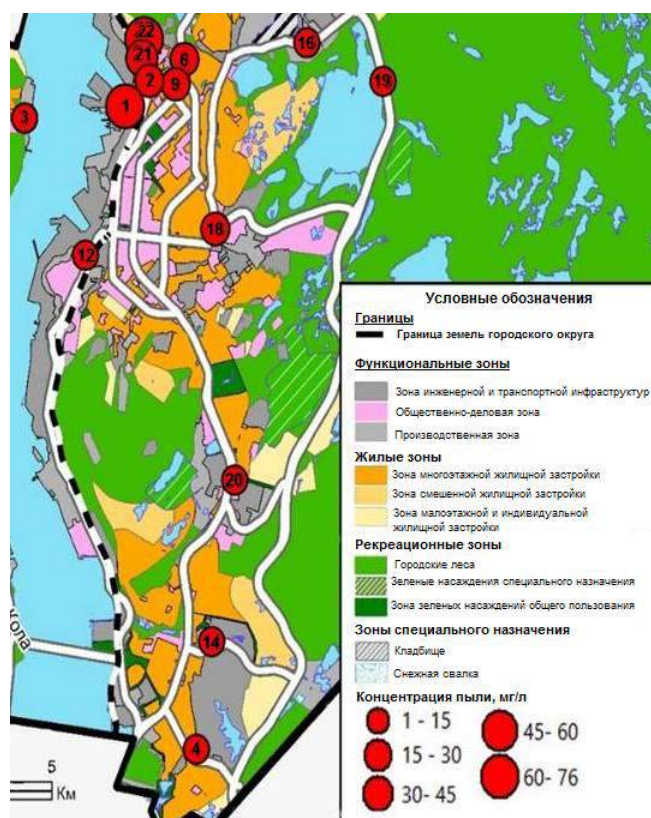


Рис. 5. Концентрация угольной пыли в пробах снега (фрагмент карты)

Очень высокая концентрация РОВ отмечается в районе морского торгового порта (превышение фона в 23 раза). Следует отметить также существенное присутствие РОВ в районе нефтебазы и ул. Достоевского. Выявлены превышения РОВ в жилых кварталах, рекреационных зонах.

Анализ снежного покрова на содержание тяжелых металлов показал, что максимальное превышение по меди, никелю, сульфатам обнаружены в промышленной функциональной зоне. По содержанию меди превышение в снеговой воде относительно фоновых значений составляет от 4 до 17 раз. Содержание никеля в пробах превышает фоновые по всем точкам отбора (минимум в 24 раза, максимум в 245 раз). Наиболее загрязненный сульфатами снег наблюдается в районе промышленной площадки Т47К-074 — превышение фоновое содержания в 7 раз.

Заключение

В силу специфики географического положения Мурманска и его протяженности вдоль Кольского залива на город оказывается комплексное негативное воздействие от различных техногенных источников, расположенных в разных районах города. По валовым выбросам основными загрязнителями города являются промышленные объекты: "Завод ТО ТБО", морской торговый порт и ТЭЦ.

В зимнее время в городе преобладают ветры южного направления, что обуславливает наличие высоких концентраций пыли в пробах, взятых в местах расположенных к северу от места угольной разгрузки в порту. Проведенный анализ проб показал, что большая часть проб содержит угольную пыль. Анализ проб снега выявил превышение фоновой концентрации твердых пылевых частиц почти во всех пробах, превышение варьируется от 2 до 30 раз, в среднем по всем пробам — в 10 раз. Получены количественные данные, показывающие, что увеличение количества угольной пыли в пробах прямо пропорционально расстоянию до морского порта. Наибольшее количество пыли на единицу площади выявлено в функциональных зонах: производственной, транспортной инфраструктуры, многоэтажной жилищной застройки в центральной и северо-восточной частях города. Максимальное количество — в окрестностях торгового порта и памятника защитникам Заполярья. Значительному загрязнению угольной пылью в разной степени подвержены жилые кварталы, наиболее сильное загрязнение выявлено в жилых кварталах на улице Карла Либкнехта.

Таким образом, на территории города Мурманска складывается сложная геоэкологическая ситуация, исследование которой необходимо продолжать. Улучшение состояния городской среды может быть связано с усовершенствованием очистки выбросов промышленных объектов или выносом этих предприятий за черту города, минимизацией выбросов автотранспорта.

Также важным направлением, которое надо развивать, является озеленение. Сокращение лесных площадей и техногенное воздействие на экосистемы в городской черте Мурманска и на значительном удалении от него требует проведения благоустрой-

ства территории путем создания рекреационных зон и дополнительного озеленения города. Создание зеленых зон в населенных пунктах играет большую роль в благоустройстве территории и имеет высокое санитарно-гигиеническое, психотерапевтическое, эстетическое и народно-хозяйственное значение [16].

Городские зеленые насаждения насыщают воздух кислородом, способствуют понижению температуры в приземном слое воздуха за счет испарения влаги, снижению уровня шума, загрязнения воздуха пылью и газами, защищают от ветра, ионизируют воздух, выделяют фитонциды, украшают ландшафт, положительно влияют на нервную систему человека, зачастую являются элементами архитектурных ансамблей, являются элементом, связывающим город с окружающей средой.

*Исследование выполнено в рамках
Программы развития Междисциплинарной
научно-образовательной школы Московского
государственного университета
им. М. В. Ломоносова "Будущее планеты
и глобальные изменения окружающей среды".*

ЛИТЕРАТУРА

1. Банникова Р. В. Причины трудопотерь и утраты жизненного потенциала населения на Крайнем Севере // Медицина труда и промышленная экология. 1996. № 5. С. 8—11.
2. Ревич Б. А., Авалиани С. А., Тихонова Г. И. Экологическая эпидемиология: учебник для ВУЗов / под ред. Б. А. Ревича. — М.: Изд. Центр "Академия", 2002. — 384 с.
3. Авицын А. П., Жаворонков А. А., Марчев А. Г., Милованов А. П. Патология человека на Севере. — М.: Медицина, 1986. — 416 с.
4. Красовская Т. М., Евсеев А. В. Рациональное природопользование на Кольском полуострове (пособие по учебной практике). — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 89 с.
5. Доклады о состоянии и охране окружающей природной среды Мурманской области. Министерство природных ресурсов РФ. — Мурманск: Мурман. кн. изд-во, 2007—2021 гг.
6. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 181 с.
7. Дмитриев М. Т., Казнина Н. И., Пинигина И. А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде / Справ. Изд. — М.: Химия, 1989. — 368 с.
8. Душкова Д. О., Евсеев А. В. Экология и здоровье человека: региональные исследования на европейском Севере России. — М.: Географ. факультет МГУ, 2011. — 192 с.
9. Евсеев А. В. Геоэкологический мониторинг: учеб. пособие. — М.: Географический факультет МГУ, 2010. — 123 с.
10. Евсеев А. В., Красовская Т. М. Эколого-географические особенности природной среды районов крайнего Севера России. — Смоленск: Изд-во СГУ, 1996. — 232 с.
11. Касимов Н. С., Битюкова В. Р., Малхазова С. М., Кошелева Н. Е., Никифорова Е. М., Шартова Н. В., Власов Д. В., Тимонин С. А., Крайнов В. Н. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. — М.: ИП Филимонов М. В., 2014. — 560 с.
12. Саэт Ю. Е., Башаркевич И. Л., Ревич Б. А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. — М.: ИМГРЭ, 1982. — 66 с.
13. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. — М.: Астрель, 2000, 1999. — 768 с.
14. Горшкова О. М., Горецкая А. Г., Корешкова Т. Н., Краснушкин А. В., Марголина И. Л., Потапов А. А., Пращикина Е. М., Шкиль А. Н. Методы лабораторных и полевых исследований: учеб.-метод. пособие / под ред. Слипенчука М. В. Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: Географический факультет МГУ, 2015. — 220 с.
15. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения. Издание с изменением № 1, утвержденным в июне 1983 г. (ИУС № 10-83). — М.: Изд-во стандартов, 1981. — 11 с.
16. Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Казаков Л. А., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. — Апатиты, 2010. — 224 с.

The current geoeological situation in the city of Murmansk: winter aspect

E. L. VOROBIEVSKAYA, N. B. SEDOVA, M. V. SLIPENCHUK, M. N. TSYMBAL
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The article analyzes the current geoeological situation in the city of Murmansk in winter. The main sources of atmospheric air pollution and the main pollutants have been identified. Natural and climatic factors that exacerbate the anthropogenic impact and cause deterioration of the environment are considered. The results of ecological and geochemical studies of the snow cover in the city of Murmansk to identify pollution with dust particles in connection with the activities of industrial enterprises and transport are presented. There is an excess of the background concentration of solid dust particles in almost all samples from 2 to 30 times, on average for all samples — 10 times. A comparative analysis of the content of organic matter in snow water showed a significant presence of coal dust in the composition of solid particles contained in snow samples. Quantitative data have been obtained showing that the increase in the amount of coal dust in the samples is directly proportional to the distance to the port. The largest amount of dust per unit area was found in functional areas: industrial, transport infrastructure, multi-storey housing development and is located in the central and north-eastern parts of the city.

Keywords: geoeological situation, Murmansk, coal dust pollution.

Bibliography — 16 references.

Received October 18, 2022

УДК 502.53, 502.55
DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_48
EDN: FKCUWF

Экологические вызовы современности и атомная энергетика с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ядерным топливным циклом

Н. В. ГОРИН, канд. физ.-мат. наук
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», г. Снежинск,
Челябинская обл., Россия

В. П. КУЧИНОВ
НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

А. Н. ЧЕБЕСКОВ, д-р техн. наук
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ им. А. И. Лейпунского», г. Обнинск, Калужская обл., Россия

В. В. ШИДЛОВСКИЙ, канд. техн. наук
АО «Прорыв», Москва, Россия

Отмечено, что при производстве энергии мир столкнулся с экологическими вызовами и возможные ответы приводят к снижению энергопотребления, достигнутого в развитых странах уровня жизни и деградацию развивающихся экономик или требуют необходимости перехода на экологически чистые источники энергии. Солнечная и ветровая энергетика, в силу нестабильности источников энергии и других природных ограничений, не смогут решить проблему обеспечения человечества чистой энергией самостоятельно. Атомная энергетика на основе реакторов на быстрых нейтронах и замкнутым ядерным топливным циклом может обеспечить не только энергетическую и экологическую безопасность России, но и стать основой мировой энергетики.

Ключевые слова: устойчивое развитие, загрязнение окружающей среды, атомная энергетика, замкнутый ЯТЦ.

В течение последних десятилетий мир стремительно изменяется, масштабы изменений порождают проблемы и вызовы для будущего развития человечества. Как писал В. И. Вернадский ещё в начале прошлого века, масштабы человеческой деятельности стали соизмеримыми с масштабами общепланетарных процессов, а деятельность человека выступает в качестве мощной геологической силы, воздействие которой приводит к нарушению гомеостаза планеты [1].

При этом основные тренды этих изменений накладываются друг на друга. Например, в соответ-

ствии с последним прогнозам ООН, население планеты может вырасти примерно до 8,5 млрд чел. в 2030 г. и до 9,7 млрд в 2050 году, достигнув 10,4 млрд в 2100 г. [2]. Соответственно должно расти обеспечение этого населения энергией, пищей, материальными и минеральными ресурсами.

В обществе уже сложилось понимание необходимости поиска коллективных ответов на эти вызовы. В 2015 г. ООН принята декларация "Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года", в которой обозначены 17 Целей устойчивого развития (ЦУР) и фактически сформулирован план действий, направленный на процветание, ликвидацию нищеты и сохранение природы. При этом выполнение многих целей так или иначе связано с обеспечением человечества энергией и, как отмечено в ЦУР № 7, энергетика занимает "центральное место почти во всех основных вызовах и возможностях, с которыми сталкивается сегодня мир". Доступ к энергии предусмотрен всеми ЦУР и является ключевым элементом повестки дня ООН в области устойчивого развития.

Расчёт динамики потребления энергии в XXI веке на основе эмпирического соотношения, связывающего глобальный прирост численности населения и

Горин Николай Владимирович, ведущий научный сотрудник.
E-mail: n.gorin@vniitf.ru
Кучинов Владимир Петрович, доцент.
E-mail: vkuchinov@bk.ru
Чебесков Александр Николаевич, главный научный сотрудник.
E-mail: chebes@ippe.ru
Шидловский Владимир Владиславович, начальник управления научно-технической деятельности.
E-mail: shvv@proryv2020.ru

Статья поступила в редакцию 20 июня 2022 г.

© Горин Н. В., Кучинов В. П., Чебесков А. Н., Шидловский В. В., 2022

энергопотребления, показывает рост годового энергопотребления в мире при среднем сценарии ООН по росту численности населения в 1,4 раза — до 230 тыс. ТВт·ч к 2050 г. и в 1,7 раза до 270 тыс. ТВт·ч к 2100 г. [3]. Как известно, сегодня в структуре производства энергии в мире преобладают источники, использующие сжигание углеводородов, что, естественно, ведёт к загрязнению атмосферы парниковыми газами, влияющими, по мнению ряда экспертов на изменение климата. В этой связи в пункте 36 заключительного документа "Климатический пакт Глазго" Конференции ООН по изменению климата (COP26, Глазго, Великобритания, 31.10—12.11.2021) содержится призыв ускорить разработку, внедрение и распространение технологий и принятие политики для перехода к энергетическим системам с низким уровнем выбросов, в том числе путем быстрого расширения масштабов применения экологически чистой энергетики и мер по повышению энергоэффективности, включая ускорение усилий по поэтапному отказу от неослабевающей угольной энергетики и неэффективных ископаемых субсидии на топливо, признавая необходимость поддержки справедливого перехода [4].

В России в 2018 г. Президентом России были инициированы национальные проекты по трём направлениям развития "Человеческий капитал", "Комфортная среда для жизни" и "Экономический рост", выполнение которых должно обеспечить устойчивое развитие страны. Следует отметить, что в первоначальной редакции этих национальных проектов атомная энергетика не упоминалась, также, собственно, как и в вышеупомянутом заключительном документе конференции сторон рамочной конвенции по климату. Однако вскоре это было исправлено принятием 14-го национального проекта по развитию атомной науки и технологий [5].

Особенности развития атомной энергетики

Развитие атомной энергетики невозможно без участия и согласия населения и общественности, так как российским законодательством и требованиями международных документов предусмотрено обязательное их информирование как о планах строительства новых объектов, так и изменений в условиях эксплуатации действующих. Эффективность диалога определяется уровнем квалификации сторон в области экологии и радиационной безопасности, к сожалению, пока в России наблюдается существенный разрыв между уровнем знаний профессионалов и пониманием гражданами реальных угроз, эффективности мер обеспечения безопасности персонала, населения и окружающей среды.

Широкому распространению атомной энергетики в мире препятствует, во-первых, сложившийся стереотип ее опасности, основанный на событиях прошлого и не учитывающий результаты последних разработок, а во-вторых — сложившаяся иллюзия решения энергетических и, следовательно, экологических проблем за счет солнечной и ветровой энергии. Все это совместно формирует сдержанное отношение населения к развитию атомной энергетики, при кото-

ром нет явных протестов, но и нет активной поддержки с востребованным отношением [6]. При отказе от стереотипов и иллюзий атомная энергетика предстанет перед населением как любая другая отрасль промышленности, имеющая свои преимущества и недостатки, но не привлекающая повышенного внимания.

Таким образом возникают две задачи — с одной стороны, продолжение работ по совершенствованию ядерных энергетических технологий, что снимет озабоченности в их безопасности, а с другой стороны — проведение целенаправленной, разъяснительной и информационной работы, главным образом, с молодежью и школьниками для формирования востребованного отношения населения к развитию атомной энергетики [7—9].

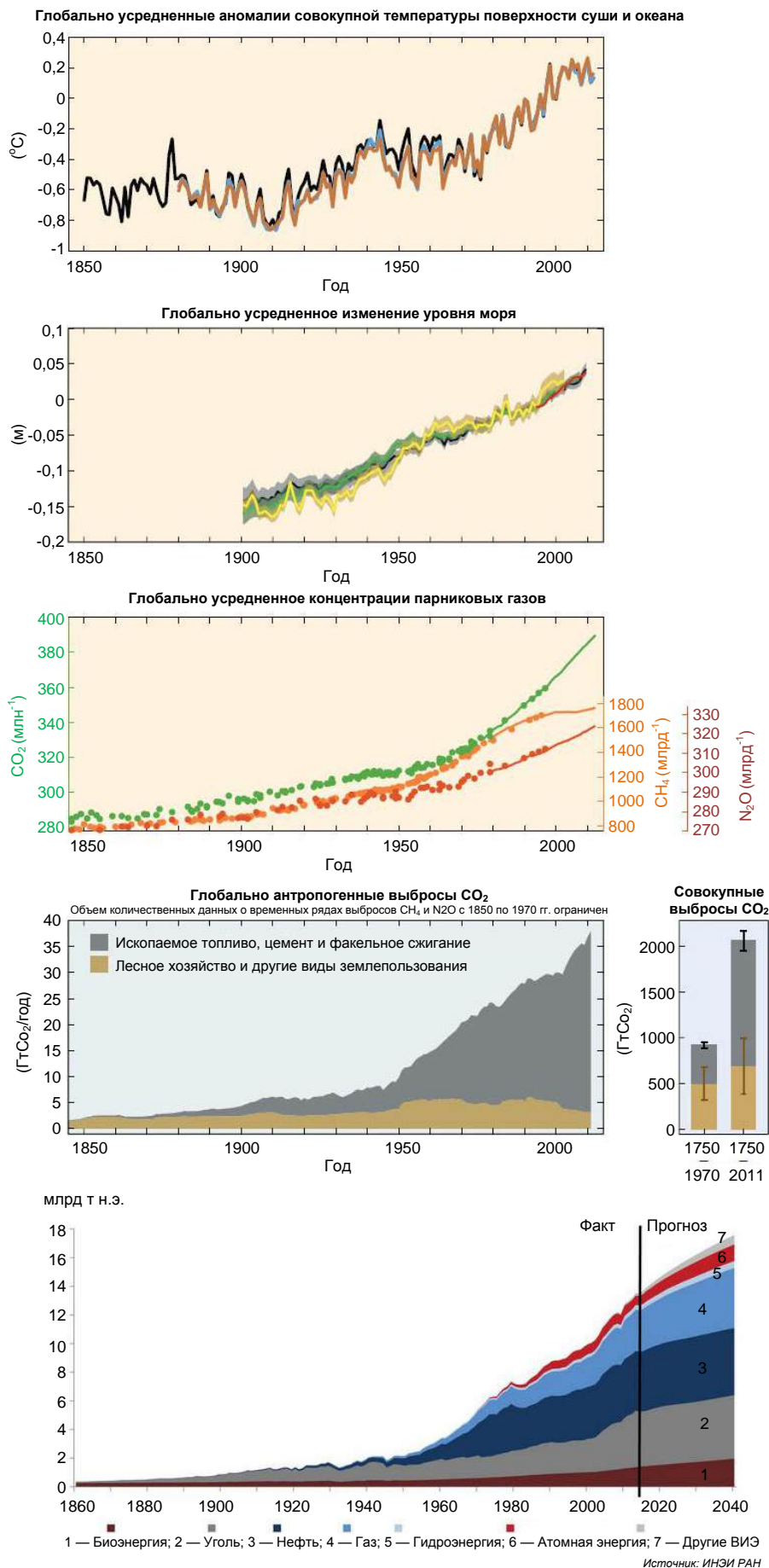
Экологические вызовы современности

В настоящее время окончательно не определены причины климатических изменений: либо естественные природные процессы, либо вклад вносит техногенная деятельность населения. Тем не менее, в докладе межправительственной группы экспертов по изменению климата (2013—2014 гг.) утверждается, что влияние человека было доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX века. Изменения климата обусловлены ростом концентраций парниковых газов в результате хозяйственной деятельности [10].

На рисунке представлены глобально усредненные аномалии совокупной температуры поверхности суши и океана, изменение уровня моря и концентрации CO₂ на планете за последние 170 лет, начиная от 1850 и вплоть до сегодняшних дней. Грань 1850 г. — условная граница между "доиндустриальным" и "индустриальным" этапами развития человечества. Следует признать, что представленные экспериментальные результаты за последние полвека показывают отчетливо выраженный рост температуры, повышение уровня моря и концентрации углекислого газа, как основной составляющей парниковых газов. Для наглядности на рисунке дополнительно представлена динамика мирового потребления энергии.

Видно, что глобальные антропогенные выбросы CO₂ коррелируют с мировым потреблением энергии и можно полагать наличие между ними причинно-следственной связи.

Известно, что потребление энергии заметно различается между странами и характеризует не только уровень жизни в стране, потребление материальных благ и природных ресурсов, но и пропорциональный объем образующихся отходов, т. е. загрязнением окружающей среды. До середины прошлого века такое положение дел проблем не вызывало, численность населения составляло ~2—3 млрд чел., масштаб загрязнения приближался к допустимым пределам техногенного воздействия, но еще их не превышал, и основная масса населения об этом не задумывалась. В настоящее время ситуация кардинально изменилась и допустимый уровень воздействия на биосферу к началу XXI века человек превысил примерно десятикратно [12].



Глобально усредненные аномалии атмосферы, суши и океана [10] и динамика потребления энергии в мире [11]

Мировой энергетический баланс на ~80 % обеспечен сжиганием углеводородов, а остальные ~20 % обеспечивают экологически чистые энергоисточники, такие как сжигание биотоплива (~10 %), атомная энергетика (~4—5 %), гидроэнергетика (~4—5 %) и солнечная и ветровая энергетика (~1—2 %). Хотя при сжигании биотоплива выделяется углекислый газ, но это не нарушает его естественный кругооборот, так как незадолго до сжигания при производстве энергии (~10—40 лет) он был изъят из атмосферы и преобразован в массу дерева фотосинтезом и после сжигания вернулся назад в атмосферу.

Загрязнение окружающей среды нарастает, в 2021 г. существенно увеличился ежегодный выброс в атмосферу углекислого газа с 33,1 до 36,3 Гт за счет вынужденного сжигания угля, так как солнечные и ветровые станции не обеспечили европейские страны энергией [13, 14]. Ничего удивительного в этом нет, подобный вариант развития событий еще полвека назад прогнозировал П. Л. Капица [15], отмечая низкую плотность потока солнечной и ветровой энергии и их зависимость от погодных условий.

За время жизни современного поколения (~25—30 лет) в атмосферу сброшено ~(800—900) млрд т углекислого газа. Это составляет около половины массы углекислого газа, которая уже была в атмосфере и на протяжении последних тысячелетий участвовала в естественном кругообороте, депонировалась в океане, почве, болотах, лесах и благодаря фотосинтезу формировала биоту. Можно прогнозировать, что следующие поколения при использовании углеводородной энергетики сбросят еще большие массы и, скорее всего, такое сбрасывание формирует вызовы современности.

Таким образом, отходы углеводородной энергетики начали заметно повышать концентрацию углекислого газа на планете. Это общепризнано и вызывает тревогу. Рост произошел не мгновенно, но по масштабам природы очень быстро, за время жизни двух-трех поколений людей и экологические проблемы — это плата за цивилизацию.

Одна из причин угрозы устойчивому развитию связана со сложившейся в течение тысячелетий парадигмой развития, рассматривавшей природу как неограниченный источник сырья и место утилизации отходов. Эта парадигма начала приходить в противоречие с ограниченными возможностями среды утилизировать отходы человеческой деятельности. Изменить парадигму в принципе невозможно, так как нет другого источника сырья и места утилизации отходов. Однако ее можно откорректировать, заложить в нее новую технологию и получать энергию из ядер элементов, а не из атомов (при сжигании топлива) как ранее. Такая технология, производящая на единицу массы сырья на несколько порядков больше энергии и меньше отходов, существует и предложена — ядерная энергетика.

Однако сегодня в существующей ядерной энергетике используется технология, основывающаяся на реакторах с тепловыми нейтронами и открытым топливным циклом, без переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Следует учитывать, что в ближайшие десятилетия развитие ядерной энергетиче-

ки в мире будет происходить эволюционно и, в основном, в так называемых "странах-новичках", решивших использовать ядерную энергию для решения задач устойчивого экономического, энергетического и научно-технического развития. Госкорпорация "Росатом", как и некоторые другие международные компании, экспортирует АЭС в эти страны, осуществляя тесное сотрудничество со страной импортером в рамках так называемого "интегрированного предложения". Оно может включать поставку АЭС "под ключ", услуги в области ЯТЦ, включая поставку свежего ядерного топлива и обращение с ОЯТ, оказание содействия в развитие национальной ядерной инфраструктуры, включая работу с населением, обучение и подготовку кадров.

Эволюционное развитие ядерной энергетики недостаточно, поскольку она не сможет обеспечить рост потребностей в энергии, прежде всего, из-за ограниченности ресурсов доступного природного урана [16], не говоря уже о других проблемах, связанных с ОЯТ и обращением с высокоактивными отходами.

Новая технологическая платформа ядерной энергетики

Выступая на Саммите тысячелетия в 2000 г. в ООН президент РФ обратил внимание, что устойчивое развитие человечества может в энергетическом плане опираться на ядерную энергетику новой технологической платформы, а именно на основе реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом (ЯТЦ). Такая ядерная энергетическая система практически имеет неограниченный топливный ресурс за счёт вовлечения в процесс получения энергии основного изотопа природного урана-238.

Следует отметить, что в России, например, к настоящему времени накоплено более 1 млн т обедненного гексафторида урана практически ядерной чистоты, подготовленного для изготовления топлива быстрого реактора с включением 15—20 % плутония или высокообогащенного урана. В нем заключена энергия, на два порядка превосходящая годовое производство энергии всем человечеством.

Вторым важным моментом этой системы является возможность реализовать концепцию, так называемого, радиологически эквивалентного захоронения радиоактивных отходов [17]. Речь идёт об обращении с радиоактивными отходами высокой активности, которые в форме растворов образуются при переработке ОЯТ при замыкании ЯТЦ. Само ОЯТ в России как РАО не рассматривается. Простая и очевидная в этой связи идея подземного захоронения таких отходов в целях их полной изоляции от биосферы, применяемая для низко и средне активных отходов в данном случае сложна для применения. Для высокоактивных отходов с периодом полураспада в десятки и сотни тысяч лет подземные могильники должны создаваться в геологических структурах, которые обладают долговременной стабильностью, водонепроницаемостью, хорошими сорбирующими свойствами для удержания радионуклидов, т. е. обеспечивать

долговременную безопасность захоронения в течение ~10 тысяч лет [18]. Такое вряд ли можно гарантировать, по этой причине проект хранилища в Юкко-Маунтин (США) был остановлен. Однако, при реализации технологической платформы и выше упомянутой концепции радиологически эквивалентного захоронения радиоактивных отходов можно говорить о существенно более коротких временах хранения. Так в техническом документе МАГАТЭ "Отходы от инновационных типов реакторов и их топливных циклов" говорится: "Использование ЗЯТЦ на базе реакторов на быстрых нейтронах позволяет: снизить радиотоксичность РАО в 100—200 раз; сократить время выдержки РАО с более чем 100 тыс. лет до менее чем 1 тыс. лет" [19].

Сегодня Россия значительно продвинулась в практической реализации своих НИОКР в этом направлении [20], значительные успехи в этих работах демонстрирует Китай. В России успешно эксплуатируются два энергоблока на основе реакторов БН-600 и БН-800, последний из которых представляет собой быстрый реактор с натриевым охлаждением с электрической мощностью ~880 МВт. Госкорпорация "Росатом" приняла "Стратегию 2018", в соответствии с которой быстрые реакторы с замкнутым ЯТЦ станут основой атомной энергетики и обеспечат энергетическую и экологическую безопасность России. Совместно с проектами по восстановлению лесов, которые обеспечат рост поглощения углекислого газа, атомная энергетика на новой технологической платформе может стать основным инструментом в борьбе с изменением климата. Такое развитие атомной энергетики отражено в национальных проектах России [21].

Конечно, как сегодня признаётся многими экспертами, новая технологическая платформа может реализоваться через этап двухкомпонентной ядерной энергетики, включающей одновременное использование реакторов на тепловых и быстрых нейтронах, работающих в едином замкнутом ЯТЦ. Очевидно, что переход к двухкомпонентной ядерной энергетике с замкнутым ЯТЦ и последующий переход на ядерную энергетику на основе новой технологической платформы на основе только реакторов на быстрых нейтронах с ЗЯТЦ потребует не менее нескольких десятилетий.

Вместе с тем, при значительном росте мировой ядерной энергетики, который должен соответствовать требованиям климатической повестки дня по замещению углеводородных энергоисточников и развитием двухкомпонентной ядерной энергетической системы станет востребован экспорт быстрых реакторов, возможно совместно с установками для замыкания ЯТЦ. Конечно, на начальных этапах экспорт быстрых реакторов будет осуществляться без создания в стране-импортере инфраструктуры замкнутого ЯТЦ аналогично, как это происходит при экспорте реакторов ВВЭР с возвратом на переработку ОЯТ в Россию. Однако, нельзя исключать, что по мере развития мировой ядерной энергетики может потребоваться переработка ОЯТ на месте на импортированных из России установках и технологиях замкнутого ЯТЦ и будет расширяться круг стран, получающих доступ к чувствительным технологиям.

Это в свою очередь может стать вызовом международному режиму нераспространения ядерного оружия из-за риска, связанного с установками по переработке ОЯТ и изготовлением смешанного уран-плутониевого топлива. В этом случае гражданская ядерная программа потенциально может быть использована для обеспечения реализации тайной программы создания ядерного оружия или же просто быть преобразованной в такую программу. Однако количественно оценить такой риск практически невозможно и остаётся только говорить о его потенциальной возможности, а также о технических и институциональных методах, купирующих риск.

Вместе с тем разрабатываемые быстрые реакторы и производства замкнутого ЯТЦ обладают достаточным количеством барьеров, препятствующих нарушениям режима ядерного нераспространения, и технически содействуют обнаружению попыток скрытого создания ядерного оружия [22—24].

Заключение

Ядерная энергетика совместно с другими безуглеродными источниками энергии способна ответить на вызовы, угрожающие устойчивому развитию человечества. Быстрые реакторы с замкнутым ЯТЦ позволят практически неограниченно расширить ресурсную базу атомной энергетики за счет организации циркуляции ядерного уран-плутониевого топлива равновесного состава с подпиткой лишь обедненным или природным ураном. Они также помогут решить проблему с накоплением ОЯТ реакторов на тепловых нейтронах и существенно снизят объем высокоактивных отходов. При этом благодаря техническим и институциональным мерам риск ядерного распространения, связанный с расширенным использованием быстрых реакторов с установками замкнутого ЯТЦ может быть практически купирован.

Увеличение доли экологически чистой атомной энергетики в энергетическом балансе России и, в дальнейшем, мира снизит выбросы углекислого газа в атмосферу, что будет способствовать защите окружающей среды и ответу на экологические вызовы современности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. — М.: Айрис-пресс. 2004. — 303 с.
2. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
3. <https://energypolicy.ru/klyuchevye-tendencii-potrebleniya-energii-v-xxi-veke/energetika/2021/12/21/>
4. UN, FCCC/PA/CMA/2021/L.16 (advanced version)
5. Правительство утвердило 14-й национальный проект по развитию атомной науки и технологий. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2021/02/08/31102/> (дата обращения: 23.05.22).
6. Мельникова Н. В., Артемов Е. Т., Бедель А. Э., Волошин Н. П., Михеев М. В. История взаимодействия ядерной энергии и общества в России. — Екатеринбург. Изд-во Уральского университета, 2018. DOI 10.15826/B978-7996-2492-7.
7. Горин Н. В., Екидин А. А., Кучинов В. П., Матвеева Л. Г., Меньшиков В. Ф. Формирование общественного мнения в интересах развития и признания атомной энергетики экологически чистым источником энергии // Траектория исследований — человек, природа, технологии. 2022. Вып. 1(1). С. 102—111.

8. Горин Н. В., Абрамова Н. Л., Нечаева С. В., Головихина О. С. Воспитание у населения востребованного отношения к атомной энергетике // Государственное управление. Электронный вестник. 2021. № 87. С. 7—18. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-87-7-18.
9. Горин Н. В., Головихина О. С., Глазов Е. Е., Екидин А. А., Нечаева С. В. Информирование населения, как инструмент развития атомной отрасли // Государственное управление. Электронный вестник. 2021. № 85. С. 6—24. DOI: 10.24412/2070-1381-2021-85-6-24.
10. Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T., Minx J. C. et al. IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
11. Макаров А. А., Григорьев Л. М., Митрова Т. А. Прогноз развития энергетики мира и России. — М.: ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ, 2016.
12. Данилов-Данильян В. И. Устойчивое развитие и нескончаемые дискуссии о нем // Экологический ежегодник. 2008. № 2. С. 6—13.
13. Global Energy and CO₂ Status Report 2018. International Energy Agency [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://iea.blob.core.windows.net/assets/23f9eb39-7493-4722-aced-61433cbffe10/Global_Energy_and_CO2_Status_Report_2018.pdf (дата обращения: 23.05.22)
14. Global Energy Review 2021. International Energy Agency [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021> (дата обращения: 23.05.22).
15. Капица П. Л. Энергия и физика: Доклад на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://vivovoco.astronet.ru/VV/PAPERS/KAPITZA/KAP_10.HTM (дата обращения: 23.05.22).
16. Пономарев-Степной Н. Н. Двухкомпонентная ядерная энергетическая система с замкнутым ядерным топливным циклом на основе БН и ВВЭР // Атомная энергия. 2016. Т. 120. Вып. 4. С. 183—191.
17. Лопаткин А. В., Величкин В. И., Никипелов Б. В., Полуктовы П. П. Радиационная эквивалентность и природоподобие при обращении с радиоактивными отходами // Атомная энергия. 2002. Т. 92. Вып. 4. С. 308—317.
18. The Use of Scientific and Technical Results from Underground Research Laboratory Investigations for Geological Disposal of Radioactive Waste. IAEA-TECDOC-1243, Vienna, 2001. — 65 p.
19. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1822_web.pdf
20. Адамов Е. О., Орлов В. В., Рачков В. И., Слесарев И. С., Хомяков Ю. С. Ядерная энергетика с естественной безопасностью: смена устаревшей парадигмы, критерии // Известия академии наук. Энергетика. 2015. № 1. С. 13—29.
21. Горин Н. В., Екидин А. А., Головихина О. С. Атомная энергетика в национальных проектах России. // Известия ВУЗов. Ядерная энергетика. 2021. № 1. С. 5—15. DOI: 10.26583/npe.2021.1.01
22. Горин Н. В., Волошин Н. П., Чуриков Ю. И., Чебесков А. Н., Кучинов В. П., Васильев А. П., Моисеев А. В., Шепелев С. Ф., Скворцов Д. А., Журин С. И., Шидловский В. В., Кривцов А. В. Обеспечение режима ядерного нераспространения при экспорте реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом // Атомная энергия. 2021. Т. 130. Вып. 1. С. 48—51.
23. Горин Н. В., Кузнецов Е. В., Кучинов В. П., Чебесков А. Н., Моисеев А. В., Шидловский В. В., Кривцов А. В. Барьеры на путях ядерного распространения при экспорте российских быстрых реакторов с замкнутым ЯТЦ (на примере БРЕСТ ОД-300) // Вестник НЯЦ. 2021. Вып. 4(88). С. 16—21.
24. Горин Н. В., Карманов А. Л., Первиненко В. Н., Власов В. В., Теплых Н. А., Кучинов В. П., Чебесков А. Н., Шидловский В. В. Обнаружение признаков нарушений обязательств по ядерному нераспространению государством-импортёром быстрого реактора с установками замкнутого ЯТЦ // Атомная энергия. 2021. Т. 131. Вып. 4. С. 227—232.

Current environmental challenges and nuclear power production with fast neutron reactors and closed fuel cycle

N. V. GORIN

FSUE RFNC — VNIITF named after Academ. E. I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk Reg., Russia

V. P. KUCHINOV

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

A. N. CHEBESKOV

JSC "SSC RF-IPPE named after A. I. Leipunsky", Obninsk, Kaluga Reg., Russia

V. V. SHIDLOVSKY

JSC "Proryv", Moscow, Russia

Power production has led the World to face environmental challenges. Response actions basically imply either power consumption reduction, causing living standards degradation in developed countries and the degradation of economy in developing countries, or require a transition to environment friendly energy sources. Solar and wind power, due to the instability of the energy sources and other natural limitations, will not be able to solve the problem of providing humanity with clean energy on their own. Nuclear power based on fast neutron reactors and a closed nuclear fuel cycle can ensure not only the energy and environmental security of Russia, but also become the basis of world energy.

Keywords: sustainable development, environment pollution, nuclear power, closed nuclear fuel cycle.

Bibliography — 24 references.

Received June 20, 2022

УДК 551.521:574.4:621.311.22
DOI: 10.52190/2073-2589_2022_4_54
EDN: DZQLTM

Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в крупных промышленных центрах Ростовской области

Е. А. БУРАЕВА, канд. хим. наук; **Н. В. МАЛОМЫЖЕВА**; **О. В. КАМЕНЕВ**
Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Россия

Представлены результаты оценки особенностей распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в крупных промышленных городах Ростовской области — г. Ростове-на-Дону и г. Таганроге. Исследования гамма-фона проводили в районах многоэтажной жилой застройки, в парковых и в промышленных зонах городов. Показано, что гамма-фон в данных городах не изменяется со временем, равномерно распределен по территориям городов и составляет в среднем 0,10—0,13 мкЗв/ч.

Ключевые слова: мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, распределение, урбанизированные территории, город, источники ионизирующих излучений.

Оценка гамма-фона на природных и урбанизированных территориях является неотъемлемой частью радиоэкологического мониторинга. Особое внимание уделяется районам, на которых проводились ядерные взрывы [1], промышленным [2, 3], городским [4—11] и рекреационным [5—16] территориям как в пределах Российской Федерации, так и в различных странах мира.

В Российской Федерации непрерывный контроль объектов ядерной топливной энергетики осуществляет Научно-производственное объединение Тайфун Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [17], а на территориях городских и сельских поселений — Центры гигиены и эпидемиологии Управлений Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор).

На территориях Предкавказья и Северного Кавказа со сложными геологическими, тектоническими и климатическими условиями, а также при наличии на территории предприятий ядерной топливной энерге-

тики, крупных промышленных объектов, месторождений полезных ископаемых, особо охраняемых природных территорий федерального и регионального значения, городов-курортов, оценка гамма-фона на открытой местности является актуальной задачей.

В Ростовской области в населенных пунктах с развитой промышленностью выделяется город Новочеркасск, на территории которого расположены крупные предприятия филиал ОАО «ОГК — 2» Новочеркасская ГРЭС, АО «ЭПМ — Новочеркасский электродный завод» и ООО «Производственная компания "Новочеркасский электровозостроительный завод"». В районе размещения Новочеркасской ГРЭС и на территории Новочеркасска ведутся активные исследования, посвященные оценке концентрации тяжелых металлов в объектах окружающей среды [18] и радиоэкологическому состоянию данных территорий [19, 20]. Среди крупных промышленных центров можно выделить областной центр — город Ростов-на-Дону и город Таганрог. В данных населенных пунктах систематические исследования распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения до настоящего времени не проводились.

Бураева Елена Анатольевна, ведущий научный сотрудник.
E-mail: buraeva@sfedu.ru

Маломыжева Наталья Викторовна, лаборант-исследователь.
E-mail: lila.2013@yandex.ru

Каменев Олег Валерьевич, магистрант 1-го года обучения.
E-mail: super.kamenev2012@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11 ноября 2022 г.

© Бураева Е. А., Маломыжева Н. В., Каменев О. В., 2022

Объекты и методы исследования

Среди промышленных центров Ростовской области особое место занимают Ростов-на-Дону и Таганрог. На рис. 1 представлены карты-схемы расположения контрольных участков (мониторинговых площадок) в данных городах.



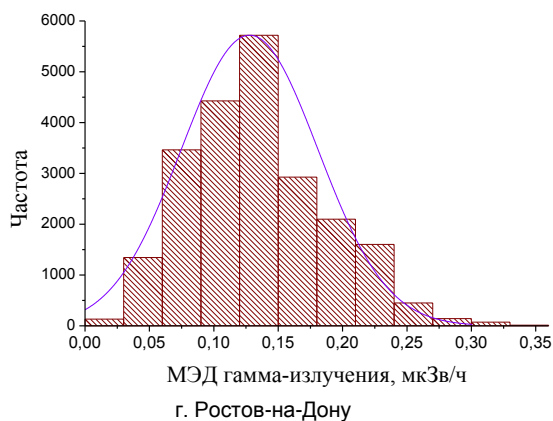
г. Ростов-на-Дону



г. Таганрог

Рис. 1. Карта-схема крупных промышленных городов Ростова-на-Дону и Таганрога

Ростов-на-Дону является административным центром Южного федерального округа и Ростовской области. Город расположен в умеренной климатической зоне с умеренно-континентальным, степным климатом. Зимой в среднем температура находится в пределах: $-15 \dots -5$ °С. В летние месяцы на территории Ростовской области температура воздуха превышает 25 °С. Среднегодовое атмосферное давление в Ростове-на-Дону составляет 756 мм. рт. ст. Среднегодовая сумма осадков составляет 618 мм. Влажность воздуха в среднем за год находится на уровне 69 % [21].

**Рис. 2. Распределение МЭД гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону и г. Таганроге**

В городе Ростове-на-Дону наряду с делением на 8 административных районов имеет место и деление на: Западный жилой массив (ЗЖМ – 1), Левенцовка (ЛЕВ – 2), Болгарстрой (БСТР – 3), Стройгородок (СГ – 4), Военвед (ВВ – 5), Северный жилой массив (Вавилова – 6, СЖМ – 7), Чкаловский (ПЕРВ – 8), Сельмаш (СМ – 9), Александровка (АЛЕ – 10), Суворовский (СУВ – 11); В качестве особо охраняемых природных территорий (ООПТ) на территории города также привлечены исследования в Ботаническом саду Южного федерального университета (БС) [22].

Таганрог расположен на берегу Таганрогского залива Азовского моря в 70 км от г. Ростова-на-Дону. Город расположен на равнинной, волнообразной местности, возвышаясь над уровнем моря примерно до 75 м. Таганрог — южный приморский город. Климат относительно сухой, с избытком тепла и относительным недостатком влаги, смягчается морскими бризами и имеет переходный от мягко континентального к субтропическому климату средиземноморского типа. Среднегодовая температура $+10,4$ °С. Относительная среднегодовая влажность воздуха — 74 %, среднегодовая скорость ветра — 3,3 м/с [21].

Дозиметрия природных и урбанизированных территорий является неотъемлемой частью радиоэкологического мониторинга. В рамках дозиметрии в полевых условиях авторами проведены измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч) с использованием поисковых дозиметров-радиометров типа СРП-88н, ДРБП-03 и ДКС-96 с блоком БДКС-96с. В населенных пунктах измерения гамма-фона проводили по улицам, в парковых зонах и за пределами населенных пунктов (для определения фоновых значений МЭД). Для оценки сезонного изменения МЭД гамма-излучения на территории г. Ростова-на-Дону измерения гамма-фона проводили отдельно в летний, зимний, осенний и весенний периоды. Внимание уделялось промышленным районам и спальным жилым массивам [22].

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 и в табл. 1 представлены результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения вдоль центральных улиц, в парковых зонах, в спальнях районах в городах Ростове-на-Дону и Таганрог Ростовской области.

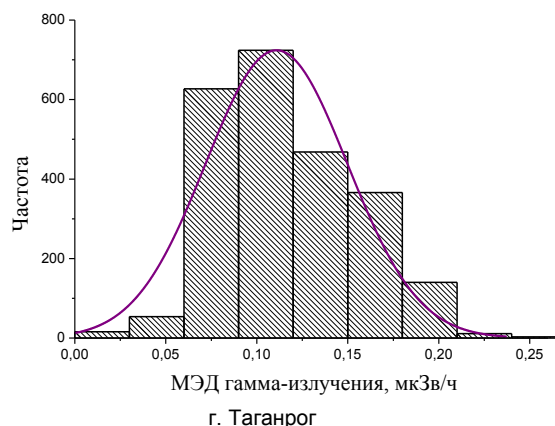


Таблица 1

Результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону и г. Таганроге

| Параметр | г. Ростов-на-Дону | г. Таганрог |
|--------------------------------|-------------------|-------------|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,01 | 0,01 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,41 | 0,24 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,13 | 0,11 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,12 | 0,10 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,09 | 0,10 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,12 | 0,11 |
| Стандартная ошибка, мкЗв/ч | 0,0004 | 0,0008 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,05 | 0,04 |
| Коэффициент вариации, % | 41 | 36 |
| Количество измерений, шт. | 22389 | 2409 |

Достаточно широкие вариации МЭД гамма-излучения в районах исследования обусловлены неоднородной городской застройкой, использованием различных строительных материалов, разной степенью загруженности автотранспортом. Не стоит исключать тот факт, что измерения МЭД проводили в разные сезоны (летний, осенний, зимний и весенний).

Далее представлены результаты сравнительного анализа распределения МЭД гамма-излучения в различных районах городов Таганрога (табл. 2, рис. 3) и Ростова-на-Дону (табл. 3, рис. 4). Разделение городов на районы авторы данной работы проводили либо по территориальным признакам (для г. Таганрога), либо согласно устоявшимся названиям районов/микро-районов (для Ростова-на-Дону).

Таблица 2

Результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения в г. Таганроге с дифференциацией по районам

| Параметр | Район г. Таганрога | | | |
|--------------------------------|--------------------|----------|-------------|-----------|
| | Западный | Северный | Центральный | Восточный |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,07 | 0,11 | 0,10 | 0,10 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,07 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Количество измерений, шт | 170 | 192 | 1479 | 568 |

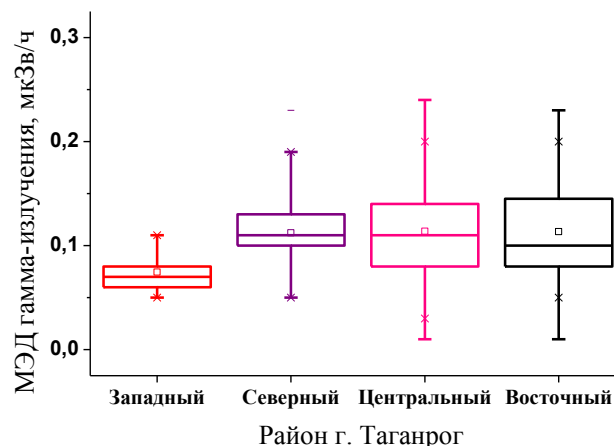


Рис. 3. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Таганроге с дифференциацией по районам

Таблица 3

Результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения г. Ростова-на-Дону с дифференциацией по районам

| Район | Среднее арифм., мкЗв/ч | Среднее геом., мкЗв/ч | Мода, мкЗв/ч | Медиана, мкЗв/ч | Стандартное отклонение, мкЗв/ч | Количество измерений, шт. |
|-------|------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|
| БС | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,03 | 4886 |
| ЗЖМ | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 4255 |
| СУВ | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,03 | 1890 |
| СЖМ | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 2797 |
| ВВ | 0,14 | 0,12 | 0,16 | 0,14 | 0,03 | 2015 |
| ЛЕВ | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 1235 |
| АЛ | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,13 | 0,03 | 1713 |
| ПЕРВ | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 1025 |
| СГ | 0,14 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,03 | 1217 |
| БОЛС | 0,14 | 0,12 | 0,16 | 0,14 | 0,03 | 1350 |

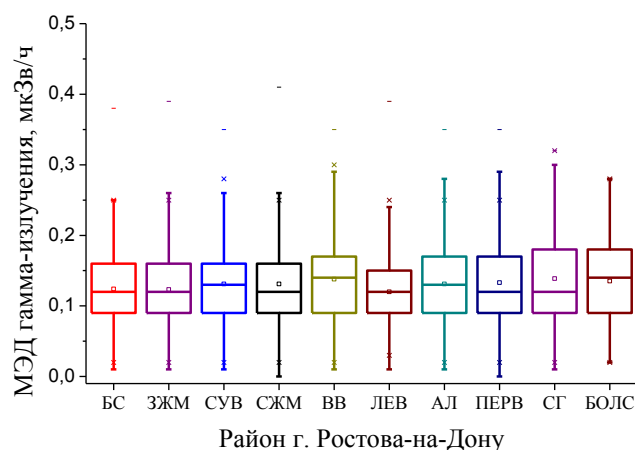


Рис. 4. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону с дифференциацией по районам:

БС — Ботанический сад; ЗЖМ — Западный жилой массив; СУВ — Суворовский; СЖМ — Северный жилой массив; ВВ — Военвед; ЛЕВ — Левенцовский; АЛ — Александровка; ПЕРВ — Первомайский; СГ — Стройгородок; БОЛС — Болгарстрой)

Различия в МЭД гамма-излучения, измеренного в разных районах городов Ростова-на-Дону и Таганрога, либо отсутствуют (табл. 2, 3) либо не превышают стандартного отклонения (0,04—0,05 мкЗв/ч). Это говорит о том, что МЭД гамма-излучения в данных городах распределена равномерно, отсутствуют радиоактивные аномалии (районы с повышенным гамма-фоном). Также, гамма-фон на исследуемых территориях соответствует Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и согласуется с фоновыми значениями МЭД, оценёнными для особо охраняемых природных территорий Ростовской области – 0,128 мкЗв/ч [23].

Для оценки влияния сезонных факторов на МЭД гамма-излучения представлены особенности распределения гамма-фона по годам (рис. 5—6, табл. 4—5) и по сезонам (рис. 7, табл. 6).

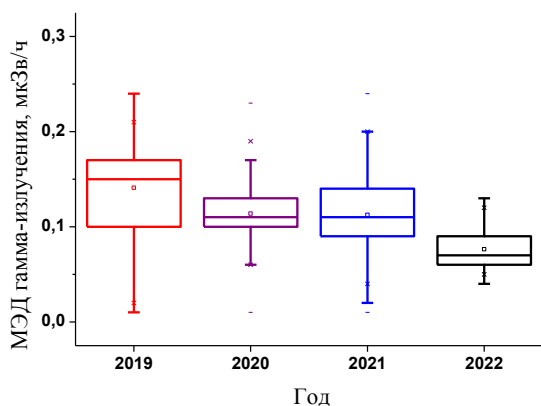


Рис. 5. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения г. Таганроге с дифференциацией по годам наблюдения

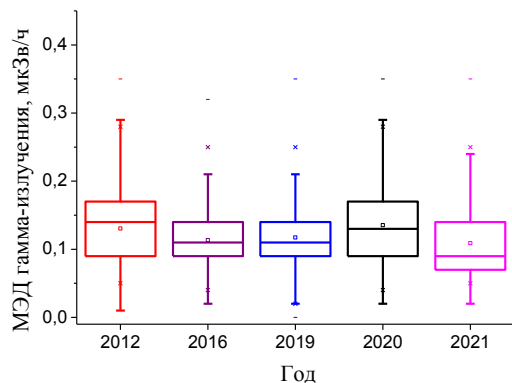


Рис. 6. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения г. Ростове-на-Дону с дифференциацией по годам наблюдения

Таблица 4

Результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения в г. Таганроге с дифференциацией по годам наблюдения

| Параметр | Год | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,14 | 0,11 | 0,11 | 0,08 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,13 | 0,11 | 0,11 | 0,07 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,07 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,15 | 0,11 | 0,11 | 0,07 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Количество измерений, шт | 500 | 513 | 869 | 527 |

Таблица 5

Результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону с дифференциацией по годам наблюдения

| Параметр | Год | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|-------|------|
| | 2012 | 2016 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,14 | 0,11 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,10 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,12 | 0,07 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,14 | 0,11 | 0,11 | 0,13 | 0,09 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Количество измерений, шт | 2069 | 756 | 3241 | 13151 | 3171 |

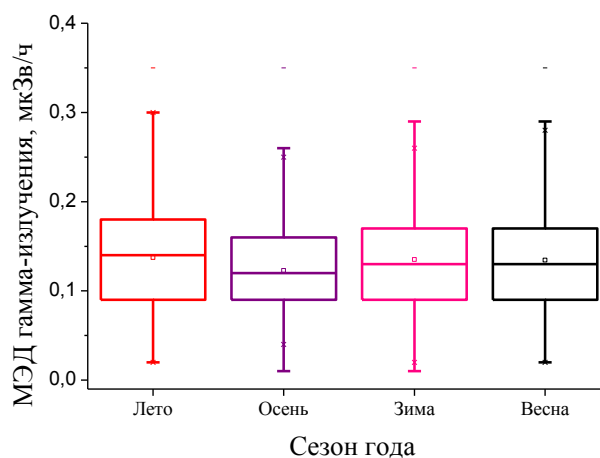


Рис. 7. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону с дифференциацией по сезонам года

Таблица 6

Результаты статистической обработки данных по распределению МЭД гамма-излучения в г. Ростове-на-Дону с дифференциацией по сезонам года

| Параметр | Сезон года | | | |
|--------------------------------|------------|-------|------|-------|
| | Лето | Осень | Зима | Весна |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,14 | 0,12 | 0,14 | 0,13 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,12 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,12 | 0,09 | 0,12 | 0,12 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,13 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Количество измерений, шт | 5544 | 5851 | 4781 | 3651 |

Распределение МЭД гамма-излучения на территориях городов Ростов-на-Дону и Таганрог, как с дифференциацией по годам, так и в зависимости от сезона (на примере г. Ростова-на-Дону) совпадает в пределах стандартного отклонения для средних арифметических, средних геометрических, модальных и медианных значений гамма-фона.

Значимые различия в уровнях МЭД гамма-излучения как в разные сезоны, так и в разные годы наблюдений отсутствуют. Это может говорить о том,

что на гамма-фон слабо влияет температура воздуха (все измерения проводились в сухие периоды погоды — отсутствовали осадки в виде дождя или снега). Также на распределение гамма-фона слабо влияет растущая в г. Ростове-на-Дону и в г. Таганроге урбанизация (увеличение количества автотранспорта, строительство новых жилых микрорайонов и др.).

В целом гамма-фон в г. Ростове-на-Дону и в г. Таганроге стабилен, не превышает уровни, рекомендуемые Нормами радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009), и согласуется с данными Роспотребнадзора по Ростовской области (0,12—0,14 мкЗв/ч).

Заключение

Необходимо отметить, что подобные исследования особенности распределения гамма-фона необходимо проводить как на территориях крупных промышленных центров, так и в малых и средних городах, а также сельских населенных пунктах. Оценки влияния предприятий ядерной топливной энергетики, месторождений полезных ископаемых, промышленных предприятий и автотранспорта на экологическую обстановку в целом и радиозоологическую, в частности, позволяют оперативно отслеживать любые изменения в уровнях гамма-фона и снизить социальную напряженность среди населения, что особенно актуально в регионах, расположенных в непосредственной близости от предприятий ядерной топливной энергетики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № 0852-2020-0032), (БА30110/20-3-ОИФ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов В. Е., Яковлева В. Д., Слепцова Е. В. О показателях радиозоологической обстановки на Среднебугорском нефтегазовом месторождении с подземными ядерными взрывами. // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 1. С. 56—61.
2. Абдушукуров Д. А., Анварова Г. Б., Бондаренко Д. В., Мамадалиев Б. Н., Стоцкий Д. Ф. Радиозоологическое состояние территории полигона твердых бытовых отходов г. Душанбе. // Вестник Таджикского технического университета. 2013. № 4 (24). С. 89—93.
3. Борбиев Б. И. Радиационная оценка хвостохранилищ Актюзской горно-полиметаллической провинции. // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2015. № 1 (33). С. 173—176.
4. Бураева Е. А., Горбунов А. С., Дергачева А. В. и др. Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и концентрации радионуклидов в почвах на территории г. Новочеркасска Ростовской области. // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 8. С. 48-53.
5. Артюховский А. К., Шаталов В. Г., Артюховская Е. А., Левов А. И. Гамма-фон воздуха в различных типах лесорастительных условий и насаждений зеленой зоны Воронежа. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1994. № 4. С. 30—34.
6. Махмадов Т. З., Хамидов Ф. А., Баротов Б. Б., Саидов В. Я. Радиологическая карта города Душанбе и его окрестностей. // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2012. Т. 55. № 9. С. 755—758.
7. Кибатаев К. М., Мутигулина Г. А., Еламан Б. К., Мамырбаев А. А., Мадихан Ж. Ш., Мануков В. Г. Дозы внешнего облучения населения Актюбинской области от естественных источников ионизирующей радиации. // Медицинский журнал Западного Казахстана. 2015. № 3 (47). С. 12—14.
8. Стёпкин Ю. И., Кузмичев М. К., Клепиков О. В. Мониторинг радиационной обстановки на территории Воронежской области. // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10. № 2. С. 51—56.
9. Росоловский А. П. Радиологическая оценка некоторых природных источников ионизирующего излучения на территории Новгородской области // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 62—66.
10. Ляхова Н. В., Швецова Д. А., Шадин А. Е., Бураева Е. А., Михайлова Т. А. Радиационная обстановка на рекреационных, урбанизированных и природно-техногенных территориях Ростовской области. // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2021. № 5 (47). С. 198—201.
11. Бураева Е. А., Малышевский В. С., Нефедов В. С. и др. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Северного Кавказа. // Фундаментальные исследования. 2013. № 10—5. С. 1073—1077.
12. Сидоров З. И., Паровик Р. И., Вуколов А. В., Яковлева В. С. Исследование гамма-фона в парках и зонах отдыха города Петропавловска-Камчатского. // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2021. Т. 37. № 4. С. 183—202.
13. Квашинин С. В. Радиационный гамма-фон Ишимской равнины. // Вестник современных исследований. 2016. № 3—1 (3). С. 31—34.
14. Кобякова Т. И., Уфимцева Л. В. Оценка экологического радиационного состояния почв северной лесостепи Курганской области. // Вестник КрасГАУ. 2017. № 12 (135). С. 130—134.
15. Асварова Т. А., Залибеков З. Г., Абдулаева А. С., Магомедов М. А. Радиозоологическое состояние почвенно-растительного покрова на территории Терско-Кумской низменности. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2014. № 63. С. 137—141.
16. Бекман И. Н., Хасков М. А., Пасека В. И. и др. Вариации радиационного поля в северной части Азовского моря. // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2003. Т. 44. № 2. С. 140—148.
17. Научно-производственное объединение Тайфун Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gratyrhoon.ru/>. (дата обращения: 20.10.2022).
18. Минкина Т. М., Назаренко О. Г., Мотузова Г. В. и др. Групповой состав соединений тяжелых металлов в почвах агроценозов, загрязненных аэрозольными выбросами Новочеркасской ГРЭС // Агрохимия. 2011. № 6. С. 68—77.
19. Бураева Е. А., Чечеватова В. В., Саевский А. И. и др. Радионуклиды в наземных экосистемах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС. // Экология промышленного производства. 2020. Вып. № 3 (111). С. 45—49.
20. Бураева Е. А., Горбунов А. С., Дергачева А. В. и др. Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и концентрации радионуклидов в почвах на территории г. Новочеркасска Ростовской области // Экология и промышленность России. Том: 26 № 8. 2022. С. 48—53.
21. Разуваев В. Н., Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н. и др. Научно-прикладной справочник «Климат России». — 2018. Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/> Доступен 15.03.2021
22. Шадин А. Е., Ерчихин А. Д., Каменев О. В., Бураева Е. А. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в густонаселённом городе Ростове-на-Дону // Сб. тр. Девятого Межд. междисциплинар. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко-систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». 2020. Т. 1. С. 291—294.
23. Ляхова Н. В., Шадин А. Е., Бураева Е. А., Михайлова Т. А. Радиационная обстановка на рекреационных территориях Ростовской области. // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2(55). С. 80—83.

Features of the distribution of the equivalent dose rate of gamma radiation in large industrial centers of the Rostov region

E. A. BURAEVA, N. V. MALOMYZHEVA, O. V. KAMENEV

Sciences Research Institute of Physics Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

The article presents the results of evaluating the features of the distribution of the equivalent dose rate of gamma radiation in large industrial cities of the Rostov region - Rostov-on-Don and Taganrog. Gamma background studies were carried out in areas with high-rise residential buildings, in park areas and in industrial areas of cities. It is shown that the gamma background in these cities does not change with time, is evenly distributed over the territories of cities and averages $0.10\text{--}0.13\text{ }\mu\text{Sv/h}$.

Keywords: equivalent dose rate of gamma radiation, distribution, urban areas, city, sources of ionizing radiation.

Bibliography — 23 references.

Received October 24, 2022

Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2022. Вып. 4. С. 1—60.

Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 12.11.2022.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,2.

Тираж 250 экз. Заказ 2004.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,
Волоколамское ш., 77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 80090.