

# ЭКОЛОГИЯ

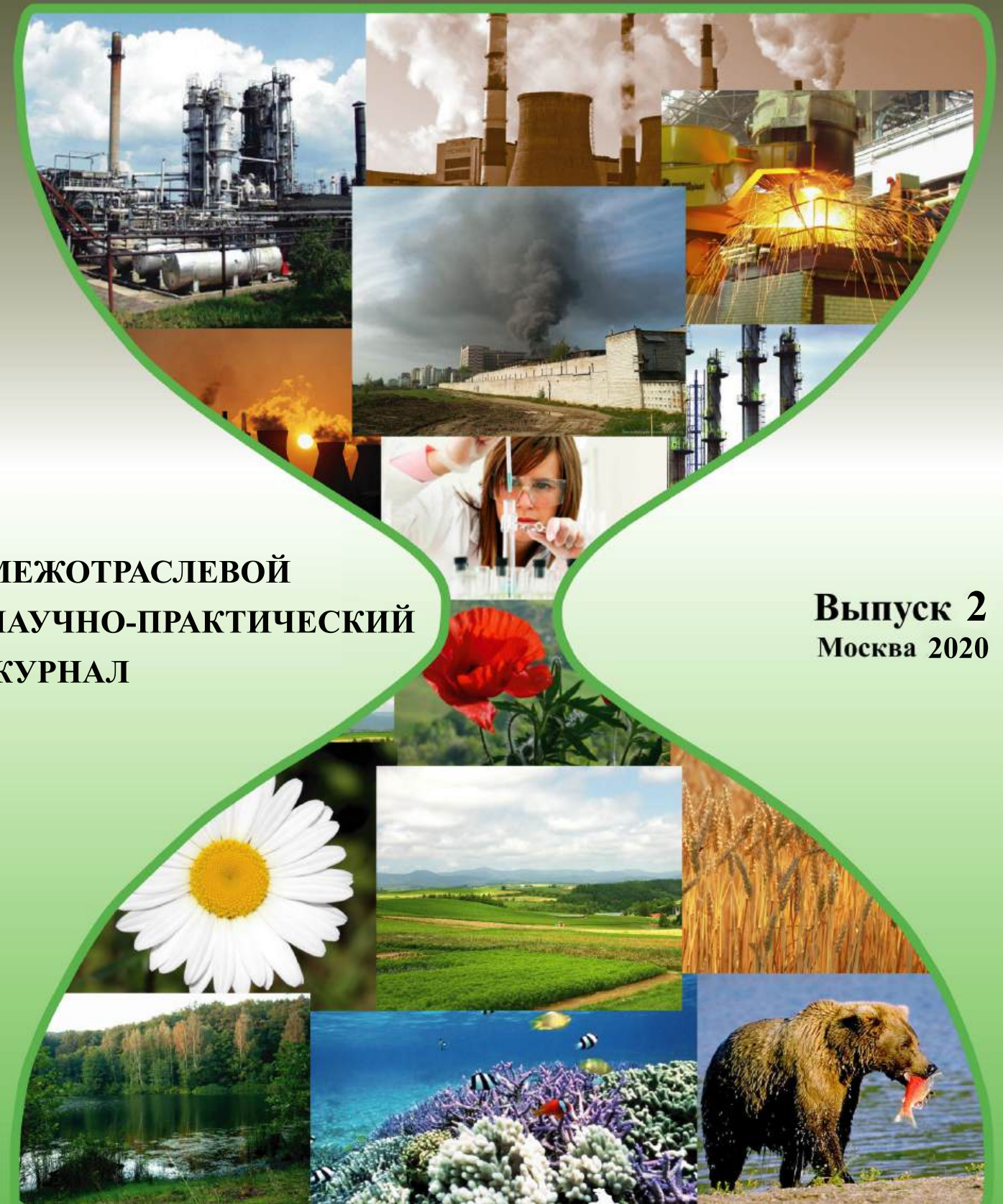
промышленного  
производства

Индекс 80090



# ЭКОЛОГИЯ

промышленного  
производства



МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

Выпуск 2  
Москва 2020





## 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 образования и науки 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: [secretariat@ntkompas.ru](mailto:secretariat@ntkompas.ru)

# ЭКОЛОГИЯ

## промышленного

## производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

Выпуск 2 (110)

Издается с 1993 г.

Москва 2020

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

- Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г.* Многотоннажные лигнинсодержащие отходы — достижения и проблемы утилизации ..... 2
- Колосова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г.* Применение древесных отходов для получения теплоизоляционного композиционного материала на основе вторичного полимерного связующего ..... 6
- Моисеева А. А., Куксанов В. Ф., Чекмарева О. В.* Определение фитотоксичности отходов карбонитрации металлических поверхностей элюатным методом ..... 11
- Александрова Н. Н., Демченко В. О.* К вопросу об актуальности строительства мусоросортировочных заводов в Тюменской области ... 16

#### ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА

- Ксенофонтов Б. С.* Утилизация осадков сточных вод путём компостирования с торфом ..... 20

#### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

- Северюков И. Т., Ефремова Л. В., Кузнецов Н. П., Ильин В. В.* Экологические аспекты чрезвычайных ситуаций при хранении боеприпасов и взрывчатых веществ ..... 25

#### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

- Янников И. М., Телегина М. В., Исенбаева Е. Н., Исаков В. Г.* Реализация информационной системы прогнозирования загрязнения водотоков аварийно химически опасными веществами ..... 29

#### ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

- Катин В. Д., Косыгин В. Ю.* Анализ чисел Воббе при моделировании методики безопасного сжигания топливных газов переменного состава в инъекционных горелках нефтезаводских печей ..... 34

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Гладун И. В., Майорова Л. П., Черенцова А. А.* Предупреждение эколого-правовых рисков при хозяйственной деятельности в морском порту ..... 38
- Липина Л. Н., Вдовенко А. В.* К вопросу рекультивации месторождений россыпного золота в Хабаровском крае ..... 45
- Курбаков Д. Н., Кузнецов В. К., Сидорова Е. В., Андреева Н. В., Новикова Н. В., Саруханов А. В.* Загрязнение снежного покрова в 30-километровой зоне электрометаллургического завода ООО «НЛМК-Калуга» ..... 51

Главный редактор **А. Г. Ишков,**д-р хим. наук, проф., акад. РАЕН,  
заместитель начальника Департамента —  
начальник Управления ПАО «Газпром»

Заместители главного редактора:

**В. Ф. Гракович,** д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН,  
председатель правления Национального Фонда содействия устойчивому развитию регионов; **Н. П. Кузнецов,**  
д-р техн. наук, проф., Ижевский государственный  
технический университет им. М. Т. Калашникова

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

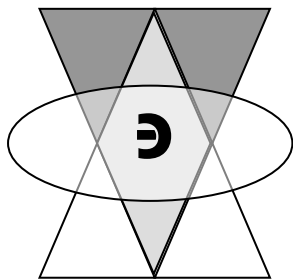
Редакционный совет:

**А. М. Амирханов,** канд. биол. наук, зам. руководителя  
Федеральной службы по надзору в сфере природо-  
пользования; **Э. В. Гирсов,** д-р филос. наук, проф.,  
акад. Российской экологической академии, Московская  
государственная академия делового администрирова-  
ния; **Н. П. Тарасова,** чл.-кор. РАН, д-р хим. наук, проф.,  
директор Института проблем устойчивого развития

Редакционная коллегия:

**С. С. Бабкина,** д-р хим. наук, проф., Институт тонких  
химических технологий Московского технологического  
университета; **Я. И. Вайсман,** д-р мед. наук, проф.,  
Пермский национальный исследовательский политех-  
нический университет; **В. А. Грачев,** чл.-кор. РАН,  
д-р техн. наук, проф., президент, генеральный дирек-  
тор Неправительственного экологического фонда  
им. В. И. Вернадского; **М. Н. Дадашев,** д-р техн. наук,  
проф., РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **В. Г. Иса-  
ков,** д-р техн. наук, проф., акад. Академии военных наук  
РФ, Ижевский государственный технический универси-  
тет им. М. Т. Калашникова; **М. А. Корепанов,** д-р техн.  
наук, Институт прикладной механики Уральского отде-  
ления РАН; **Б. С. Ксенофонтов,** д-р техн. наук, проф.,  
МГТУ им. Н. Э. Баумана; **В. Ю. Мелешко,** д-р техн. наук,  
проф., Институт химической физики им. Н. Н. Семенова  
РАН; **В. В. Минасян,** канд. техн. наук, генеральный дирек-  
тор ООО «Фрактом»; **Е. А. Найман,** канд. техн. наук,  
Краковский технический университет им. Тадеуша  
Костюшко (Польша); **А. Ю. Недре,** канд. техн. наук, зам.  
директора ФГАУ "НИИ "Центр экологической промышлен-  
ной политики"; **Е. И. Пупырев,** д-р техн. наук, проф.,  
генеральный директор ОАО «МосводоканалНИИпроект»;  
**И. Ш. Сайфуллин,** д-р хим. наук, проф., зам.  
директора Научно-исследовательского института  
инновационного развития промышленности Российско-  
го экономического университета им. Г. В. Плеханова;  
**В. А. Тенев,** д-р физ.-мат. наук, проф., Ижевский госу-  
дарственный технический университет им. М. Т. Ка-  
лашникова; **Ю. В. Трофименко,** д-р техн. наук, проф.,  
директор Научно-исследовательского института энер-  
гоэкологических проблем автотранспортного комплекса  
при МАДИ

© Федеральное государственное унитарное пред-  
приятие «Научно-технический центр оборонного ком-  
плекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса  
«Компас»), 2020



# Обезвреживание, утилизация и переработка промышленных отходов

УДК 504.064.4

## Многотоннажные лигнинсодержащие отходы — достижения и проблемы утилизации

Л. Я. ШУБОВ, д-р техн. наук; К. Д. СКОБЕЛЕВ;  
С. И. ИВАНКОВ, д-р техн. наук; И. Г. ДОРОНКИНА, канд. техн. наук  
ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики»,  
г. Мытищи, Московская обл., Россия

*Рассмотрены технологии утилизации технических лигнинов. Описаны тенденции получения различных продуктов из лигнинсодержащих отходов и проблемы переработки отходов.*

**Ключевые слова:** технический лигнин, отходы, утилизация.

Лигнин — органическое природное полимерное соединение. Он содержится в клеточных оболочках сосудистых растений, вызывает их одревеснение, скрепляя целлюлозные волокна. После целлюлозы лигнин — самый распространенный в природе полимер, выполняющий важную роль в круговороте углерода. Древесина лиственных пород содержит 20—30 % лигнина, хвойных — до 50 %. Основным продуктом разложения лигнина в природе является гумус (высокомолекулярное органическое вещество почвы).

Лигнин — многотоннажный отход целлюлозного и гидролизного производства. Ежегодно в мире образуется около 70 млн т технических лигнинов. В основном их подвергают захоронению и сжиганию [1]. Полезное использование в отраслевом производстве всего 2 %. Масштабная утилизация организационно и технически затруднена.

Гидролизный лигнин представляет собой высокомолекулярное вещество с разветвленными макромолекулами, образовавшимися при полимеризации спиртов ароматического ряда (молекулярная масса до 10000), мало растворим в воде и органических растворителях. Внешне представляет собой опилко-

подобную массу (влажность 65—70 %), содержащую: лигнина 40—88 %; полисахаридов 13—45 %; смолистых веществ лигногуминового комплекса 5—19 %; зольных веществ 0,5—10 %; твердого углерода до 30 %. Получают гидролизный лигнин при переработке древесных хвойных и лиственных пород (лигнин гидролизует при обработке разбавленной  $H_2SO_4$ ). Крупность лигнина как сырья 15—45 % менее 250 мкм, выход фракции менее 1 мкм составляет 0,2—4,5 %. Теплота сгорания топливных брикетов из лигнина до 6000 ккал/кг; плотность лигнина 1,25—1,4 г/см<sup>3</sup> (состав золы лигнина:  $SiO_2$  93,4 %;  $P_2O_5$  1,5 %;  $CaO$  1,5 %;  $Al_2O_3$  1 %;  $MgO$  0,3 % и т. д.). Лигнин в сухом виде — хорошо горючее вещество, в расплавленном он взрывоопасен, самовозгорание возможно при температуре воздуха 35—40 °С.

Брикетируемый гидролизный лигнин — ценное сырье для металлургической, энергетической и химической промышленности (качественный восстановитель в черной и цветной металлургии, заменяет кокс, полукокс и древесный уголь; является исходным сырьем для производства углеродистых сорбентов и для изготовления брикетированного энергетического топлива).

Порошкообразный лигнин — активная добавка в асфальтобетон (повышает прочность на 25 %, водостойкость на 12 %, снижает хрупкость), добавка к мазуту (при его использовании в энергетике и металлургии).

Основные направления применения гидролизного лигнина:

- добавка в производстве керамических материалов (порообразователь, хорошо смешивается с другими компонентами шихты, не затрудняет резку бруса, не требует измельчения), расход 20—25 % от объема формовочной шихты;

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Скобелев Кирилл Дмитриевич, начальник отдела.

E-mail: info@eipc.center

Иванков Сергей Иванович, профессор, научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадиевна, доцент, научный сотрудник.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Статья поступила в редакцию 14 декабря 2019 г.

© Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г., 2020

- замена опилок в производстве аглопорита (улучшает гранулометрический состав шихты, позволяет снизить расход угля на 20—25 %);
- использование в дорожном строительстве в качестве наполнителя асфальтовых бетонов и сырья для производства лигниновых вяжущих (рекомендован к применению в дорожных смесях для нижних и верхних слоев покрытий) [2];
- получение связующих на основе лигнина для производства теплоизоляционных материалов;
- замена формальдегида при получении полимеров;
- использование в производстве цемента (интенсификация измельчения сырьевой смеси и цемента; расход лигнина 0,2—0,3 %), что уменьшает слипание мелких фракций материала [3];
- эффективная добавка к бурильным растворам (сырье для выработки нитролигнина — понижает вязкость глинистых растворов при бурении скважин), бетону, дубильным веществам, резинам, класикам;
- производство топливных брикетов, в том числе в смеси с опилками, угольной и торфяной пылью;
- сорбенты (очистка сточных вод [4], проливов нефти, сорбенты тяжелых металлов, технологические сорбенты, сорбенты медицинского и ветеринарного назначения);
- наполнитель для пластмасс и композиционных материалов;
- получение удобрений (органических и органоминеральных); гербицид при возделывании бобовых культур;
- использование в качестве сырья для производства фенола, уксусной и щавелевой кислот;
- производство топливного газа (в том числе с выработкой электроэнергии в газопоршневых газогенераторах);
- исходный продукт для производства преобразователя ржавчины.

Масштабное вовлечение гидролизного лигнина в переработку и утилизацию, по-видимому, во многом может быть связано с расширением его использования в дорожном строительстве (с полной заменой дорожных минеральных добавок).

Гидролизный лигнин наиболее широко применяют в синтезе углеродных сорбентов с регулируемым размером пор [5]. На основе гидролизного лигнина получают ферромагнитные адсорбенты, отличающиеся содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и обладающие высокими адсорбционными свойствами (синтез сорбентов *ноу-хау*) [6].

Технические и модифицированные лигнины эффективны как при введении в состав искусственных почвогрунтов из отходов целлюлозно-бумажного производства (ЦБП), так и при внесении в почвенные субстраты естественного происхождения (при озеленении промзон и населенных пунктов, при посадке декоративных пород деревьев) [7].

Получение удобрения-почвообразователя основано на тщательном перемешивании гидролизного лигнина с известью. Смесь подвергают компостированию в буртах в течение 15—30 дней. Затем в компост добавляют минеральные удобрения: суперфосфат, хлорид калия, аммофос, аммиачную селитру. Смесь перемешивают и подвергают дозреванию в течение

двух месяцев в буртах. В результате урожайность зерновых повышается на 30 % (удобрения вносят в истощенные земли и песчаные почвы).

Разработана технология (Иркутская область) переработки гидролизного лигнина в удобрения по методу компостирования, но с добавлением в компостируемую массу специальной микробной "закваски" (обладает свойствами грибов и бактерий).

Окисленные гидролизные лигнины эффективны в качестве антипиренов. Их можно использовать как исходное сырье для производства древесностружечных плит.

Для уплотнения осадков лигнинсодержащих отходов ЦБП эффективна технология их естественного вымораживания (сокращение объема, снижение токсичности, улучшение водоотдающих свойств) [8].

На основе лигнина как многотоннажного отхода целлюлозных и гидролизных производств может быть получен биопластик — полностью биоразлагаемый материал (может подвергаться многократной переработке) [9].

Доказана возможность получения лигноорганопластиков на основе полиэтилена высокой плотности (РЕНД) и технических лигнинов — гидролизного и сульфатного. Этот композит устойчив к биовоздействию (грибки, бактерии, насекомые), к воздействию моющих средств, не выгорает на солнце, влагостоек. Его можно применять для изготовления элементов автомобильных салонов, в строительстве, в электронных изделиях, для изготовления мебели, садового инвентаря [10].

Перспективным способом переработки технических гидролизных лигнинов считается пиролиз с получением биотоплива и низкомолекулярных ароматических продуктов (температура процесса 460 °С). Выход продуктов пиролиза гидролизного лигнина: газообразных ~22 %, жидких ~25 %, угля ~25 % [11].

Лигнинсодержащие отходы производства сульфатной целлюлозы (в частности, так называемый черный щелок, получаемый при варке сульфатной целлюлозы из хвойной и лиственной древесины и содержащий ~10 % лигнина) рекомендуют использовать в качестве добавки для повышения эффективности сжигания угля в кипящем слое [12].

В прудах-накопителях большинства целлюлозно-бумажных комбинатов образовались большие скопления многотоннажных лигнинсодержащих отходов (помимо лигнина они содержат, в частности, жирные и смоляные кислоты). Разработана принципиальная технология покомпонентной сепарации лежалых отходов с применением вакуумной разгонки, омыления карбоксильных групп с последующей экстракцией из полученных мыл полезных компонентов (петролейным эфиром), с применением различных растворителей, методов отстаивания и фильтрования [13].

По другой технологии для выделения из лигнинсодержащего отхода смоляных кислот вначале осуществляют предварительный перевод жирных кислот в их алифатические эфиры (реакция этерификации). В итоге реакции этерификации (проводят при температуре кипения спирта при атмосферном давлении и при мольном соотношении спирта и жирных кислот 2,5:1; в качестве катализатора используют серную кислоту при расходе 3 % от массы жирных кислот;

извлечение жирных кислот в их алифатические эфиры (~90 %) вязкость исходной смеси понижается и лигнин оседает на дно реактора (извлечение 90 %). Смоляные кислоты практически не претерпевают изменений и могут быть выделены путем омыления водным раствором щелочи [14].

Гидролизный лигнин после автоклавной обработки раствором соли, например,  $Pb(NO_3)_2$  при температуре 160—200 °С, может быть использован при получении антикоррозионных материалов.

При термической активации гидролизного лигнина может быть получена его нанографитизированная форма, перспективная для использования в качестве катодного материала для литиевого источника тока. Улучшение характеристик литиевого источника тока связывают с увеличением электропроводности (установлено повышенное значение действующего напряжения источника тока). В диапазоне напряжения 0,5—3 В удельная емкость лигнина и продукта его термической активации составляет, соответственно, 190 и 845 мА·ч/г [15].

Значительный интерес представляют водорастворимые сульфопроизводные лигнина — лигносульфонаты (натриевые соли лигносульфоновых кислот, образующиеся при сульфатном способе переработки древесины с извлечением лигнина; получают упариванием обессахаренного сульфитного щелока). Лигносульфонаты отличаются высокой поверхностной активностью. Их используют в качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ) в таких отраслях промышленности, как:

- химическая промышленность (стабилизатор, диспергатор);
- горно-обогатительная промышленность (флотореагенты);
- нефтедобыча (реагент для регулирования свойств буровых растворов);
- литейное производство (добавка к противопожарным краскам);
- производство бетонов и огнеупоров (пластификатор смесей);
- строительство (для укрепления грунтов);
- производство ванилина (сырье);
- сельское и лесное хозяйство (противоэрозийная обработка почв);
- добавка при гранулировании пылящих материалов.

Утилизация и переработка лигнинсодержащих отходов развиты в рассматриваемых далее запатентованных технологических решениях.

*Каталитический крекинг лигнина с получением топлива (подобного дизельному топливу) [16, 17].*

Основные операции технологии:

- осаждение (например, с помощью нагнетания  $CO_2$ ) лигнина из черного щелока (отработанный варочный щелок и промывные воды волокнистой массы);
- промывание лигнина разбавленной  $H_2SO_4$ ;
- сушка (получение лигнина в виде сухого твердого вещества);
- крекинг с использованием сульфида молибдена в качестве катализатора и водорода в качестве восстановителя; образующаяся вода предотвращает загрязнение катализатора и отфильтровывается; сов-

местно с лигнином возможна подача в реактор пиролизного масла, кубовых остатков нефтепереработки, высушенной биомассы (продукт биологического происхождения);

- получение топлива (продукт, подобный дизельному топливу).

*Переработка лигнинов с получением инсектицидов (химических средств защиты растений) [18].*

Последовательность технологических операций:

- обработка лигнина в воздушно-сухом состоянии тиотрихлористым фосфатом ( $PSCl_3$ ) в течение 5—30 мин при интенсивном перемешивании с одновременным измельчением в виброреакторе при 20—80 °С;
- обработка реакционной массы алкоголятом щелочного металла  $C_2H_5ONa$  в течение 10—40 мин при интенсивном перемешивании с одновременным измельчением при неизменной температуре с получением лигнотиофоса (продукт обладает инсектицидной активностью).

*Брикетиrowание гидролизного лигнина при снижении взрывоопасности технологического процесса и его негативного экологического влияния (за счет предотвращения пылеобразования в операции сушки лигниновой массы и отказа от использования в этой операции газообразных теплоносителей) [19].* Брикетирование способствует рациональному использованию лигнина.

Последовательность технологических операций:

- репульпирование исходного продукта водой (до влажности 90 %);
- нейтрализация щелочью и обогащение лигниновой пульпы;
- обезвоживание лигниновой пульпы (фильтрование) с получением лигниновых плит толщиной до 25 мм (остаточная влажность не более 45 %); давление прессования 3—10 МПа; фильтрат насыщен сахарами; его направляют в гидролизное производство (для выделения сахаров);
- сушка обезвоженной лигниновой массы с использованием токов высокой частоты в потоке воздуха с температурой не более 200 °С при скорости потока 0,2—1 м/с (термическая сушка сырого лигнина (влажность 65—70 %) взрывоопасна; лигниновая пыль легко воспламеняется);
- дробление лигниновой массы до крупности менее 10 мм и брикетирование продукта дробления (давление 100 МПа); эффективно применение валковых прессов высокого давления.

*Получение лигнина из отработанных варочных растворов (образуются при производстве целлюлозы по сульфатному и натронному методам) [20].*

Последовательность технологических операций:

- подкисление нагретых черных щелоков серной кислотой до pH не менее 8,7 при температуре 70—85 °С;
- отделение лигнинового осадка (суспензия натриевой соли лигнина) фильтрованием или фугованием;
- последовательная промывка осадка насыщенным раствором сульфата натрия и водой.

*Термическая переработка отходов пластмасс в легкокипящие (до 200 °С) углеводородные продукты с добавлением в процесс (протекает без доступа кислорода) гидролизного лигнина [21].*

Последовательность технологических действий:

- приготовление смеси отходов пластмасс (крупностью -5 мм) и гидролизного лигнина (по представлению разработчиков, он является инициатором образования свободных радикалов); расход гидролизного лигнина 10—15 % от массы отхода пластмасс;
- нагревание полученной смеси в автоклаве без доступа кислорода при температуре 375—380 °С в течение 60 мин; процесс проводят в условиях максимального выхода фракции легкокипящих углеводородов (фракция C<sub>4</sub>—N<sub>10</sub> — перспективное сырье для производства бензина, растворителей, ПАВ и т. д.);
- охлаждение продуктов и их разделение на газообразные и жидкие.

Выход смеси жидких углеводородов составляет 97—98 %, в том числе 40—44 % легкокипящей фракции (приблизительно в два раза выше существующей практики).

### Выводы

Лигнинсодержащие отходы химической переработки древесины (целлюлозно-бумажные и гидролизные предприятия) — достаточно трудно утилизируемые продукты. Их накопление в отвалах приводит к загрязнению окружающей среды. Вместе с тем интерес к этому источнику вторсырья сохраняется и возможности его утилизации возрастают.

Основные направления масштабной утилизации, существующие и перспективные: выработка энергии (сжигание в процессе регенерации химикатов отработанного щелока); синтез углеродных сорбентов; использование в дорожном строительстве; производство понизителей вязкости буровых растворов (нефтедобыча).

Потребители продукции, получаемой при переработке лигнинсодержащих отходов, оторваны от источников их образования, что усложняет проблему их перевода в категорию вторсырья.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. О технологической модели экологически безопасного управления твердыми бытовыми отходами // Экологические системы и приборы. 2016. № 7. С. 13—36.
2. Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Иванков С. И., Доронкина И. Г. Аналитическая оценка золошлаковых отходов как техногенного сырья (к обоснованию экологической промышленной политики) // Экология промышленного производства. 2018. № 3 (103). С. 15—23.
3. Шубов Л. Я., Иванков С. И., Доронкина И. Г., Скобелев К. Д., Загорская Д. А. Многоотнажные отходы химической промышленности: аналитическая оценка и систематизация технологических решений // Экологические системы и приборы. 2019. № 3. С. 8—30.
4. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Технологии сточных вод (инженерная защита гидросферы) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2010. № 6. С. 2—128.
5. Оразева Ж. Э. Научному прогрессу — творчество молодых: мат. и докл. Межд. молодежной науч. конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 19—20 апреля 2013. — Йошкар-Ола, 2013. С. 125—127.
6. Стафеева Е. А. и др. Мат. Межд. науч.-техн. конф. "Новейшие достижения в области инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности: технология, оборудование, химия". Минск, 4—6 апреля 2017. — Минск, 2017. С. 161—164.
7. Парфенова Л. Н. и др. Технические и модифицированные лигнины как компоненты искусственных почвогрунтов из отходов целлюлозно-бумажной промышленности // Бумага. Картон. 2007. № 12. Спец. выпуск. С. 60—61, 76.
8. Шatroва А. С. и др. Исследование физико-химических свойств осадков шлам-лигнина ОАО "Байкальский ЦБК" при вымораживании // Вестник ИргТУ. 2015. № 8. С. 99—107.
9. Тунцев Д. В. и др. Биопластики на основе лигнина // Вести Казанского технологического университета. 2014. № 15. С. 192—194.
10. Пименов С. Д. и др. Лигно-органопластики на основе технических лигнинов: гидролизного и сульфатного лигнинов: мат. 2-й Межд. науч.-техн. конф. "Леса России: политика, промышленность, наука, образование". Санкт-Петербург, 24—26 мая. 2017. Т. 3. — СПб, 2018. С. 182—185.
11. Козлов И. А. и др. Пиролиз технических гидролизных лигнинов: мат. 2-й Межд. науч.-техн. конф. "Леса России: политика, промышленность, наука, образование". Санкт-Петербург, 24—26 мая. 2017. Т. 3. — СПб, 2018. С. 162—165.
12. Huang D. -G. и др. Application of waste liquids containing lignin from pulp-producing industry to CWM preparation // Chem. Res. Chin. Univ. 2004. V. 20. № 2. P. 159—162.
13. Минеева Т. П. и др. Разработка технологии и расчет оборудования для первичной переработки лигнинсодержащих отходов: тез. докл. 67-й Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль, 23 апреля 2014. — 141 с.
14. Воронова Е. А. Отработка технологии выделения канифоли на основе лигнинсодержащих отходов переработки древесины: тез. докл. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, посвященной 1000-летию Ярославля. 8 апреля 2008. — Ярославль: ЯГТУ, 2008. — 382 с.
15. Николаенко Ю. М. и др. Перспективы применения активированного гидролизного лигнина в качестве катодного материала для литиевого источника тока // ДВО РАН. 2018. № 5. С. 56—62.
16. Шински У. Л., Куперман А. И., Хань Цзиньни, Наае Дуглас Джин. Способ получения углеводородного исходного сырья из лигнина. Патент РФ 2486303, D21C11. 27.06.2013.
17. Шински У. Л., Куперман А. И., Хань Цзиньни, Наае Дуглас Джин. Способ получения углеводородного исходного сырья из лигнина. Патент РФ 2514596, D21C11, C10G1, C10G3. 27.04.2014.
18. Галочкин А. И., Ананьина И. В., Ефанов М. В. Способ фосфорилирования технических лигнинов и их производных. Патент РФ 2371446, C07G1. 27.10.2009.
19. Андреев С. В., Окладников В. П., Решетников С. А. Способ брикетирования гидролизного лигнина. Патент РФ 2132361, C10L5. 27.06.1999.
20. Тиранов П. П. Способ получения щелочного лигнина. Патент РФ 2074189, C07G1. 27.02.1997.
21. Шарыпов В. И., Береговцова Н. Г., Барышников С. В., Кузнецов Б. Н. Способ термической переработки отходов пластмасс на основе полиолефиновых углеводородов. Патент РФ 2216554, C08J11. 20.11.2003.

## Achievements and problems of utilization of the multi-tonnage lignin-containing waste

L. Ya. SHUBOV, K. D. SCOBELLEV, S. I. IVANKOV, I. G. DORONKINA

FSAB "Research Institute "Environmental Industrial Policy Center", Mytischki, Moscow region, Russia

*The article relates to utilization of technical lignin's and describes trends of producing different products from the lignin-containing waste and the problems of treatment waste.*

**Keywords:** technical lignin, waste, utilization.

**Bibliography** — 21 references.

*Received December 14, 2019*

УДК 678

## Применение древесных отходов для получения теплоизоляционного композиционного материала на основе вторичного полимерного связующего

А. С. КОЛОСОВА; Е. С. ПИКАЛОВ, канд. техн. наук; О. Г. СЕЛИВАНОВ  
Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,  
г. Владимир, Россия

*Приведены результаты исследования влияния количества древесного наполнителя на основные свойства теплоизоляционного композиционного материала, получаемого на основе отходов потребления изделий из пенополистирола, растворенных в метилхлориде. Для получения разрабатываемого материала все компоненты перемешивали до получения однородной сырьевой смеси с последующими формованием методом холодного прессования и термообработкой при температуре кипения растворителя. По результатам работы установлено количество древесного наполнителя, позволяющее получить сочетание низких значений водопоглощения и теплопроводности при достаточно высоких прочностных характеристиках, что дает возможность использовать материал как для внутренней, так и для наружной теплоизоляции зданий и сооружений. Применение разработанной сырьевой смеси позволяет, с одной стороны, получить качественный строительный материал невысокой себестоимости, а с другой — дает возможность комплексно утилизировать низкосортные древесные отходы и маловостребованные отходы потребления пенополистирола.*

**Ключевые слова:** древесные отходы, полимерные отходы, теплоизоляционный материал, композиционный материал, энергоэффективность.

Свойства, которыми должен обладать материал, определяются областью его применения, условиями эксплуатации и предъявляемыми к нему нормативными требованиями. При этом значения свойств обеспечиваются составом и структурой, которые зависят от состава сырья и параметров получения готового материала. Композиционные материалы, в первую очередь с полимерным связующим, обладающие наиболее широкими возможностями по сочетанию разнообразных сырьевых материалов и их модификаций, позволяют получать изделия с уникальным набором свойств и высокими значениями эксплуатационных характеристик. В свою очередь уникальность и разнообразие позволяют широко использовать композиционные материалы во всех сферах человеческой деятельности.

Среди областей применения композиционных материалов выделяется производство строительных

материалов. Композиционные материалы, в первую очередь с минеральными и древесными наполнителями, достаточно широко применяются в строительстве [1—3], однако их высокая по сравнению с другими строительными материалами стоимость ограничивает возможности их использования.

Наиболее простым и актуальным способом решения этой проблемы является снижение стоимости композиционных материалов за счет использования отходов в качестве сырьевых материалов для их получения, что также способствует рациональному использованию природных ресурсов и снижает техногенную нагрузку на окружающую среду. При этом чем ниже конструктивные требования к материалу по механическим свойствам, в первую очередь прочности, и чем шире возможности по использованию каждого конкретного вида отходов в качестве функциональной добавки, способствующей повышению качества продукции, тем большее количество отходов может быть эффективно утилизировано. Вместе с тем важно учитывать количество используемых отходов, их востребованность в других производственных процессах и экологическую безопасность получаемых с использованием отходов материалов и изделий.

Авторами данной работы ранее был разработан древесно-полимерный композиционный материал, в котором в качестве наполнителя использованы древесные отходы, а в качестве связующего — отходы пенополистирола, предварительно растворенные в метилхлориде, что позволило комплексно утилизи-

---

Колосова Анастасия Сергеевна, магистрант кафедры "Химические технологии".

E-mail: anastasiya\_kolosova\_777@mail.ru

Пикалов Евгений Сергеевич, доцент кафедры "Химические технологии".

E-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

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

E-mail: selivanov6003@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18 марта 2020 г.

© Колосова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г., 2020



ровать два вида отходов с получением теплоизоляционного материала [4]. Использование древесных отходов в производстве композиционного материала обосновано большими запасами лесных ресурсов и крупнотоннажностью лесопромышленного комплекса России, а также большим количеством отходов при лесозаготовке, лесопилении и деревообработке, достигающим до 52 % от объемов перерабатываемого древесного сырья и не утилизируемым в полном количестве [5—7]. Использование полимерных отходов также связано с тем, что объемы их переработки ниже темпов их накопления, особенно в случае отходов потребления [8—10]. При этом отходы на основе пенополистирола зачастую остаются невостребованными в связи с низкой стоимостью производства пенопласта из первичного сырья и низкой плотностью, которая повышает расходы на транспортировку и хранение [11, 12].

Цель данной работы — исследование влияния древесных отходов на основные свойства теплоизоляционного композиционного материала и выбор количества древесных отходов в составе сырьевой смеси для получения материала, соответствующего нормативным требованиям ГОСТ 4598-2018 для древесноволокнистых плит, являющихся наиболее близким аналогом по области применения, составу и свойствам разрабатываемого и исследуемого материала.

### Сырьевые материалы и методы исследования

Для получения наполнителя использовали смесь из мелкокусковых древесных отходов в виде опилок, стружки, щепы или коры с различными исходными влажностью и размерами частиц на основе мягких сортов древесины хвойных (сосна, лиственница, кедр, ель) и лиственных (ольха, липа, осина, береза) пород, которые являются низкосортным сырьем и практически не востребованы в других технологиях переработки древесных отходов [6, 13]. Перед использованием древесные отходы высушивали до постоянной массы и измельчали до получения фракции с размером частиц не более 2 мм.

Для получения связующего применяли отходы на основе пенополистирола, в частности отработанные элементы упаковки для бытовой техники, оборудования и т. п., отобранные из общей массы отходов бытового потребления. Перед использованием отходы пенополистирола высушивали до постоянной массы, а затем переводили в вязкотекучее состояние путем растворения в метилхлориде первого сорта по ГОСТ 9968-86. Выбор метилхлорида связан с его высокой проникающей способностью, позволяющей сократить время растворения отходов, высокой летучестью, позволяющей сократить время термообработки [11, 14]. Кроме того, метилхлорид по сравнению с большинством растворителей обладает низкой токсичностью (4-й класс опасности), трудногорючестью и невысокой стоимостью.

Растворение полимерных отходов по сравнению с их плавлением позволяет уменьшить степень измельчения отходов, повышает однородность сырьевой смеси, дает возможность использовать холодные стадии перемешивания и прессования, а также поз-

воляет проводить термообработку при температуре кипения растворителя (для метилхлорида 40,1 °C), которая существенно ниже температуры начала термодеструкции полимера (для полистирола ~ 200 °C) [11]. Главным недостатком растворения является потеря растворителя при улетучивании, которая может быть сведена к минимуму за счет герметизации оборудования, отвода паров для конденсации и повторного использования [11, 12, 14].

Для изготовления образцов разрабатываемого материала растворенные в метилхлориде отходы пенополистирола перемешивали с измельченными древесными отходами в заданных соотношениях до получения однородной сырьевой массы. Из полученной массы при удельном давлении прессования 8,2 МПа получали образцы, которые затем подвергали термообработке при температуре 45—50 °C в течение 45 мин для испарения растворителя [4].

У образцов по стандартным для материалов строительного назначения методикам определяли плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>), теплопроводность ( $\lambda$ , Вт/(м·°C)), водопоглощение ( $B$ , %), морозостойкость ( $M$ , циклы), открытую ( $P_{от}$ , %) и закрытую ( $P_{зак}$ , %) и общую ( $P_{об}$ , %) пористости, прочность на сжатие ( $\sigma_{сжат}$ , МПа) и изгиб ( $\sigma_{из}$ , МПа), разбухание по толщине ( $\varepsilon$ , %) и коэффициент водостойкости ( $K_{вод}$ ).

### Результаты экспериментов и их обсуждение

На основании ранее полученных результатов [4], обеспечивающих хорошую перерабатываемость сырьевой смеси, низкие значения теплопроводности и водопоглощения, в данной работе применяли раствор связующего, для получения которого отходы пенополистирола и метилхлорид брали в соотношении 1:2,3, а количество древесного наполнителя (ДН), вводимого в состав сырьевой смеси, ограничили значениями от 20 до 40 масс. %. Это связано с тем, что при недостатке растворителя раствор связующего обладает излишней вязкостью, что снижает однородность сырьевой смеси и не позволяет затратить достаточное время на перемешивание и прессование из-за высокой летучести растворителя, а при избытке растворителя и недостатке ДН перемешивание и прессование сопровождаются прилипанием сырьевой смеси к поверхностям перемешивающих инструментов и пресс-формы, при прессовании образуется облой и время термообработки увеличивается. В то же время при введении ДН в количестве более 40 масс. % и при избытке растворителя наблюдается недостаток связующего, который проявляется в получении неоднородной сырьевой смеси, осыпании граней образцов после термообработки и низких значениях физико-механических свойств образцов.

Как видно из полученных в ходе данной работы результатов, плотность и теплопроводность разрабатываемого композиционного материала снижаются с увеличением содержания наполнителя (см. рис. 1). Снижение плотности материала связано с тем, что плотность ДН ниже, чем плотность полистирола, а также с тем, что с увеличением содержания наполнителя понижается степень уплотнения образцов из-за

упругих деформаций после снятия нагрузки при прессовании и по мере улетучивания растворителя. Как следствие в результате снижения степени уплотнения повышается доля пор и пустот в объеме материала. Также следует учитывать, что связующее не обладает идеальной адгезией к наполнителю. Поэтому на границе раздела фаз наполнитель—связующее остаются пузырьки воздуха, которые повышают пористость материала. Кроме того, с повышением количества наполнителя относительно количества связующего уменьшаются толщина и объем слоев связующего в точках контакта частиц ДН, что также приводит к повышению пористости материала.

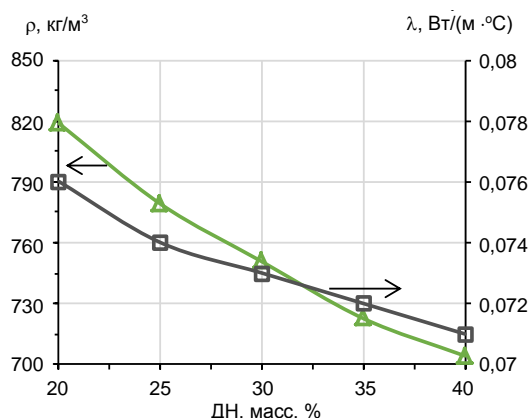


Рис. 1. Зависимость плотности и теплопроводности материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси

Снижение теплопроводности материала с увеличением количества ДН в составе сырьевой смеси объясняется повышением пористости по указанным причинам и в связи с развитой пористой структурой, образуемой частицами древесины. Малый размер пор образуемой структуры не позволяет связующему с высокой вязкостью заполнять самые малые поры.

Однако стоит учитывать, что одновременно со снижением рассматриваемых свойств наблюдается повышение водопоглощения (рис. 2).

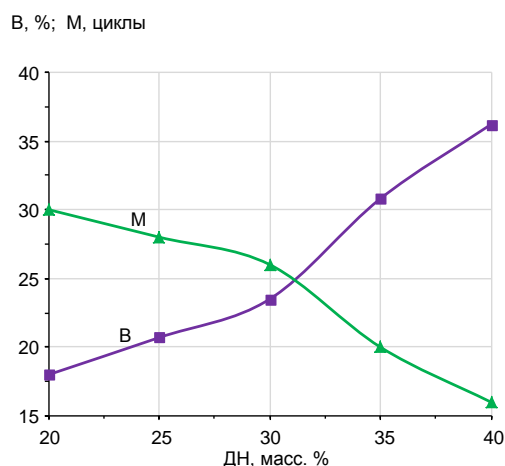


Рис. 2. Зависимость водопоглощения и морозостойкости материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси

Рост водопоглощения с увеличением количества ДН в составе смеси связан с повышением пористости материала и с тем, что вода, обладающая меньшей вязкостью, чем раствор связующего, может проникать в более мелкие поры, проникая в объем материала. Рост водопоглощения приводит к снижению морозостойкости, что подтверждается полученными данными (рис. 2). Это связано с тем, что проникающая в объем образца влага при снижении температуры окружающего воздуха ниже нулевого значения превращается в лед, причем этот переход приводит к возникновению значительных внутренних напряжений, деформации и разрушению образца после нескольких циклов замораживания и оттаивания. Это в условиях практического применения разрабатываемого материала приведет к уменьшению сроков эксплуатации изделий при их контакте с водой и отрицательных температурах.

Изменение исследуемых свойств материала связано не только с изменением общей пористости, но и с изменением соотношения между открытыми и закрытыми порами. Как следует из полученных данных (рис. 3), с увеличением количества ДН общая пористость материала увеличивается.

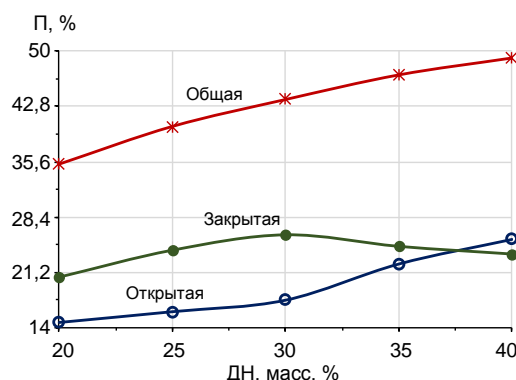


Рис. 3. Зависимость пористости материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси

При этом доля открытых пор повышается на всем рассматриваемом интервале содержания ДН в составе сырьевой смеси, а доля закрытых пор повышается до значения, соответствующего 30 масс. % ДН, с дальнейшим повышением количества наполнителя начинает снижаться. Снижение доли закрытых пор можно объяснить тем, что по мере уменьшения количества связующего в составе сырьевой смеси одновременно снижаются количество и площадь контактов между частицами ДН через слои полистирола, что способствует формированию развитой пористой структуры и соединению пор между собой. Снижение закрытой пористости дополнительно к увеличению числа открытых пор повышает водопоглощение и снижает морозостойкость, что проявляется при количествах ДН в составе сырьевой смеси свыше 30 масс. % (см. рис. 2).

Снижение доли закрытых пор при увеличении общей пористости сказывается и на других свойствах разрабатываемого материала, что подтверждают данные по исследованию разбухания по толщине и коэффициента водостойкости (см. рис. 4).

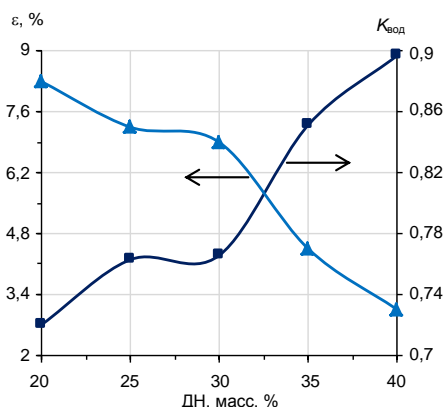


Рис. 4. Зависимость разбухания по толщине и коэффициента водостойкости материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси

Из полученных данных видно, что с увеличением количества ДН разбухание по толщине растет, а коэффициент водостойкости снижается. Это происходит в связи с тем, что разбухают непосредственно частицы наполнителя, что приводит не только к деформации образцов, но и к нарушению прочности связей между частицами наполнителя и связующим, что, в свою очередь, уменьшает прочность каркаса из частиц ДН, связанных через слои связующего в объеме материала. Также стоит учитывать, что с ростом содержания ДН растет число участков частиц наполнителя, не покрытых связующим и доступных для контакта с водой. При этом чем выше водопоглощение и доля открытых пор, тем сильнее сказывается влияние ДН на оба указанных свойства, что проявляется в появлении экстремумов при 30 масс. % ДН в составе сырьевой смеси.

Из полученных данных также следует, что прочности на сжатие и изгиб исследуемого материала снижаются с повышением количества ДН (см. рис. 5).

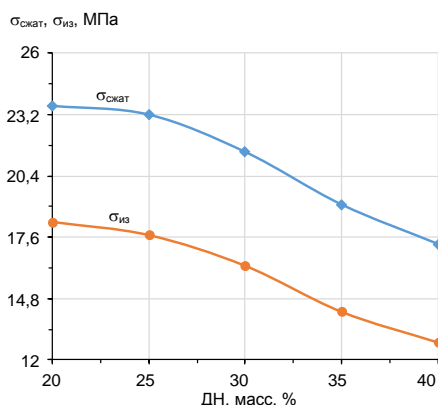


Рис. 5. Зависимость прочностей на сжатие и изгиб материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси

С повышением количества ДН в рассматриваемом интервале происходит уменьшение плотности материала из-за образования развитой пористой структуры и упругих деформаций, возникающих после формования заготовок образцов. Снижает прочностные характеристики и недостаток связующего, наблюдаемый при высоких содержаниях ДН в составе сырьевой смеси, который приводит к уже упомянутому

снижению количества и площади контактов между частицами ДН через слои полистирола.

Принято решение вводить в состав сырьевой смеси 30 масс. % ДН, поскольку повышение количества данной добавки приводит к снижению теплопроводности, что особенно важно для материала теплоизоляционного назначения. При более высоких количествах наполнителя наблюдается ярко выраженный недостаток связующего, проявляющийся в снижении доли закрытых пор, что приводит к уменьшению морозостойкости, росту водопоглощения, разбухания по толщине и, как следствие, негативно сказывается на основных характеристиках разрабатываемого материала, в том числе приводит к снижению теплопроводности при насыщении материала водой и уменьшению прочности из-за разбухания материала в результате контакта частиц ДН с водой.

## Заключение

В результате проведенных исследований получен состав сырьевой смеси, включающий 30 масс. % ДН и 70 масс. % раствора связующего, который состоит из отходов пенополистирола и метилхлорида в соотношении 1:2,3. Данный состав позволяет получать теплоизоляционный древесно-полимерный композиционный материал со степенью наполнения 58,6 масс. %, теплопроводностью 0,073 Вт/(м·°C) и прочностью на изгиб 16,3 МПа, что соответствует требованиям ГОСТ 4598-2018 и позволяет сочетать прочностные характеристики полутвердых и теплотехнические характеристики мягких древесноволокнистых плит по ГОСТ 4598-2018. При этом водопоглощение разработанного материала (23,5 % за 24 ч) меньше, чем предусмотрено требованиями для указанных древесноволокнистых плит (34 % за 2 ч), что позволяет ему лучше сохранять форму и свойства при контакте с влагой.

Следовательно, разработанный материал можно успешно применять как для внутренней теплоизоляции стен, перекрытий и полов, так и для наружной теплоизоляции фасадов зданий. При этом расширяется ассортимент качественных и эффективных композиционных строительных материалов невысокой стоимости и решается проблема комплексной утилизации древесных и полимерных крупнотоннажных отходов с высокими темпами и объемами образования и накопления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шитова И. Ю., Самошина Е. Н., Кислицына С. Н., Болтышев С. А. Современные композиционные строительные материалы: учеб. пособие. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2015. — 136 с.
2. Клесов А. А. Древесно-полимерные композиты. — СПб: Научные основы и технологии, 2010. — 756 с.
3. Ушков В. А., Семочкин А. Ю., Невзоров Д. И., Семочкин Ю. А. Древесно-полимерные композиты — эффективные отделочные строительные материалы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 82—85.
4. 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.
5. Стородубцева Т. Н., Аксомитный А. А. Использование древесных отходов и местного техногенного сырья в составах компози-

тов. — Воронеж: Изд-во Воронежского гос. лесотехнического ун-та им. Г. Ф. Морозова, 2016. — 196 с.

6. Воскобойников И. В., Кондратьев В. А., Щелоков В. М., Константинова С. А., Поляков М. Н. Разработка базовых технологических процессов получения древесно-полимерных композиционных материалов // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2012. № 8. С. 146—152.

7. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учеб.-справ. пособ. — Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 368 с.

8. Шайерс Д. Рециклинг пластмасс: наука, технология, практика. — СПб.: Научные основы и технологии, 2012. — 640 с.

9. Виткалова И. А., Торлова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение полимерных и стекольных отходов для получения самоглазующей облицовочной керамики // Экология и промышленность России. 2019. № 11. С. 38—42.

10. Перовская К. А., Петрина Д. Е., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение полимерных отходов для повышения энер-

гоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 7—11.

11. Торлова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение кирпичного боя и полимерных отходов для получения строительного композиционного материала // Экология промышленного производства. 2019. № 4. С. 13—18.

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. Андреев А. А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 10. С. 148—155.

14. Виткалова И. А., Торлова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2—6.

## Wood waste application for producing heat-insulating composite material based on secondary polymer binder

A. S. KOLOSOVA, E. S. PIKALOV, O. G. SELIVANOV

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

*This article presents the research results dealing with the wood filler amount effect on the principle properties of heat-insulating composite material, produced from expanded polystyrene containing consumption waste, dissolved in methylene chloride. To produce the developed material, all components were mixed reaching homogeneous raw material mixture, followed by cold pressing and heat treatment at the solvent boiling point. Basing on the research results, the amount of wood filler was determined, thus providing the combination of low water absorption and thermal conductivity with sufficiently high strength characteristics, making it possible to use this material for both internal and external thermal insulation of buildings and structures. The application of the designed raw mixture provides on the one hand the production of high-quality construction material at low cost, and on the other hand the possibility to utilize low-grade wood residue and none-demanded foam polystyrene waste.*

**Keywords:** wood waste, polymer waste, heat-insulating material, composite material, energy efficiency.

**Bibliography** — 14 references.

*Received* March 18, 2020



УДК 504.064

## Определение фитотоксичности отходов карбонитрации металлических поверхностей элюатным методом

<sup>1, 2</sup> А. А. МОИСЕЕВА; <sup>1</sup> В. Ф. КУКСАНОВ, д-р мед. наук;<sup>1</sup> О. В. ЧЕКМАРЕВА, канд. техн. наук<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия<sup>2</sup> ОАО «Завод бурового оборудования», г. Оренбург, Россия

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния отходов процесса карбонитрации металлических поверхностей металлообрабатывающего предприятия на тест-объекты методом элюатного фитотестирования. Для достоверности результатов исследования проведены с использованием двух тест-культур: овес (*Avena sativa* L.) и редис (*Raphanus sativus*). Произведен сравнительный анализ влияния различных концентраций экстракта исследуемого отхода на выбранные тест-культуры, рассчитан фотоэффект, определена безопасная концентрация разведения экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей. По результатам экспериментальных исследований сделаны выводы о токсичности исследуемого отхода.

**Ключевые слова:** отходы, фитотоксичность, карбонитрация, элюатный метод.

Для достижения экологически устойчивого развития России необходимо обеспечить баланс между экономическим ростом страны и оптимальным ресурсопользованием, сохранением окружающей природной среды. Экологическая уязвимость страны заключается в крайне высокой антропогенной нагрузке, обусловленной развитием природоэксплуатирующей промышленности. Для восстановления экологической защищенности России необходимо сначала оценить степень нарушения экосистем, уровень и источники хозяйственной нагрузки и в дальнейшем уже установить баланс между развитием страны и оптимальным ресурсопользованием [1].

Развитие промышленности от добычи сырья до выпуска сложных механизмов вносит существенный вклад в геоэкологическую нагрузку. Вопрос о необходимости минимизации факторов воздействия на окружающую природную среду машиностроительной отрасли чрезвычайно актуален.

В данной работе описаны результаты экспериментов по выявлению влияния отходов процесса карбонитрации на тест-объекты.

Актуальность исследования заключается в оценке степени негативного воздействия на окружающую

природную среду отходов процесса карбонитрации для дальнейшего решения вопроса о его обезвреживании либо утилизацией.

Целью данной работы является определение токсичности отходов карбонитрации методом фитотестирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ методов фитотестирования;
- провести экспериментальные исследования токсичности отходов карбонитрации элюатным методом;
- оценить токсичность отходов карбонитрации;
- сделать выводы на основании проведенных исследований.

Процесс карбонитрации — один из видов химико-термической обработки металлических поверхностей, необходимый для повышения прочности и износостойкости деталей. Использование данной технологии вместо других видов химико-термической обработки позволяет сократить время обработки и существенно увеличить эксплуатационные свойства обрабатываемых деталей [2, 3].

Сущность метода карбонитрации заключается в том, что обрабатываемые детали выдерживают при температуре 560—600 °С в расплаве солей (поташ  $K_2CO_3$  — 2,2 части и меламин  $C_3H_6N_6$  — 1 часть, или поташ  $K_2CO_3$  — 2,5 части и мелем  $C_3H_3N_5$  — 1 часть) [4]. При расплавлении солей в ванне протекают следующие реакции:



или



**Моисеева Ангелина Айратовна**, аспирант кафедры "Экология и природопользование" геолого-географического факультета, инженер по охране окружающей среды.

E-mail: moiseeva@zbo.ru

**Куksанов Виталий Федорович**, доцент, профессор кафедры "Экология и природопользование" геолого-географического факультета.

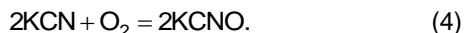
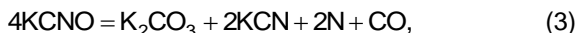
E-mail: ecolog@mail.osu.ru

**Чекмарева Ольга Викторовна**, доцент кафедры "Экология и природопользование" геолого-географического факультета.

E-mail: ecolog@mail.osu.ru

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2020 г.

© Моисеева А. А., Куksанов В. Ф., Чекмарева О. В., 2020



По реакции (3) происходит образование токсичных цианидов, но далее при осуществлении барботажного воздуха в ванне происходит окисление цианидов до цианатов по реакции (4). В результате протекания реакции поверхность металла насыщается азотом и углеродом.

Одним из преимуществ жидкостной карбонитрации является достижение высоких прочностных свойств металла с помощью несложного технологического оборудования. Согласно технологическому циклу карбонитрации периодически происходит полная зачистка ванн от образовавшихся солей, которые являются отходом производства. Для определения их токсичности проведено биотестирование отхода.

Химико-аналитические методы не дают полной картины результатов антропогенного воздействия как на среду обитания, так и на живые организмы, в частности на человека, в то время как биологические методы исследования отражают интегральную оценку воздействия токсикантов на окружающую природную среду. Биотестирование является наиболее информативным в том случае, когда в исследованиях используют тест-объекты из различных групп,

Одним из биологических методов исследования является фитотестирование. Его используют для определения токсичности и биоактивности сред с помощью различных тест-объектов. Фитотестирование широко применяют при токсикологическом диагностировании воды, почвы, химикатов, промышленных отходов [5].

Принцип фитотестирования основан на сравнении поведенческих изменений живых организмов в привычной среде обитания и при техногенной нагрузке на природную среду. При этом чувствительность тест-организмов проявляется в таких морфологических характеристиках, как изменение длины корней, прорастание, всхожесть. Ингибирование корневого роста считается критерием вредного воздействия [6].

Фитотестирование разделяют на три группы методов: вегетационные, лабораторные, микроделительные. Лабораторный метод фитотестирования является наиболее распространенным за счет экономичности, оперативности, доступности, универсальности и достоверности получения результатов. Высокая информативность метода фитотестирования связана с тем, что высшие растения имеют морфологическое сходство X-хромосомы с хромосомами млекопитающих, у растений и млекопитающих наблюдается одинаковая чувствительность к мутагенным веществам [5].

Лабораторные методы фитотестирования подразделяют на контактный (происходит непосредственный контакт тест-объекта с тест-культурой) и элюатный (проводят на водной вытяжке тест-объекта).

Элюатное фитотестирование отходов проводят согласно методике МР 2.1.7.2297-07 "Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности". Применение этой методики базируется на реакции семян при экзогенном воздействии путем изменения длины корней. Безвредность

и степень опасности отходов определяются экспериментальной зависимостью величины токсического эффекта от разведения водного экстракта [6]. Данной методикой рекомендовано применять в качестве тест-растений семена овса (*Avena sativa* L.), хотя авторы исследований рекомендуют использовать и другие высшие растения, например редис (*Raphanus sativus* L.) [7, 8].

Проращивание семян осуществляют на фильтровальной бумаге в чашках Петри, куда вносят водный экстракт отхода (неативный и его разведения). Для процесса экстракции используют дистиллированную воду, соотношение фаз составляет 1/10 (исследуемый отход/дистиллированная вода). Далее рекомендованы разведения неативного экстракта, равные 10. Каждое разведение тестируют не менее трех раз. В табл. 1 представлены критерии опасности отходов при использовании метода фитотестирования на водной вытяжке согласно методике [6].

Таблица 1

Критерии опасности отходов

Классы	1	2	3	4
Категории опасности	Чрезвычайно опасные	Высоко-опасные	Умеренно опасные	Мало-опасные
Величина $ER_{50}$	$>100$	$10 > 100$	$1 > 10$	$\leq 1$

Для проведения элюатного фитотестирования авторами были выбраны две тест-культуры: овес (*Avena sativa* L.) и редис (*Raphanus sativus* L.). Исследования проводили согласно методике [6]. Проращивание семян осуществляли в чашках Петри. Каждую концентрацию экстракта отхода исследовали в трех повторях (рис. 1, 2).

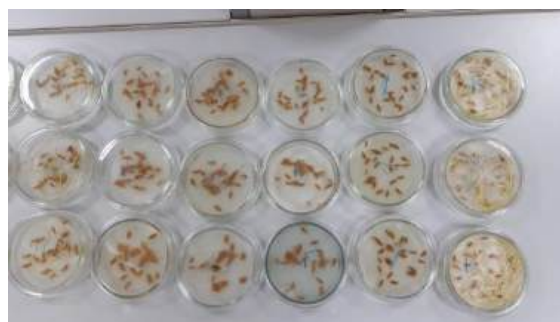


Рис. 1. Фитотестирование с использованием тест-культуры овес (*Avena sativa* L.)

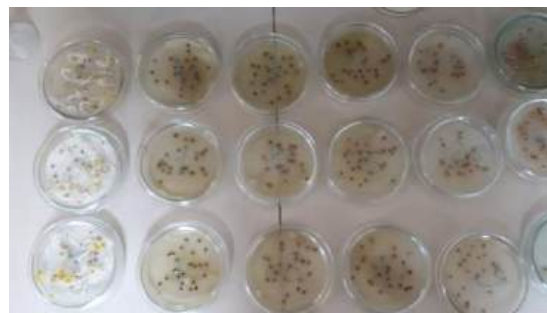


Рис. 2. Фитотестирование с использованием тест-культуры редис (*Raphanus sativus* L.)



Результаты исследования влияния экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей на семена овса (табл. 4) показали, что эффект торможения развития корня тест-культуры овес возникает при разведении экстракта 1/100. При более концентрированном разведении экстракта наблюдается гибель семян.

Согласно табл. 5 фитотоксическое действие экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей на семена редиса начинает проявляться даже при разведении 1/1000, а полная гибель семян зафиксирована при разведении экстракта 1/50.

Фитозффект торможения развития семян тест-растений при использовании методики элюатного фитотестирования отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей показан на рис. 3, 4.

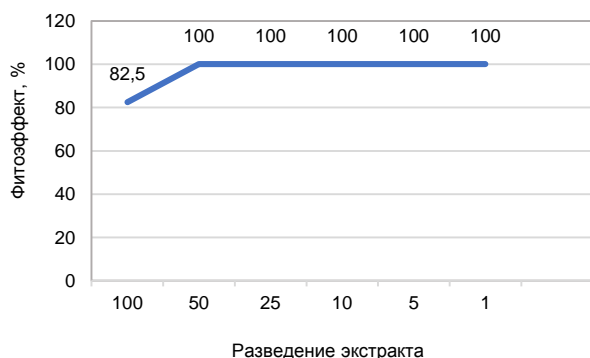


Рис. 3. Фитозффект торможения развития семян тест-растения овес (*Avena sativa* L.) экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

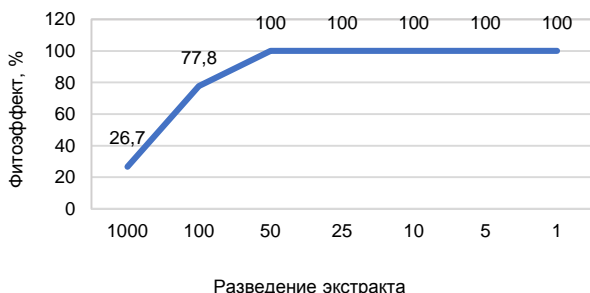


Рис. 4. Фитозффект торможения развития семян тест-растения редис (*Raphanus sativus* L.) экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

Вычисляем уравнение регрессии, которое описывает зависимость  $\lg R = f(E_T)$ .

В результате получаем следующие эмпирические уравнения регрессионного анализа данных:

- зависимость влияния экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей на тест-растение овес:

$$\lg R = -0,02E_T + 3,102; \quad (6)$$

- зависимость влияния экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей на тест-растение редис:

$$\lg R = -0,029E_T + 3,872. \quad (7)$$

Вычисленные коэффициенты корреляции (0,79 — при использовании тест-растения овес; 0,81 — при использовании тест-растения редис) демонстрируют адекватность математического моделирования.

В результате анализа регрессии экспериментальных данных получены графики зависимости разведения экстракта и фитозффекта (рис. 5, 6).

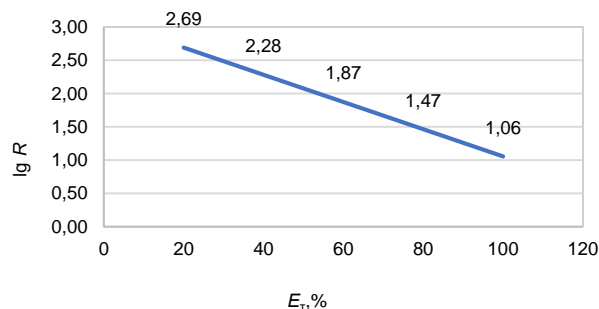


Рис. 5. Зависимость  $\lg R = f(E_T)$  влияния экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей на тест-растение овес (*Avena sativa* L.)

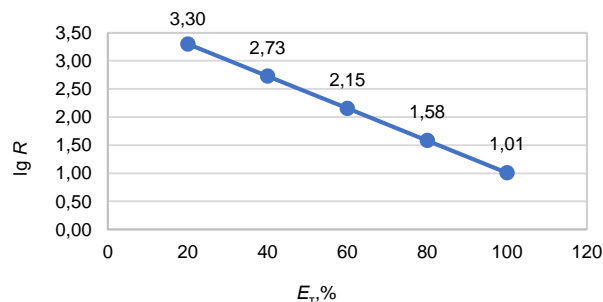


Рис. 6. Зависимость  $\lg R = f(E_T)$  влияния экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей на тест-растение редис (*Raphanus sativus* L.)

Для определения класса опасности согласно табл. 1 рассчитано среднеэффективное разведение (при котором фитозффект равен 50 %):

- 120 — при использовании тест-растения овес (*Avena sativa* L.);
- 275,7 — при использовании тест-растения редис (*Raphanus sativus* L.).

Согласно критериям оценки степень опасности отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей по двум тест-объектам чрезвычайно опасна.

Также обработка данных показала, что гарантированная безвредность экстракта отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей (порог фитотоксичности принят за 20 %) может быть достигнута при разведении его экстракта более чем 493 ( $\text{Lim}R$ ; определено по тест-культуре овес (*Avena sativa* L.)) и 1993 ( $\text{Lim}R$ ; определено по тест-культуре редис (*Raphanus sativus* L.)).

При помощи элюатного фитотестирования доказана токсичность отходов, образуемых при зачистке ванн карбонитрации металлических поверхностей. Данный результат подтвержден при использовании двух тест-культур: овес (*Avena sativa* L.) и редис (*Raphanus sativus* L.).

Результаты проведенных исследований с использованием методики обоснования класса опасности



отходов производства и потребления показали, что отходы, образуемые в результате технологического процесса поверхностного упрочнения металла (карбонитрация), имеют чрезвычайную степень опасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ясаманов Н. А. Основы геоэкологии. — М.: Изд. центр "Академия", 2003. — 352 с.
2. Цих С. Г., Лисицкий В. Н., Глебова Ю. А. Современные технологии химико-термической обработки в машиностроении // Технологии производства. 2010. № 1. С. 66—70..
3. Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов — карбонитрация. — М.: Металлургия. Машиностроение, 1984. — 240 с.
4. Цих С. Г., Лисицкий В. Н. Опыт применения карбонитрации стальных деталей и инструмента в машиностроении // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2008. № 4. С. 32—38.
5. Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы. Проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. Вып. 13. № 1. С. 1—8.
6. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: МР 2.1.7.2297-07. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. — 15 с.
7. Курынцева П. А. Совместная переработка органических промышленных, муниципальных и сельскохозяйственных отходов методами анаэробного сбраживания и компостирования: дис. ... канд. биол. наук. — Казань, 2016. — 193 с.
8. Гумерова Р. Х. Оценка опасности и способы ремедиации нефтешламов, содержащих природные радионуклиды: дис. ... канд. биол. наук. — Казань, 2013. — 132 с.

## Determination of phytotoxicity of waste carbonitration of metal surfaces with use eluate method

<sup>1,2</sup> A. A. MOISEEVA, <sup>1</sup> V. F. KUKSANOV, <sup>1</sup> O. V. CHECMAREVA

<sup>1</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>2</sup> ZBO Drill Industries, Inc., Orenburg, Russia

*This article presents the results of experimental studies of the effect of waste from the carbonitration of metal surfaces of a metal processing plant on test objects using the eluate herbal test method. For the reliability of the results, the studies were conducted using two test cultures: oats (*Avena sativa* L.) and radishes (*Raphanus sativus*). A comparative analysis of the influence of different concentrations of the extract of the studied waste on the selected test cultures was carried out, the photoelectric effect was calculated, the safe concentration of dilution of the waste extract was also determined when cleaning the carbonitration baths of metal surfaces. Based on the results of experimental studies, conclusions are made about the toxicity of the investigated waste.*

**Keywords:** waste, phytotoxicity, carbonitration, eluate method.

**Bibliography** — 8 references.

*Received April 4, 2020*

УДК 504.03

## К вопросу об актуальности строительства мусоросортировочных заводов в Тюменской области

Н. Н. АЛЕКСАНДРОВА, канд. экон. наук; В. О. ДЕМЧЕНКО  
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

*Произведен анализ деятельности в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на территории Тюменской области. Приведены основные причины увеличения количества отходов, данные о составе и количестве их накопления. Доказана необходимость развития существующей территориальной схемы обращения с ТКО в рамках постановления правительства Тюменской области. Рассмотрены варианты возврата в товарный оборот ценных вторичных ресурсов. Обоснована актуальность строительства мусоросортировочных заводов на территории субъекта РФ.*

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, вторичные ресурсы, мусоросортировочный завод, анализ экологической обстановки.

Вопрос кардинально нового подхода к обработке твердых коммунальных отходов очень актуален. В Тюменской области, как и в целом по России, проблему с мусором долгое время не решали совсем. Его вывозили и складировали в безлюдные места, превращая огромные участки земли в экологически опасные объекты. Теперь эти места называют полигонами, а мусор — твердыми коммунальными отходами. Рост количества отходов происходит в очень интенсивном режиме, а большинство свалок уже давно не соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям, природоохранным и строительным нормам, требованиям гигиены и экологии.

Причины быстрого увеличения количества отходов:

- стремительное развитие производства и активное потребление одноразовой потребительской продукции;
- возрастание использования упаковки при производстве товаров;
- значительное повышение качества жизни, предоставляющее возможность заменять еще исправные, отвечающие предъявляемым требованиям материальные ресурсы новыми.

Больше половины коммунальных отходов имеет очень длительный срок разложения, а некоторые виды мусора не разлагаются в естественных условиях, причем доля таких отходов возрастает с каждым годом.

По данным регионального кадастра отходов, в Тюменской области [1] имеется 571 свалка твердых

коммунальных отходов, в том числе 400 санкционированных свалок и 171 несанкционированная свалка. На территории области также существует 21 полигон, внесенный в государственный реестр объектов размещения отходов. При этом полигоны ТКО занимают лишь 31 % суммарной площади земельных участков, отведенных под места размещения отходов.

Морфологический состав и ориентировочное количество отходов, образованное населением Тюменской области за 2019 г., представлены в табл. 1. Общий объем образованных отходов за 2019 г. составил 448062,69 т.

Таблица 1

**Морфологический состав и количество твердых коммунальных отходов Тюменской области**

Компонент	Северная климатическая зона РФ ср. значения, %	Тюменская область, %	Масса отходов, т
Пищевые отходы	32	30	134418,81
Бумага, картон	22,5	38	170263,82
Дерево	3	1,5	6720,94
Текстиль	6	5,5	24643,45
Кожа, резина	4	1,3	5824,81
Полимерные материалы	3	5,5	24643,45
Кости	1,5	0,7	3136,44
Черный металл	3,75	2,5	11201,57
Цветной металл	0,25	0,5	2240,31
Стекло	7,5	4,3	19266,70
Камни, керамика	1,5	1,4	6272,88
Отсев (менее 15 мм)	15	8,8	39429,52
Всего	100	100	448062,69

Согласно полученным данным наиболее востребованной фракцией твердых коммунальных отходов являются бумага и картон с весом в 170263 т,

**Александрова Наталья Николаевна**, доцент кафедры "Управление строительством и жилищно-коммунальным хозяйством".

E-mail: nata\_aleksandr@mail.ru

**Демченко Валерия Олеговна**, магистрант кафедры "Управление строительством и жилищно-коммунальным хозяйством".

E-mail: demchenkovaleriy@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25 марта 2020 г.

© Александрова Н. Н., Демченко В. О., 2020

составляющие 38 % от общей массы отходов. На втором месте находятся пищевые отходы, которые составляют 30 % от общей массы (рис. 1).

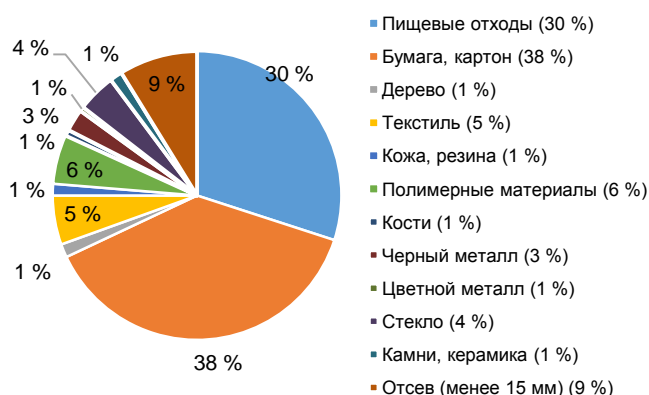


Рис. 1. Морфологический состав твердых коммунальных отходов, образуемых на территории Тюменской области

Также значительную долю по величине отходов составляют пластик и стекло (24643 и 19266 т соответственно). В случае пластика наибольшим уровнем сбора и переработки характеризуются отходы из полиэтилена (20 %). Отходы поливинилхлорида перерабатывают на 10 %, полистирола — на 12 %, полипропилена — на 17 %, термопластика — на 12 %. Значительная доля объемов перерабатываемого пластика приходится на продукцию кратковременного использования: отходы тары, упаковки и упаковочных материалов. Таким образом, полимерные отходы, извлекаемые в процессе обработки твердых коммунальных отходов, перспективно использовать в качестве вторичных ресурсов для производства.

Можно сделать вывод о том, что в составе отходов Тюменской области большую часть занимают фракции полезного вторсырья, которое подлежит дальнейшей переработке и за счет этого может быть вовлечено в хозяйственный оборот региона.

Вопросы утилизации отходов решают в рамках постановления правительства Тюменской области "О заключении концессионного соглашения в отношении создания и эксплуатации системы коммунальной инфраструктуры — объектов, используемых для обработки и размещения (захоронения) твердых

коммунальных отходов в Тюменской области" от 16 апреля 2014 г. [2]. Срок действия концессионного соглашения установлен в 29 лет. Концедентом по концессионному соглашению выступает Тюменская область в лице департамента недропользования и экологии Тюменской области. Отдельные полномочия концедента в части передачи объекта концессионного соглашения и (или) иного передаваемого концедентом концессионеру имущества осуществляет от имени Тюменской области департамент имущественных отношений Тюменской области. В соответствии с данным концессионным соглашением в 2016 г. получены разрешения на строительство 3 мусоросортировочных заводов в городах Тюмени, Тобольске и Ишиме. Также предусмотрено строительство мусороперегрузочной станции в г. Ялуторовске. Первый мусоросортировочный завод введен в эксплуатацию на территории города Тюмени уже в 2018 г.

В соответствии с принятой системой после сбора ТКО региональной компанией дальнейшее обращение с отходами подразумевает два основных технологических процесса:

1. Сортировка поступающих на полигон ТКО отходов для извлечения вторичного сырья;
  2. Последующая переработка вторичного сырья.
- Основные этапы сортировки ТКО:
- вскрытие пакетов и распределение отходов по транспортеру;
  - ручная сортировка; работники отбирают крупные элементы картона, пластика, ткани и стекла;
  - отходы попадают в барабанные грохоты, где происходит отделение материала по фракциям, проходят через магнитный и вихретоковый сепаратор для отделения металлов;
  - прессование и обвязка материалов, после чего они готовы к отправке на вторичную переработку.

В табл. 2 отражено количество твердых коммунальных отходов, которое теоретически будет накоплено и захоронено на территории Тюменской области, если вовремя не предпринять меры по его сортировке и дальнейшей переработке.

Количество отходов, подлежащих захоронению, согласно концессионному соглашению должно составлять 59 % от общей массы. Данные о прогнозном количестве образования ТКО в Тюменской области приняты согласно территориальной схеме обращения с ТКО [3].

Таблица 2

Прогнозируемое накопление ТКО по Тюменской области в период 2019—2026 гг.

Период, г.	Прогноз образования ТКО, т	Всего ТКО, подлежащих захоронению без сортировки и переработки, т	Всего ТКО, подлежащих захоронению с учетом сортировки и переработки, т
2019	448062,69	448062,69	264356,99
2020	454862,59	902925,29	532725,92
2021	461857,65	1364782,9	805221,94
2022	468973,73	1833756,6	1081916,4
2023	476374,51	2310131,1	1362977,4
2024	483986,32	2794117,5	1648529,3
2025	491814,75	3285932,2	1938700,0
2026	499865,54	3785797,8	2233620,7
Темп роста 2026/2019	1,12	8,45	8,45

На основании представленных данных можно сделать вывод о том, что захоронение твердых коммунальных отходов без их предварительной сортировки и дальнейшей переработки приведет к значительному накоплению отходов. Уже в 2026 г. такие накопления составят 3 785 797 т. С учетом сортировки для захоронения на полигон будет направлено 2 233 620 т отходов, что в 1,7 раза меньше, чем масса неотсортированных отходов (см. рис. 2).

Анализ текущего положения показывает, что строительство мусоросортировочных заводов является наилучшим решением проблемы столь высокого накопления отходов и поддержания развития территориальной схемы обращения с ТКО. Целью строительства мусоросортировочного завода является уменьшение объемов отходов, направляемых для размещения на полигонах ТКО, вовлечение в хозяйственный оборот региона вторсырья, создание новых рабочих мест.

Отсортированное и обработанное на мусоросортировочном заводе вторсырье может быть отправлено на дальнейшую переработку в товарный продукт. Потенциальными потребителями предоставляемых

ресурсов являются компании, производящие продукцию из вторсырья. В Тюменской области широко представлена промышленность по производству строительных материалов и других товаров, которая при небольших затратах способна решить проблему переработки многих видов отходов, применяя их в качестве альтернативы природным видам сырья, сохраняя при этом невозобновляемые ресурсы окружающего мира. Варианты для переработки отходов представлены в табл. 3.

На территории Тюменской области потенциальными потребителями предоставляемых ресурсов могут являться многие хозяйствующие субъекты отраслей экономики, осуществляющие деятельность в области производства продукции из вторичного сырья. Таким образом, согласно результатам анализа нынешней ситуации в сфере обработки твердых коммунальных отходов в Тюменской области вопрос строительства мусоросортировочных комплексов очень актуален, так как на территории субъекта РФ отсутствует развитая инфраструктура сбора и утилизации, соответствующая современным строительным и природоохранным нормам [4—6].

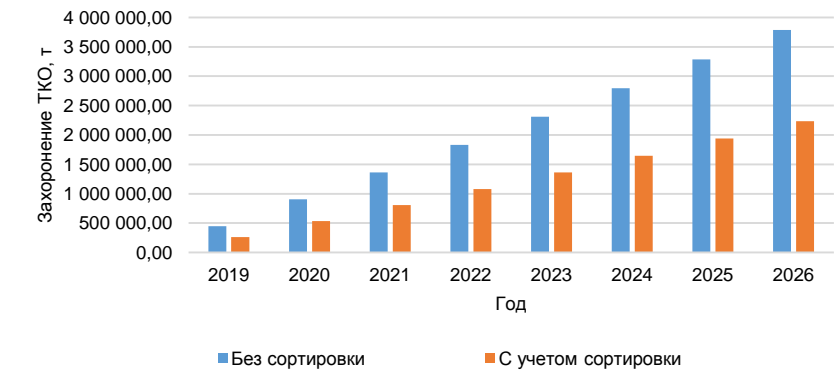


Рис. 2. Суммарное накопление ТКО по Тюменской области

Таблица 3

Варианты переработки отходов	
Наименование отходов	Вторсырье и иные результаты переработки отходов
Макулатура	Сырье для производства бумаги, картона, прокладок технического назначения, мягких изоляционных материалов, в том числе экваты, волокнистых упаковочных плит, других тепло- и звукоизоляционных материалов, туалетной бумаги и т. д.
Стекло	Сырье для производства стеклотары, стекломagneзиальной плитки и листов, стеклокерамики, стеклоблоков, пено-стекла, ячеистого бетона, теплоизоляционных материалов (стеклобетон и стекловата) и т. д.
Полимеры	Сырье для производства упаковки из синтетического волокна, полимерных и древесно-полимерных плиток, тротуарной плитки, оконных и дверных блоков, полимерной пленки, формованных изделий, полимерных водопроводных, канализационных и электрических (изоляционных) труб, линолеума, контейнеров, мебели и швейной фурнитуры, тепло- и звукоизоляционных материалов и т. д.
Текстиль	Сырье для производства низкосортной пряжи, различных нетканых, смесительных материалов, швейных и промышленных изделий, в том числе для производства ацетатного и вискозного волокна, бумаги, картона, обуви и войлочных изделий, изоляционных материалов, древесноволокнистых плит, резинотехнической продукции и т. д.
Резина	Сырье для производства товарной резиновой крошки, изола, бризола, релина и других материалов для частичной замены сырья, в производстве рулонных кровельных материалов, шифера, черепицы, мастики и других гидроизоляционных материалов, технических изделий (плитки для помещений и дорожных покрытий, колес для тележек, прокладок, резиновых коврик), а также в качестве наполнителя в асфальтобетонные смеси при строительстве автомобильных дорог. Перспективные направления развития технологий и модернизации строительного комплекса для дальнейшего использования резиносодержащих переработанных отходов в качестве добавок при производстве бетона, асфальтобетона и железобетона
Пищевые отходы	Отдельно собранные пищевые отходы перерабатывают в корм для животных, кормовую муку. Компостируя органическую фракцию, можно получить биогаз и биоудобрения на основе компоста. Существуют также потенциальные возможности для выработки при ферментативном гидролизе промышленного этанола, диоксида углерода и кормового белка



В заключение можно сделать вывод о том, что благодаря строительству мусоросортировочных заводов будет осуществлено решение таких задач, как:

- сокращение захоронения твердых коммунальных отходов в 1,7 раза;
- безопасная ликвидация опасных остатков и хвостов твердых коммунальных отходов, обнаруженных в результате сортировки;
- сохранение и поддержание экологического потенциала региона;
- эффективная защита окружающей среды и охрана природных ресурсов;
- рациональное извлечение вторичного сырья, пригодного для дальнейшей переработки;
- осуществление возврата в производство и товарный оборот полезных вторичных ресурсов.

Отсутствие сортировки — основное препятствие в развитии переработки вторичных ресурсов. Большая часть потенциального сырья проходит мимо потенциальных предприятий по переработке, залегая на полигонах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Региональный кадастр отходов Тюменской области [Электронный ресурс]. URL: <https://admtyumen.ru>
2. О заключении концессионного соглашения в отношении создания и эксплуатации системы коммунальной инфраструктуры — объектов, используемых для переработки, утилизации, обезвреживания твердых коммунальных отходов [Электронный ресурс]. Постановление Правительства Тюменской области от 16.04.2014 № 183-п. Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации "Техэксперт".
3. Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, в Тюменской области [Электронный ресурс]. Постановление Правительства Тюменской области от 09.09.2016 № 392-п. Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации "Техэксперт".
4. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс]. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ. Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации "Техэксперт".
5. Государственная программа Тюменской области "Основные направления охраны окружающей среды" до 2020 года [Электронный ресурс]. Постановление Правительства Тюменской области от 22.12.2014 № 675-п. URL: <https://admtyumen.ru>
6. Об утверждении стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [Электронный ресурс]. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.01.2018 № 84-р. Доступ из электронного фонда правовой и нормативно-технической документации "Техэксперт".

## On the relevance of the construction of a waste sorting plant

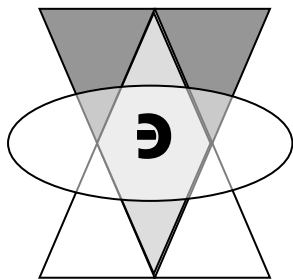
N. N. ALEXANDROVA, V. O. DEMCHENKO  
Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

*This article analyzes the activities in the field of solid municipal waste management in the territory of the Tyumen region. The main reasons for the increase in waste, data on the composition and amount of their accumulation are given. The necessity of developing the existing territorial scheme of MSW management is proved in the framework of the decree of the Government of the Tyumen region on concluding a concession agreement regarding the creation and operation of the communal infrastructure system. Also considered options for returning valuable secondary resources to the commodity circulation. The relevance of the construction of waste sorting plants on the territory of the subject of the Russian Federation is substantiated.*

**Keywords:** municipal solid waste, secondary resources, waste sorting plant, environmental analysis.

Bibliography — 6 references.

Received March 25, 2020



# Водоподготовка и водоочистка

УДК 628.54

## Утилизация осадков сточных вод путем компостирования с торфом

Б. С. КСЕНОФОНТОВ, д-р техн. наук

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

*Рассмотрены вопросы обезвоживания и утилизации осадков сточных вод. Описаны различные варианты аппаратного оформления обезвоживания осадков сточных вод. Отмечено, что наилучшие результаты достигаются с применением механического обезвоживания. Указаны особенности естественной сушки осадков сточных вод на иловых площадках. Достаточно подробно рассмотрены варианты использования осадков сточных вод, в том числе избыточного активного ила, в качестве удобрения для интенсификации выращивания сельскохозяйственных культур. Продемонстрирована существенная эффективность использования такого удобрения.*

**Ключевые слова:** обезвоживание, утилизация осадков сточных вод, приготовление компоста, активный ил, торф, удобрение.

Утилизация осадков сточных вод является не менее важной задачей, чем их очистка. Этот вопрос решается, но в значительно меньшей степени, чем вопросы, касающиеся очистки сточных вод [1—3].

Обезвоживание и утилизация осадков сточных вод, включая избыточный ил, — достаточно сложная задача. Можно констатировать, что эта проблема является актуальной для большинства стран мира.

Особого внимания заслуживает проблема обезвоживания и утилизации избыточного активного ила. По различным данным, ежегодно в нашей стране образуется около 3,5 млн т биомассы избыточного активного ила. Утилизация такого большого количества биомассы микроорганизмов ила требует исследования и развития различных направлений использования микробной биомассы активного ила. Проблема утилизации осадков сточных вод и активного ила в определенной мере усложняется наличием в них токсичных примесей, в том числе тяжелых металлов, а также слабой разработанностью способов переработки этих трудно обезвоживаемых систем.

Большое влияние на процесс уплотнения и последующего сгущения активного ила и его утилизацию оказывают режим выращивания микробной био-

массы, а также ее предварительная подготовка путем использования физических и химических методов.

Уплотнение осадков сточных вод является первичной стадией их обработки и предназначено для уменьшения их объемов. Наиболее распространенный способ — гравитационное уплотнение, которое осуществляют в отстойниках-уплотнителях.

Стабилизацию осадков используют для разрушения биологически разлагаемой части органического вещества, что предотвращает загнивание осадков при длительном хранении на открытом воздухе (сушка на иловых площадках, использование в качестве сельскохозяйственных удобрений и т. п.).

Кондиционирование осадков проводят для разрушения коллоидной структуры осадков органического происхождения и увеличения их водоотдачи. Применяют на практике в основном реагентный метод кондиционирования.

Обезвоживание осадков сточных вод предназначено для получения осадков влажностью примерно 60—80 %. Обезвоживание осуществляют как механическим, так и термическим способом, а также путем сушки осадков на иловых площадках. Механическое обезвоживание как наиболее дешевый способ осуществляют с использованием шнековых сгустителей (обезвожителей), вакуум-фильтров, центрифуг, фильтр-прессов, термическое — с использованием сушилок различного типа.

Утилизация или ликвидация осадков сточных вод во многом определяются их составом, в первую очередь содержанием токсичных примесей, в том числе тяжелых металлов.

---

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

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2020 г.

© Ксенофонов Б. С., 2020

Среди множества способов утилизации осадков компостирование выделяется простотой и доступностью.

Свойства осадков как потенциальных удобрений определяются целым комплексом характеристик, среди которых принципиальное значение имеют влажность, содержание фосфора, азота, калия, тяжелых металлов. Точных критериев квалификации и нормирования осадков в качестве удобрения не существует, так как состав осадков, в частности содержание в них биогенных элементов фосфора, азота, калия, сильно колеблется в зависимости от типа и происхождения осадков.

При сбраживании наблюдается значительное уменьшение содержания питательных веществ в твердом компоненте осадка. Содержание азота, например, может снизиться на 30—40 % за счет перехода его в аммиак или растворимые в водной фазе аммонийные соли. То же самое происходит и с фосфором. Таким образом, если осадок вносится в почву в разбавленном виде, количество питательных веществ в нем значительно выше, чем при использовании обезвоженных осадков.

В табл. 1 приведены характеристики состава некоторых типов осадков.

Таблица 1

**Содержание питательных элементов в различных типах осадка на станциях очистки сточных вод**

Тип осадка	Азот, %	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %	Калий (K <sub>2</sub> O), %
Первичный	2,4—2,9	1,1—1,6	—
Осадок, сгущенный на фильтре	2,9	2,8	
Активный ил	3,0—5,6	2,8—7	0,56
Осадок после сбраживания, смешанный	1,8—5,8	1,2—3,3	0,14—0,4

Присутствие в осадках тяжелых металлов затрудняет использование их в качестве удобрений. Тяжелые металлы могут не только вызывать интоксикацию бактерий в процессе стабилизации осадка, но и оказывать токсическое воздействие.

В сельском хозяйстве распространенным приемом утилизации различных отходов является их естественное использование в качестве удобрения, например для формирования почвы, восстановления ее структуры на бросовых землях, повышения содержания в земле питательных элементов. Использование осадков сточных вод в качестве удобрения вызывает необходимость более строгого соблюдения санитарных норм, контроля состава как вносимых осадков, так и состава грунта. Для того чтобы обеспечить безопасность использования осадков сточных вод в качестве удобрения при внесении их в почву, правилами, действующими, например, в странах ЕЭС, не допускается выпас скота на пастбищах в течение 6 недель с момента внесения в травостой осадка сточных вод. Использование осадков в большинстве случаев значительно повышает урожайность травы, бобовых, кукурузы, капусты, хлебных злаков. Сточные воды и образующиеся при их очистке осадки можно применять в лесоводстве и лесопарковом хозяйстве, но также при строгом контроле наличия токсичных ингредиентов в них.

Сильное бактериальное заражение осадков сточных вод, в том числе и избыточного активного ила, можно снизить тепловой обработкой или специальными методами, например путем добавления в осадки химических реагентов, а также путем воздействия электромагнитных или радиоактивных излучений.

В качестве практических направлений, подтверждающих эффективное использование осадков сточных вод в качестве удобрения, рассмотрим использование избыточного активного ила (микробной биомассы) биотехнологических производств.

Исследования химического состава микробной биомассы показывают, что данный продукт содержит ценные вещества и является многокомпонентной системой.

Анализ химического состава сухой микробной биомассы приведен в табл. 2.

Таблица 2

**Химический состав сухой микробной биомассы**

Состав микробной биомассы	Содержание абсолютно сухого вещества (АСВ), %
Влага	5—10
Общий осадок	40—60
Липиды	2—8
Углеводы	8—17
Нуклеиновые кислоты	1,5—5,0
Зола	10—35
Калий	0,2—2,0
Магний	0,3—0,4
Кальций	0,5—1,5
Железо	0,7—3,0
Фосфор	2,0—3,0

Эффективность использования микробной биомассы в качестве удобрения определяется содержанием не только азота, фосфора и калия, но и микроэлементов. Наличие в микробной биомассе повышенного содержания зольных элементов, в частности таких микроэлементов, как, например, бор, молибден, медь, марганец, цинк, весьма важно для роста растений.

При получении удобрений на основе микробной биомассы наряду с качественными характеристиками важное значение имеют ее физико-химические свойства, в частности способность к слеживанию, рассеиванию, гигроскопичность. Эти показатели следует учитывать при хранении, транспортировке, дозировке продукта в процессе приготовления удобрения.

Кроме того, важнейшей стадией при подготовке избыточного активного ила к использованию в качестве удобрения является его предварительное сгущение. Проведенные экспериментальные исследования с активными илами, отобранными с различных биологических очистных сооружений, показали, что на сгущение избыточного активного ила влияет много факторов, в том числе и режим биоокисления сточных вод. При этом получение хорошо оседающих хлопьев активного ила, образующихся за счет флокуляции микроорганизмов, не всегда является управляемой стадией. Последнее приводит к тому, что в ряде случаев хлопья активного ила плохо отделяются от воды или совсем не отделяются (всплывший активный ил).

Для отделения активного ила от воды в большинстве случаев используют седиментационные процессы, а дальнейшее сгущение осуществляют повторным отстаиванием иловой суспензии или ее флотированием.

Способ флотационного сгущения активного ила является весьма перспективным.

Наиболее широко применяют способ напорной флотации — так называемые ДАФ-системы. Способ напорной флотации основан на том, что воздух, растворенный под давлением в воде, освобождаясь в больших кольцевых или прямоугольных емкостях, содержащих суспендированный ил, образует мелкие пузырьки, которые прикрепляются к частицам ила и поднимаются с ними на поверхность. Образовавшийся пенный слой сфлотированного активного ила механически удаляется через илоприемник. При этом удается получать концентрацию ила до 3—5 % АСВ. При одновременном использовании коагулянтов обеспечивается эффект подъема на поверхность более крупных хлопьев и, соответственно, более высокий эффект сгущения.

В области флотационного сгущения в последнее время появляется большое количество работ, посвященных как теоретическому обоснованию процесса, так и практической реализации этого способа.

Достигнутая после флотации степень сгущения избыточного активного ила не позволяет из-за большой влажности полученной микробной биомассы эффективно ее утилизировать. В связи с этим суспензию избыточного активного ила центрифугируют или фильтруют. Проведенные технологические испытания сгущения избыточного активного ила по схеме флотирования — центрифугирования показали, что полученный сгущенный продукт содержит до 8—10 % АСВ микробной биомассы. Это позволило в дальнейшем получать микробную биомассу с влажностью 8—10 %, которую можно транспортировать и смешивать с каким-либо наполнителем, например с торфом, и получать смесь для компостирования.

Проведенные исследования по возможному способам утилизации влажной микробной биомассы привели к разработке способа получения органического удобрения на основе сгущенного активного ила (микробной биомассы) и торфа.

Сущность предложенного способа состоит в том, что сгущенную суспензию активного ила смешивают с торфом. Смешение ила с торфом приводит к эффективному адсорбционному взаимодействию микроорганизмов активного ила и минеральных элементов на частицах торфа, что снижает энергозатраты на обезвоживание смеси торф—активный ил и повышает качество получаемого удобрения.

Использование биомассы активного ила, получаемой со временем выращивания 5—15 ч, позволяет заметно сократить содержание тяжелых металлов в активном иле и более эффективно использовать адсорбционные свойства активного ила при его сгущении. При этом может быть использован активный ил, полученный при очистке сточных вод любых производств.

Процесс сгущения полученной смеси активный ил—торф осуществляют отстаиванием. Взаимодействие частиц торфа с микроорганизмами активного

ила приводит к образованию достаточно больших агрегатов, положительно влияющих на процесс сгущения смеси торф—активный ил. При этом наиболее предпочтительно использование в этой смеси в качестве компонентов верхового и низинного торфа в соотношении от 1:1 до 1:5 соответственно. При таком выборе соотношения верхового и низинного торфа наблюдается наилучшая агрегация частиц торфа с микроорганизмами активного ила.

Особое значение имеет содержание тяжелых металлов в почве. Регламентация значений концентрации зольных элементов, включая тяжелые металлы, в предлагаемом способе позволяет выдерживать установленные Минздравом РФ предельно допустимые концентрации (ПДК) тяжелых металлов в почве.

Для агрохимической оценки эффективности применения компоста на основе влажной микробной биомассы (МБ) и торфа проведены опыты с картофелем. Почва до закладки опыта являлась однородной с низкой кислотностью, высокой степенью насыщенности основаниями и высоким содержанием фосфора. Все удобрения вносили весной под основную обработку почвы.

Варианты опыта:

- контроль (без удобрений);
- $N_{146}^* P_{140}^* K_{277}^*$ ;
- МБ\*\* 300 кг/га;
- МБ 600 кг/га;
- МБ 300 кг +  $P_{33} K_{228}$ ;
- солома 5 т/га;
- солома 5 т/га +  $N_{146} P_{140} K_{277}$ ;
- солома 5 т/га + МБ 300 кг/га;
- солома 5 т/га + МБ 600 кг/га;
- солома 5 т/га + МБ 300 кг +  $P_{22} K_{226}$ ;
- переходный торф 58 т/га (19 т сухих веществ) +  $N_{146} P_{140} K_{277}$ ;
- торфо-иловый компост 50 т/га (19 т сухих веществ) +  $K_{223}$ .

Примечания: \* — величина нижнего индекса — количество данного элемента в кг на 1 га; \*\* — микробная биомасса активного ила (МБ).

Урожайность картофеля и содержание крахмала в клубнях приведены в табл. 3.

Видно, что торфо-иловый компост при своей более низкой себестоимости может оказывать большое влияние на урожайность различных культур.

Проведенные экономические исследования показали, что 1 т влажной микробной биомассы при использовании ее в качестве удобрения может обеспечить дополнительный доход за счет получения прибавки урожая.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показали, что микробная биомасса является ценным компонентом удобрений для различных сельскохозяйственных культур.

При получении торфо-иловых удобрений в больших объемах необходимо применение специальной техники при соблюдении определенных технологических требований.

Основное требование при производстве торфо-иловых удобрений — высококачественное перемешивание компонентов, обеспечивающее равномерное распределение влаги и минеральных веществ в общей массе, что способствует активной деятельности микрофлоры в период ферментации смеси в буртах.



Таблица 3

Урожайность и содержание крахмала в клубнях картофеля в контрольном опыте и с добавлением различных удобрений

Вариант опыта	Средняя урожайность, ц/га	Прибавка		Содержание крахмала, %
		ц/га	%	
Контроль	62,3	—	—	17,09
N <sub>146</sub> P <sub>140</sub> K* <sub>277</sub>	103,6	40,4	63,9	17,90
МБ** 300 кг/га	87,9	24,7	39,1	16,42
МБ 600 кг/га	96,2	33,0	52,2	18,05
МБ 300 кг + P <sub>33</sub> K <sub>228</sub>	109,9	46,7	73,9	18,70
Солома 5 т/га	79,6	16,4	25,9	19,51
Солома 5 т/га + N <sub>146</sub> P <sub>140</sub> K <sub>277</sub>	115,5	52,5	83,1	14,00
Солома 5 т/га + МБ 300 кг/га	89,2	26,0	41,1	12,31
Солома 5 т/га + МБ 600 кг	98,7	35,5	56,2	17,09
Солома 5 т/га + МБ 300 кг + P <sub>22</sub> K <sub>226</sub>	80,3	17,1	27,1	17,76
Переходный торф 58 т/га + N <sub>146</sub> P <sub>140</sub> K <sub>277</sub>	101,9	38,9	61,2	17,76
Торфо-иловый компост 50 т/га + K <sub>223</sub>	97,2	34,0	58,3	14,80

\* — величина нижнего индекса — количество данного элемента в кг на 1 га; \*\* — микробная биомасса (МБ).

Для приготовления торфо-иловых смесей наиболее подходят лопастные смесители непрерывного действия. Производительность смесителя 30—60 т/ч, расход электроэнергии на 1 т смеси 0,2—0,4 кВт/ч.

Для перекачивания обезвоженных осадков до влажности 88—92 % следует применять шнековые и винтовые насосы. Насосы центробежного типа удовлетворительно работают при влажности осадка более 92 %.

Обезвоживание проводят в механических центрифугах, вакуум-фильтрах или путем седиментации взвешенных частиц. Суть схемы — использование обезвоженного осадка до 88—92 % непосредственно из карт.

Существуют два способа компостирования:

- В буртах (естественный способ биоокисления). В этом случае перерабатывается небольшое количество ила;
- В биоконвекторах (компостирование с принудительной аэрацией).

В мировой практике используются как первый, так и второй способы. При компостировании в биоконвекторах время компостирования сокращено до 2—3 недель.

Затраты энергии на приготовление 1 т продукта составляют порядка 20—190 кВт.

Наибольший интерес представляют технологии, создающие условия бурного развития микроорганизмов, которые выделяют биогенные вещества фитолы, подавляющие развитие других микроорганизмов.

Процесс ферментации торфо-иловых смесей в удобрение заключается в бурном развитии при благоприятных условиях сначала мезофильных микроорганизмов ( $t_{\min} = 10—15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\max} = 35—47\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{оп}} = 30—45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а затем термофильных микроорганизмов ( $t_{\min} = 40—45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\max} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{оп}} = 55—75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). При проведении компостирования в условиях принудительной аэрации можно создать условия для преимущественного развития актиномицетов, выделяющих антибиотик Actinomycetes Streptomycine, которые подавляют многие бактерии, в том числе гнилостные и микробактерии.

Возрастание температуры внутри бурта лишает находящиеся в смеси семена сорняков всхожести и в значительной степени убивает болезнетворную микрофлору, личинки, яйца гельминтов, куколки мух.

Время компостирования в буртах может составлять до полугода.

Однако процесс твердофазной ферментации можно ускорить, храня бурты под навесом или в помещении, а также перемешивая компостируемую массу по мере затухания процесса или с помощью устройства усиленной аэрации. Для интенсификации процесса можно использовать селективные культуры микроорганизмов. При этом внутри бурта укладывают перфорированные трубы, через которые прогоняют воздух с помощью компрессора.

Для нормального протекания биотермических процессов необходимо соблюдать следующие условия:

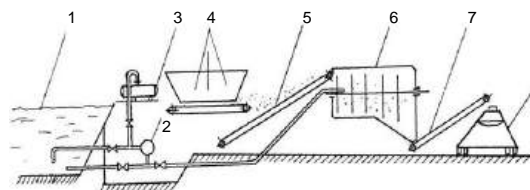
- количество сухих веществ 30—40 %;
- влажность ~ 70 %;
- соотношение C/N = 20/1—30/1;
- pH среды 6,0—8,0.

При соблюдении этих требований температура внутри бурта поднимается до 55—60 °С и выше вплоть до 70 °С. Через две недели бурт необходимо перемешать для достижения биотермического процесса во всех слоях компостируемой смеси.

Состав компоста на торфяной основе (торфо-иловая смесь): доля влаги 70 %; доля фосфора на АСВ — не менее 0,5 %.

Чтобы компостируемая масса не замерзала зимой, каждый штабель зимой закладывают в течение возможно короткого времени (1—2 дня) и укрывают слоем торфа толщиной 30 см. Для повышения температуры в бурте в целях более интенсивного проведения биохимических процессов целесообразно использовать солому.

Приготовление торфо-илового компоста в полевых условиях можно проводить по технологии, проиллюстрированной на рисунке.



Технологическая схема приготовления удобрений с использованием ила из карт:

- 1 — карта с активным илом; 2 — насос; 3 — емкость для аммиачной воды; 4 — дозаторы минеральных удобрений; 5 — транспортер загрузки; 6 — смеситель; 7 — транспортер выгрузки смеси; 8 — бункер-накопитель

Обезвоженный осадок шнековым или винтовым насосом 2 из карты 1 по трубопроводу вместе с аммиачной водой, забираемой из емкости 3, подают в смеситель 6. Отдозированная торфокрошка со слоем минеральных добавок, поступающая из дозаторов 4, ленточным транспортером 5 подается в смеситель 6.

Из смесителя торфо-иловую смесь скребковым транспортером 7 подают в бункер-накопитель 8. По мере накопления массы в бункере ее выгружают в мобильные транспортные средства и укладывают в бурты.

Смесь в буртах на протяжении 30—45 дней несколько раз (через 6—8 дней) перемешивают. Температура в бурте не должна превышать 60—65 °С.

После созревания компост можно использовать в качестве удобрения.

Таким образом, при выполнении ряда условий можно успешно использовать осадки сточных вод в качестве удобрения для выращивания сельскохозяйственных культур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ксенофонтов Б. С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. — М.: Химия, 1992. — 144 с.
2. Ксенофонтов Б. С. Охрана окружающей среды: биотехнологические основы: учеб. пособие. — М.: ИД "Форум", Инфра-М, 2016. — 200 с.
3. Ксенофонтов Б. С. Обработка осадков сточных вод: учеб. пособие. — М.: Инфра-М, 2019. — 256 с.

## Waste water sludge utilization by composting with peat

B. S. KSENOFONTOV

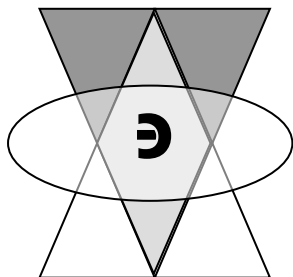
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

*The issues of dehydration and disposal of waste water precipitation are considered in the work. Various versions of equipment design for dewatering of sewage sludge are described. It is noted that the best results are achieved using mechanical dewatering. Features of natural drying of waste water deposits on sludge sites are noted. The options of using sewage sludge, including excess active sludge, as a fertilizer for intensification of crop cultivation are discussed in sufficient detail. Significant efficiency from the use of such fertilizer is shown.*

**Keywords:** dehydration, waste water sludge disposal, compost preparation, active sludge, peat, fertilizer.

**Bibliography** — 3 references.

*Received April 15, 2020*



# Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка их последствий

УДК 623.45

## Экологические аспекты чрезвычайных ситуаций при хранении боеприпасов и взрывчатых веществ

**И. Т. СЕВРЮКОВ**, д-р техн. наук; **Л. В. ЕФРЕМОВА**

ФАУ 25-й Государственный научно-исследовательский институт химмотологии  
Министерства обороны РФ, Москва, Россия

**Н. П. КУЗНЕЦОВ**, д-р техн. наук

Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова,  
г. Ижевск, Россия

**В. В. ИЛЬИН**, канд. техн. наук

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

*Показаны экологические последствия взрыва боеприпасов в условиях группового хранения. Проанализированы причины инициирования группы боеприпасов, рассмотрены базовые элементы экологического анализа последствий аварийного взрыва. Предложена система показателей оценки экологической безопасности объекта хранения боеприпасов.*

**Ключевые слова:** экологические последствия, чрезвычайная ситуация, аварийный взрыв.

В процессе деятельности Вооруженных Сил часто возникают проблемы, касающиеся экологических вопросов, анализ которых показывает, что в наибольшей степени они связаны с вооружением и военной техникой — одним из основных структурных компонентов, созданных специально для поражения человека и среды его обитания. При этом следует отметить, что уничтожение природной среды в ходе вооруженного конфликта — крайний случай проявления разрушительных свойств оружия. Чаще всего значительный ущерб природе и человеку наносится в мирное время при производстве, испытании, эксплу-

атации и утилизации вооружения. Эти процессы оказывают хотя и не столь интенсивное, как в военное время, но постоянное негативное воздействие на все без исключения элементы биосферы.

Известно, что техногенные экологические факторы классифицируют по механизму, степени, уровню, последствиям, масштабу воздействия. С точки зрения механизма воздействия на окружающую природную среду различают три вида загрязнений: физической, химической и биологической природы. Показательно, что вооружение и военная техника способны генерировать самые опасные (специфические) типы всех трех видов. Загрязнения физической природы — это практически все виды ионизирующего и электромагнитного излучения, тепловые и световые потоки, шумы и другие акустические колебания, ударная волна, термические процессы, сейсмические колебания, давление, вибрация. Загрязнения химической природы — это отравляющие вещества, нефтепродукты, компоненты ракетных топлив, дегазирующие, дезактивирующие и дезинфицирующие растворы, поверхностно-активные и дымообразующие вещества, полимерные материалы. Загрязнения биологической природы — это патогенные микроорганизмы, токсины, биогенные загрязнители и т. д. [1].

---

**Севрюков Игорь Тихонович**, профессор, ведущий научный сотрудник.

E-mail: tmitmm@istu.ru

**Ефремова Любовь Викторовна**, начальник НИЛ.

E-mail: tmitmm@istu.ru

**Кузнецов Николай Павлович**, профессор кафедры "Ракетная техника".

E-mail: tmitmm@istu.ru

**Ильин Вадим Владимирович**, доцент.

E-mail: ilin.vad12@inbox.ru

*Статья поступила в редакцию 9 февраля 2020 г.*

---

© Севрюков И. Т., Ефремова Л. В., Кузнецов Н. П., Ильин В. В., 2020

Особое внимание при обеспечении экологической безопасности вооружения и военной техники на стадиях эксплуатации и утилизации должно быть уделено штатным и аварийным ситуациям. Проблема воздействия массовых взрывов боеприпасов на объектах хранения боеприпасов и взрывчатых веществ на окружающую среду является одной из приоритетных. От ее решения во многом зависит успешное развитие региона после ликвидации последствий аварии.

Аварии, возникающие на складах, зачастую приводят к гибели людей, разрушениям и повреждениям хозяйственных объектов. Масштабы таких катастроф и, соответственно, размеры материального ущерба неизменно возрастают. Есть ряд причин, способствующих росту подобной статистики. При отступлении от требований безопасности либо при воздействии каких-либо внешних аварийных факторов может произойти инициирование боеприпасов и взрывчатых веществ. Каждый вид внешнего воздействия (механическое, тепловое, электромагнитное и т. д.) характеризуется конкретными аварийными ситуациями, которые, как показывает опыт, и являются причинами инициирования: воздействие поражающих элементов, ударное воздействие, тепловое воздействие, электромагнитное воздействие, разряд статического электричества, химическое воздействие. Вследствие этих аварийных воздействий возможны следующие типы аварий с боеприпасами и взрывчатыми веществами: механическое и тепловое повреждение, сгорание, взрыв в режиме нормальной детонации, взрыв группы боеприпасов.

Можно выделить два базовых направления воздействия экологически неблагоприятных факторов на

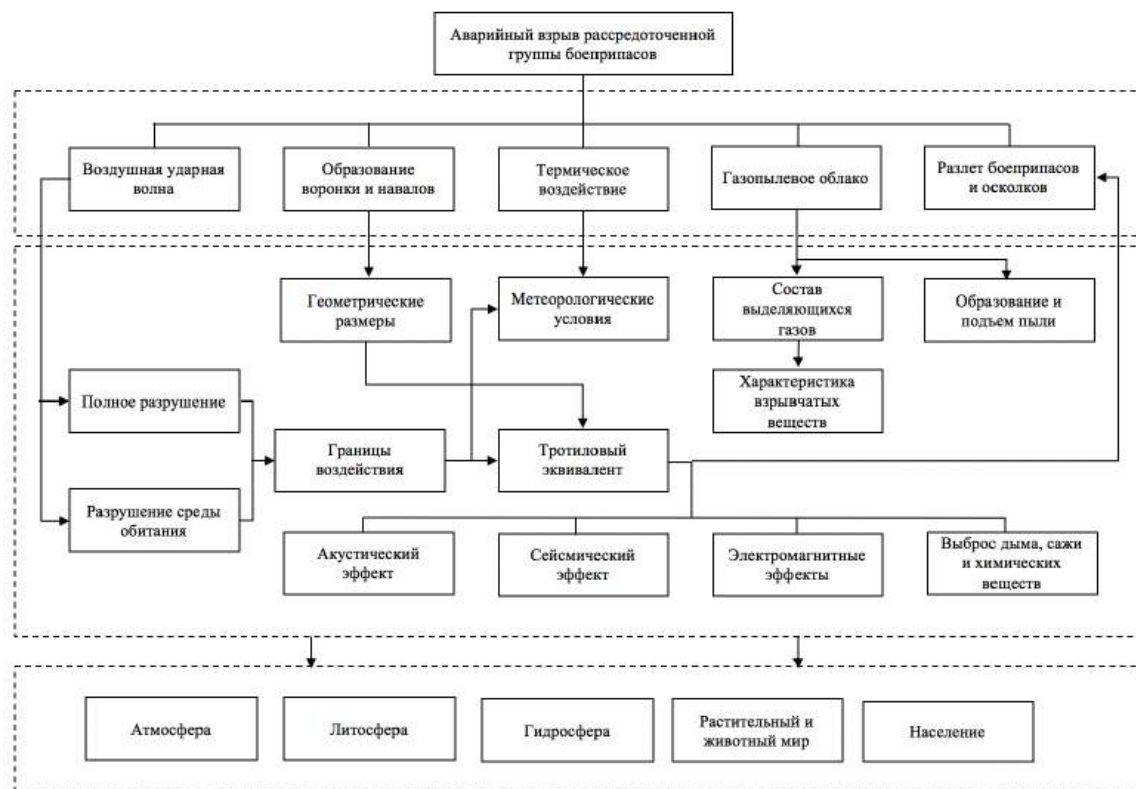
окружающую среду при массовом взрыве боеприпасов:

- прямой урон ландшафту;
- загрязнение окружающей среды (воды, воздуха и почвы) выделяемыми при взрыве веществами.

К экологическим эффектам взрыва группы боеприпасов можно также отнести засорение окружающей территории реактивными снарядами и осколками боеприпасов, выбросы в атмосферу пыли, дыма, сажи и токсических веществ при горении материалов. Взрывы приводят к перемешиванию воздуха и, следовательно, к интенсификации процесса горения. Сильные пожары, создавая мощную вертикальную тягу, способствуют проникновению аэрозолей на большие высоты. Базовые элементы экологического анализа при массовом взрыве боеприпасов приведены на рисунке.

Система показателей экологической безопасности объекта хранения боеприпасов может иметь оценки:

- потенциальной опасности объектов хранения в условиях нормальной эксплуатации;
- возможности превышения уровней воздействия вредных факторов над нормативными показателями;
- реципиентов вредного воздействия в территориальном аспекте;
- комплексную интегральную оценку степени экологической опасности объекта хранения боеприпасов;
- вероятности возникновения аварийной ситуации при хранении боеприпасов и взрывчатых веществ.



Базовые элементы экологического анализа аварийного взрыва рассредоточенной группы боеприпасов

Исходными данными для расчета экологической безопасности объектов хранения боеприпасов должны быть показатели, характеризующие общую массу и типы боеприпасов и взрывчатых веществ, значения максимальных концентраций выделяющихся при взрыве ядовитых газов, скорость подъема газопылевого облака, давление во фронте ударной волны, уровни вредных воздействий на окружающую среду и т. п. На ранней стадии прогнозирования экологических последствий аварии на объектах хранения боеприпасов и взрывчатых веществ некоторые параметры можно задавать в виде лингвистического описания или интервальных оценок. При этом влияние разброса значений характеристик на достоверность результата расчетов в данной области до конца не исследовано.

В состав взрывчатых веществ боеприпасов входят органические и неорганические нитраты, нитросоединения, нитрозоамины и другие азотсодержащие соединения. Характерный состав продуктов взрыва тротила включает двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ), окись углерода ( $\text{CO}$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), углерод ( $\text{C}$ ), окислы азота ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ), воду и ряд малых составляющих. Часть этих продуктов обычно адсорбируется в грунте.

Таким образом, при взрыве любого взрывчатого вещества образуются ядовитые газы в больших и малых количествах. По данным исследований Б. Я. Светлова, Б. Д. Росси и других ученых, количество ядовитых газов зависит во многом от детонационной способности, химического состава взрывчатого вещества и других факторов, которые определяют полноту химической реакции при взрыве. В таблице приведены результаты исследования Л. В. Дубнова, проведенных в лабораторных условиях на бомбе Бихеля [2].

Для определения объема ядовитых газов, выделяемых при проведении массового взрыва, как правило, используют выражение [3]

$$V = x_{\text{CO}} + 6,5x_{\text{NO}_2},$$

где  $V$  — общий объем ядовитых газов;  
 $x_{\text{CO}}$  и  $x_{\text{NO}_2}$  — удельные объемы углекислого газа и оксида азота соответственно.

Множитель 6,5 в уравнении является коэффициентом относительной токсичности, указывающим на то, что при одинаковой концентрации оксид азота в 6,5 раз токсичнее углекислого газа.

Точное определение состава продуктов взрыва представляет собой весьма непростую задачу. Это объясняется следующими причинами [4]:

- состав охлажденных продуктов взрыва, определяемый на основе результатов химического анали-

за, зависит как от свойств взрывчатого вещества, так и от многих начальных условий и может сильно отличаться от первоначального состава продуктов детонации;

- развитие и характер взрывных реакций меняются в зависимости от способа инициирования взрыва (нагрев, удар, инициирование детонатором), плотности заряда взрывчатого вещества, диаметра заряда и т. д.

В технологии производства боеприпасов используют различного рода вспомогательные материалы: для нанесения антикоррозионных покрытий (масляные краски, эмали, сурик железный или свинцовый, лаки, смазки); герметизации и obtюрации (суриковая замазка, герметики). Кроме того, имеются вспомогательные элементы обеспечения их функционирования, например трассеры, метательные заряды, взрыватели. В результате пылегазовое облако, образующееся при взрыве, обогащается разнообразными химическими соединениями. При массовом аварийном взрыве боеприпасов маловероятно поражение персонала только токсичными газами, так как другие вредные факторы, в частности воздушная ударная волна, перекрывают границы действия газового облака. Известно, что избыточное давление 0,02—0,03 МПа является предельным для многих биологических объектов. Тепловое воздействие взрыва определяется излучением огненного шара и теплообменом с нагретым ударной волной воздухом и продуктами взрыва. При потоке излучения не менее 10 кал/см<sup>2</sup> могут загораться различные легковоспламеняющиеся материалы. Подъем пыли уменьшает вероятность образования очагов возгорания из-за экранировки потока излучения [2, 3, 5].

Таким образом, основными факторами воздействия на окружающую среду в случае взрыва группы боеприпасов являются механическое воздействие на верхний слой грунта, образование воронки и навала, воздействие воздушной ударной волны на прилегающий район, тепловое воздействие, действие продуктов взрыва и газопылевого облака на грунт и окружающую среду.

Первоочередными задачами экологического обеспечения при эксплуатации вооружения и военной техники, в частности при массовом хранении боеприпасов, являются:

- контроль состояния окружающей среды и прогноз экологической обстановки на территории базы хранения и прилегающих районов;
- ликвидация последствий экологических катастроф и чрезвычайных ситуаций, произошедших в результате аварии на объекте хранения боеприпасов;

Состав продуктов взрыва взрывчатого вещества, состоящего из аммиачной селитры и тротила

Состав смеси, %		Кислородный баланс, %	Содержание газов в продуктах взрыва, %					
Аммиачная селитра	Тротил		$\text{CO}_2$	$\text{CO}$	$\text{NO}$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2$
95	5	+18	16,6	4,55	—	0,55	1,2	76,1
88	12	+8,7	27,9	4,9	3,2	0,5	1,6	61,9
83	17	+4	32,1	5,3	2,4	1,7	1,6	57
79	21	+0,3	32,3	5,7	2,7	1,9	1,8	55,6
70	30	-8,2	26,6	13,9	0,7	2,3	2,2	54,4



- проведение экологических экспертиз, оценка ущерба окружающей среде в случае возникновения чрезвычайной ситуации;
- разработка и осуществление мероприятий по защите здоровья личного состава подразделений в условиях воздействия на них неблагоприятных экологических факторов;
- планирование и проведение работ по восстановлению экосистемы в местах хранения боеприпасов и взрывчатых веществ;
- разработка норм и правил по экологической безопасности с учетом специфики деятельности объекта хранения боеприпасов и взрывчатых веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В. Г. Экологическая безопасность вооружения и военной техники // Военная мысль. 1999. № 5. С. 44—47.
2. Адушкин В. В., Гарнов В. В., Христофоров Б. Д. Оценка экологических последствий при одновременном уничтожении большого количества боеприпасов // Безопасность труда в промышленности. 1996. № 12. С. 15—17.
3. Гарнов В. В., Перник Л. М. Особенности распространения газового облака при наземных взрывах конденсированных взрывчатых веществ // Безопасность труда в промышленности. 2000. № 4. С. 30—32.
4. Шведов К. К. О полноте и экологической безопасности взрыва низкочувствительных промышленных ВВ // Энерг. стр-во. 1993. № 6. С. 51—57.
5. Кокс П., Уэстайн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2 кн. / под ред. Зельдовича Я. Б., Гельфанда Б. Е. / Пер. с англ. Бейкер. — М.: Мир, 1986. — 319 с.

## Environmental aspects of storage emergencies ammunition and explosives

I. T. SEVRYUKOV, L. V. EFREMOVA

FAU "25 State Research and Development Institute of a himmotologiya"  
of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Moscow, Russia

N. P. KUZNETSOV

Izhevsk State Technical University named after Mikhail Kalashnikov, Izhevsk, Russia

V. V. IL'YIN

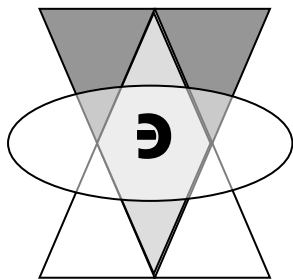
Perm State National Research University, Perm, Russia

*The environmental effects of an ammunition explosion in a group storage environment are considered. The reasons for initiating a group of ammunition are analyzed, the basic elements of an environmental analysis of the consequences of an accidental explosion are considered. A system of indicators of environmental safety of an ammunition storage facility is proposed.*

**Keywords:** environmental consequences, emergency, emergency explosion.

**Bibliography** — 5 references.

*Received February 19, 2020*



## Экологический контроль, прогнозирование

УДК 504.064

### Реализация информационной системы прогнозирования загрязнения водотоков аварийно химически опасными веществами

*И. М. ЯННИКОВ*, д-р техн. наук; *М. В. ТЕЛЕГИНА*, канд. техн. наук;  
*Е. Н. ИСЕНБАЕВА*; *В. Г. ИСАКОВ*, д-р техн. наук  
Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова,  
г. Ижевск, Россия

*Рассмотрены вопросы программно-технического обеспечения учебного процесса по направлению "Техносферная безопасность". Обсуждены вопросы состояния существующих программных приложений и систем расчета последствий различных чрезвычайных ситуаций (ЧС), а также прогнозирования их развития. Отмечено, что одной из актуальнейших проблем оценки последствий и прогнозирования ЧС является оценка последствий загрязнения аварийно химически опасными веществами (АХОВ). Предложена автоматизированная обучающая информационная система прогнозирования загрязнения водотоков АХОВ. Показана функциональная модель, описаны разработанные модули, в том числе модуль расчета прогнозных оценок загрязнения водотоков АХОВ, база данных и системы управления базами данных (СУБД), алгоритм расчета.*

**Ключевые слова:** автоматизированная обучающая информационная система, модуль расчета, база данных, аварийно химически опасные вещества, тестирование, прогноз.

Роль информационных технологий в самых различных областях человеческой деятельности возрастает. Особенно важно применение автоматизированных информационных систем при решении многокритериальных задач, к которым относится и оценка последствий загрязнения окружающей среды, в том числе в результате природных и техногенных аварий и катастроф.

**Янников Игорь Михайлович**, доцент, профессор кафедры "Техносферная безопасность".

E-mail: [imyannikov@mail.ru](mailto:imyannikov@mail.ru)

**Телегина Марианна Викторовна**, доцент кафедры "Автоматизированные системы обработки информации и управления".

E-mail: [mari\\_tel@mail.ru](mailto:mari_tel@mail.ru)

**Исенбаева Елена Насимьяновна**, старший преподаватель кафедры "Автоматизированные системы обработки информации и управления".

E-mail: [isenelena@mail.ru](mailto:isenelena@mail.ru)

**Исаков Виталий Германович**, профессор, заведующий кафедрой "ВиВ".

E-mail: [isakovvg@istu.ru](mailto:isakovvg@istu.ru)

*Статья поступила в редакцию 12 декабря 2019 г.*

© Янников И. М., Телегина М. В., Исенбаева Е. Н., Исаков В. Г., 2020

Деятельность по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций, связанных с загрязнением окружающей среды, осуществляют многие организации (учреждения), входящие в состав сил и средств наблюдения и контроля единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [1], при этом используют различные методы и средства. Качество мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций определяющим образом влияет на эффективность снижения рисков их возникновения и масштабов последствий [2, 3] и возможности их устранения. В первую очередь это относится к прогнозированию экологического состояния водоемов и водотоков, подвергшихся аварийным выбросам химически активных веществ.

Из ранее созданных методов к наиболее эффективным следует отнести методы организации мониторинга загрязнений, примененные на объектах по уничтожению химического оружия (ОУХО). Результаты исследований по оценке вклада сточных вод ОУХО в г. Камбарка Удмуртской Республики базировались на применяемых для расчета кратностей разбавления сточных вод в водных объектах

стандартных методиках А. В. Караушева и Фролова—Родзиллера [4]. В целом расчеты по оценке загрязнений водотоков весьма трудоемки, решаемые с их помощью задачи многокритериальны, поскольку включают в себя большое количество факторов, и их эффективное решение невозможно без применения методов системного анализа, позволяющих провести анализ факторов эффективности обращения с промышленными сточными водами (ПСВ) ОУХО, а также оценку их значимости в целях выявления "слабых" мест в технологии и организации деятельности объекта [5, 6]. Накопленный при решении практических задач на ОУХО опыт организации мониторинга окружающей среды, в том числе и открытых водоемов, оценки и прогнозирования складывающейся обстановки весьма актуален. Однако видна необходимость создания новых, более совершенных автоматизированных систем прогнозирования загрязнений при возможных ЧС на объектах и углубленная подготовка высококвалифицированных инженерных кадров для их использования.

Процесс информатизации, призванный обеспечить требуемый уровень сформированности общетехнических и профессиональных компетенций выпускников высшей школы, является приоритетным направлением развития системы высшего образования.

Для подготовки студентов направления "Техносферная безопасность" требуется формирование навыков и умения работы с автоматизированными информационными системами, обеспечивающими расчет и визуализацию последствий возможных ЧС для отработки действий и принятия управленческих решений.

В области прогнозирования чрезвычайных ситуаций автоматизированные системы чаще всего используют расчетные функции возможных последствий ЧС, имеют функции визуализации результатов расчетов, в том числе и на карте местности с применением геоинформационных систем.

Разработано достаточно большое количество различных систем для расчета последствий различных ЧС. При этом существующие программные приложения и системы зачастую разрознены, не имеют необходимых функций или, наоборот, излишне функциональны, что делает их неприемлемыми для решения практических задач студентами. Кроме того, присутствуют такие факторы, как высокая стоимость программного обеспечения, отсутствие или дороговизна методик и курсов обучения работе с ним, отсутствие свободной лицензии и т. д. [7—10].

Исходя из изложенного в целях реализации методики расчета прогнозных оценок загрязнения водотоков аварийно химически опасными веществами (АХОВ) разработана автоматизированная обучающая информационная система прогнозирования загрязнения водотоков АХОВ. Программа предназначена для контроля теоретических знаний и решения практических задач в области загрязнения водотоков аварийно химически-опасными веществами, может применяться в учебном процессе для изучения тео-

ретического материала и выполнения практических работ при подготовке студентов направления "Техносферная безопасность", а также применяться для повышения квалификации сотрудников экологических служб и МЧС.

Указанная обучающая информационная система состоит из четырех модулей: "Теоретическая информация", "Практические задания", "Автоматизированный расчет", "Модуль тестирования". Система позволяет:

- изучить предметную область методики (необходимые термины и определения, а также последовательность расчета; модуль "Теоретическая информация");
- решить примеры практических задач на заданную тему и проверить полученные при самостоятельном решении ответы (модуль "Практические задания");
- произвести автоматизированный расчет прогнозных оценок загрязнения с возможностью сохранения в Word-файл подробного описания последовательности вычисления (модуль "Автоматизированный расчет");
- проверить обучающимся полученные знания с помощью тестирования, а преподавателям просмотреть результаты обучения своих студентов (модуль "Тестирование").

Для описания работы системы разработана функциональная модель согласно стандарту IDEF0 [11], которая позволяет обозначить модули разрабатываемой системы, отобразить входные и выходные данные, механизмы и управления на наглядной схеме, а также содержит информацию о цели ее создания и точке зрения.

Исходя из задач, которые решает разработанная система, реализованы блоки, показанные на рис. 1.

Это блоки:

- "*Предоставить теоретическую информацию*" (теоретический модуль); содержит необходимые для понимания методики термины и определения, а также непосредственный алгоритм расчета прогнозных оценок загрязнения водотоков АХОВ по методике, разработанной специалистами ВНИИ ГОЧС МЧС России [12];
- "*Предоставить практические задания*"; содержит практические задачи по данной теме, а также дающий возможность проверить полученные пользователем в процессе самостоятельного решения ответы;
- "*Рассчитать прогнозные оценки загрязнения водотоков АХОВ*"; при вводе пользователем необходимых для расчета данных будут вычислены основные прогнозные оценки загрязнения водотоков химическими веществами, а также предоставлена возможность просмотра подробного хода расчета и сохранения его в текстовый файл;
- "*Проверить знания обучающегося*" (тестирующий модуль); проверяет знания обучающегося, а также проставляет оценку за усвоенный им учебный материал.

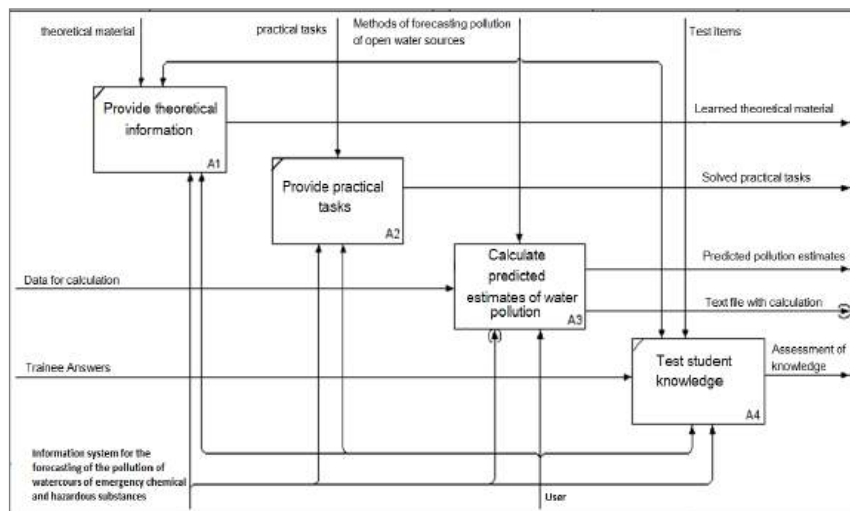


Рис. 1. Декомпозиция контекстной диаграммы (A0)

Разрабатываемый модуль расчета прогнозных оценок загрязнения водотоков АХОВ выполняет следующие функции:

- расчет основных характеристик загрязнения водотоков опасными химическими веществами;
- детальное описание расчета со всеми используемыми формулами;
- сохранение исходных данных и подробного расчета в текстовый файл.

Информационно-справочная база данных системы прогнозирования загрязнения водотоков содержит информацию об АХОВ, а также о параметрах водотоков, которые используют в методике прогнозной оценки загрязнения открытых водоисточников АХОВ в чрезвычайных ситуациях.

Определена информация, которая должна содержаться в базе данных. Это параметры водотоков, такие, как коэффициент  $j$ , учитывающий смещение АХОВ в массе водного потока, коэффициенты шероховатости для открытого русла и для условий ледостава, коэффициенты продольной дисперсии ( $D_n$ ) для открытого русла и для условий ледостава. Кроме параметров водотоков, в методике прогнозной оценки загрязнения открытых водоисточников используют некоторые параметры АХОВ:

- коэффициент  $Y$ , учитывающий испарение низкокипящего АХОВ в начальный период их смешивания с водой;

- коэффициент  $K$ , скорости самоочищения воды от АХОВ;

- предельно допустимая концентрация опасного химического вещества (коэффициент ПДК).

Все эти коэффициенты, а также параметры, от которых они зависят, учтены при разработке базы данных.

Идентификатором аварийно химически опасного вещества выбран регистрационный номер CAS — это уникальный численный идентификатор химических соединений, полимеров, биологических последовательностей нуклеотидов или аминокислот, смесей и сплавов, внесенных в реестр Chemical Abstracts Service [13].

Целостность по сущностям в базе данных (БД) поддерживается за счет первичных ключей. Целостность по ссылкам реализована за счет внешних ключей. Также для поддержки ссылочной целостности выбран каскадный тип обновления данных при изменении и удалении первичного ключа. Для оптимальной производительности запросов создан уникальный индекс для наименования АХОВ.

В качестве системы управления БД выбрана СУБД MySQL. Инструмент для визуального проектирования баз данных — MySQLWorkbench [14]. MySQLWorkbench позволяет автоматически строить EER-диаграмму (EnhancedER-диаграмму) БД, которая наглядно демонстрирует сущности и связи между ними (рис. 2).

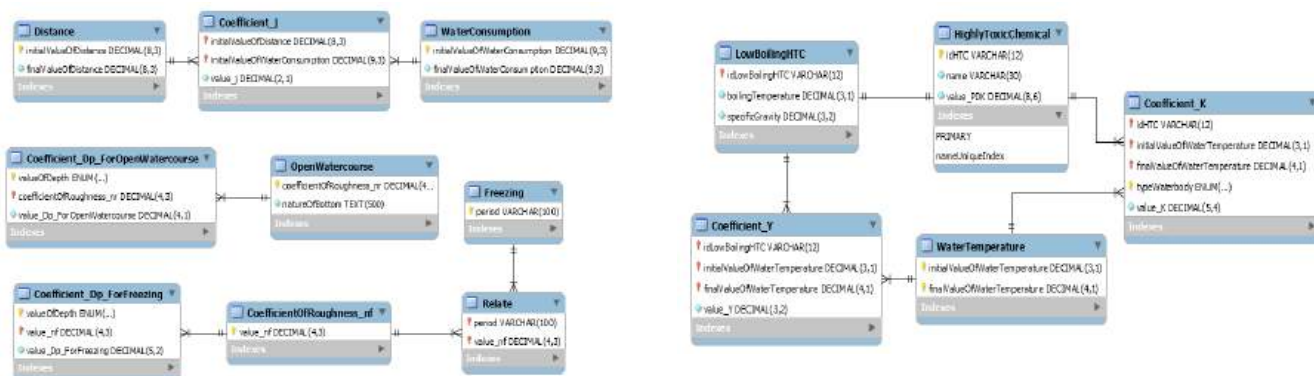


Рис. 2. EER-диаграмма информационно-справочной базы данных

После создания БД заполнена основными справочными данными и проверена с помощью SQL-запросов. В результате по разработанной информационно-справочной БД можно производить поиск необходимых коэффициентов и использовать их при прогнозировании загрязнения водотоков АХОВ.

БД для модуля тестирования содержит всю необходимую информацию о пользователях и результатах тестирования студентов, а также банк вопросов. Используется информация о пользователе: логин и пароль для аутентификации пользователя в системе, его фамилия, имя, отчество, категория для данной подсистемы (студент или преподаватель). В данную БД включены вопросы и варианты ответов, результаты тестирования.

На рис. 3 представлена EER-диаграмма разработанной БД для модуля тестирования.

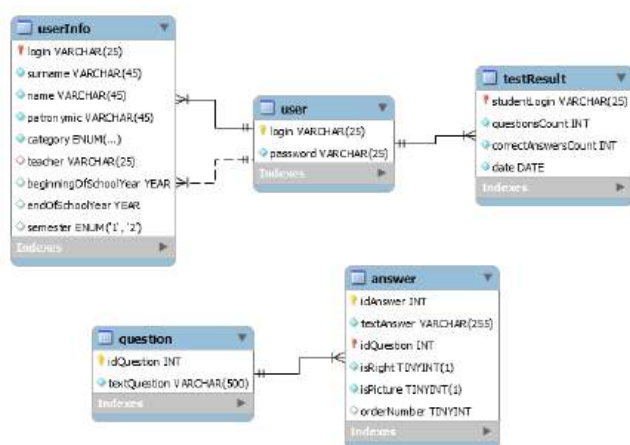


Рис. 3. EER-диаграмма базы данных для модуля тестирования

Таким образом, разработанная БД для модуля тестирования содержит всю необходимую информацию о пользователях и результатах тестирования обучающихся, а также банк вопросов.

Подсистема обучения методике расчета прогнозных оценок загрязнения водотоков АХОВ направлена на взаимодействие с пользователем. Именно поэтому разработка пользовательского интерфейса выделена в отдельную задачу. Интерфейс программы должен быть интуитивно понятным для пользователя и реализовывать основные функции системы.

Главное окно системы объединяет ее основные модули: теоретический, практический, расчетный и проверочный. В зависимости от назначения модуля из него можно перейти в другие окна, выполняющие определенные задачи, такие, как определение коэффициента шероховатости, просмотр подробного хода, расчет прогнозных оценок, проверка полученных в результате самостоятельного решения практических задач ответов и регистрация пользователя в подсистеме.

При разработке окна модуля автоматизированного расчета для более структурированного вида входные данные разделены на 2 логически связанные части: информация о расчетном участке и информация об аварийном сбросе. Данные, которые вводят по выбору пользователя, представлены в виде ра-

диокнопок (переключателей), и соответствующие пункту поля могут быть активными или заблокированными. Расчетные данные представлены в нижней части окна, где также расположены кнопки, реализующие функции просмотра подробного решения и сохранения отчета, которые становятся доступными после нажатия кнопки "Рассчитать прогнозные оценки" (рис. 4).

Рис. 4. Модуль автоматизированного расчета

Подробное описание решения со всеми расчетными формулами отображается при нажатии кнопки "Подробное решение", где представлен весь ход расчета: подготовка исходных данных (вычисление средней скорости реки или расхода воды, расчет концентрации АХОВ) в зависимости от введенных коэффициентов, которые получены из информационно-справочной БД, и формулы с подстановкой исходных или ранее рассчитанных параметров.

При нажатии кнопки "Сохранить расчет" появляется диалоговое окно сохранения файла. Отчет содержит в себе все исходные данные, введенные пользователем, а также подробный расчет с пояснениями.

В практическом модуле представлены четыре типовые задачи для самостоятельного решения.

Таким образом, при использовании разработанная обучающая автоматизированная система [15] позволяет:

- изучать предметную область методики расчета основных характеристик загрязнения водотоков АХОВ;
- использовать предоставленные практические задания для самостоятельного решения;
- воспользоваться автоматизированным расчетом прогнозных оценок, изучить подробный ход вычисления и сохранить его в текстовый файл;
- пройти студентам проверку усвоенных знаний с помощью тестирования, а преподавателям — просмотреть результаты тестирования студентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 8.11.2013 № 1007 "О силах и средствах единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций" (в редакции постановлений Правительства Российской Федерации от 25.10.2014 № 1099, от 31.10.2015 № 1172, от 17.05.2017 № 574, от 20.09.2017 № 1128). [Электронный ресурс]. URL: <https://>



www.mchs.gov.ru/law/Postanovleniya\_Pravitelstva\_RF/item/5379573 (дата обращения: 09.03.2019).

2. Янников И. М., Латыпова И. А., Телегина М. В. Применение ГИС-технологий в области анализа риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера территорий // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 2 (29). С. 81—85.

3. Телегина М. В., Янников И. М., Габричидзе Т. Г. Методы и алгоритмы оценки воздействия потенциально опасных объектов на окружающую среду. — Самара: Изд-во Самарского НЦ РАН, 2011. — 152 с.

4. Фризоргер Г. Г., Исаков В. Г., Абрамова А. А. Оценка состояния поверхностных вод в зоне защитных мероприятий объекта уничтожения химического оружия в г. Камбарка по результатам многолетнего государственного экологического контроля и мониторинга // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 1. С. 64—67.

5. Фризоргер Г. Г., Исаков В. Г., Абрамова А. А. Применение метода анализа иерархий в оценке эффективности обращения с жидкими отходами в процессе уничтожения высокотоксичных веществ // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 50—55.

6. Абрамова А. А., Исаков В. Г., Дягелев М. Ю., Свало-ва М. В. Анализ факторов эффективности обращения с промышленными сточными водами объекта уничтожения химического оружия // Интеллектуальные системы в производстве. 2012. С. 136—140.

7. Water pollution control. A guide to the use of water quality management principles. Authors: World Health Organization; United Nations Environment Programme // Helmer R, Hespanhol I. 1997. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/water-pollution-control/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/water-pollution-control/en/) (дата обращения: 11.09.2018).

8. Poluyan L. V., Syutkina E. V., Guryev E. S. Software Systems for Prediction and Immediate Assessment of Emergency Situations on Municipalities Territories [Электронный ресурс]. URL: <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012199/pdf> (дата обращения: 01.03.2019).

9. Tsihrintzis V. A., Hamid R., Hamid R. Use of Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources: A Review [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/226288625\\_Use\\_of\\_Geographic\\_Information\\_Systems\\_GIS\\_in\\_Water\\_Resources\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/226288625_Use_of_Geographic_Information_Systems_GIS_in_Water_Resources_A_Review) (дата обращения: 13.12.2019).

10. Комплекс прогнозирования чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisinfo.ru/products/emergency> (дата обращения: 11.02.2019).

11. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. — 75 с.

12. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. Кн. 1. — М.: МЧС России, 1994.

13. CAS REGISTRY — The gold standard for chemical substance information [Электронный ресурс]. URL: <http://https://www.cas.org/support/documentation/chemical-substances> (дата обращения: 01.03.2019).

14. MySQLWorkbench [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mysql.com/products/workbench/> (дата обращения: 21.02.2019).

15. Исенбаева Е. Н., Телегина М. В., Янников И. М. Программа для прогнозной оценки загрязнения открытых водоисточников аварийно химически опасными веществами в чрезвычайных ситуациях. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 201961323. Дата пер. 22.05.2019.

## Implementation of the information system for forecasting of water pollution pollution by accidentally chemical hazardous substances

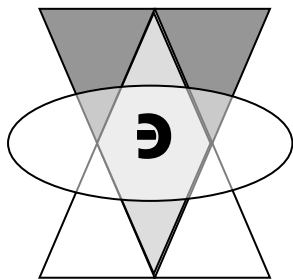
I. M. YANNIKOV, M. V. TELEGINA, E. N. ISENBAEVA, V.G. ISAKOV  
Izhevsk State Technical University named after Mikhail Kalashnikov, Izhevsk, Russia

*At present, the quality of training a specialist, a graduate of your high school, is determined by various components. One of the most important components is the methodological, technical, material and other support of the educational process. The article discusses the issues of software and hardware for the educational process for students in the area of training "Technosphere Security". The article considers the state of existing software applications and systems for calculating the consequences of various emergencies, as well as predicting their development. It is noted that one of the most urgent problems of assessing the consequences and forecasting emergencies is the assessment of the consequences of pollution with chemically hazardous substances (CHV). An automated training information system for predicting pollution of watercourses of CHV is proposed. A functional model and developed modules are shown and described, including a module for calculating forecast estimates of pollution of CHV watercourses, a database and a DBMS, a calculation algorithm, etc.*

**Keywords:** automated training information system, calculation module, database, accidentally chemically hazardous substances, testing, forecast.

Bibliography — 15 references.

Received December 12, 2019



## Очистка промышленных газовых выбросов

УДК 338.502:55

### Анализ чисел Воббе при моделировании методики безопасного сжигания топливных газов переменного состава в инжекционных горелках нефтезаводских печей

<sup>1,3</sup> В. Д. КАТИН, д-р техн. наук; <sup>1,2</sup> В. Ю. КОСЫГИН, д-р геол.-мин. наук

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

<sup>2</sup> Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия

<sup>3</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

*Рассмотрены технологические особенности сжигания собственных нефтезаводских газов с переменным химическим составом в действующих газовых инжекционных горелках трубчатых печей завод. Приведены составы и физико-химические свойства газов нефтепереработки, применяемых в качестве топлива и вырабатываемых на технологической установке Киришского нефтеперерабатывающего завода в различные периоды года. Показаны особенности горения водородсодержащих газов с точки зрения безопасности эксплуатации горелочных устройств инжекционного типа. Обосновано практическое применение чисел Воббе при сжигании в горелке различных нефтезаводских газов переменного состава, что указывает на их взаимозаменяемость. Рекомендован апробированный в заводских условиях способ настройки нормальной работы инжекционных горелочных устройств и повышения их безопасной эксплуатации и экологической эффективности при сжигании собственных нефтезаводских газов переменного состава.*

**Ключевые слова:** газовые инжекционные горелки, теплота сгорания газа, плотность газа, переменный состав газов, газозадушная смесь, взаимозаменяемость топливных газов, число Воббе, давление газа, безопасность сжигания.

Одной из особенностей работы трубчатых печей на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) является использование в них в качестве топлива собственных нефтезаводских газов, химический состав которых значительно колеблется в зависимости от назначения технологической установки. В связи с этим полученные топливные газы можно условно разделить на газы установок гидроочистки, риформинга и первичной переработки нефти [1, 2].

**Катин Виктор Дмитриевич**, профессор кафедры "Техносферная безопасность", профессор кафедры «Инженерные системы и техносферная безопасность».

E-mail: katinvd@mail.ru

**Косыгин Владимир Юрьевич**, профессор кафедры "Техносферная безопасность", ведущий научный сотрудник отдела математического моделирования.

E-mail: kosyginv@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 29 февраля 2020 г.

© Катин В. Д., Косыгин В. Ю., 2020

Различный химический состав нефтезаводских газов определяет переменную теплоту сгорания топлива, составляющую 20,2—100 МДж/м<sup>3</sup>. При этом газы установок гидроочистки содержат в своем составе значительное количество водорода (до 81 об. %), так называемые водородсодержащие газы (ВСГ) с теплотой сгорания  $Q_H^p = 20—30$  МДж/м<sup>3</sup>. На установках риформинга содержание водорода в газах уменьшается до 30 %, но увеличивается содержание углеводородов. Нефтезаводские газы установок первичной переработки нефти (АТ и АВТ) содержат в основном пропан-бутановые фракции с теплотой сгорания, достигающей 100 МДж/м<sup>3</sup> и более.

Очевидно, что использование в трубчатых печах природного газа наиболее целесообразно, если район расположения НПЗ газифицирован. Благодаря постоянству состава газа можно успешно решать технологические и экологические проблемы, возникающие при эксплуатации печей: эффективно управ-

лять процессом горения топлива и свести до минимума выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Однако на большинстве заводов отрасли трубчатые печи технологических установок работают на собственных топливных газах и проблема эффективного сжигания переменных по составу нефтезаводских газов без использования природного газа является весьма актуальной.

### Анализ составов нефтезаводских газов и особенностей их сжигания

Авторами работ [2, 3] проанализированы составы топливных газов, вырабатываемых на одной и той же технологической установке Киришского НПЗ в различные периоды года. Данные о составе и теплотехнических свойствах этих газов представлены в таблице.

Проведенный анализ табличных данных позволяет сделать важные выводы о том, что состав, плотность и теплота сгорания топливного газа, вырабатываемого на одной и той же установке, подвергаются заметным колебаниям: содержание водорода возрастает от нуля до 31,6 об. %, теплота сгорания газа изменяется от 67,2 до 103,1 МДж/м<sup>3</sup>, плотность газа колеблется от 1,45 до 2,29 кг/м<sup>3</sup>.

Непостоянство состава газа во времени и содержание большого количества водорода понижают эффективность и полноту сжигания нефтезаводских газов в печах, оборудованных стандартными инжекционными горелками типа ГИК, ГЭВК, ГТМ и других конструкций ВНИИнефтемаша [4]. Существенные колебания теплоты сгорания газа приводят к перерасходу топлива, так как становится практически невозможно поддерживать оптимальный коэффициент избытка воздуха. Все это требует определения путей рационального использования собственных топливных газов на НПЗ. Особенно проблематична технология сжигания ВСГ, которая имеет свои специфические особенности [5]. В связи с этим отметим, что скорость горения водорода в 2—5 раз выше скорости горения углеводородных газов. Следовательно, скорость подачи газовой смеси для ВСГ в камеру сгорания должна быть как минимум в 2 раза больше, чем для углеводородных газов. Стабильным горение ВСГ может быть только тогда, когда достигается интенсивное турбулентное перемешивание его с достаточным количеством воздуха. В печах, оснащенных существующими газовыми инжекционными горелками, газ смешивается с воздухом в топочной камере, что создает нестабильное пламя из-за слабой турбулизации потока ВСГ и воздуха из-за недостаточной инжекции воздуха вследствие неудачной аэродина-

мической схемы перемешивания, когда газовые струи выходят из сопел горелки параллельно потоку воздуха. Имеют место случаи проскока пламени в горелку и локального взрыва газовой смеси, что, очевидно, является небезопасным для операторов, обслуживающих печи. Взрывоопасная смесь водорода с воздухом образуется при содержании воздуха 15 об. %. Поэтому необходимо обеспечить безопасность эксплуатации газовых инжекционных горелок типа ГИК-2, ГЭВК-500 и т. п. при сжигании топливных газов с изменяющимся компонентным составом. В связи с этим авторами разработан и рекомендован способ повышения безопасности эксплуатации инжекционных горелок подобного типа и предложена методика применения чисел Воббе.

### Разработка способа повышения безопасности работы горелок при использовании чисел Воббе

Для нормального и безопасного сжигания различных по составу топливных газов в инжекционных горелках необходимо, чтобы основные их характеристики (теплота сгорания и плотность) не изменялись в значительных пределах. Зависимость между теплотой сгорания газа и его плотностью определяется числом Воббе  $Wo$  [6, 7], которое позволяет судить о взаимозаменяемости различных газов. Равенство чисел Воббе для двух различных газов указывает на их взаимозаменяемость, т. е. на возможность сжигания этих газов в одной горелке без внесения изменений в ее конструкцию:

$$Wo_1 = Wo_2 = \frac{Q_{H_1}^p}{\sqrt{\rho_1}} = \frac{Q_{H_2}^p}{\sqrt{\rho_2}} = \text{const}, \quad (1)$$

где  $Q_{H_1}^p, \rho_1$  — низшая теплота сгорания и относительная (по воздуху) плотность для одного газа;  
 $Q_{H_2}^p, \rho_2$  — то же для другого газа.

Число Воббе характеризует постоянство теплового потока, получаемого при сжигании газа. Газы с одинаковым числом Воббе при равном давлении истечения обычно можно использовать один вместо другого без замены горелки или без внесения изменений в ее конструкцию. Более того, анализ практических данных показывает, что взаимозаменяемость газов без существенных нарушений нормальной работы инжекционных горелок также возможна и при небольших изменениях числа Воббе (в пределах 5—7 % от его номинального значения).

Составы нефтезаводских газов (об. %) и их физико-химические свойства в различные периоды года

Месяцы	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>
Май	0,00	0,02	2,80	9,90	44,28	38,32	4,68	2,26	100,60
Июнь	16,0	0,04	11,79	30,94	28,54	11,37	1,32	1,45	67,20
Июль	31,6	0,00	8,40	11,00	21,90	21,30	5,80	1,45	68,50
Август	0,00	0,00	6,10	13,20	33,30	32,70	14,70	2,29	103,10
Сентябрь	21,0	0,00	12,70	20,00	20,50	17,70	8,10	1,55	70,30

Используя данные таблицы по теплоте сгорания и плотности нефтезаводского газа, вырабатываемого на одной и той же технологической установке Киришского НПЗ в различные периоды времени, и формулу (1), рассчитали числа Воббе для каждого месяца: в мае  $W_o = 73,77$ ; в июне  $W_o = 61,60$ ; в июле  $W_o = 62,79$ ; в августе  $W_o = 75,11$ ; в сентябре  $W_o = 62,36$ . Таким образом, значения чисел Воббе в мае и в августе в среднем на десять единиц выше, чем в июне, июле и сентябре, т. е. колебание числа Воббе достигает 19 % номинальной величины, что значительно превышает оптимальные пределы, допускающие взаимозаменяемость газов.

В тех случаях, когда не удастся получить одинаковые числа Воббе [6, 7], в качестве критерия взаимозаменяемости газов следует использовать равенство так называемых расширенных чисел Воббе  $W_o^e$  для заменяемого и заменяющего топливных газов:

$$W_{O_1}^e = W_{O_2}^e = Q_{H_1}^p \sqrt{\frac{P_1}{\rho_1}} = Q_{H_2}^p \sqrt{\frac{P_2}{\rho_2}} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $P$  — давление газа перед горелкой при сжигании газа с  $Q_H^p$  и  $\rho$ . Индексы "1" и "2" относятся, соответственно, к заменяемому и заменяющему нефтезаводским газам.

Расширенное число Воббе  $W_o^e$  в отличие от числа Воббе  $W_o$  учитывает, кроме низшей теплоты сгорания и плотности, еще и давление газа перед горелкой, а равенство расширенных чисел Воббе для заменяемого и заменяющего газов свидетельствует об их взаимозаменяемости.

Авторами данной работы предложен способ повышения безопасности обслуживания и устойчивости работы газовых инжекционных горелок при сжигании нефтезаводских газов переменного состава. Сущность метода заключается в использовании расширенных чисел Воббе  $W_o^e$ , позволяющих оценить нормальное и безопасное горение различных по составу топливных газов. В соответствии с ГОСТ 21204-97 "Горелки газовые промышленные. Общие технические требования" горелки инжекционного типа могут не иметь регулируемых или сменных элементов для работы на газах с отклонениями чисел Воббе от расчетных, если фактическая тепловая мощность горелки при этом изменяется в пределах, не превышающих 0,9—1,1 МДж/м<sup>3</sup> от номинальной тепловой мощности.

Следовательно, рекомендуемый авторами способ настройки нормального режима работы инжекционных горелок с применением чисел  $W_o^e$  без изменения их конструктивных размеров состоит в определении расчетного давления газообразного топлива перед горелочным устройством. Давление газа, которое необходимо поддерживать перед подачей в горелку, соответствующее разрешенному по ГОСТ 21204-97 диапазону изменения номинальной тепловой мощности горелки, можно определить расчетным путем. Для этого из равенства (2) путем несложных

преобразований найдем аналитическое выражение для давления заменяющего газа  $P_2$ , которое с учетом упомянутых допустимых пределов изменения фактической мощности горелки, будет выглядеть следующим образом:

$$P_2 = (0,9 \dots 1,1) P_1 \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \left( \frac{Q_{H_1}}{Q_{H_2}} \right)^2. \quad (3)$$

Выражение (3) справедливо, если выполнено равенство расширенных чисел Воббе для заменяемого и заменяющего газов (2). В случае изменения действительной тепловой мощности горелки в пределах, превышающих указанные отклонения от номинальной теплопроизводительности, при переходе на газ другого состава необходимо изменить диаметр газового сопла горелки. В отличие от известных аналогов при реализации рекомендуемого способа не требуется дополнительных материальных затрат, конструктивной переделки элементов инжекционной горелки или ее замены. Данный способ прост и удобен в практическом осуществлении, повышает эффективность и безопасность сжигания нефтезаводских газов с различным компонентным составом, включая ВСГ.

Эффектом от применения предлагаемого способа являются устранение нарушений устойчивой работы инжекционных горелок, повышение безопасности их эксплуатации, а также уменьшение потерь теплоты от химического недожога топлива и сокращение выбросов загрязняющих веществ с продуктами сгорания топлива. Данные рекомендации успешно используются в практической работе энергетическими службами Ачинского, Киришского и Хабаровского НПЗ [3, 8]. Предлагаемый способ корректировки давления газа перед инжекционной горелкой позволяет снизить выбросы оксида углерода и углеводородов и устранить случаи проскока пламени в горелку при сжигании нефтезаводских газов переменного состава, что повышает безопасность обслуживания горелок подобного типа.

## Заключение

Таким образом, предлагаемый способ настройки работы инжекционных горелок можно реально рекомендовать к внедрению и на других нефтеперерабатывающих предприятиях при сжигании топливных газов переменного состава. Это обеспечит безопасность сжигания нефтезаводских газов в горелочных устройствах инжекционного типа с минимальными выбросами токсичных веществ, содержащихся в продуктах сгорания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Равич М. Б. Газ и эффективность его использования в народном хозяйстве. — М.: Недра, 1997. — 246 с.
2. Катин В. Д., Березуцкий А. Ю. Горелки нефтезаводских печей и охрана окружающей среды от химического и шумового загрязнения. — Владивосток: Дальнаука, 2016. — 220 с.
3. Катин В. Д., Вольхин И. В. Малоотходные и энергосберегающие технологии сжигания топлива на НПЗ. — Владивосток: Дальнаука, 2013. — 199 с.

4. Горелки для трубчатых печей. Информация о новых разработках ВНИИнефтемаша. — М.: АОТ "ВНИИнефтемаш", 2009. — 40 с.

5. Катин В. Д., Келарев В. И. Технологические проблемы совместного и раздельного сжигания нефтезаводских газов и мазута в горелочных устройствах печей // Техническая безопасность и охрана труда в химической и нефтехимической промышленности. Экспресс-информация. 2001. Вып. 2. С. 32—36.

6. Иссерлин А. С. Основы сжигания газового топлива. — СПб.: Недра, 1997. — 336 с.

7. Преображенский Н. И. Контроль за рациональным использованием газа. — СПб.: Недра, 2003. — 368 с.

8. Катин В. Д., Киселев И. Г. Результаты исследований экологического уровня эксплуатации горелок котельно-печного парка Ачинского НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. 1999. № 2. С. 38—41.

## The analysis of numbers Wobbe at modelling of the technique of safe burning of fuel gases of variable structure in injection torches of petrofactory furnaces

<sup>1,3</sup> V. D. KATIN, <sup>1,2</sup> V. Yu. KOSYGIN

<sup>1</sup> Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

<sup>2</sup> Computing Center of the Far-Eastern Branch of RAS, Khabarovsk, Russia

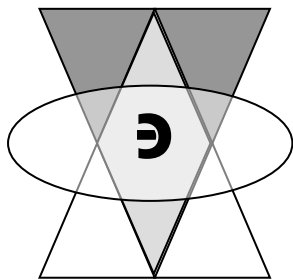
<sup>3</sup> Pacific State University, Khabarovsk, Russia

*In article technological features of burning of own petrofactory gases with a variable chemical compound in operating gas injection torches of tubular furnaces are considered. Structures and physical and chemical properties of gases of the oil refining applied as fuel and developed on technological installation of Kirishsky oil refining factory during the various periods of year are resulted. Features of burning gases from the point of view of safety of operation of burning devices of injection type are shown. Practical application of numbers Wobbe is proved at burning in a torch of various petrofactory gases of the variable structure, specifying in their interchangeability. The way of adjustment of normal work approved industrially injection Burner devices and increase of their safe operation and ecological efficiency is recommended at burning of own petrofactory gases of variable structure.*

**Keywords:** gas injection torches, warmth of combustion of gas, gas density, variable structure of gases, an air-gas mix, interchangeability of fuel gases, number Wobbe, pressure of gas, safety of burning.

Bibliography — 8 references.

Received February 29, 2020



УДК 349.6:656.615

### Предупреждение эколого-правовых рисков при хозяйственной деятельности в морском порту

И. В. ГЛАДУН, канд. биол. наук; Л. П. МАЙОРОВА, д-р хим. наук;  
А. А. ЧЕРЕНЦОВА, канд. биол. наук  
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

*Рассмотрена проблема эколого-правовых рисков при хозяйственной деятельности в порту, обусловленная наличием противоречий в экологическом законодательстве РФ. Сложившаяся практика проведения государственной экологической экспертизы материалов обоснования хозяйственной деятельности во внутренних морских водах и территориальном море по действующим объектам не соответствует смыслу основных принципов Федерального закона "Об экологической экспертизе". В рамках исполнения концепции "умного" государственного регулирования обосновано предложение Росприроднадзору выбирать адекватные инструменты контроля (надзора) и меры профилактики нарушений обязательных требований.*

**Ключевые слова:** экологическая экспертиза, эколого-правовой риск, оценка воздействия на окружающую среду, морской порт.

В 2012 г. в Российской Федерации принята Стратегия развития морской портовой инфраструктуры на период до 2030 г., основной целью которой является удовлетворение потребностей российской экономики путем формирования инновационной инфраструктуры морских портов, интеграции их в транспортные узлы, формируемые в рамках утвержденной Правительством России Транспортной стратегии [1, 2]. Развитие морских портов должно основываться на принципах устойчивого развития, направленных на сочетание интересов экономического развития с интересами сохранения и улучшения качества окружающей среды. Экологическая безопасность процесса эксплуатации инфраструктуры морских портов России строится на основе проведения планомерной

работы по предотвращению негативного антропогенного влияния на морские и прибрежные экосистемы, уменьшения уровня загрязнения и улучшения качества морской воды [1].

Для осуществления государственного надзора в морских портах за выполнением мероприятий по уменьшению уровня антропогенного загрязнения и соблюдением обязательных экологических требований в Федеральной службе по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) созданы специальные морские управления (Тихоокеанское, Балтийско-Арктическое, Черноморо-Азовское), выполняющие функции ранее существовавших специальных морских инспекций. Созданные морские управления имеют структурные подразделения в населенных пунктах, являющихся крупнейшими морскими портами России. Инспекторы морских управлений Росприроднадзора во исполнение Поручения заместителя Председателя Правительства от 30.05.2017 № АХ-П9-3430 "О проведении комплексных внеплановых выездных проверок соблюдения требований законодательства в области охраны окружающей среды при осуществлении деятельности морских портов и хозяйствующих субъектов, расположенных на их территории и акватории" провели внеплановые выездные проверки с привлечением экспертов подведомственной организации ФБУ "Техмордирекция". По результатам

**Гладун Игорь Владимирович**, доцент кафедры "Экология, ресурсопользование и БЖД".  
E-mail: igor-gladun@yandex.ru

**Майорова Людмила Петровна**, доцент, заведующая кафедрой "Экология, ресурсопользование и БЖД".  
E-mail: 000318@pnu.edu.ru

**Черенцова Анна Александровна**, доцент кафедры "Экология, ресурсопользование и БЖД".  
E-mail: anna\_cherencova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2020 г.

© Гладун И. В., Майорова Л. П., Черенцова А. А., 2020



проверок выданы предписания об устранении нарушения законодательства в области охраны окружающей среды и нарушений природоохранных требований, в том числе в части несоблюдения законодательства РФ об экологической экспертизе.

Авторами проведен анализ противоречий, существующих между эколого-правовыми нормами федеральных законов "О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации", "Об экологической экспертизе", "Об охране окружающей среды", направленных на регулирование общественных отношений в сфере охраны окружающей среды при реализации хозяйственной деятельности во внутренних морских водах.

При проведении исследований по избранной теме применяли абстрактно-логический и сравнительно-правовой методы.

Информационную базу исследования составили нормативно-правовые акты Российской Федерации по вопросам охраны окружающей среды, арбитражная практика, открытые данные существующих форм отчетности по результатам учета объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (ОНВОС), и статистическая отчетность по исследуемому вопросу.

Обязательной мерой по защите морской среды и сохранению природных ресурсов внутренних морских вод и территориального моря является государственная экологическая экспертиза (ГЭЭ) [3]. ГЭЭ подлежат все виды документов и (или) документации, обосновывающих планируемую хозяйственную и иную деятельность во внутренних морских водах и в территориальном море. Согласно п. 1 "Положения о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования" организует и проводит ГЭЭ Росприроднадзор в соответствии с законодательством РФ [4]. Росприроднадзор осуществляет функции по контролю и надзору в сфере природопользования, а также, в пределах своей компетенции, в области охраны окружающей среды, в том числе в части, касающейся ограничения негативного техногенного воздействия, в области обращения с отходами и государственной экологической экспертизы. С 2016 г. Росприроднадзор осуществляет работу по постановке объектов негативного воздействия на учет в соответствии с утвержденными Правительством России "Правилами создания и ведения государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду" [5].

В соответствии со ст. 9 Кодекса торгового мореплавания РФ под морским портом понимают его территорию и совокупность размещенных в границах этой территории объектов инфраструктуры морского порта, используемых для осуществления деятельности в целях торгового мореплавания, в том числе для оказания услуг [6]. Учитывая, что объекты инфраструктуры одного морского порта эксплуатируются и принадлежат различным юридическим лицам (индивидуальным предпринимателям — ИП), постановке на государственный учет согласно разъяснениям

Росприроднадзора подлежат отдельные ОНВОС, относящиеся к инфраструктуре морского порта, а не морской порт в целом [7]. Отметим, что объекты инфраструктуры морского порта принадлежат к категории среднего риска (согласно Постановлению Правительства "О федеральном государственном экологическом надзоре" [8]) и соответствуют критериям объектов, оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду (согласно Постановлению Правительства России от 28.09.2015 № 1029 [9]).

При осуществлении государственного экологического надзора во внутренних морских водах государственные инспекторы Росприроднадзора осуществляют проверку выполнения обязательных экологических требований, полный перечень которых содержится в "Перечне правовых актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю в рамках отдельного вида государственного контроля (надзора)", утвержденном Приказом Росприроднадзора от 18.10.2016 № 670 [10]. В число обязательных экологических требований входит ст. 34 Федерального закона "О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации", согласно которой все виды хозяйственной и иной деятельности во внутренних морских водах и в территориальном море могут осуществляться только при наличии положительного заключения ГЭЭ [11]. При отсутствии такого заключения инспектор в соответствии со ст. 66 Федерального закона "Об охране окружающей среды" имеет право выдавать юридическим лицам (и ИП) предписания об устранении выявленных нарушений обязательных требований [12], т. е. предписание о получении положительного заключения ГЭЭ в соответствии с утвержденным Правительством России Положением о порядке ее проведения, поскольку ГЭЭ является одним из главных инструментов предупреждения эколого-правовых рисков при хозяйственной деятельности в морском порту.

Анализ общедоступных государственных информационных реестров (сведения из ЕГРЮЛ/ЕГРИП ФНС России; информация из программно-технического обеспечения учета ОНВОС и об объектах ГЭЭ федерального уровня Росприроднадзора; сведения из Государственного водного реестра Росводресурсы) показал, что морские управления Росприроднадзора при проведении контрольно-надзорных мероприятий выставляли хозяйствующим субъектам законное требование о получении положительного заключения ГЭЭ на документацию, обосновывающую планируемую хозяйственную и иную деятельность во внутренних морских водах. Согласно данным таблицы, выполняя предписания инспекторского состава Тихоокеанского морского управления Росприроднадзора, в 2016—2019 гг. юридические лица, осуществляющие хозяйственную деятельность на территории морских портов Дальнего Востока, подали на проведение ГЭЭ обосновывающие материалы в целях получения положительного экологического заключения.

## Информация об объектах ГЭЗ Тихоокеанского морского управления Росприроднадзора по состоянию на 30.04.2019

Юридическое лицо	Дата ввода объекта в эксплуатацию согласно свидетельств о постановке на госучет	Категория ОНВОС	Категория риска	Наличие информации в государственном водном реестре	Наименование объекта ГЭЗ	Приказ об организации ГЭЗ/получении положительного заключения ГЭЗ/срок действия заключения
ОАО "Терминал Астафьева"	10.06.1992	II	Высокая (2)	+	Организация рейдовой перегрузки судов углем для ОАО "Терминал Астафьева"	№ 299 от 05.10.2016 № 382 от 27.12.2016 8 лет
ПАО "Океанрыбфлот"	27.12.1993	III	Умеренная (5)	-	Экологическое обоснование и ОВОС деятельности ПАО "Океанрыбфлот" по эксплуатации гидротехнических (причальных) сооружений на акватории Авачинской губы	№ 464 от 17.07.2018 № 818 от 17.10.2018 9 лет
ООО "Порт Ливадия"	26.01.2016	III	Значительная (3)	+	Документация, обосновывающая хозяйственную деятельность ООО "Порт Ливадия" во внутренних морских водах и в территориальном море	№ 928 от 07.11.2018 № 955 от 23.11.2018 5 лет
ООО "Восточно-Уральский терминал"	26.06.1998	II	Высокая (2)	+	Документация, обосновывающая хозяйственную деятельность ООО "Восточно-Уральский терминал" во внутренних морских водах и в территориальном море	№ 941 от 15.11.2018 № 1030 от 14.12.2018 5 лет
АО "Восточный порт"	04.08.1992	II	Высокая (2)	+	Документация, обосновывающая хозяйственную деятельность АО "Восточный порт" во внутренних морских водах и в территориальном море	№ 1032 от 24.12.2018 № 36 от 24.01.2019 5 лет
АО "Дальмор-монтаж"	24.03.1993	II	Высокая (2)	+	Документация, обосновывающая деятельность АО "Дальмор-монтаж" во внутренних морских водах и в территориальном море	№ 1045 от 29.12.2018 № 123 от 28.02.2019 5 лет
ООО "Восточная стивидорная компания"	10.08.2004	II	Высокая (2)	+	Документация, обосновывающая хозяйственную деятельность ООО "Восточная стивидорная компания" во внутренних морских водах и в территориальном море	№ 2 от 09.01.2019 № 71 от 08.02.2019 5 лет
ООО "Восточный лесной порт"	27.04.2005	II	Высокая (2)	+	Документация, обосновывающая хозяйственную деятельность ООО "Восточный лесной порт" во внутренних морских водах и в территориальном море	№ 115 от 26.02.2019 № 156 от 26.03.2019 5 лет
ООО "Бункер-Порт"	25.12.2007	II	Средняя (4)	+	Материалы оценки воздействия хозяйственной деятельности ООО "Бункер-Порт" (по перевалке леса-кругляка, пиломатериалов, металлозаготовок с дальнейшей погрузкой на морские суда у причала бухты Окоча залива Советская гавань) на окружающую среду	№ 132 от 05.03.2019
ООО "Стивидорная компания "Малый порт"	30.10.2002	II	Высокая (2)	+	Документация, обосновывающая хозяйственную деятельность ООО "Стивидорная компания "Малый порт" во внутренних морских водах и в территориальном море (в бухте Врангеля залива Находка Японского моря)	Приказ об организации от 09.04.2019 № 195

Оценку воздействия на окружающую среду (ОВОС) можно рассматривать как другой важный инструмент предупреждения эколого-правовых рисков при хозяйственной деятельности в морском порту. Согласно ст. 32 Федерального закона "Об охране окружающей среды" ОВОС проводится в отношении

планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду, независимо от организационно-правовых форм собственности юридических лиц и ИП [12]. В соответствии с Модельным законом "Об оценке воздействия на окружающую

среду" под планируемой хозяйственной и иной деятельностью понимается проектирование, строительство, реконструкцию, расширение, техническое перевооружение, модернизация, изменение профиля производства, его ликвидация и другая деятельность, которая может оказать негативное воздействие на окружающую среду [13]. Следовательно, Российское экологическое законодательство рассматривает процедуру ОВОС в качестве правового инструмента предупреждающего экологического контроля, не применяемого к этапу эксплуатации хозяйственного объекта. Назначение ОВОС как правового инструмента: учесть и минимизировать потенциальную опасность и экологический риск планируемой хозяйственной и иной деятельности. Требования к материалам ОВОС, имеющие очень обобщенную форму, содержатся в "Положении об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации". Типовое содержание материалов по ОВОС установлено только для оценки влияния намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду в инвестиционном проектировании [14]. Нормативного акта, устанавливающего формальные требования к материалам ОВОС для объектов, указанных в п. 7 ст. 11 Федерального закона "Об экологической экспертизе", нет.

Поскольку ГЭЭ выполняет функцию предупредительного экологического контроля, по сути, ее содержание и цель приближаются к цели государственного экологического надзора (ст. 65 Федерального закона "Об охране окружающей среды"): выявление и предупреждение негативного воздействия на окружающую среду, оценка соблюдения требований природоохранного законодательства. Как видно из данных, представленных в таблице, большинство хозяйствующих субъектов, в отношении которых составлен протокол о нарушении требований ст. 33 Федерального закона "Об охране окружающей среды", ст. 11 Федерального закона "Об экологической экспертизе", ст. 34 Федерального закона "О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации" и выдано предписание о получении положительного заключения ГЭЭ, осуществляет хозяйственную деятельность в морском порту уже длительный период времени (некоторые из них — с 1992—1994 гг., когда еще не были приняты упомянутые федеральные законы). На момент внеплановой проверки ОНВОС были поставлены природопользователями на государственный учет в Федеральном государственном реестре объектов с присвоением категории негативного воздействия на окружающую среду и выдачей Росприроднадзором соответствующего свидетельства.

В соответствии с ч. 1 ст. 11 ВК РФ право пользования поверхностными водными объектами или их частями приобретают на основании договоров водопользования [15]. Поэтому юридические лица, приступая к хозяйственной деятельности на акватории морского порта, заключали договор о водопользовании с территориальным органом Федерального агентства водных ресурсов (см. таблицу). Согласно Административному регламенту Росводресурсов заключенные договоры водопользования должны про-

ходить регистрацию в Государственном водном реестре [16]. В соответствии с п. 70 Административного регламента условия использования водного объекта должны быть согласованы Федеральным агентством водных ресурсов с Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, с Федеральным агентством по рыболовству, с Федеральным агентством морского и речного транспорта.

Юридические лица (и ИП), осуществляющие хозяйственную деятельность на акватории морского порта, выполняли и другие обязательные экологические требования: получали разрешения на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух; лимиты на размещение отходов; осуществляли производственный контроль в области охраны окружающей среды (производственный экологический контроль); планировали и выполняли мероприятия по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов; предоставляли в территориальные органы Росприроднадзора и Росводресурсов отчетную информацию о результатах производственного экологического контроля и формы государственного статистического наблюдения в области охраны окружающей среды; производили плату за негативное воздействие на окружающую среду, т.е. осуществляли взаимодействие с субъектами публичной власти, ответственными за охрану окружающей среды.

Анализ информации, полученной из открытых государственных информационных ресурсов, свидетельствует о том, что юридические лица, осуществляющие хозяйственную деятельность в морских портах, выполняли все основные экологические требования Российской Федерации, кроме требования о том, что все виды хозяйственной и иной деятельности во внутренних морских водах и в территориальном море можно осуществлять только при наличии положительного заключения ГЭЭ, проводимой за счет пользователя природными ресурсами внутренних морских вод и территориального моря. Согласно действующим нормам Экологического законодательства Росприроднадзор выставляет к таким хозяйствующим субъектам законное требование получения положительного заключения ГЭЭ. Анализ судебной практики показал, что арбитражные суды оставляют в силе предписания территориальных органов Росприроднадзора о необходимости получения положительного заключения ГЭЭ на реализуемую хозяйственную деятельность в морских портах. В постановлениях судов, как правило, отмечается, что установленная Федеральным законом "Об экологической экспертизе" обязанность по проведению ГЭЭ документов до фактического осуществления намечаемой хозяйственной деятельности не исключает необходимость выполнения данной обязанности в случае, если реализация объекта экологической экспертизы уже осуществляется [17, 18]. Таким образом, нарушение законодательства хозяйствующим субъектом приводит к проведению ОВОС и ГЭЭ для действующих объектов, что не соответствует нормам Федерального закона "Об экологической экспертизе".

Природопользователи при выполнении предписания государственного инспектора о получении поло-

жительного заключения ГЭЭ по действующему объекту сталкиваются со следующими трудностями:

- отсутствует порядок подготовки обосновывающих материалов для оценки хозяйственной деятельности в морском порту;
- нет критериев оценки комплектности материалов;
- проводится повторная проверка (оценка) экспертами ГЭЭ соответствия деятельности природопользователя требованиям по защите морской среды и сохранению природных ресурсов внутренних морских вод и территориального моря, несмотря на то что эта информация зафиксирована в акте комплексной проверки государственных инспекторов.

Отметим, что единственным нормативным актом, определяющим структуру обосновывающих материалов, являются "Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации" [14]. Данный нормативный акт устанавливает, что состав документации по ОВОС определяет действующее законодательство Российской Федерации в соответствии с видами и (или) конкретными характеристиками намечаемой деятельности в установленном порядке. Нормативный акт не относится к реализуемой хозяйственной деятельности. Более того, отдельные положения этого нормативного акта содержат требования оценочного характера, не позволяющие четко определить перечень обосновывающей хозяйственную деятельность документации, порядок ее подготовки, ее содержание и уровень конкретизации, что создает существенные эколого-правовые риски для ведения предпринимательской и инвестиционной деятельности на территории морского порта. Так, согласно п. 3.2.2 Положения исследования по ОВОС намечаемой хозяйственной и иной деятельности включают определение возможных альтернатив намечаемой хозяйственной и иной деятельности (в том числе отказ от деятельности), определение вероятности возникновения риска, прогнозирование экологических и связанных с ними социальных и экономических последствий. Следовательно, задача подаваемых на ГЭЭ обосновывающих материалов состоит в подготовке прогноза изменений состояния всех компонентов окружающей среды и социально-экономических условий жизни населения в районе влияния отдельного хозяйствующего субъекта на территории морского порта. При выполнении этих исследований хозяйствующие субъекты сталкиваются с проблемой отсутствия утвержденных Правительством России методик оценки экологического риска, оценки социально-экономических последствий прекращения их хозяйственной деятельности в морском порту и оформления результатов этих оценок. Вследствие этого любые обосновывающие хозяйственную деятельность материалы могут быть отклонены экспертами ГЭЭ как недостаточно обоснованные. Кроме того, эксперты при проведении ГЭЭ, как правило, требуют предоставления экологической информации согласно разделу 8 "Перечень мероприятий по охране окружающей среды", который утвержден Постановлением Правительства РФ "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию" [19]. Следствием этого являются

замечания экспертов к комплектности обосновывающих хозяйственную деятельность материалов.

В соответствии с п. 4 ст. 16 Федерального закона "Об экологической экспертизе" эксперт при проведении ГЭЭ имеет право заявлять о необходимости представления заказчиком дополнительных материалов для всесторонней и объективной оценки объектов экспертизы [3]. Таким образом, эксперты ГЭЭ, оценивая соответствие хозяйственной деятельности субъекта требованиям Экологического законодательства РФ, запрашивают у хозяйствующего субъекта перечень информации, не включенной в Приказ Росприроднадзора "О Перечне правовых актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю в рамках отдельного вида государственного контроля (надзора)" [10], а также повторно запрашивают информацию о соответствии экологическим требованиям, уже проверенную в ходе комплексной государственной проверки инспекторами Росприроднадзора. Следует отметить, что на действующих хозяйствующих субъектов распространяются нормы ст. 15 Федерального закона "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля" — органы государственного контроля (надзора) не вправе требовать от юридического лица представления документов и (или) информации, включая разрешительные документы, имеющиеся в распоряжении иных государственных органов, органов местного самоуправления либо подведомственных государственным органам или органам местного самоуправления организаций, включенные в определенный Правительством Российской Федерации Перечень [20]. Следовательно, поскольку компетенции по федеральному экологическому надзору и организации ГЭЭ объектов федерального уровня находятся у Росприроднадзора, часть информации эксперты могут получить в рамках исполнения Росприроднадзором Распоряжения Правительства РФ от 19.04.2016 № 724-р [21]. Например, достоверность информации о постановке на государственный учет ОНВОС члены экспертной комиссии ГЭЭ могут проверить в Росприроднадзоре, а ведение хозяйственной деятельности — в ФНС России.

Согласно п. 43 Административного регламента исполнения Росприроднадзором государственной функции по осуществлению федерального государственного экологического надзора при проведении выездной комплексной проверки Росприроднадзор привлекает экспертов (экспертные организации) [22]. При выполнении контрольно-надзорных мероприятий в морских портах территориальные органы Росприроднадзора привлекают ФБУ "Техмордирекция" — организацию, аккредитованную Росприроднадзором в сфере федерального государственного экологического контроля, имеющую лицензию Росгидромета на деятельность по подготовке и предоставлению аналитической и расчетной информации о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, а также по определению уровня загрязнения атмосферного воздуха, почв, водных объектов, определению метеорологических, гидрологических и океанологических характеристик окружающей среды. Следовательно, в рамках

контрольно-надзорных мероприятий территориальные органы Росприроднадзора в состоянии провести комплексную оценку (включая необходимые исследования) воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности природопользователей при осуществлении деятельности в морских портах, не привлекая к этой оценке нештатных экспертов ГЭЭ.

### Заключение

Таким образом, в Экологическом законодательстве РФ имеется правовая неопределенность, характеризующаяся коллизиями, приводящими к эколого-правовым рискам для хозяйствующих субъектов, осуществляющих деятельность на территории морских портов. Н. В. Кичигин отмечал, что уникальность источника эколого-правовых рисков состоит исключительно в их правовой природе [23]. Согласно О. Е. Орловой, правовой риск — риск понесения убытков в результате различного применения норм законодательства судебными органами либо в результате невозможности исполнения контрактов вследствие нарушения законодательства или нормативных актов. Правовой риск включает в себя также риск применения контролирующими органами штрафов либо иных мер воздействия к предприятию, что позднее может привести к возникновению расходов в результате судебных исков со стороны третьих лиц [24]. Наличие в Экологическом законодательстве РФ значительных пробелов в части регулирования общественных отношений, касающихся оценки воздействия на окружающую среду, отмечал М. М. Бринчук [25]. В своих исследованиях он указывал на коллизию в экологическом праве в части определения объекта оценки воздействия на окружающую среду.

Следует отметить, что в связи с планами Правительства России по реализации новой концепции "умного" государственного регулирования контрольно-надзорной деятельности, учитывающей современные тенденции социально-экономического развития страны, необходимо Федеральной экологической службе выбирать адекватные в данной конкретной ситуации инструменты контроля (надзора) и (или) меры профилактики нарушений обязательных требований [26]. В рамках контрольно-надзорных мероприятий территориальные органы Росприроднадзора с привлечением экспертов ФБУ "Техмордирекция" имеют возможность самостоятельно произвести комплексную оценку реализуемой хозяйственной деятельности юридического лица на территории морского порта. В частности, эксперты ФБУ "Техмордирекция" могут самостоятельно выполнить исследование в части исполнения норм Постановления Правительства РФ "Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания" [27]. В качестве другого инструмента предупреждения и минимизации эколого-правовых рисков можно рассмотреть проведение экологического аудита хозяйствующего субъекта с целью независимой, комплексной, документированной оценки соответствия документов в области охраны окружающей среды аудируемого лица требованиям нормативных документов и международных стандартов в области охраны окружающей среды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры на период до 2030 года (одобрена Морской коллегией при Правительстве РФ 28.09.2012). — М., 2013. — 190 с.
2. О Транспортной стратегии Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р (ред. от 12.05.2018) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 50. Ст. 5977.
3. Об экологической экспертизе: Федер. закон (принят 23.11.1995) // Собрание законодательства Российской Федерации. 1995. № 48. Ст. 4556.
4. Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования и внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 30.07.2004 № 400, от 22.07.2004 г. № 370 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2004. № 32. Ст. 3347.
5. Об утверждении Правил создания и ведения государственного реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду: Постановление Правительства РФ от 23.06.2016 № 572 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2016. № 27 (III). Ст. 4474.
6. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации: Федер. закон (принят 30.04.1999) // Собрание законодательства Российской Федерации. 1999. № 18. Ст. 2207.
7. О порядке и особенностях постановки объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, на государственный учет: письмо Росприроднадзора. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456028480> (дата обращения: 20.01.2020).
8. О федеральном государственном экологическом надзоре: Постановление Правительства РФ от 08.05.2014 № 426 (ред. от 21.03.2019) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2014. № 20. Ст. 2535.
9. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий: Постановление Правительства России от 28.09.2015 № 1029 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2015. № 40. Ст. 5566.
10. О Перечне правовых актов, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю в рамках отдельного вида государственного контроля (надзора): Приказ Росприроднадзора № 670 от 18.10.2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rospririodnadzora-ot-18102016-n-670-o/> (дата обращения: 20.01.2020).
11. О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации: Федер. закон № 155-ФЗ (принят 31.07.1998) // Собрание законодательства Российской Федерации. 1998. № 31. Ст. 3833.
12. Об охране окружающей среды: Федер. закон № 7 (принят 10.01.2002) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2002. № 2. Ст. 133.
13. Об оценке воздействия на окружающую среду: Модельный закон. [Электронный ресурс]. URL: [https://base.spinform.ru/show\\_doc.fwx?rgn=62127](https://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=62127) (дата обращения: 20.01.2020).
14. Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ: Приказ Госкомэкологии России № 372 от 16.05.2000 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2000. № 31.
15. Водный кодекс Российской Федерации: Федер. закон № 74-ФЗ (принят 03.06.2006) // Собрание законодательства Российской Федерации. 2006. № 23. Ст. 2380-2381.
16. Об утверждении Административного регламента Федерального агентства водных ресурсов по предоставлению государственной услуги по предоставлению водных объектов в пользование на основании договора водопользования, в том числе заключенного по результатам аукциона, по оформлению перехода прав и обязанностей по договорам водопользования: Приказ Минприроды России № 225 от 22.05.2014 // Российская газета. Спец. выпуск. 2015. № 18/1.
17. Постановление Арбитражного суда Дальневосточного округа от 14.06.2018 № Ф03-1228/2018 по делу № А51-19371/2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 10.01.2020).
18. Постановление Арбитражного суда Дальневосточного округа от 18.06.2019 № Ф03-2465/2019 по делу № А51-19884/2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 10.01.2020).

19. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: Постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 8. Ст. 744.

20. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля: Федер. закон № 294-ФЗ от 26.12.2008 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 52. (I). Ст. 6249.

21. Об утверждении перечня документов и (или) информации, запрашиваемых и получаемых в рамках межведомственного информационного взаимодействия органами государственного контроля (надзора), органами муниципального контроля при организации и проведении проверок от иных государственных органов, органов местного самоуправления либо подведомственных государственным органам или органам местного самоуправления организаций, в распоряжении которых находятся эти документы и (или) информация: Распоряжение Правительства РФ № 724-р от 19.04.2016 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2016. № 18. Ст. 2647.

22. Об утверждении Административного регламента исполнения Федеральной службой по надзору в сфере природопользования

государственной функции по осуществлению федерального государственного экологического надзора (с изменениями от 08.11.2017). Приказ Минприроды России № 191 от 29.06.2012 // Российская газета. 2013. № 12.

23. Кичигин Н. В. Правовая неопределенность и юридические риски в экологическом праве: постановка проблемы: мон. "Правовые риски в системе публичного управления" / под науч. ред. Авдийского В. И., Лапиной М. А. — М., 2014. С. 154—169.

24. Орлова О. Е. Внутренний контроль рисков предприятия // Актуальные вопросы бухгалтерского учета и налогообложения. 2012. № 7. С. 76—86.

25. Бринчук М. М. Концепция развития экологического законодательства Российской Федерации. — СПб: Изд-во Юридического института, 2009. — 165 с.

26. Реформа контрольной и надзорной деятельности: протокол заседания проектного комитета по основному направлению стратегического развития Российской Федерации от 12.09.2017 № 61 (11).

27. Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания: Постановление Правительства РФ № 380 от 29.04.2013 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 20. Ст. 2476.

## Prevention of environmental and legal risks in economic activities in the seaport

I. V. GLADUN, L. P. MAYOROVA, A. A. CHERENTSOVA  
Pacific National University, Khabarovsk, Russia

*The article deals with the problem of environmental and legal risks in economic activity in the port, due to the presence of contradictions in the environmental legislation of the Russian Federation. It is noted that the current practice of conducting the state environmental examination of materials justifying economic activity in internal sea waters and the territorial sea for existing objects does not correspond to the meaning of the basic principles of the Federal law "on environmental expertise". It is proposed that Rosprirodnadzor choose appropriate control (supervision) tools and measures to prevent violations of mandatory requirements within the framework of implementing the concept of "smart" state regulation.*

**Keywords:** environmental expertise, environmental and legal risk, environmental impact assessment, sea port.

Bibliography — 27 references.

Received February 18, 2020



УДК 502.3/.7

## К вопросу рекультивации месторождений россыпного золота в Хабаровском крае

Л. Н. ЛИПИНА, канд. техн. наук; А. В. ВДОВЕНКО, канд. техн. наук  
Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

*Рассмотрены вопросы рекультивации земель, нарушенных отработкой россыпных месторождений в Хабаровском крае, Тугуро-Чумиканском районе. Показана целесообразность проведения технического этапа рекультивации с последующим вторым этапом естественного самозарастания, что даст существенную экономию труда и средств.*

**Ключевые слова:** Хабаровский край, россыпные месторождения, золото, лесной фонд, рекультивация земель.

Хабаровский край относится к числу крупнейших регионов России по потенциальным ресурсам минерального сырья. Профилирующими для экономики края являются россыпные месторождения золота и платины, месторождения рудного золота, олова, алунита, каменных и бурых углей. Россыпи представляют собой самостоятельную группу месторождений полезных ископаемых, формируемых в результате разрушения и переотложения горных пород и руд под действием различных экзогенных процессов.

Хабаровский край является одним из ведущих регионов Дальневосточного федерального округа (ДФО) по добыче золота (табл. 1).

Чтобы месторождение полезных ископаемых стало объектом деятельности промышленности, его необходимо обнаружить и определить ценность. За-

кон о недрах выделяет прежде всего такой вид пользования недрами, как геологическое изучение недр. Его можно определить как процесс получения информации о недрах, включающий работы по поиску, оценке проявлений промышленно-ценных полезных ископаемых с учетом рационального использования земельных ресурсов. При разработке месторождений происходит истощение природно-ресурсного потенциала, которое выражается в уменьшении запасов природных ресурсов до уровня, не отвечающего потребностям человека, техническим возможностям и нормам безопасности природных систем [2]. Поэтому рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды являются приоритетными задачами в регионе.

Таблица 1

Добыча золота в золотодобывающих регионах ДФО [1]

Субъект ДФО	Добыча золота, т					
	2017 г.			2018 г.		
	Всего	Рудное	Россыпное	Всего	Рудное	Россыпное
Чукотский АО	24,630	22,459	2,171	23,417	20,722	2,695
Амурская область	25,949	17,564	8,385	23,157	14,156	9,001
Республика Саха (Якутия)	24,115	13,971	10,144	30,313	20,969	9,344
Магаданская область	33,164	15,141	18,023	37,850	19,035	18,815
Хабаровский край	24,419	20,225	4,194	27,391	22,809	4,582
Республика Бурятия	5,551	3,490	2,061	5,721	3,296	2,425
Забайкальский край	13,309	4,489	8,820	16,126	7,616	8,510
Камчатская область	6,377	6,230	0,147	5,741	5,693	0,048
Сахалинская область	1,048	0,984	0,064	1,337	1,273	0,064
Приморский край	0,170	0	0,170	0,169	0	0,169
ЕАО	0,62	0	0,62	0,046	0	0,046
Всего по ДФО	159,352	104,553	54,799	171,268	115,569	58,699
Всего по РФ	264,2211	187,636	76,585	281,866	203,644	78,222

Липина Любовь Николаевна, доцент кафедры геодезии и землеустройства.

E-mail: geo-lipina@rambler.ru

Вдовенко Алла Владимировна, доцент, заведующая кафедрой геодезии и землеустройства.

E-mail: 004164@pnu.edu.ru

Статья поступила в редакцию 26 февраля 2020 г.

© Липина Л. Н., Вдовенко А. В., 2020

### Теоретическая и методологическая основа исследования

Методологической и теоретической основой данного исследования послужили научные публикации отечественных и зарубежных ученых, посвященные проблемам рационального природопользования при разработке россыпных месторождений, вопросам обеспечения экологической безопасности, а также материалы научно-практических конференций [3—6].

### Методы и объект исследования

Объектом исследования являются месторождения россыпного золота, расположенные на территории Тугуро-Чумиканского района Хабаровского края (рис. 1).

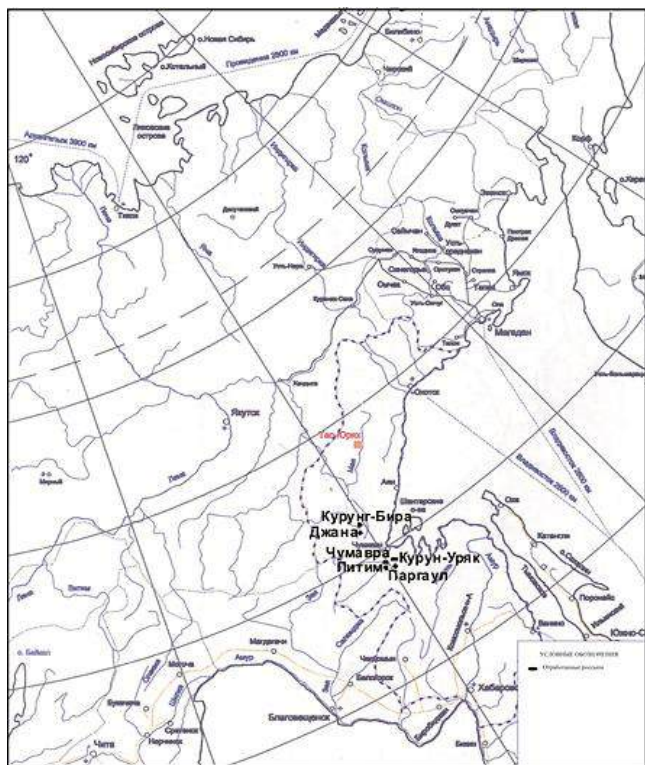


Рис. 1. Местоположение объектов исследования

Тугуро-Чумиканский район является наиболее удаленной и труднодоступной в транспортном отношении территорией Хабаровского края. От краевого центра его отделяет расстояние более чем в 1,5 тыс. км, а до ближайшей железнодорожной станции — Комсомольска-на-Амуре — 1100 км бездорожья.

Рельеф представлен сложным сочетанием самых разнообразных форм, среди которых господствующее положение занимают горы. Климат района носит ярко выраженный муссонный характер. В период с октября по февраль господствуют ветры западного и юго-западного направления, в остальное время года преобладают ветры северо-восточного и восточного направления. На формирование климата оказывают влияние холодное Охотское море, а также сложный рельеф. Район приравнен к районам Крайнего Севера. Гидрография представлена довольно густой сетью небольших рек и ручьев, а также многочисленными пойменными озерами и болотами. К числу

наиболее значительных рек района относятся реки Уда и Тугур, зеркала озер по площади невелики, не более 100 га.

Экономика района базируется на запасах полезных ископаемых, лесных ресурсах, водных и наземных биоресурсах.

Легкодоступные богатые россыпные месторождения в районе практически отработаны, в эксплуатацию вводят труднообогатимые и техногенные месторождения, среднее содержание золота в которых не превышает 0,2—0,5 г/м<sup>3</sup> [7]. Воздействие добычи россыпного золота на локальные участки речных долин состоит в полном уничтожении биотической части биоценозов и геоморфологической трансформации русел, днищ и склонов долин.

Использование земельных ресурсов в целях разработки полезных ископаемых (в том числе россыпей) и их восстановления регулируется законами РФ [8—10] и другими нормативными правовыми актами Российской Федерации. Законодательство РФ обязывает проводить рекультивацию, которой подлежат нарушенные земли всех категорий, а также прилегающие земельные участки, полностью или частично утратившие продуктивность.

Предприятия, получившие право на разработку россыпных месторождений, обязаны за свой счет приводить нарушенные земли в состояние, пригодное для их дальнейшего использования. Чем быстрее и качественнее будут восстановлены земли (выполнена рекультивация), изъятые в основном из лесного фонда, тем меньший ущерб понесут природа и общество.

Выбор технологии проведения рекультивационных работ определяется в первую очередь способом освоения нарушенных земель, а также горнотехническими условиями территории, технологией вскрышных и отвальных работ. Планировка поверхности нарушенных земель является важнейшей составной частью работ по рекультивации. Ее необходимо проводить в соответствии с принятым направлением рекультивации. Процесс восстановления земель разделен на два этапа: горно-технический и биологический [11].

Для расчета объема рекультивационных работ одним из показателей рекультивации служит коэффициент рекультивации, который рассчитывают как отношение площади земель, подлежащих рекультивации, к общей площади нарушенных земель. Производственными, научными организациями изучен и определен комплекс инженерно-технических и биологических мероприятий по воссозданию на землях, нарушенных горными работами, первоначального ландшафта [12—14], но все больше исследователей склоняется к естественному восстановлению биогеоценозов (самозарастание) [15, 16] на землях, нарушенных при разработке россыпей. Это позволяет оставлять под естественное зарастание полигоны, удаленные от населенных пунктов, после проведения минимального объема горно-технической рекультивации, что обеспечивает существенную экономию затрат и средств, учитывая, что район приравнен к районам Крайнего Севера. При разработке месторождений нарушаются мерзлотно-грунтовые природные условия, что благоприятно отражается на процессе самозарастания.

### Результаты и обсуждение

Промышленная разработка россыпей в Тугуро-Чумиканском районе связана с отчуждением из государственного лесного фонда значительных площадей земельных угодий, нарушением их горными работами и загрязнением промышленными стоками вод прилегающих речных систем и водоемов. Нарастание темпов горно-добычных работ в этом регионе способствует масштабному мощному загрязнению поверхностных водотоков (взвесь, тяжелые металлы, нефтепродукты и т. д.), на территории происходит почти полное уничтожение наиболее продуктивных лесных земель.

Отчуждение для промышленных нужд земельных угодий, особенно из числа пригодных для ведения лесного хозяйства (рис. 2), причиняет определенный ущерб народному хозяйству региона. Этому ущербу противостоит эффект от использования изъятых земельных участков по новому назначению (извлечение из недр минерального сырья). Данное обстоятельство является приоритетным.

Фрагмент Джанского бассейна

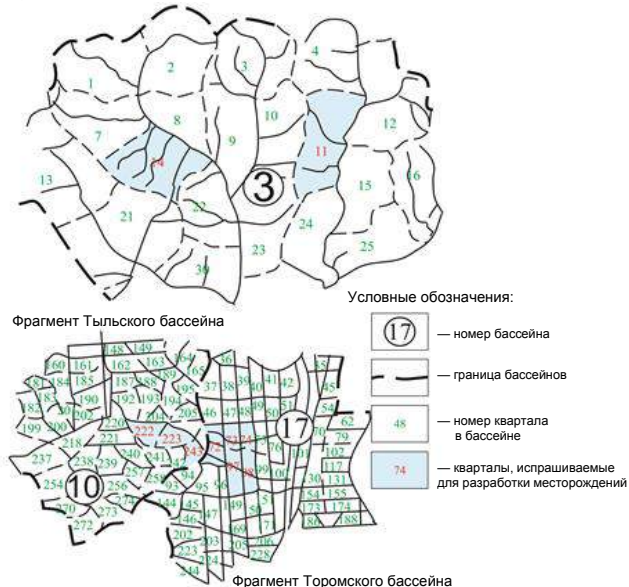


Рис. 2. Карта-схема размещения месторождений россыпного золота на землях лесного фонда

Использование лесных участков для разработки месторождений полезных ископаемых осуществляют в соответствии со статьей 43 Лесного кодекса Российской Федерации [17], лесным планом субъекта Российской Федерации и лесохозяйственным регламентом лесничества. При использовании лесов для разработки месторождений полезных ископаемых на землях лесного фонда допущены строительство, реконструкция и эксплуатация объектов, не связанных с созданием лесной инфраструктуры. Строительство, реконструкцию и эксплуатацию таких объектов осуществляют в соответствии с Проектом освоения лесов.

Для разработки месторождений Чумавра, Паргаул, Курунг-Бира, Курунг-Бира, Джана Тугуро-Чумиканского района из Чумиканского лесничества отчуждены: ручей Чумавра (80,1 га; кварталы 222, 223, 243 Тылъского бассейна), ручей Паргаул (95,7 га; кварталы 72, 73, 74, 97, 98 Торомского бассейна), ручей Курун-

Уряк (37,0 га; кварталы 55, 56, 57 Торомского бассейна), ручей Курунг-Бира (3,4 га; кварталы 11 Джанского бассейна), река Джана (24,8 га; квартал 14 Джанского бассейна) (рис. 1, 2). В общей сложности отчуждено более 241 га продуктивных земель лесного фонда. На нарушенных участках почвенный покров представлен болотистыми, иловато-дерново-слоистыми почвами речных долин. Характерными особенностями почвы являются ее малая мощность (до 0,1 м) и каменистость. Растительность представлена в основном хвойным лесом с преобладанием лиственницы.

Подлежащие отработке россыпи характеризуются простым строением. Средняя мощность торфов 4,06 м, песков — 0,95 м. Вскрышу торфов производят со сплошным выездом под углом 12° с выкладкой по обе стороны полигона в отвалы треугольной формы со средней высотой 6—8 м. Используется открытая технология разработки россыпей — гидравлический (гидромеханизированный) способ.

При гидравлической разработке отбойку и размыв песков в забое, их перемещение к промывочной установке и промывку, а также укладку хвостов в отвалы осуществляют водным потоком. Использование на горных работах энергии напорной воды позволяет соединить в единый технологический процесс все основные виды работ, выполняемые при разработке россыпи. Процесс гидравлической разработки включает осушение россыпи, вскрытие, подготовительные работы, добычные работы. Вскрытию россыпи предшествуют работы по осушению. Сущность этих работ состоит в проходке руслоотводных, нагорных и водосточных канав, а также в увязке размещения крупных гидроотвалов и водоотстойников с работами по предохранению рек от загрязнения сточными водами.

Почвенные и ливневые воды, скапливающиеся в разрезе, отводят по водосточной капитальной канаве либо откачивают землесосом или элеватором совместно с гидросмесью и подают на шлюзы.

Для создания доступа к эксплуатационному горизонту и подачи песков к промывочной установке проходят вскрывающие выработки (выносные каналы, штольни, котлованы), в которых устанавливают оборудование для размыва и транспортирования песков (рис. 3). До этого выполняют ряд работ по очистке поверхности россыпи от кустарников, пней, старой крепи, по предохранению промышленных площадей полигона от сезонного промерзания и оттаивания многолетней мерзлоты и по предварительному удалению вскрышных пород.

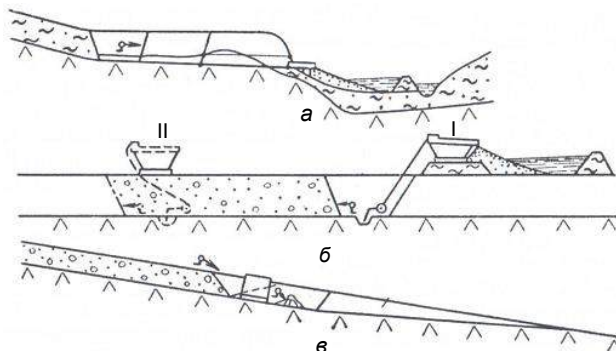


Рис. 3. Схема вскрытия россыпи при гидравлическом способе разработки:

а — вскрытие выносной канавой и штольней; б — вскрытие котлованом; в — вскрытие канавой и котлованом

Очистку поверхности полигона производят на всей площади и в полосе отчуждения с удалением леса, кустарника и растительного слоя за пределы границы россыпи примерно на 5—20 м в зависимости от использования борта разреза для прокладки водопровода, линии электропередачи, установки шлюзов, подъездных дорог и т. д.

Вскрышные работы производят с помощью гидравлического оборудования, бульдозеров, скреперов и экскаваторов. Доступ к верхнему горизонту россыпи, представленному вскрышными породами, осуществляют при бортовом вскрытии с размещением пустых пород на бортах разреза либо вскрытием без выработок с размещением отвалов в выработанном пространстве.

Добычные работы при гидравлической разработке включают сплошной размыв пласта песков, перемещение их к землесосу или гидроэлеватору, транспортирование к промывочной установке, зачистку плотика, промывку песков, отвалообразование, водоснабжение, а также комплекс вспомогательных работ (передвижка гидромониторов и трубопроводов, уборка валунов, старой крепи, рыхление мерзлоты, удлинение выносных канав и т. д.). Промывка песков и отвалообразование завершают технологический цикл добычных работ. Следует отметить, что необходимо стремиться к такой технологии добычных работ, при которой деградация земель будет минимальной.

В связи с этим для обеспечения эффективной разработки россыпей возникает необходимость проведения комплекса подготовительных работ, которые, как правило, должны опережать очистную выемку и выполняться с учетом особенностей последующей рекультивации площадей земельного отвода по выбранному направлению. Учитывая экономическую неэффективность использования в народном хозяйстве после отработки россыпей в этом районе, следует принять санитарно-гигиеническое направление рекультивации с соблюдением этапов работ (рис. 4).



Рис. 4. Этапы проведения рекультивации

I этап — *Горно-техническая рекультивация* — представляет собой создание рельефа поверхности с применением различной техники (бульдозеров, скреперов и т. д.). Выравнивание поверхности должно быть таким, чтобы удовлетворять нулевому балансу земляных работ, а профиль спланированного рельефа должен иметь правильные геометрические контуры при разности отметок между смежными участками не более 5 м и обладать односторонним или двусторонним уклоном в виде пологой лощины

во избежание заболачивания. Объемы основных работ по рекультивации земель показаны в табл. 2.

Таблица 2

Объемы рекультивации по россыпным месторождениям

Название месторождения	Объемы рекультивации			
	вскрышных отвалов, тыс. м <sup>3</sup>	эфельных отвалов, тыс. м <sup>3</sup>	принято, тыс. м <sup>3</sup>	возврат земель, га
Чумавра	36,0	28,5	65,0	51,0
Питим	18,0	13,0	30,0	29,1
Паргаул	40,5	46,5	85,0	95,7
Курун-Уряк	33,5	28,5	65,0	37,0
Курунг-Бира	2,0	1,5	5,0	3,4
Джана	30,5	22,5	50,0	24,8
Итого	160,0	140,0	300,0	241,0

Проведение засыпки и планировки:

- захоронение отстойников, производимое в виде насыпи шириной 20 м и мощностью 1 м в начале от места стоянки промывочного прибора до уреза фактической высоты нижней плотины, выполненной в направлении аварийного слива;
- засыпка нагорных и руслоотводных каналов в целях дальнейшего использования рекультивируемых земель, а также уменьшения количества сбрасываемых взвешенных веществ в основное русло рек (не производится);
- планировка внутренних бортов разрезов до угла естественного откоса пород в разрыхленном состоянии;
- планировка внешних бортов отвалов вскрыши до угла естественного откоса пород в разрыхленном состоянии;
- рекультивация подъездных тракторных и автомобильных дорог (не производится).

В результате выполнения перечисленных работ рекультивируемая площадь будет подготовлена ко II этапу рекультивации.

II этап — *Биологическая рекультивация* — проводится после завершения горнотехнической рекультивации. В исследуемом районе авторы предлагают исключить биологический этап рекультивации, оставив полигоны под естественное самозарастание. Этот прием уместен там, где участки работ удалены от населенных пунктов и разработки ведут в верховьях ручьев и рек. При самозарастании полигонов видами травяной растительности из естественной флоры являются луговая овсяница, ползучий пырей, кипрей и т. д.

Конечным результатом процесса самозарастания являются фитоценозы, близкие к зональным, формирование которых за счет жестких эдафических условий задерживается на первых этапах (вселение, экотопический отбор и т. д.). Дальнейшее их разрастание и появление подроста показывает начало восстановления исходной растительной ассоциации и облесения участка. Пионерные растения (кипрей узколистный, хвощ и другие) служат индикаторами темпов и стадий зарастания, их появление на нарушенном субстрате означает начало естественного самозарастания и почвообразования. Самозарастание начинается после 3—5-летнего периода и закан-



чивается к 10—15 годам в низинно-равнинной местности.

В условиях дальнейшего развития разработки россыпных месторождений в этом регионе следует повысить внимание к бережливому отношению, комплексному использованию земель лесного фонда.

В табл. 3 приведены данные по месторождениям россыпного золота Тугуро-Чумиканского района Хабаровского края, которые будут распределены горным предприятиям согласно действующему законодательству (нераспределенный фонд недр по состоянию на 01.01.2017 г.).

Из табл. 3 видно, что добычу золота из россыпей планируют вести открытым раздельным способом. Многие вовлекаемые в отработку россыпи в той или иной мере являются техногенными, так как затронуты разработками прошлых лет, а также старых техногенных россыпей, отработанных в начале прошлого века и ранее. Геологическое строение техногенных россыпей имеет свои особенности, которые целесообразно рассмотреть и учесть при выборе направления горно-технической рекультивации при их разработке.

## Заключение

Рассмотренные вопросы рекультивации земель, нарушенных горными работами при разработке россыпей в Тугуро-Чумиканском районе, показали целесообразность проведения технического этапа рекультивации с последующим этапом естественного самозарастания, что даст существенную экономию труда и средств. Следует отметить, что вовлекаемые в отработку техногенные россыпи создают наиболее опасное вторичное загрязнение окружающей среды, в основном связанное с накоплением металлической или метиллированной ртути в перемытых песках и в аллювиальных отложениях речных долин из-за использования раньше технологии извлечения металла — амальгамации (уже не используется). Поэтому необходим новый подход в рассмотрении вопросов рекультивации техногенных россыпей. Наибольшая опасность состоит в широком распространении воздействий по речной сети высокотоксичного ртутного загрязнения, что несет угрозу сокращения ареалов видов, сообществ, в том числе к частичной деградации водотоков.

Таблица 3

Месторождения россыпного золота Тугуро-Чумиканского района Хабаровского края: нераспределенный фонд недр по состоянию на 01.01.2017 г. [18]

Месторождение	Расположение	Способ разработки	Запасы баланс.		Запасы забаланс.		Примечания
			золото, кг	содержание, мг/м <sup>3</sup>	золото, кг	содержание, мг/м <sup>3</sup>	
Обещанный	Прав. приток р. Джана	Раздельный	52	1268			
Кабарга	Лев. приток р. Джангин	То же	67	2918	95	488	Рекомендован перерасчет запасов
Джана	Лев. приток р. Уда	— " —	57	1267			
Ампардак	Лев. приток р. Джана	— " —	30	1034			
Курумкан	Лев. приток р. Эльга	— " —	132	1079			Рекомендован перерасчет запасов
Три бродяги	Приток руч. Муриля	— " —	142	1527			
Утанак	Бассейн р. Чогар	— " —	148	860			Рекомендован перерасчет запасов
Сивак (бассейн Наму)	Прав. приток р. Наму	— " —	54	740			
Дерагин	Прав. приток р. Наму	— " —	10	1000	52	896	Подана заявка в 2017 г.
Егоконга	Лев. приток р. Уда	— " —	72	613			Запасы пересчитаны. Ресурсы Р <sub>1</sub> = 84 кг. Рекомендовано к освоению
Правая Егоконга	Прав. приток р. Егоконга	— " —	80	671			Запасы пересчитаны в 2015 г. Рекомендовано к освоению
Угахан (Угохан)	Прав. приток р. Шевли	— " —	159	513	19	350	Лицензировано в 2017 г. Ресурсы Р <sub>1</sub> = 292 кг
Сородо	Прав. приток р. Милькан	— " —	115	827	2	317	Подана заявка в 2017 г.
Безыманный	Лев. приток р. Мал. Эльга	— " —	40	1203			Подана заявка в 2017 г.
Гиляк (бассейн залива Константина)	Тугурский п-ов, бассейн залива Константина	— " —	33	805	3	406	Запасы пересчитаны в 2015 г.
Большая Делья	Впадает в Тугуровский залив	— " —	126	1801			

## ЛИТЕРАТУРА

1. Добыча золота в регионах России за 2017 и 2018 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://zolotodb.ru/article/12047> (дата обращения: 08.01.2020).
2. **Краденых И. А., Барчуков А. В.** Повышение эффективности золотодобычи на основе горизонтальной интеграции. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. — 160 с.
3. **Рассказов И. Ю., Литвинцев В. С., Мирзеханов Г. С., Банщикова Т. С.** Приоритетные направления освоения техногенных комплексов рудно-россыпных месторождений // Недропользование XXI век. 2016. № 1. С. 46—55.
4. **Мирзеханова З. Г., Мирзеханов Г. С., Литвинцев В. С.** Ретроспективный анализ формирования ресурсно-экологических проблем при отработке россыпных месторождений золота // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35. № 2. С. 94—106.
5. **Shlyenov Yu. V., Bredikhina O. V., Kozin M. N., Vasyutkina L. V., Guchok Zh. L., Epishkin I. A.** Methodological approach to the assessment of socio-economic development of the region // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. V. 10. № 2. P. 911—919.
6. **Колесников Б. П., Моторина Л. В.** Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах: программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. — М.: Наука, 1978. С. 5—21.
7. **Литвинцев В. С., Ван-Ван-Е А. П., Александрова Т. Н., Корнеева С. И.** Направления развития золотодобычи на Дальнем Востоке России // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 11-1. С. 293—302.
8. Земельный Кодекс РФ 2011 (ред. от 25.12.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_33773](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773) / (дата обращения: 2019).
9. Закон РФ "О Недрах" от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019).
10. Закон РФ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция).
11. ГОСТ 17.5.1.01.-83 Охрана природы (ССОП). Рекультивация земель. Термины и определения.
12. **Крупская Л. Т.** Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приазовья. — Хабаровск, 1992. — 149 с.
13. **Kalin M.** Ecological engineering: evidence of an able concept: Fudam. and Appl. Biohydromet., Proc. 6 Int. Symp. Biohydromet. Vancouver, Aug. 21—24, 1985. — Amsterdam, 1986. P. 489—490.
14. **Гаджиев И. М., Курачев В. М., Андроханов В. А.** Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель. — Новосибирск: ЦЭРИС, 2001.
15. **Капелькина Л. П.** О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера // Успехи современного естествознания. 2012. № 11-1. С. 98—102.
16. **Усиков В. И., Липина Л. Н.** Оценка геоэкологической ситуации в районе Малого Хингана по данным дистанционного зондирования земной поверхности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 2. С. 154—160. DOI: 10.15372/FTPRP20180217.
17. Лесной кодекс РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2019).
18. Месторождения россыпного золота Хабаровского края, нераспределенный фонд недр по состоянию на 01.01.2017 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tfidvfo.ru/msb/ros-nf-khab.htm> (дата обращения: 05.01.2020).

## To the issue of reclamation of man-made placers in the Khabarovsk Territory

**L. N. LIPINA, A. V. VDOVENKO**  
Pacific National University, Khabarovsk, Russia

*The article deals with the issues of land reclamation, disturbed after the development of alluvial deposits in the Khabarovsk Territory, Tuguro-Chumikansky District. The expediency of carrying out the technical stage of reclamation with the subsequent second stage is shown — natural self-growth, which will give significant savings in labor and money.*

**Keywords:** Khabarovsk Territory, alluvial deposits, gold, forest fund, land reclamation.

Bibliography — 18 references.

Received February 26, 2020



УДК 632.152

## Загрязнение снежного покрова в 30-километровой зоне электрометаллургического завода ООО "НЛМК-Калуга"

Д. Н. КУРБАКОВ; В. К. КУЗНЕЦОВ, д-р биол. наук; Е. В. СИДОРОВА;  
Н. В. АНДРЕЕВА; Н. В. НОВИКОВА; А. В. САРУХАНОВ

ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, г. Обнинск, Калужская обл., Россия

*Проведена оценка загрязнения снежного покрова в 30-километровой зоне воздействия электрометаллургического завода ООО "НЛМК-Калуга". В результате исследований определены полиэлементный состав твердой фракции, пылевая нагрузка, приток тяжелых металлов, коэффициенты концентрирования и суммарные показатели загрязнения тяжелыми металлами, а также катионный и анионный составы талых вод снега. Показано, что интенсивность загрязнения подстилающей поверхности в зимний период времени зависит от характера производственной деятельности предприятия, направления и расстояния от источника загрязнения.*

**Ключевые слова:** мониторинг, промышленные предприятия, экосистемы, тяжелые металлы, снежный покров, черная металлургия.

Интенсивное развитие промышленности в Российской Федерации ведет к загрязнению окружающей среды. При этом техногенное загрязнение окружающей среды — один из наиболее значимых факторов, дестабилизирующих природные и аграрные экосистемы. Основными источниками загрязнения воздушного бассейна сажей, пылью, полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) и тяжелыми металлами (ТМ) являются предприятия металлургии, тепловые электростанции, бытовые печи, работающие на угле, и т. д. [1, 2].

Среди специфических загрязняющих веществ в воздушном бассейне промышленного производства главное место занимают металлы, большинство которых относят к первому и второму классу опасности. Техногенные выбросы ТМ в виде аэрозолей поступают в атмосферу и переносятся, провоцируя глобальное загрязнение. С гидрохимическими стоками часть их попадает в водоемы, скапливается на дне и в плодородном слое почвы, а далее по пищевой цепочке доходит до человека. Воздействие ТМ связано как с прямым загрязнением продукции, ограничивающим ее использование, так и с токсическим действием на почвенные микроорганизмы, растения и животных. Негативное влияние ТМ на человека

проявляется не только в прямом воздействии высоких концентраций, но и в отдаленных последствиях, связанных со способностью многих металлов переходить по пищевым цепочкам и аккумулироваться в организме.

В связи с этим в зонах воздействия промышленных предприятий необходимо постоянное проведение оценки содержания ТМ в атмосферном воздухе, почвах, сельскохозяйственных растениях и продукции сельского хозяйства.

Электрометаллургический завод ООО "НЛМК-Калуга" расположен в Калужской области в 70 км от Москвы. Физический пуск произведен в 2013 г. Проектная мощность предприятия составляет 1,6 млн т/г. жидкой стали и 1,5 млн т/г. проката. Предприятие состоит — из двух основных цехов: сталеплавильного и прокатного, а также ряда вспомогательных цехов [3, 4]. Природоохранное оборудование, используемое на заводе, позволяет обеспечить показатели на уровне менее 2 кг выбросов на тонну произведенной стали, из которых 93 % представлены газообразной фазой, а на долю твердых веществ (пыль с оксидом железа) приходится около 7 % [3—5].

Из множества различных методов оценки состояния атмосферного воздуха одним из самых простых и доступных является мониторинг снежного покрова [6, 7]. Этот метод относительно дешевый и служит информативным индикатором загрязнения выбросов промышленных предприятий, автотранспорта в зимний период. Снег обладает высокой сорбционной способностью, не активен ни в химическом, ни в биологическом отношении и является носителем не только влажных, но и сухих выпадений, поэтому дает объективную оценку всех атмосферных загрязнений за зимний период [7, 8].

Цель данной работы — изучение загрязнения снежного покрова в 30-километровой зоне воздействия электрометаллургического завода ООО "НЛМК-Калуга" и проведение анализа полиэлементного состава загрязнения выбросов металлургических предприятий.

**Курбаков Дмитрий Николаевич**, научный сотрудник.

E-mail: kurbakov007@gmail.com

**Кузнецов Владимир Константинович**, ведущий научный сотрудник.

E-mail: vkuzn@yandex.ru

**Сидорова Елена Валентиновна**, научный сотрудник.

E-mail: sidelena@yandex.ru

**Андреева Наталья Викторовна**, научный сотрудник.

E-mail: NVA2803@yandex.ru

**Новикова Наталья Васильевна**, младший научный сотрудник.

E-mail: kurbakov007@gmail.com

**Саруханов Артем Владимирович**, младший научный сотрудник.

E-mail: mrrino2008@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18 марта 2020 г.

© Курбаков Д. Н., Кузнецов В. К., Сидорова Е. В., Андреева Н. В., Новикова Н. В., Саруханов А. В., 2020

Задачи исследований:

- определение характера загрязнения и поли-элементного состава твердой и жидкой фракций снежного покрова;
- оценка степени воздействия выбросов электрометаллургического завода на подстилающую поверхность в зимний период времени на разном расстоянии от источника загрязнения и в разных направлениях;
- оценка пылевой нагрузки и показателей суммарного загрязнения снежного покрова;
- общая санитарно-гигиеническая оценка загрязнения снежного покрова.

### Материалы и методы

Объектом исследований являлся снежный покров наземных экосистем, входящих в 30-километровую зону воздействия электрометаллургического комбината ООО "НЛМК-Калуга", который согласно архиву погоды сайта [gr5.ru](http://gr5.ru) начал формироваться с 30 ноября [9]. Отбор проб был проведен 6 марта при температуре от 0 до +1 °С. Общий период времени от начала снеговосста до дня отбора составил 103 сут. Пробы отобраны с 10 площадок в разных направлениях и на разном удалении от района размещения "НЛМК-Калуга".

Аналитические показатели загрязненных площадок отбора снежного покрова сравнивали с фоном для подтверждения воздействия промышленного объекта. Следует отметить, что в условиях общепланетарного загрязнения фоновыми считают не зоны отсутствия антропогенного воздействия, а территории с проявлением такого воздействия в минимальной степени. За фоновое содержание принимают средние статистические данные о концентрации рассеянных элементов в чистых или условно чистых почвах региона [7]. С ними сравнивают концентрации соответствующих микроэлементов в целях обнаружения нормального, повышенного или пониженного их содержания. В связи с этим в качестве фонового использовали участок, расположенный на расстоянии 23 км от основного источника загрязнения (рис. 1).

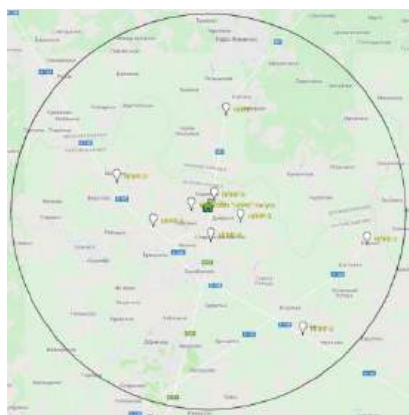


Рис. 1. Схема отбора проб снежного покрова в 30-километровой зоне воздействия "НЛМК-Калуга" ( $D = 20$  км)

При отборе образцов снега учитывали розу ветров, а также расстояние от основных источников загрязнения. Пробоотбор проводили методом шурфа на всю мощность снежного покрова за исключением

5-сантиметрового слоя над почвой со стороны 50×50 см и глубиной шурфа от 35 до 45 см. Вес проб составлял 15—25 кг, что позволяло получать при медленном оттаивании в лабораторных условиях 8—20 л воды.

Твердую и жидкую фракции разделяли фильтрованием через беззольные фильтры с диаметром пор 2 мкм. При этом количество атмосферной пыли, осаждаемой на поверхность снежного покрова, рассчитывали по разнице массы фильтра до и после фильтрования. Определение элементов проводили методом атомной спектроскопии в индуктивно-связанной плазме (ICP-OES).

Для оценки содержания ТМ в растворимой фракции и твердом осадке снега использовали коэффициенты техногенной концентрации ( $K_c$ ) по сравнению с фоном [7]:

$$K_c = C_i / C_{K1}, \quad (1)$$

где  $K_c$  — коэффициент концентрации;

$C_i$  — концентрация элемента в твердом осадке снега, отобранного на пробных площадках;

$C_{K1}$  — концентрация элемента в твердом осадке снега фоновой территории ( $K1$ ).

Для определения степени полиэлементного загрязнения снежного покрова рассчитывали суммарный показатель загрязнения [20]:

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n - 1), \quad (2)$$

где  $Z_c$  — показатель суммарного загрязнения;

$K_{ci}$  — коэффициенты концентрации элементов;

$n$  — число определяемых ТМ.

На основе экспериментальных данных проводили расчет величины пылевой нагрузки  $P_n$  (в мг/м<sup>2</sup> сут):

$$P_n = P_0 / S t, \quad (3)$$

где  $P_0$  — вес твердого снежного осадка, мг;

$S$  — площадь снежного шурфа, м<sup>2</sup>;

$t$  — число суток от начала снеговосста до дня отбора проб, сут.

Расчет среднесуточного притока ТМ  $P_{об}$  (мг/(км<sup>2</sup>·сут)) с пылевыми взвешенными частицами в атмосферном воздухе на снежный покров осуществляли следующим образом:

$$P_{об} = C P_n, \quad (4)$$

где  $C$  — содержание элемента в твердом осадке снега, мг/кг;

$P_n$  — пылевая нагрузка кг/(км<sup>2</sup>·сут).

Для сопоставления полученных данных с характеристикой пылевых выпадений на фоновой территории рассчитывали коэффициент относительной пылевой нагрузки элемента  $K_p$ :

$$K_p = P_{об} / P_{пф}, \quad (5)$$

где  $P_{пф} = C_{ф} \cdot P_{пф}$  — нагрузка элемента в составе твердых выпадений на фоновой территории;

$C_{ф}$  — фоновое содержание исследуемого элемента;

$P_{пф}$  — пылевая фоновая нагрузка.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программных пакетов Microsoft Excel и Statistica 10.0. Парагенетические ассоциации элементов с общими областями накопления и выноса выделяли с помощью кластерного анализа (алгоритм Single Linkage), сходство в поведении элементов оценивали коэффициентами корреляции  $r$ .

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований выявлено 9 химических поллютантов (Fe, Cr, Zn, Mn, Ni, Co, Pb, Cu, Cd), накопление которых в снежном покрове обследуемой территории превышает фоновые показатели (табл. 1). Данный набор элементов характерен для производства черных металлов с производством легированной стали. При этом в растворимом виде содержание ТМ представлено в микроконцентрациях, а основное их количество содержится в виде труднорастворимых соединений, которые могут быть потенциально опасными для живых организмов и доступными для растений в результате изменения кислотности почвенных растворов или воздействия микроорганизмов.

Какой-либо четкой закономерности в распределении концентраций водорастворимой фракции ТМ относительно места отбора не наблюдается. Однако прослеживается тенденция более высоких уровней содержания ТМ в жидкой фракции снежного покрова ближней зоны воздействия "НЛМК-Калуга".

По результатам исследования рассчитан коэффициент техногенной концентрации ТМ в снежном покрове. Пыль и другие формы ТМ являются существенным источником загрязнения снежного покрова.

Следует отметить, что ТМ имеют различную мобильность и из факела выброса промышленных предприятий распространяются на разные расстояния. При распределении ТМ по фракциям аэрозолей соблюдается следующая закономерность: петрогенные элементы и элементы с относительно высокими

кларками (Fe, Al, Si, Mn, Cu, Zn, Cr) связаны преимущественно с мелко- и крупнодисперсными аэрозолями (0,5—2,0 мкм и более), а более токсичные элементы с низкими кларками (Cd, Pb, Sb, As, Hg) находятся в субмикронной или газовой фазах [10]. Мельчайшие фракции аэрозоля имеют низкие скорости осаждения и высокую миграционную способность, что приводит к их более дальнему трансграничному распространению.

По результатам исследований 30-километровой зоны вокруг ООО "НЛМК-Калуга" наблюдали неравномерное распределение в снежном покрове нерастворимой фракции металлов, поступивших в атмосферу из источника загрязнения, что можно объяснить расстоянием от источника загрязнения, погодными условиями (сила и направление ветра), рельефом местности, технологическими факторами и т. д. При этом максимальные концентрации ТМ выявлены на расстоянии 1000—3000 м от электрометаллургического комбината, что подтверждает расчеты М. Е. Берлянда [11], согласно которым значительная концентрация выбросов создается в приземном слое атмосферы на расстоянии 10–40 высот трубы.

Основная часть выпадений происходит в ближней 3,5-километровой зоне, максимальные концентрации наблюдаются в преобладающем по розе ветров северном направлении на расстоянии 1,2 км (табл. 2). С увеличением расстояния пылевая нагрузка снижается (рис. 2).

Наименьшим загрязнением снежного покрова характеризуется фоновая площадка (№ 1), расположенная в южном направлении на расстоянии 23 км от источника загрязнения.

В зависимости от расстояния вокруг ООО "НЛМК-Калуга" можно выделить зоны воздействия на окружающую среду, в которых среднее превышение содержания ТМ относительно фона варьирует в значительной степени: зона I (1—3 км) — превышение содержания ТМ над фоном до 8, зона II (3—6 км) — до 2,6 и зона III (6—10 км) — до 1,5 раз.

Таблица 1

Химический состав твердой и жидкой фракций снежного покрова зоны воздействия "НЛМК-Калуга"

№	Направление; расстояние, км	Содержание тяжелых металлов в фильтрате снежного покрова, мг/кг							
		Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn
1	Ю-З; 22,8	*1,44	4,62	18,8	232,8	35,3	16,87	22,2	637,7
		**0,0003	0,0006	0,0016	0,0017	0,0007	0,0010	0,0012	0,0013
2	Ю-В; 15,8	3,9	6,1	58,1	593,4	68,1	29,9	36,7	537,5
		0,0003	0,0007	0,0024	0,0016	0,0021	0,0017	0,0023	0,0020
3	В; 16,5	3,66	8,41	58,3	560,1	67,8	30,9	34,5	496
		0,0001	0,0006	0,0022	0,0018	0,0021	0,0028	0,0028	0,0013
4	Ю; 3,0	2,88	5,56	47,8	747	120	20,3	101,9	1397
		0,0003	0,0011	0,0030	0,0072	0,0086	0,0023	0,0028	0,0051
5	В; 3,5	2,4	2,8	56,0	728	153,8	31,4	162,6	1504
		0,0005	0,0008	0,0044	0,0052	0,0017	0,0012	0,0018	0,0040
6	С; 1,2	5,95	7,43	120,1	664,1	222,1	41,0	178,3	1635
		0,0002	0,0017	0,0044	0,0204	0,0035	0,0029	0,0035	0,0115
7	С-В; 9,8	4,9	7,36	60,8	638,9	71,2	33,4	41,3	615,5
		0,0005	0,0009	0,0017	0,0040	0,0028	0,0022	0,0022	0,0031
8	Ю-З; 5,8	2,24	5,19	52,1	762	156	42,3	113,7	1342,5
		0,0002	0,0010	0,0017	0,0060	0,0032	0,0011	0,0021	0,0024
9	С-З; 9,8	3,11	8,4	83,5	694,2	124,2	42,7	77,1	488,3
		0,0005	0,0010	0,0007	0,0062	0,0028	0,0013	0,0021	0,0020
10	З; 1,6	5,6	8,6	110,3	1103	109,5	62,3	146,3	1604
		0,0002	0,0012	0,0027	0,0041	0,0058	0,0017	0,0020	0,0081

\* — твердая фракция; \*\* — жидкая фракция.

Таблица 2

Коэффициенты техногенной концентрации тяжелых металлов  
в снежном покрове относительно фона

№	Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,71	1,33	3,09	2,55	1,93	1,77	1,65	0,84	0,99
3	2,54	1,82	3,10	2,41	1,92	1,83	1,55	0,78	1,06
4	2,00	1,20	2,54	3,21	3,40	1,20	4,59	2,19	2,08
5	1,67	0,61	2,99	3,12	4,36	1,86	7,32	2,36	2,18
6	4,13	1,61	6,38	2,85	6,29	2,43	8,03	2,58	5,97
7	3,40	1,59	3,23	2,74	2,02	2,00	1,86	0,97	1,90
8	1,56	1,12	2,77	3,27	4,42	2,51	5,12	2,10	2,72
9	2,16	1,82	4,44	2,98	3,52	2,52	3,47	0,76	1,19
10	3,89	1,86	5,87	4,74	3,10	3,69	6,59	2,52	4,00
Сред. знач.	2,67	1,44	3,82	3,10	3,44	2,20	4,46	1,68	2,45

Оценку уровня химического загрязнения снежного покрова проводили по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды. К таким критериям относят суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ , который определяется степенью накопления загрязнителей по сравнению с фоновым уровнем. Проведенные расчеты показали, что на всех площадках отбора суммарное загрязнение пылевой фракцией снега находится в диапазоне низких значений (табл. 3).

Таблица 3

Загрязнение пылевой фракцией снежного покрова сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия ООО "НЛМК-Калуга"

Эле- мент	Тяжелый металл, мг/кг*		$K_c = C/C_{\Phi}$	$Z_c$
	Обследуемый участок	Фоновый участок		
Cd	2,4—6,0	1,44	1,56—4,13	<div>8,8—32,2</div> <div>17,2</div>
	3,84		2,67	
Co	2,8—8,6	4,62	0,61—1,86	
	6,6		1,44	
Cu	47,8—120,1	18,8	2,54—6,38	
	71,9		3,82	
Zn	560,1—1103,0	232,8	2,41—4,74	
	721,2		3,10	
Pb	67,8—221,1	35,3	1,92—6,29	
	99,2		3,44	
Ni	20,3—62,3	16,87	1,20—3,69	
	37,1		2,20	
Cr	34,5—162,6	22,2	1,55—8,03	
	99,2		4,46	
Mn	488,3—1604,0	637,7	0,78—2,58	
	1068,9		1,68	
Fe	9163—55066	9218	1,00—5,97	
	22643		2,45	
Суммарный показатель загрязнения снежного покрова $Z_c$			Низкий	32—64
			Средний	64—128
			Высокий	128—256
			Очень высокий	256

\* — в знаменателе среднее значение

С учетом величины пылевой нагрузки проведен расчет среднесуточного притока ТМ с пылевыми взвешенными частицами в атмосферном воздухе на снежный покров, который в большинстве случаев (за исключением площадок № 6 и 10 — средний уровень притока) является низким. Площадки № 6 и 10 располагаются на расстоянии до 2 км от факела выброса, что может являться основной причиной техноген-

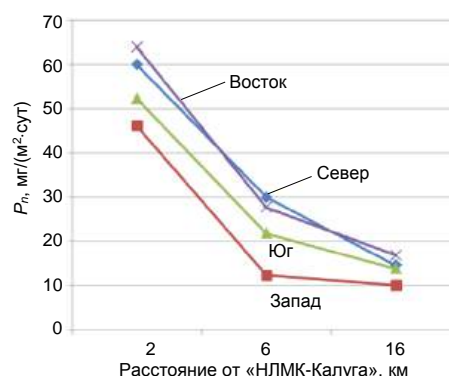


Рис. 2. Пылевая нагрузка ( $P_n$ ) на снежный покров в зависимости от направления и расстояния от "НЛМК-Калуга" (при 100—250 мг/м² нагрузка низкая)

ной нагрузки на данную территорию.

Также стоит отметить, что снег в результате таяния попадает в водоемы и вовлекается в круговорот воды. Для оценки качества талых вод ПДК элементного состава не разработан, в связи с чем авторы ориентировались на ПДК питьевой воды. Установленные значения катионного и анионного составов талых вод в районе электрометаллургического завода на порядок ниже нормированных уровней для питьевой воды (табл. 4).

Таблица 4

Катионный и анионный составы талых вод снежного покрова в зоне воздействия ООО "НЛМК-Калуга", мг/л

№	Катионы			
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
1	1,9 ± 0,6	0,3 ± 0,1	2,4 ± 0,1	0,20 ± 0,01
2	2,0 ± 0,1	0,3 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,18 ± 0,02
3	2,2 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,15 ± 0,01
4	0,6 ± 0,1	0,1 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,14 ± 0,01
5	2,9 ± 0,1	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,14 ± 0,02
6	4,7 ± 0,7	0,5 ± 0,0	0,7 ± 0,0	0,21 ± 0,03
7	1,5 ± 0,2	0,2 ± 0,0	2,1 ± 0,1	0,25 ± 0,01
8	1,9 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,9 ± 0,0	0,18 ± 0,01
9	5,2 ± 1,0	2,1 ± 0,6	0,1 ± 0,0	0,35 ± 0,12
10	3,5 ± 0,5	0,3 ± 0,0	0,9 ± 0,0	0,14 ± 0,02
ПДК	20—80	5—30	70—100	1—10
№	Анионы			
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
1	4,3 ± 0,9	0,29 ± 0,10	0,012 ± 0,002	7,1 ± 1,1
2	6,7 ± 1,3	3,36 ± 0,74	0,030 ± 0,006	5,3 ± 0,9
3	9,5 ± 1,9	7,25 ± 1,59	0,015 ± 0,003	5,3 ± 0,9
4	7,8 ± 1,6	0,4 ± 0,14	0,001 ± 0,0001	1,8 ± 0,3
5	6,7 ± 1,3	6,15 ± 1,35	0,033 ± 0,007	3,5 ± 0,6
6	5,4 ± 1,1	13,43 ± 2,96	0,006 ± 0,001	7,1 ± 1,1
7	6,7 ± 1,3	5,1 ± 1,12	0,052 ± 0,010	7,1 ± 1,1
8	5,2 ± 1,0	4,91 ± 1,08	0,006 ± 0,001	3,5 ± 0,6
9	5,2 ± 1,0	2,09 ± 0,63	0,023 ± 0,005	1,8 ± 0,3
10	6,5 ± 1,2	9,37 ± 1,52	0,016 ± 0,002	5,5 ± 0,8
ПДК	5—30	—	—	70—100

### Заключение

Установлено, что максимальные концентрации загрязнителей и относительно высокие пылевые нагрузки на снежный покров наблюдаются в ближних

зонах воздействия на расстоянии 1—3 км от ООО "НЛМК-Калуга, в которых превышение содержания ТМ по отношению к фоновым показателям может достигать 8 раз.

Основное количество ТМ содержится в форме труднорастворимых соединений, а содержание водорастворимой фракции ТМ в снежном покрове находится в микроконцентрациях. Средний уровень притока тяжелых металлов зафиксирован в ближней 2-километровой зоне воздействия, а на остальной части территории он характеризуется низкими значениями. При этом суммарные показатели загрязнения снежного покрова ( $Z_c$ ) во всех зонах воздействия варьируют в диапазоне 8,8—32,2 и характеризуются низкими значениями.

Катионный и анионный составы талых вод по своим значениям во всех случаях не превышают предельно допустимые показатели, установленные для питьевой воды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2016 г. — Калуга, 2017. — 263 с.

2. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Дата введения 01.07.1991.

3. НЛМК-Калуга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kaluga.nlmk.com/> (дата обращения: 10.10.2019).

4. Индустриальный парк "Ворсино" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://indpark.vorsino.com/> (дата обращения: 20.10.2019).

5. НЛМК сорт. / Реализация проекта по строительству мини-завода (на примере Калужского научно-производственного электрометаллургического завода): Межд. конф. "Проблемы экологии и рационального природопользования стран АТЭМ и пути их решения. — М., 2010.

6. Методические указания "Полевое обследование и картографирование уровня загрязнения почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу". ВАСХНИЛ, Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1980. — 25 с.

7. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. Утв. главным государственным санитарным врачом СССР 15.05.1990 № 5174-90. Главное санитарно-профилактическое управление МЗ СССР. — 16 с.

8. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 25.03.1985 № 774. Дата введения 01.07.1986.

9. Информационно-аналитическая система [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rp5.ru/>

10. Биогеохимические основы экологического нормирования. — М.: Наука, 1993. — 304 с.

11. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат. — 272 с.

## Snow pollution in the 30 km zone of the NLMK-Kaluga LLC electrometallurgical plant

D. N. KURBAKOV, V. K. KUZNETSOV, E. V. SIDOROVA, N. V. ANDREEVA,  
N. V. NOVIKOVA, A. V. SARUKHANOV

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Kaluga region, Russia

*The article is devoted to the assessment of pollution of the snow cover in the 30 km zone of influence of the NLMK-Kaluga electrometallurgical plant. As a result of the studies, the polyelement composition of the solid fraction, dust load, influx of heavy metals, concentration factors and total indicators of pollution by heavy metals, as well as the cationic and anionic composition of snow melt are determined. It is shown that the intensity of pollution of the underlying surface in the winter period of time depends on the nature of the production activity of the enterprise, the direction and distance from the source of pollution.*

**Keywords:** monitoring, industrial enterprises, ecosystems, heavy metals, snow cover, ferrous metallurgy.

**Bibliography** — 11 references.

*Received March 18, 2020*

Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2020. Вып. 2. С. 1—56.

Редактор *О. А. Константинова*

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

Подписано в печать 16.06.2020.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 6,5. Уч.-изд. л. 6,7.

Тираж 250 экз. Заказ 1952.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,

Волоколамское ш., 77. ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntskompass.ru>

Отпечатано в ООО "РАПИТОГРАФ".

117342, Москва, ул. Бутлерова, д. 17Б.

Индекс 80090.