

# ЭКОЛОГИЯ

## промышленного производства



**МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**Выпуск 4  
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 науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

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

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



# ЭКОЛОГИЯ

## промышленного

## производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

Выпуск 4 (112)

Издается с 1993 г.

Москва 2020

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Моисеева А. А., Куксанов В. Ф., Чекмарева О. В. Исследование количественных и качественных показателей содержания металлов в отходах от процесса карбонитрации ..... 2

Пузач В. Г., Шустров Н. Н., Гордеева Е. В., Шитиков Е. С., Вахрушев Л. П., Шацкая В. А. О возможности повышения эффективности производств строительных материалов. Особенности действия добавок, пластифицирующих бетонные смеси ..... 6

Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Доронкина И. Г. Критерии ресурсо- и энергоэффективности при переработке техногенного сырья и оценка его качества (на примере горно-металлургической отрасли) ..... 15

Колосова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение гальванического шлама и диоксида титана в производстве облицовочной керамики ..... 23

#### ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Катин А. В. Повышение экологической безопасности работы трубчатых печей путем оптимизации подбора конструкций газомазутных горелок ..... 28

#### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Масленников А. А., Демидова С. А., Антонов В. А. Сравнительная характеристика опасности загрязнения почвы тротилом и гексогеном ..... 33

Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Бакланов И. О., Маслова Н. В. Влияние загрязнения почв объектов авиационной и космической деятельности на здоровье человека ..... 39

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Доронина О. Д., Рутин Ю. А. Актуальные проблемы уязвимости человека в условиях изменения среды обитания ..... 45

Волынкина Е. П., Марьев В. А., Голуб О. В., Смирнова Т. С. Эко-технопарк в Новокузнецке как пример развития техноэкосистемы и реализации принципов экономики замкнутого цикла ..... 52

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 содей-  
ствия 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. Гирусов, 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 «Фрэком»; 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 промыш-  
ленной политики"; Е. И. Пупырев, д-р техн. наук, проф.,  
генеральный директор ОАО «МосводоканалНИИпро-  
ект»; 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. Тененев, 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

## Исследование количественных и качественных показателей содержания металлов в отходах от процесса карбонитрации

<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

*Проведены качественные и количественные исследования, показывающие содержание металлов в отходах при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей. Для этого использованы метод рентгенофлуоресцентного анализа для получения элементного состава отходов и атомно-абсорбционный метод для определения массовых долей металлов в отходах при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей. Результаты качественного и количественного исследований элементного состава на содержание металлов в образцах показали наличие металлов в отходах и их массовые значения. Сделаны выводы о дальнейшей целесообразности определения компонентного состава таких отходов.*

**Ключевые слова:** отходы, карбонитрация, рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-абсорбционный метод, компонентный состав.

Негативное влияние предприятий машиностроительного комплекса обусловлено образованием различного рода отходов производства. Сложность утилизации либо обезвреживания промышленных отходов заключается в том, что до сих пор не все промышленные отходы идентифицированы, не определен их компонентный состав, и они не включены в Федеральный классификационный каталог отходов. Соответственно предприятия, занимающиеся обезвреживанием (утилизацией) отходов, не могут включить их в свой лицензионный перечень по обработке. Одними из таких отходов являются отходы от

химико-термической обработки деталей — карбонитрации.

Целью данной работы является оценка качественного и количественного содержания металлов в отходе, получаемом при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести исследования качественного элементного состава на содержание металлов в образцах отходов, получаемых при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей;
- провести количественное исследование образцов отходов на содержание металлов;
- дать оценку целесообразности определения наличия металлов при комплексном установлении компонентного состава отходов, получаемых при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей.

В машиностроительной отрасли, для того чтобы обеспечить высокое качество, надежность и долговечность выпускаемой продукции, применения только термической обработки недостаточно. При данной

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

E-mail: moiseeva@zbo.ru

**Куксанов Виталий Федорович**, доцент, профессор кафедры "Экология и природопользование".

E-mail: ecolog@mail.osu.ru

**Чекмарева Ольга Викторовна**, доцент кафедры "Экология и природопользование".

E-mail: ecolog@mail.osu.ru

Статья поступила в редакцию 18 апреля 2020 г.

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

технологии не достигается достаточного упрочнения поверхностного слоя многих деталей. Особенно это касается инструмента, работающего при высокой нагрузке. Поверхностный слой деталей машин подвергается большему воздействию, чем сердцевина, поэтому он должен лучше сопротивляться усталостным разрушениям, различным износам, менее подвергаться коррозии. Максимальные значения напряжения возникают на поверхности деталей, приводя к ее разрушению.

Для изменения структуры, состава и свойств поверхностного слоя обрабатываемых деталей из стали часто используют химико-термическую обработку. При этом происходит насыщение поверхностного слоя металла необходимыми элементами (N, C, Al, Si, Cr и т. д.) [1].

Применение метода химико-термической обработки деталей решает комплексную задачу, одновременно упрочняя и сердцевину деталей, и поверхностный слой. Данный вид обработки применяют для деталей, подвергаемых сильному износу (реакционный, абразивный, адгезионный) [2, 3].

Применение процесса карбонитрации имеет ряд преимуществ перед другими видами химико-термических обработок:

- многократное сокращение длительности цикла обработки деталей;
- значительное улучшение эксплуатационных свойств деталей из стали;
- увеличение износостойкости и прочности деталей в 2,5—3 раза;
- оперативность и технологичность процесса;
- простота применяемого оборудования [4, 5].

В ОАО "Завод бурового оборудования" процесс карбонитрации производят в расплаве солей на основе цианата калия  $\text{KCNO}$  ТУ 6-09-1109-75 [6] (85—95 %) и калия углекислого  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ГОСТ 4221-76 [7] (5—15 %) при температуре  $(560 \pm 10)^\circ\text{C}$  [8].

Химизм процесса, протекающего в технологических ваннах, демонстрируют реакции



При зачистке ванн карбонитрации металлических поверхностей образуются отходы. Согласно методикам, описанным в [9, 10], проведено биотестирование по двум тест-культурам, *Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda*, результаты которого показали, что данный отход относится к третьему классу опасности [11].

Вследствии химико-термической обработки в ваннах карбонитрации в расплаве солей накапливаются соединения металлов (металлическая окалина). Для понимания вопроса о качественном составе металлов в отходе проведен анализ компонентного состава металла деталей, подвергаемых химико-термической обработке в ОАО "Завод бурового оборудования".

В табл. 1 представлен химический состав обрабатываемых сталей [12].

Исследования на качественный показатель наличия металлов в отходах при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей проводили только по приоритетным компонентам, входящим в химический состав обрабатываемых сталей.

Качественный элементный состав образцов определяли на рентгенофлуоресцентном кристалл-дифракционном сканирующем спектрометре Спектроскан LF, (кристалл-анализатор — LIF; материал анода рентгеновской трубки — Ag; дежурное напряжение 40 кВ; дежурный ток 100 мкА).

Метод исследования основан на способности возникновения возбуждения атомов исследуемого вещества при рентгеновском облучении. Образец начинает испускать рентгеновское излучение, флуоресцировать. Имитация рентгеновского излучения химического элемента в пробе возможна, когда возбуждающая энергия выше, чем энергия связей элементов. Яркость линий спектра является вероятностной. Атомы имеют спектральные линии, характерные только для конкретного химического элемента. Таким образом, идентификация присутствия того или иного химического элемента в составе соединения происходит при отсутствии или наличии конкретных линий в спектре, а количественную характеристику можно определить, измеряя яркость свечения.

Важно отметить, что все элементы, подвергающиеся возбуждению, имеют свой спектр независимо от того, находятся они в составе соединения либо в свободном состоянии. Следовательно, метод рентгенофлуоресцентного анализа целесообразно использовать при идентификации сложных соединений.

Таблица 1

Химический состав обрабатываемых сталей, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	S	P	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	V	Fe
30ХГСА	0,29	1,1	0,9	1	0,008	0,010	0,050	0,017	0,027	0,015	0,003	0,004	96,6
40ХН2МА	0,39	0,22	0,65	0,69	0,013	0,009	0,17	1,29	—	0,19	—	0,003	96,4
40Х	0,37	0,27	0,57	0,78	0,010	0,010	0,028	0,024	0,023	0,011	0,002	0,034	97,9
40ХН	0,4	0,27	0,65	0,6	0,035	0,035	—	1,2	—	0,3	—	—	96
30ХМА	0,29	0,27	0,55	0,95	0,025	0,025	0,2	0,3	—	0,3	—	—	96
40ХМФА	0,4	0,27	0,55	0,95	0,025	0,025	0,25	—	—	—	—	0,14	97

В процессе исследования спектры были сняты для твердого измельченного образца отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей (рис. 1) и этого же образца, переведенного в раствор с помощью соляной кислоты (1:1) (рис. 2).

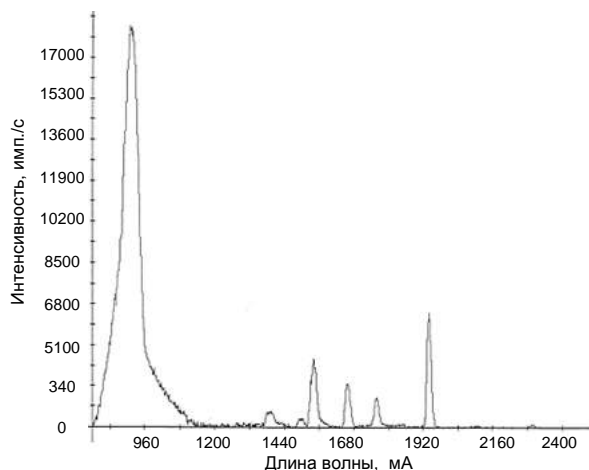


Рис. 1. Спектр образца отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

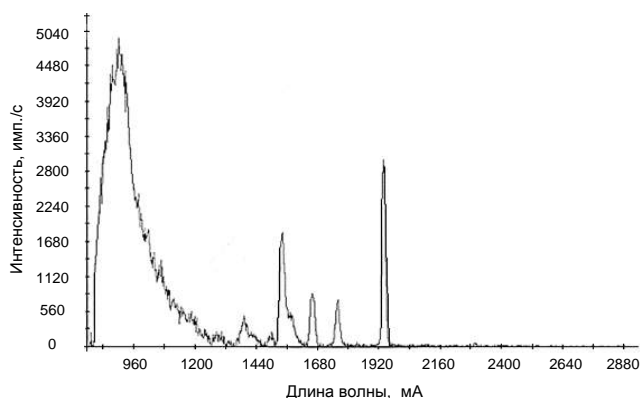


Рис. 2. Спектр раствора образца отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

Результаты спектрального анализа образцов сведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты спектрального анализа образца отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

Длина волны, нм	Элемент, линия	Интенсивность, имп./с
1062	W L63	518
1154	Zn KB1	495
1380	Cu KB2	305
1392	Cu KB	322
1436	Zn, KA	68,5
1500	Ni KB	150
1540	C KA	1404
1620	Co KB	19,5
1658	Ni KA	902
1756	Fe KB	602
1792	Co KA2	60
1940	Fe KA2	2372
2090	Cr KB	21,5
2100	Mn Ka	31,5
2298	Cr KA	65
2510	V KA	6
2760	Ti KA	6

Таблица 3

Результаты спектрального анализа раствора образца отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

Длина волны, нм	Элемент, линия	Интенсивность, имп./с
1284	Zn KB2	228
1294	Zn KB	192
1392	Cu KB	488
1436	Zn KA	173
1500	Ni KB	235
1540	Cu KA	1767
1620	Co KB	60
1658	Ni KA	845
1756	Fe KB	682
1790	Co KA	39
19450	Fe KA	2991
2090	Cr KB	35
2102	Mn KA	28
2280	V KB	14
2298	Cr KA	35
2510	V KA2	13

По результатам анализа можно сделать вывод, что в образцах отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей присутствуют следующие элементы: цинк, медь, никель, железо, кобальт, хром, ванадий, марганец. При этом значения интенсивности флуоресценции ванадия, марганца, хрома, кобальта очень малы (содержание ванадия, хрома и марганца близко к следовым).

С учетом изложенного дальнейшее количественное исследование образцов отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей проводили только на следующие металлы: железо, цинк, медь, никель. Количественный химический анализ массовых долей металлов был проведен атомно-абсорбционным методом в аккредитованной лаборатории согласно методике [13].

Принцип метода заключается в том, что раствор исследуемой пробы распыляют в пламени горелки и затем определяют абсорбционные сигналы. Для количественного определения металлов происходит их автоматическое концентрирование на микроколоне с сорбентом в течение определенного времени.

Результаты проведения количественного анализа содержания металлов в отходе при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей проиллюстрированы на рис. 3.

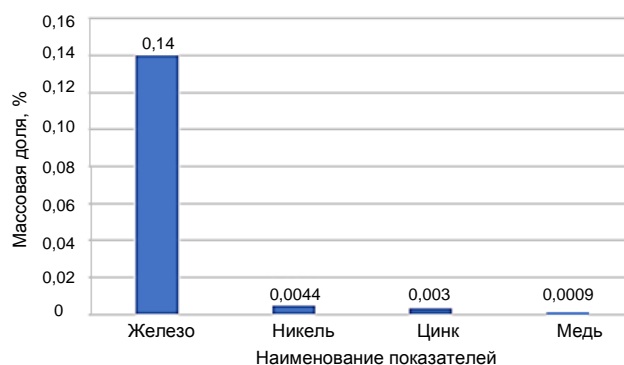


Рис. 3. Массовая доля металлов в отходе при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей

По результатам качественного и количественного исследования элементного состава на содержание металлов в образцах отходов при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей делаем вывод, что тяжелые металлы в исследуемом отходе имеются. Максимальное значение по массе приходится на железо (0,14 %). Данная величина незначительна в общей массе отхода. Следовательно, при определении комплексного количественного элементного состава отхода при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей наличие металлов в нем можно не учитывать.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1990. — 528 с.
2. Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов — карбонитрация. — М.: Металлургия, Машиностроение, 1984. — 240 с.
3. Цих С. Г., Лисицкий В. Н., Глебова Ю. А. Современные технологии химико-термической обработки в машиностроении // Арматуростроение. 2010. № 1. С. 66—70.
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. Чаттерджи-Фишер Р., Эйзелл Ф. Азотирование и карбонитрование. — М.: Металлургия, 1990. — 280 с.
6. ТУ 6-09-1109-75. Калий циановокислый (Калий цианат) квалификации чистый. Технические условия. Введ. 01.01.1976. — М., 1976. — 12 с.
7. ГОСТ 4221-76 Калий углекислый. Технические условия. Введ. 01.01.1977. — М.: Изд-во стандартов, 1993. — 15 с.
8. Степанчукова А. В. Закономерности формирования упроченного слоя и оптимизация режимов обработки при карбонитрации замковых соединений буровых труб из среднеуглеродистых легированных сталей: дис. ... канд. техн. наук. — Оренбург, 2018. — 180 с.
9. Токсикологические методы контроля. Методика измерения *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета: ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 Т 16.1:2:3:3.9-06. — М., 2014. — 38 с.
10. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей: ФР.1.39.2007.03223 2007. — М.: АКВАРОС, 2007. — 47 с.
11. Kuskhanov V. F., Chekmareva O. V., Moiseeva A. A., Shabanova S. V. Toxicological evaluation of the waste of carbonitration process at the machine building enterprise // J. Phys.: Conf. Ser. 2019. V. 1353. P. 012134
12. Шишков М. М. Марочник сталей и сплавов. Справочник. Изд. 3. — Донецк, 2000. — 456 с.
13. Методика выполнения измерений массовых долей металлов (железо, кадмий, алюминий, магний, марганец, медь, никель, кальций, хром, цинк) в пробах промышленных отходов (шлаков, шламов, металлургического производства) атомно-абсорбционным методом: ПНД Ф 16.3.24-2000 2015. — М., 2015. — 22 с.

## The study of quantitative and qualitative indicators the metal content in the waste from the carbonitration process

<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

*The relevance of the problem under study is due to the need to address the issue of disposal of waste generated during the chemical-thermal treatment of metals — carbonitration. Qualitative and quantitative studies have been carried out showing the metal content in the waste during the cleaning of carbonitration baths of metal surfaces. We used the methods of X-ray fluorescence analysis — to obtain the elemental composition of the waste and atomic absorption — to determine the mass fractions of metals in the waste when cleaning the carbonitration baths of metal surfaces. The results of qualitative and quantitative studies of the elemental composition on the content of metals in the samples showed the presence of metals in the waste and their mass values. Conclusions are made about the further feasibility of determining the component composition of this waste.*

**Keywords:** waste, carbonitration, X-ray fluorescence analysis, atomic absorption method, component composition.

**Bibliography** — 13 references.

*Received April 18, 2020*

УДК 50.7

## О возможности повышения эффективности производств строительных материалов. Особенности действия добавок, пластифицирующих бетонные смеси

**В. Г. ПУЗАЧ**, д-р техн. наук; **Н. Н. ШУСТРОВ**, канд. техн. наук  
Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

**Е. В. ГОРДЕЕВА**

АО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства»,  
Москва, Россия

**Е. С. ШИТИКОВ**, канд. техн. наук; **Л. П. ВАХРУШЕВ**, канд. хим. наук;  
**В. А. ШАЦКАЯ**

ООО НПП «Полигран», г. Калининград, Россия

*Установлено, что повышение эффективности использования отходов (шлаков и зол-уноса) в производстве бетонов связано с применением добавок, пластифицирующих бетонные смеси. Действие эффективных пластификаторов бетонов, особенно состоящих из природных лигносульфоновых полимеров, подвержено влиянию природных факторов, снижающих его активность. Дешевые эффективные пластифицирующие добавки могут быть получены из отходов производств целлюлозы при их комплексной обработке кавитационным воздействием, фракционированием, окислением.*

**Ключевые слова:** шлаки, золы-уноса, портландцемент, пластифицирующие добавки, суперпластификаторы С-3, гиперпластификаторы, ЛСТ-пластификаторы.

Строительство большого количества мусоросжигательных заводов (МЗС) в России увеличивает проблемы решения общих экологических задач утилизации техногенных отходов, подобных тем, которые в виде шлаков и зол-уноса ежегодно многими миллионами тонн накапливаются вблизи теплоэнергетических станций (ТЭС; ТЭЦ, ГРЭС).

В [1] представлены предварительные результаты экспериментов по оценке возможности применения шлаков и зол-уноса ТЭС и МЗС в промышленности строительных материалов и показано, что измельченный шлак МЗС как отдельно, так и вместе с золой-уноса в определенной пропорции может быть использован для частичной или полной замены песка в строительных растворах и мелкозернистых бетонах. Дальнейшие опыты выявили способность зол-

уноса МЗС увеличивать объем бетонной смеси при её затвердевании. Так, при добавлении золы-уноса в количестве 50 % от массы цемента в водцементном растворе относительное увеличение объема составило 11—15 % при плотности образцов 1500—1600 кг/м<sup>3</sup> и прочности при сжатии на уровне 24—30 МПа.

Эта особенность открывает золом-уноса МЗС область применения в бетонных смесях при необходимости заполнения труднодоступных областей (полостей) бетонных сооружений и при проведении тампонажных работ при бурении и ремонте скважин.

Вместе с тем уместно отметить, что введение зол-уноса как ТЭС, так и МЗС в водцементные системы (растворы, бетоны) приводит к значительному повышению расхода воды затворения (до +50 %) для получения требуемой подвижности бетонных смесей.

Увеличение водоцементного отношения (В/Ц), как правило, отрицательно сказывается на всех строительных-технических характеристиках бетонов: прочности, морозостойкости, усадке, ползучести, водонепроницаемости и других, определяющих долговечность бетонных сооружений [2], что особенно важно, в частности, при транспортном строительстве (строительстве мостов, тоннелей и т. д.).

В работах [3, 4] в бетонах с добавками зол-уноса ТЭС, предназначенных для этих целей, понижения величин В/Ц и получения высокоподвижных транспортных бетонных смесей достигали путём применения комплексных пластифицирующих добавок. В результате оказалось, что введение зол-уноса ТЭС до 10 % от массы цемента позволяет снизить удельный расход цемента без снижения основных характеристик транспортных бетонов.

**Пузач Виктор Григорьевич**, старший научный сотрудник.  
E-mail: puzach@ined.ras.ru

**Шустров Николай Николаевич**, научный сотрудник.  
E-mail: nik-1938@mail.ru

**Гордеева Елена Викторовна**, заведующая сектором прочности бетонов и железобетонов лаборатории ЦЛНМГАЗ.  
E-mail: Teremok-66@mail.ru

**Шитиков Евгений Сергеевич**, директор.  
E-mail: esh\_45@mail.ru

**Вахрушев Леонид Петрович**, научный консультант.  
E-mail: Lvahrushev@yandex.ru

**Шацкая Виктория Алексеевна**, инженер.  
E-mail: vshackaya786@gmail.com

Статья поступила в редакцию 21 мая 2020 г.

© Пузач В. Г., Шустров Н. Н., Гордеева Е. В., Шитиков Е. С., Вахрушев Л. П., Шацкая В. А., 2020



При исследовании возможности повышения эффективности производств строительных материалов путём учёта влияния на свойства воды затворения бетонных смесей (и соответственно, на прочность бетонов) неких природных факторов, возникающих при смене фаз Луны [5], авторами проведён анализ большого массива данных по величинам прочности при сжатии образцов бетонов с пластифицирующими добавками, приготовленных в лабораторных условиях (лаборатория прочности бетонов ЦНИИСа, ОНИЛ "Цемент" (МАДИ) и строительные производственные лаборатории) или взятых из производственных потоков в период 1997—2018 гг. на таких предприятиях строительного комплекса Москвы, как ЖБИ-5, ЖБИ-6, КЖИ-355, ЖБИ-17 (ОАО "Спецстройбетон-ЖБИ-17"), ЖБИ-18 (ОАО "Моспром-железобетон"), ООО "Элгид" и другие, поставлявших бетонные смеси на объекты транспортного (МКАД, Лефортовский тоннель и т. д.) и монолитного гражданского (Москва-Сити и т. д.) строительства.

Были изучены бетонные смеси/бетоны со следующими пластифицирующими добавками: технические лигносульфонаты ЛСТ-Е от Котласского, Сокольского, Соликамского и других целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК), а также от ЦБК Калининградской области и модифицированные ЛСТ-пластификаторы; суперпластификаторы типа С-3 от различных российских производителей, преимущественно от АО ГК "Полипласт", и их комбинации с ЛСТ при соотношении С-3 : ЛСТ = (1,5—2,5) : 1; гиперпластификаторы на основе поликарбоксилатов (ПК) — эфиров поликарбоновых кислот, которые поступают на строительный рынок России от производителей из Германии, Австрии, Швейцарии, Китая, Южной Кореи и т. д.

При приготовлении образцов транспортных бетонов с пластифицирующими добавками в лабораториях и промышленных предприятиях использовали: портландцементы марок ПЦ 500 Д0, ПЦ 500 Д0Н, СЕМ-1 42,5 от Белгородского, Мальцовского, Старооскольского, Вольского, Новороссийского, Мордовского цементных комбинатов, а также от ООО "Хол-Сим(Рус) СМ" и от ООО "Хайдельбергцемент"; песок

с Мкр 2,1—2,3 Сычёвского, Мансуровского, Вязьминского и других карьеров; щебень гранитный фр. 5—20 из Каменногорского карьера от ОАО "ГранитКузнечное", ОАО "Павловскгранит" и т. д.

К обработке и анализу принимали данные испытаний на прочность при сжатии образцов в возрасте 7 (R7) и 28 (R28) суток твердения:

- цементного камня из цементного теста при В/Ц = 0,35—0,45 с пластифицирующими добавками с равной подвижностью с бездобавочной водоцементной смесью в виде стандартных балочек 4×4×16 см;
- мелкозернистого бетона из равноподвижных водоцементно-песчаных смесей при соотношении Ц : П = 1; 1,5—3,0 в виде балочек 4×4×16 см;
- тяжёлого бетона марок В20—В60 (М200—М500) при удельном содержании цемента в бетонных смесях от 350 до 550 кг/м<sup>3</sup> в виде кубиков 10×10×10 см, которые испытывали на сертифицированных и поверенных испытательных стендах.

Обработка данных заключалась в определении отношения величин прочности образцов с пластифицирующими добавками к прочности образцов бетонов без добавок (так называемые контрольные величины прочности) при равной начальной подвижности замешанных бетонных смесей (расплыве стандартного конуса для цементного теста и мелкозернистого бетона и осадки стандартного конуса для смесей тяжёлого бетона).

На рис. 1—3 представлены результаты проведённых статистических исследований в виде зависимости усреднённых значений повышения (изменения) прочности при сжатии от разности дней приготовления бетонных смесей относительно дат смены фаз Луны (новолуния или полнолуния) (по абсолютной величине) при использовании:

- пластифицирующих бетонные смеси добавок на основе технического лигносульфоната (ЛСТ) (рис. 1);
- добавок на основе суперпластификатора С-3 (рис. 2);
- поликарбоксилатных гиперпластификаторов ПК (рис. 3).

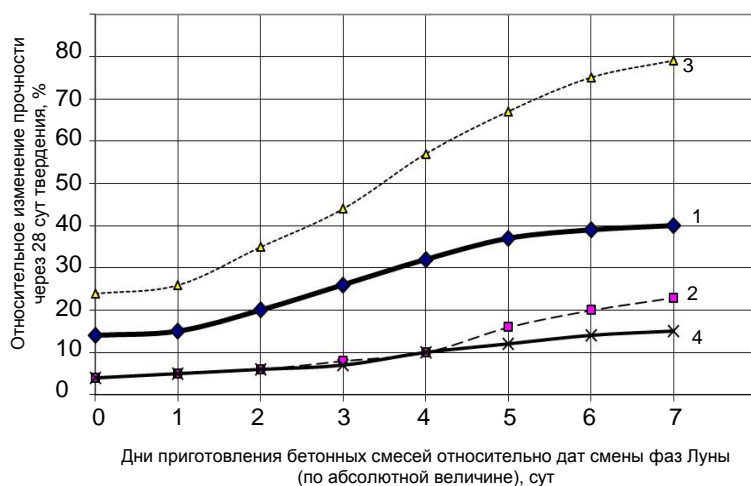


Рис. 1. Зависимость относительного изменения прочности при сжатии образцов бетонов с ЛСТ-пластификаторами от дней их приготовления относительно дат смены фаз Луны

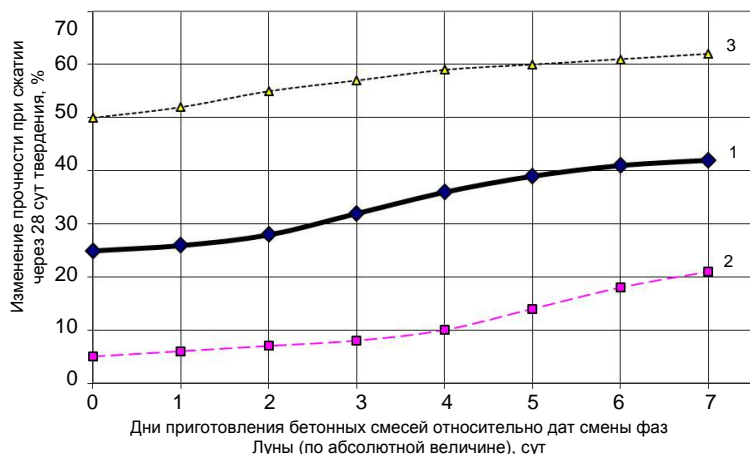


Рис. 2. Зависимость относительного изменения прочности при сжатии образцов бетонов с суперпластификатором С-3 от дней их приготовления относительно дат смены фаз Луны

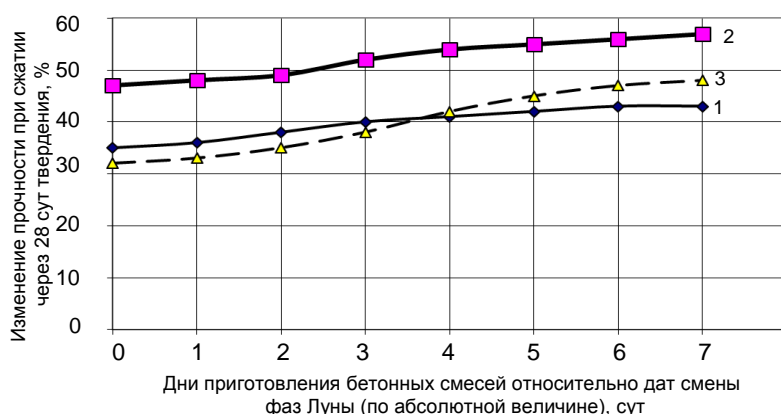


Рис. 3. Зависимость относительного изменения прочности при сжатии образцов бетонов с поликарбоксилатными гиперпластификаторами от дней их приготовления относительно дат смены фаз Луны

На рис. 1 и 2 линия 1 отвечает средним значениям относительного изменения прочности, линия 2 ограничивает наименьшие значения, линия 3 — наибольшие значения.

Следует отметить, что средние величины эффекта применения пластифицирующих добавок для цементного теста, мелкозернистых бетонов и тяжелых бетонов как на основе ЛСТ, так и на основе С-3 практически легли на одну кривую. При использовании поликарбоксилатных гиперпластификаторов ПК средние значения относительного повышения прочности бетонов для цементного теста и для мелкозернистых бетонов (линия 1 на рис. 3) оказались ниже аналогичных значений для тяжелых бетонов (линия 2 на рис. 3).

По характеру изменения действия пластифицирующих бетон добавок в зависимости от дня изготовления относительно даты смены фаз Луны (новолуния или полнолуния) можно заключить, что этот фактор действительно имеет большое воздействие на процессы твердения бетонных смесей с пластифицирующими добавками, причём наибольшее влияние смена фаз Луны оказывает на смеси, изготовленные при использовании пластификаторов на основе технических ЛСТ, — почти трёхкратный рост прочности в периоды времени между датами новолуния или полнолуния (с 14 до 40 %). При использовании пластифицирующих добавок на основе суперпластификатора С-3 наблюдается лишь двукратный рост прочности (с 23 до 43 %). На прочность бетонов с гиперпластификаторами ПК фактор смены фаз Луны оказывает менее значительное влияние.

Обращает на себя внимание также довольно широкий разброс поля данных между наименьшими и наибольшими значениями повышения прочности бетонов как для пластификаторов на основе технических ЛСТ, так и для пластификаторов на основе суперпластификатора С-3. Связано это не только с колебаниями активности поступающих на производство цемента (для менее активных эффект действия пластификаторов выше, для более активных — ниже), но в большей степени и со свойствами технических лигносульфонатов. Дело в том, что суперпластификатор С-3 и гиперпластификаторы ПК являются синтетическими веществами, производимыми в химических реакторах по определённой технологии, и их свойства и качество этими технологиями задаются и поддерживаются.

Технический ЛСТ является жидким отходом производства целлюлозы сложного и нестабильного состава, представляющим собой сконцентрированный в выпарных станциях до 47 % и более сульфитный щёлок [6].

В среднем на одну тонну целлюлозы получается до 10 м<sup>3</sup> щёлока с концентрацией 4—6 %. В составе технических лигносульфонатов выделено более 200 различных химических веществ. От 70 до 85 % по массе в ЛСТ содержится веществ органического происхождения, в том числе 50—60 % природных полимеров с молекулярной массой от 500 до 120000 дальтон с нерегулярным (случайным) расположением активных групп OH- и SO<sub>3</sub>- по длине полимерной цепи (для сравнения, у суперпластификатора С-3 указанные активные группы распределены рав-

номерно и содержание полимеров в составе превышает 70 %), от 6 до 20 % так называемых редуцирующих веществ (сахара, арабинозы, полиглюкозы), остальное — смесь органических кислот, монодиглицеридов, стероидов, гликолипидов, эфиров жирных кислот и т. д. От 15 до 30 % в ЛСТ составляет зольный минеральный остаток после сжигания. По фракционному составу лигносульфоновые полимеры делятся на три группы: менее 5000 дальтон (25—60 %); от 5000 до 40000 дальтон (15—35 %); более 40000 дальтон, преимущественно от 60000 до 100000 дальтон (до 35 %, чаще до 10 %). Конкретный состав партий ЛСТ меняется в зависимости от технологии варки на данном ЦБК и типа древесного сырья.

В табл. 1 приведены результаты химического и хроматографического анализа некоторых партий ЛСТ-Е от разных ЦБК, полученных в один период времени.

Различие в составах ЛСТ разных партий от разных ЦБК объясняет широкий разброс в эффективности действия ЛСТ как пластификатора бетонных смесей, что можно проиллюстрировать данными одномоментного тестирования их на цементном тесте (табл. 2).

Как пластификаторы бетонных смесей технические лигносульфонаты уступают по водоредуцирующей способности пластифицирующему эффекту и влиянию на рост прочности как суперпластификаторам С-3, так и, тем более, гиперпластификаторам ПК. ЛСТ также значительно замедляют схватывание и твердение бетонов. Этот фактор имеет и положительную сторону. В частности, он оказывает влияние на смещение максимума температуры саморазогрева бетонных массивов в сторону более длительного времени и снижения тем самым вероятности возникновения микротрещин из-за температурных напряжений.

Производимые на ЦБК технические лигносульфонаты как пластификаторы практически не применяют, так как они слабо влияют на повышение прочности бетонов, что отражает линия 4 на рис. 1.

Однако применение критерия "цена—качество" для задач пластификации бетонных смесей приводит строителей к использованию на практике комбинированных пластифицирующих смесей, содержащих эффективные дорогие пластификаторы на основе С-3 и ПК и дешевые пластификаторы нестабильного качества из отходов целлюлозы.

Таблица 1

Результаты химического и хроматографического анализа партий ЛСТ-Е

ЦБК — производитель ЛСТ	Содержание сухих веществ, масс. %	Зольный остаток, %	Редуцирующие вещества, %	Доля полимеров с массой менее 5000 дальтон, %	Доля полимеров с массой от 5000 до 40000 дальтон, %	Доля полимеров с массой более 40000 дальтон, %
Балахнинский	47	26	14	60	—	—
Краснокамский	50	20	12	43	20	5
Сокольский	50	19	11	33	25	12
Калининградский	58	16	8	25	16	35
Соликамский	60	22	11	38	38	8
Сясьский	50	18	6	36	36	6

Таблица 2

Результаты тестирования образцов ЛСТ на цементном тесте (цемент—вода)

ЦБК — производитель ЛСТ	Концентрация ЛСТ, % от массы цемента	Относительные изменения В/Ц, %	Относительные изменения прочности при сжатии через 7 сут твердения, %	Относительные изменения прочности при сжатии через 28 сут твердения, %	Относительные изменения прочности при сжатии через 28 сут твердения образцов с окислением ЛСТ, %	Примечание
Сокольский	0,25	- 12	+ 25	+ 10	+ 16	Цемент ПЦ 500Д0 мордовский
Сясьский	0,25	- 14	+ 40	+ 20		
Сясьский + Сокольский (1 : 1)	0,25	- 19	+ 50	+ 24		
Соликамский	0,25	- 10	+ 22	+ 17	+ 25	
АО "Пермский Картон"	0,38	- 7	+ 15	+ 3	+ 15	

Для повышения стабильности состава, качества и эксплуатационных свойств технических лигносульфонатов известно довольно много технологических приёмов, в том числе и разработанных авторами, таких, как:

- кавитационная обработка;
- химическая обработка;
- ультрафильтрационное фракционирование;
- микробиологическая обработка;
- окисление ЛСТ.

Кавитационную обработку технических лигносульфонатов проводили путём пропускания порции ЛСТ перед подачей в бетонную смесь через роторно-пульсационный аппарат (РПА). В [7] показано, что при такой обработке эффективность действия ЛСТ как пластификатора бетонной смеси увеличивается на 10—15 %.

Гораздо шире известна химическая обработка растворов технических лигносульфонатов: воздействие щёлочи (едкого натра) при повышенной температуре — пластификатор ПЛС-1; карбоната натрия (при подогреве раствора ЛСТ) — пластификатор Лигнопан Б1; карбоната калия — поташа (без нагрева). Действие щёлочи и карбонатов калия и натрия, растворы которых в воде дают повышенную величину  $pH = 9—11$  и более (у щёлочи), заключено в разрушении длинных цепей лигносульфоновых полимеров на более мелкие и снижении тем самым замедляющего воздействия ЛСТ-пластификатора на скорость гидратации частиц цемента в воде и в дальнейшем на схватывании и твердении бетонных смесей. Наибольшее разрушающее действие наблюдалось при использовании едкого натра (при нагреве раствора ЛСТ), а наименьшее — при использовании поташа (без подогрева раствора ЛСТ), когда имело место дробление в основном полимеров с массой более 60000 дальтон. Максимум в фракционном составе смещался в область фракции полимеров с массой 20000—40000 дальтон. Этот факт использован для нормализации и повышения стабильности состава ЛСТ от калининградских ЦБК [8—10]. В целях повышения эффекта влияния ЛСТ-пластификаторов на прочностные характеристики бетонов и скорость набора прочности в технические лигносульфонаты добавляли сульфат натрия (Лигнопан Б1), хлорид натрия (Универсал П-2), пеногасящие добавки на основе полисилоксанов и т. д. Повышение прочности при сжатии бетонов с ЛСТ-пластификаторами с химической обработкой ЛСТ и без химической обработки наглядно продемонстрирован на рис. 1, где линия 1 отвечает усреднённым величинам прочности модифицированных лигносульфонатов, а линия 4 — усреднённым значениям прочности бетонов с исходными ЛСТ без химической обработки.

Изменение фракционного состава технических лигносульфонатов в целях нормализации (приведение к оптимальному составу для задач пластификации бетонных смесей) может также проводиться методом ультрафильтрационного фракционирования растворов ЛСТ с помощью полупроницаемых мембран. По этому методу исходный раствор подаётся под давлением в пространство над поверхностью мембраны с определённым размером пор (отверстий), через которые с фильтратом продавливаются

молекулы и частицы с размером меньшим порога задержания. Над мембраной накапливаются (концентрируются) вещества большего размера (большей молекулярной массы). Недостатками, ограничивающими широкое применение мембранных методов обработки технических лигносульфонатов, являются, во-первых, невозможность работы с концентрированными выше 35 % растворами ЛСТ, так как вода в этих растворах полностью связана, и, во-вторых, то, что при концентрировании растворов ЛСТ выше 15 % поток фильтрата резко снижается практически до нуля вследствие накопления гелевого слоя на поверхности мембран [11, 12]. Этот недостаток удаётся исключить при использовании трубчатых ультрафильтрационных мембранных элементов типа БТУ-2/0,5, при работе которых выявлены резонансные режимы с образованием стоячих волн внутри трубок вдоль мембранной поверхности [13]. Исследования по ультрафильтрационному мембранному разделению растворов технических лигносульфонатов от различных ЦБК в резонансных режимах сначала проводили на лабораторной установке (7 трубчатых элементов, последовательно соединённых в одном корпусе, с длиной трубок 1 м), а затем — на опытно-промышленной установке, состоявшей из 8 параллельно работающих секций с 4 последовательно установленными ультрафильтрационными блоками БТУ-2/0,5 в каждой секции. Общая площадь мембранной поверхности была равна 16 м<sup>2</sup>. Материал мембран — фторопласт, порог разделения в отдельных блоках — от 10000 до 20000 дальтон.

Рабочее давление на входе в секции составляло 0,2—0,25 МПа. Исходная концентрация раствора ЛСТ в основном равнялась 10 масс. %. Работа проводилась в периодическом режиме 2—3 раза в неделю в весенне-осенний периоды времени года. Длительность обработки одной партии ЛСТ в день составляла 6 ч. Общее время проведённых рабочих компаний 3000 ч. За этот период никаких специальных мер по промывке мембран не предпринималось, при длительных перерывах в работе установку просто заполняли водой. Удельная производительность мембранных блоков за все 3000 ч практически не изменилась и составила в среднем 50 л/(м<sup>2</sup>·ч), что в 2 раза выше производительности вне резонансного режима в первый час работы и в 3 раза выше в шестой час работы установки в один день. Конечная концентрация порции технического лигносульфоната составила 15 %. Степень концентрирования по объёму (отношение объёма фильтрата к объёму сконцентрированного ЛСТ) зависела от фракционного состава исходного ЛСТ: для Калининградских ЛСТ она была равна 1,5—2, для Соликамского, Сокольского и Котласского — 3,0, для Краснокамского — 4,0, а Балахнинский ЛСТ вообще не концентрировался. Пропорционально степени объёмного концентрирования в растворе ЛСТ изменялось относительное содержание низкомолекулярных полимеров, зольного остатка и редуцирующих веществ: в УФ-концентрате их содержание уменьшалось и состав обогащался высокомолекулярными полимерами, а в УФ-фильтрате их содержание увеличивалось, причём концентрация сухих веществ в фильтратах по сравнению с исходным раствором ЛСТ снижалась с



10 до 7—8 %. УФ-концентратом нормировался исходный ЛСТ перед его дальнейшей обработкой. С использованием УФ-фильтрата возникли проблемы из-за резкого роста содержания редуцирующих веществ (сахаров), что вызвало, во-первых, усиление процессов брожения, сопровождающихся неприятным запахом, и, во-вторых, создало отрицательное влияние избыточного их содержания в ЛСТ (выше 10 %) на свойства бетонных смесей (прочность при сжатии и изгибе, усадку-ползучесть, и т. д.). Вместе с тем эксперименты с добавлением УФ-фильтрата к суперпластификатору С-3 в соотношении 1,5 : 1 показали хорошие результаты в бетонных смесях как по водоредуцированию, так и по темпам роста прочности и в величинах контрольной прочности в 28-суточном возрасте бетонов [14, 15].

Для устранения повышенного содержания редуцирующих веществ в целях расширения возможностей применения УФ-фильтрата в практике производств пластифицирующих добавок совместно с ГосНИ-Исинтезбелок проведена работа по микробиологической трансформации сахаров. Для этого использовали смесь дрожжевых культур *Candida utilis* и *Candida tropicalis* с дрожжеподобным грибом *Trichosporon species*. Процесс микробиологической обработки останавливали при достижении содержания редуцирующих веществ 6 % (т. е. при снижении концентрации РВ в УФ-фильтрате в 2—3 раза). Для сравнения в опытах проводили также микробиологическую обработку растворов исходных ЛСТ. Выявлено, что в

этом процессе как исходный ЛСТ, так и УФ-фильтрат в той или иной степени обогащались продуктами жизнедеятельности микроорганизмов (гликолипидами, эфирами жирных кислот и другими гидрофобными органическими веществами). Такое обогащение придавало обработанным лигносульфонатным растворам свойство равномерно распределять по объёму бетонной смеси/бетона мелкие (100—300 мкм) пузырьки воздуха, что весьма важно для обеспечения морозостойкости бетонов [16]. В результате модифицированные с использованием направленной микробиологической обработки нормированные лигносульфонатные пластификаторы обеспечивали морозостойкость бетонов в 2 и более раз выше, чем установлено требованиями для транспортных бетонов (более 700 циклов "замораживание—оттаивание в солях" по сравнению с 300 циклами) [8, 10].

Для иллюстрации в табл. 3 приведены некоторые данные по влиянию на прочностные характеристики бетонов с ЛСТ-пластификаторами их химической и микробиологической обработки с ультрафильтрационным разделением.

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что химическая обработка поташом эффективна лишь для технического лигносульфоната с высоким содержанием высокомолекулярных фракций лигносульфоновых полимеров (т. е. Калининградского, п. 2). Микробиологическая обработка эффективна при повышенном содержании сахаров (более 15 %) (для ультрафильтрата Соликамского ЛСТ (п. 7)).

Таблица 3

Сводная таблица результатов по влиянию химической и микробиологической обработки с ультрафильтрационным разделением ЛСТ на прочность образцов бетонов

Состав бетонной смеси	Тип ЛСТ	Количество добавки, % от массы цемента	Обработка ЛСТ	Изменение водо-цементного отношения, %	Относительное изменение прочности при сжатии, %	
					7 сут. твердения	28 сут. твердения
Цемент 400 кг/м <sup>3</sup> Песок 780 кг/м <sup>3</sup> Щебень 1000 кг/м <sup>3</sup>  Цемент ПЦ 500 Мордовский	Краснокамский	0,25	Химическая (поташ)	-10	0	0
	Калининградский	0,25	Химическая (поташ)	- 15	+ 35	+ 20
		0,25	Микробиологическая	- 10	+ 16	+ 10
		0,18	УФ-концентрат	- 17	+ 22	+ 17
		0,36	УФ-фильтрат	- 18	+ 31	+ 22
		0,25	Химическая (поташ)	- 12	+ 12	+3
	Соликамский	0,25	Микробиологическая УФ-фильтрата + химическая (поташ)	- 18	+ 48	+ 32
Цемент 450 кг/м <sup>3</sup> Песок 730 кг/м <sup>3</sup> Щебень 970 кг/м <sup>3</sup>  Цемент ПЦ 500 Вольский	Котласский	0,30	УФ-концентрат	- 16	+ 18	+ 18
		0,30	УФ-фильтрат	- 12	+ 10	+ 23

Новым направлением в модифицировании технических ЛСТ является их окисление в щелочной среде под действием газообразного кислорода или перекиси водорода, которое сопровождается уменьшением гидроксильных групп, но увеличением карбонильных групп с образованием низших карбоксилпроизводных [17]. При этом водоредуцирующая способность ЛСТ как пластификаторов бетонов по сравнению с исходными ЛСТ не изменяется, но увеличивается способность к повышению скорости гидратации цемента, ускорению схватывания и твердения бетонных смесей и, как следствие, увеличению прочности при сжатии по сравнению с контрольными образцами бетонов. Из табл. 2, где даны результаты пробных опытов на цементном тесте для трёх типов ЛСТ, видно, что применение окисленных лигносульфонатов позволяет получать большие прочности бетонов и степень этого увеличения сильнее выражена у малоактивного ЛСТ от АО "Пермский картон" (с 3 до 15 % по сравнению с 17 до 25 % у Соликамского ЛСТ или с 10 до 16 % у Сокольского ЛСТ).

Окисление технических лигносульфонатов обычно проводят в аппаратах с мешалками под давлением, если используется газообразный кислород (или воздух), или без давления, если используется перекись водорода. Окончание времени окисления определяют по выходу pH среды (чья величина в ходе реакции снижается) на постоянный уровень. Процесс проводят при повышенной температуре (40—70 °С). Время окисления обычно составляет 4—7 ч.

Известно, что в кавитационных полях химические реакции ускоряются многократно [18, 19]. Авторами выполнены эксперименты по проведению процесса окисления (с использованием перекиси водорода) в роторном аппарате-кавитаторе (типа "ротор—статор") РА-2-15, двухступенчатом, с внутренней циркуляцией обрабатываемой жидкости. В результате выявлено, что время процесса окисления раствора ЛСТ можно сократить до 15 мин.

Поскольку конструкция аппарата РА-2-15 [18] предусматривала возможность частичного или полного фракционного разделения в центробежном поле многокомпонентных жидкостей или суспензий после их кавитационной обработки (активации) при прохождении через отверстия ротора и статора, была проведена серия опытов по оценке возможности разде-

ления технических лигносульфонатов ЛСТ. Концентрация подаваемого на обработку и разделение растворов ЛСТ составляла 20—50 %.

Пробы ЛСТ после их кавитационной обработки отбирали из закрученного потока по двум выходам: осевому и периферийному. Эффективность разделения исходного лигносульфоната первоначально определяли при тестировании на водогипсовой смеси по изменению величин расплыва стандартного конуса с введением порций ЛСТ до и после обработки по отношению к величине расплыва конуса без добавки ЛСТ в водогипсовую смесь. На рис. 4 представлены осреднённые результаты по испытаниям на двух типах ЛСТ: от Соликамского ЦБК и от АО "Пермский картон". Линия 1 отвечает данным по осевому выходу, а линия 2 — по периферийному. Видно, что по эффективности воздействия на водогипсовую смесь часть ЛСТ, отбираемая по осевому выходу, в целом немного отличается от исходного лигносульфоната (рост с 6 до 12 % для малоактивных партий ЛСТ и отсутствие прироста для высокоактивных партий ЛСТ), зато часть потока ЛСТ, отбираемая по периферийному выходу, показывает весьма значительное повышение (с 6 до 18 % для малоактивных партий ЛСТ и с 28 до 42 % для партий ЛСТ с повышенной активностью).

Далее тестирование порций ЛСТ после кавитационной обработки и разделения в центробежном поле на выходе из аппарата проводили на цементном тесте ("цемент—вода").

Определяли изменение водоцементного отношения (В/Ц) по отношению к замесам без добавок и относительное изменение прочности при сжатии через 7 и 28 сут твердения образцов цементного камня (при выполнении условия равной подвижности приготавливаемых смесей). Характерные результаты испытаний технического лигносульфоната от АО "Пермский картон" приведены в табл. 4.

В табл. 4 приведены также для сравнения данные, полученные при использовании суперпластификатора С-3, фракции Соликамского ЛСТ по периферийному выходу из аппарата РА-2-15 и пластификаторов на основе обработанных партий ЛСТ "Пермский картон" по пп. 3 и 5, модифицированных поликарбоксилатной добавкой в количестве не более 10 масс. %.

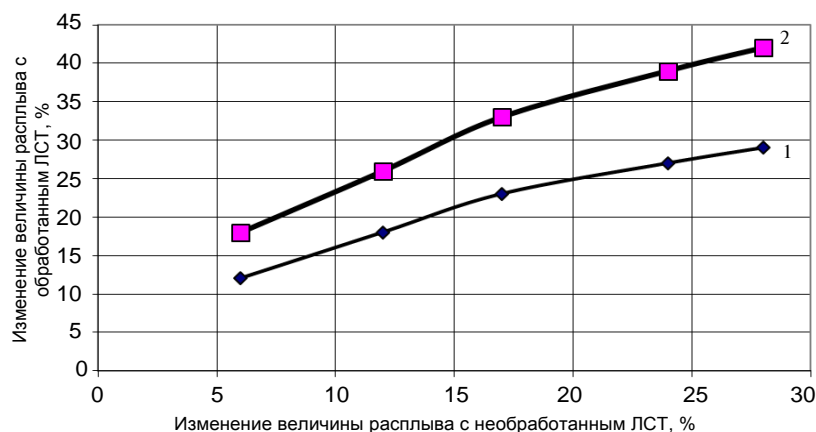


Рис. 4. Зависимость относительного изменения величины расплыва водогипсовой смеси при добавлении активированного и фракционированного ЛСТ от относительной величины расплыва этой смеси при добавлении ЛСТ до обработки

Таблица 4

**Влияние разделения и окисления фракций ЛСТ "Пермский картон" на изменение водоцементного отношения и прочности образцов бетонов при сжатии**

№ п/п	Образец ЛСТ	Количество добавки в смеси по отношению к массе цемента, %	Изменение водоцементного отношения, %	Изменение прочности при сжатии через 7 сут твердения, %	Изменение прочности при сжатии через 28 сут твердения, %
1	Исходный	0,38	– 7	+ 15	+ 3
2	Окисленный в аппарате с мешалкой	0,38	– 7	+ 19	+ 15
3	Обработанный и разделенный в аппарате РА-2-15, выход периферийный	0,38	– 10	+ 25	+ 23
4	Окисленная в аппарате РА-2-15 партия периферийного отбора разделённого исходного ЛСТ, выход осевой	0,38	– 14	+ 30	+ 25
5	Окисленная в аппарате РА-2-15 партия периферийного отбора разделённого исходного ЛСТ, выход периферийный	0,38	– 14	+ 40	+ 38
6	Модифицированная добавка по п. 3	0,38	– 18	+36	+ 31
7	Модифицированная добавка по п. 5	0,38	– 20	+ 40	+ 42
8	Соликамский обработанный и разделённый в аппарате РА-2-15, выход периферийный	0,26	– 14	+ 20	+ 35
9	Суперпластификатор С-3	0,50	- 20	+38	+ 33

Совершенно очевидно, что путём предварительной активации в кавитационном поле и разделения в центробежном поле исходного малоактивного ЛСТ, окисления периферийного отбора в кавитационном поле с повторным разделением в центробежном поле можно получать пластифицирующие добавки к бетонам, по эксплуатационным характеристикам не уступающие наиболее широко известному и распространённому в производствах бетонов суперпластификатору С-3 и даже превышающие его характеристики при смешении с обработанным ЛСТ небольшого количества поликарбоксилатной добавки, улучшающей разжижающие свойства. Однако в сравнении с поликарбоксилатами в цементном тесте и в мелкозернистых бетонных смесях такие модифицированные ЛСТ-добавки вновь обнаруживают явную зависимость от фактора смены фаз Луны (линия 3 на рис. 3).

Практическое применение ЛСТ-пластификаторов данного типа (т. е. фракционированных, окисленных и модифицированных ПК-пластификаторами) проведено в производстве газобетонных блоков. В состав смеси для приготовления газобетонов входили: цемент и песок в соотношении Ц : П = 1 : 1,5; щёлочь (едкий натр); сода; волокна полипропиленовые; алюминиевая пудра и пластифицирующая добавка на основе С-3. При неизменном водоцементном отношении и меньшем на 20 % количестве пластификатора замена добавки С-3 на фракционированный окисленный и модифицированный ЛСТ ("Пермский картон") привела к росту прочности при сжатии на 30 %. Применение для затворения бетонной смеси активированной воды [20] увеличило эффект повышения прочности до 45 %, а последующая полная замена песка на смесь измельчённого шлака и золы-уноса ТЭС привела к ещё большему росту прочности (до 55–60 %).

Для сравнения можно привести данные работы [21], в которой отмечена возможность повышения прочности газобетонов при использовании нанодобавок типа фуллеренов на 10–15 %.

### Выводы

Воздействие пластифицирующих добавок на прочность бетонов при сжатии обнаруживает явную зависимость от неких природных факторов, сопровождающих смену фаз Луны (новолуние и полнолуние). При этом влияние таких внешних факторов в большей степени проявляется при использовании пластификаторов, имеющих ОН- и SO<sub>3</sub>-активные группы (ЛСТ-пластификаторы и суперпластификаторы типа С-3). Практическое значение выявленных закономерностей заключается в возможности регулирования расхода пластификаторов в течение рабочей компании в цикле "новолуние—полнолуние".

Химическая обработка (поташом) и мембранное ультрафильтрационное разделение растворов технических лигносульфонатов в целях повышения их потребительских свойств как пластификаторов бетонов имеют свои весьма ограниченные области применения.

Для более широкого использования шлаков и золы-уноса ТЭС и МСЗ в промышленном производстве строительных материалов необходима разработка более дешёвых и более эффективных пластифицирующих добавок. Такие пластификаторы можно получить на основе отхода производства целлюлозы — технических лигносульфонатов путём обработки в кавитационном поле в роторных кавитаторах с последующим частичным разделением (фракционированием) в центробежном поле на выходе из роторного аппарата с дальнейшим проведением процесса

окисления каждой фракции отдельно и повторного разделения.

Практическая проверка нового типа ЛСТ-пластификатора в производстве газобетонов показала резкий прирост прочности (до 55—60 %) даже при полной замене строительного песка на смесь шлака и золы-уноса ТЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пузач В. Г., Шустров Н. Н., Червяков В. М., Жолтовский А. И., Шитиков Е. С. О возможности повышения прочности бетонов, содержащих шлаки и золы тепловых электростанций на твёрдом топливе и мусоросжигательных заводов // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 38—41.
2. Шестопёров С. В. Долговечность бетона. — М.: Трансиздат, 1966. — 400 с.
3. Тарасова А. Ю., Грановская И. А., Рояк Г. С. К вопросу замены части цемента в бетоне золой-уноса // ALITinform. 2007. Вып. 1(01). С. 69—70.
4. Тарасова А. Ю. Бетонные смеси высокой подвижности с золой-уноса для транспортного строительства: автореф. канд. дисс. — М., 2009. — 18 с.
5. Пузач В. Г., Шустров Н. Н., Червяков В. М., Шитиков Е. С. О возможности повышения эффективности промышленных производств строительных материалов // Экология промышленного производства. 2019. № 2. С. 49—53.
6. Сапотницкий С. А. Использование сульфитных щелоков. — М.: Лесная промышленность, 1982. — 250 с.
7. Гусев Б. В., Усов В. А. Повышение эффективности пластифицирующих добавок обработкой в РПА: матер. семинара "Совершенствование технологии бетона за счёт применения новых химических добавок". — М., 1984. С. 115—120.
8. Шитиков Е. С., Кириллов А. М., Феднер Л. А., Ефимов С. Н. Лигносальфонатные пластификаторы нового типа для бетонных смесей и бетонов различного назначения // Строительные материалы. 2002. № 6. С. 36—40.
9. Шитиков Е. С. Способ приготовления пластифицирующих добавок для бетонной смеси. Патент РФ № 2205160. 2003. Бюл. № 15.
10. Зайцев П. А., Феднер Л. А., Шитиков Е. С., Кириллов А. М., Алибастрова Л. И. Бетонные смеси и бетоны с химическими добавками на основе модифицированных ЛСТ // Цемент и его применение. 2004. № 1. С. 70—74.
11. Цапюк Е. А., Медведев М. И., Брик М. Т. Некоторые закономерности ультра-фильтрационного фракционирования и концентрирования лигносульфонатов // Коллоидный журнал. 1987. Т. 49. № 3. С. 514—520.
12. Брик М. Т., Цапюк Е. А. Ультрафильтрация. — Киев: Наукова думка, 1989. — 288 с.
13. Тевяшев А. Д., Шитиков Е. С. Управление процессами мембранного разделения многофазных сред в резонансных режимах // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 1989. Вып. 92. С. 17—23.
14. Шитиков Е. С., Алибастрова Л. И., Гордеева Е. В., Зайцев П. А. Особенности применения комплексных химических добавок для производства бетонных смесей и бетонов различного назначения // Строительные материалы. 2005. № 6. С. 45—49.
15. Гордеева Е. В., Алибастрова Л. И., Шитиков Е. С., Зайцев П. А. Особенности особенностей взаимного влияния добавок к цементам и бетонным смесям на подвижность и прочность бетонов // Научные труды ОАО ЦНИИС. 2007. Вып. 239 "Технология, прочность и долговечность строительных материалов для транспортного строительства". С. 140—148.
16. Добролюбов Г., Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. — М.: Стройиздат, 1983. — 213 с.
17. Луговицкая Т. Н., Болотбаев К. Н. Изменение коллоидно-химических свойств лигносульфонатов в результате химической обработки // Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86. Вып. 8. С. 1306—1308.
18. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. — М.: Машиностроение, 2001. — 154 с.
19. Червяков В. М., Однолько В. Г. Использование гидродинамических и кавитационных явлений в роторных аппаратах. — М.: Машиностроение, 2008. — 116 с.
20. Шитиков Е. С., Гордеева Е. В. Активированная вода — фактор повышения прочности бетонов // Транспортное строительство. 2019. № 6. С. 16—19.
21. Пономарёв А. Н. Перспективные конструкционные материалы и технологии, создаваемые применением нанодисперсных фуллероидных систем // Вопросы материаловедения. 2001. № 2. С. 65—68.

## About the possibility of improving efficiency construction materials production. Features of the action of plasticizing additives concrete mix

V. G. PUZACH, N. N. SHUSTROV

Joint Institute for High Temperatures of the RAS, Moscow, Russia

E. V. GORDEEVA

JSC "Research Institute of Transport Construction", Moscow, Russia

E. S. SHITIKOV, L. P. VAHRUSHEV, V. A. SHATSKAYA

LLC NPP POLYGRAN, Kaliningrad, Russia

*It has been established: that increasing the efficiency of using waste (slags and fly ash) in the production of concrete is associated with the use of additives, plasticizing concrete mixtures; the effect of effective plasticizers of concrete, which consist, for example, of natural lignosulfonic polymers, is influenced by natural factors that reduce its activity; cheap effective plasticizing additives can be obtained from the waste of cellulose production during their complex processing: cavitation, fractionation, oxidation.*

**Keywords:** slags, fly ash, portland cement, plasticizer, super plasticizers S-3, hyper plasticizers, LST plasticizers.

**Bibliography** — 21 references.

*Received May 21, 2020*



УДК 504.064.4

## Критерии ресурсо- и энергоэффективности при переработке техногенного сырья и оценка его качества (на примере горно-металлургической отрасли)

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

*Показано, что отходы в большинстве случаев могут быть использованы как ресурсные материалы. Сделана попытка обозначить в общих чертах возможную дорожную карту обоснованного выбора технологии в системе управления отходами. Выбор ресурсосберегающей технологии — рациональный путь к развитию отрасли комплексной переработки отходов и использования вторичных ресурсов.*

**Ключевые слова:** технология, управление отходами, вторичное сырье.

Постепенное истощение природных ресурсов с одновременным ростом потребности в металлах привели к совершенствованию горно-металлургического производства как базовой основы технического прогресса в развитии человеческого общества. Мировое потребление металлов возросло настолько, что стало соизмеримо с их запасами [1].

Поскольку руды современной добычи характеризуются низким содержанием металлов (добывают их исключительно ради извлечения металлов), в полезную продукцию переходит лишь незначительная часть добываемого сырья, остальное закономерно превращается в отходы производства (вскрышная порода, хвосты обогащения, металлургические шлаки, шламы и пыли). К отходам производства очень быстро присоединяются отходы потребления — отслужившие свой срок и утратившие потребительские свойства металлопродукты, на изготовление которых затрачено природное (первичное) сырье (электронный лом, автолом и т. д.). Проблема отходов наравне с проблемами энергии и воды является всеобщей, связанной с каждым сектором экономики [2]. Наибольшее количество отходов образуется в горно-металлургической отрасли.

Максимальное сокращение количества захораниваемых отходов, не прошедших переработку, — одна из основных проблем системы *ресурсосбережения* как взаимосвязанной эколого-экономической и технологической системы, функционирование которой

обеспечивает рациональное использование и экономное расходование первичного (природного) и вторичного (техногенного) сырья, экономию материалов и энергии, использование вторичных материальных ресурсов (ВМР) и вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Вовлечение отходов данного вида в хозяйственный оборот во многом связано с их ресурсами, составом, степенью технологической отработанности и готовности отходов к переработке и утилизации, востребованности в получении новой продукции [3].

Поскольку экология и технический прогресс системно связаны между собой, авторами сделана попытка эколого-технологической типизации техногенного сырья (на примере горно-металлургической отрасли; таблица).

В таблице впервые в обобщенном виде дается характеристика отходов горно-металлургического комплекса как техногенного сырья для переработки и утилизации и по возможности дана их принципиальная экологическая оценка, приведены ресурсные характеристики. Таблица, составленная на основе аналитического исследования и обработки патентного фонда, позволяет обоснованно сформулировать принципиальный подход к решению проблемы ресурсосбережения в сфере горно-металлургического комплекса: извлечение из вторсырья ценных компонентов с последующей утилизацией оставшейся части в строительной индустрии. Само по себе доизвлечение ценных компонентов (в том числе металлов) проблему отходов не решает (малый выход полезной продукции) [4—11].

Исходя из изложенного, научные подходы к реализации политики в сфере ресурсосбережения и ресурсной эффективности базируются на выявлении причинно-следственных связей между закономерным образованием отходов (имеются в виду их характеристики, количество и качество) и целесообразностью их вовлечения в хозяйственный оборот, а также выявлении приоритетов в инвестиционной политике.

Шубов Лазарь Яковлевич, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: info@eipc.center

Скобелев Кирилл Дмитриевич, начальник отдела вторичных ресурсов и электроэнергетики.

E-mail: info@eipc.center

Доронкина Ирина Геннадиевна, доцент, научный сотрудник.

E-mail: doronkinaig@mail.ru

Статья поступила в редакцию 1 сентября 2020 г.

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

## Эколого-технологическая типизация техногенного сырья

Отходы	Класс опасности	Выход	Ресурсные характеристики	Состав, %	Примечание (применяемые технологии, технологические операции)
Шлаки черной металлургии (доменные, ферросплавные, сталеплавильные)	IV	40 млн т/г.	0,5 т доменного шлака на 1 т чугуна	Доменные шлаки: SiO <sub>2</sub> 30—45, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5—17, CaO 20—50, MgO 2—15, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,5—3, FeO 0,5—5. Сталеплавильные шлаки: SiO <sub>2</sub> 13—20, CaO 28—50, оксиды железа 25—38	Дробление, грохочение, магнитная сепарация, термообработка. После извлечения железа — ценное сырье для строительной индустрии. Степень утилизации 15—20 %
Шлаки цветной металлургии (медные, свинцовые, никелевые и т. д.)	IV	10 млн т/г.	—	Медные и свинцовые шлаки: SiO <sub>2</sub> 18—45, FeO 25—50, CaO 12—13, Cu — до 1,1, Zn — до 5 Никелевые шлаки: Fe 24, Cu 0,16, Ni 0,22, SiO <sub>2</sub> 39, Co 0,075, S 0,8	Обогащение на винтовых сепараторах, выщелачивание, термическая переработка. Ценное сырье для извлечения металлов (с последующим использованием в стройиндустрии). Степень утилизации 15 %
Отходы электролитического производства алюминия		Более 1 млн т (накоплено в шламовых полях)	40—50 кг отходов и 1 т алюминия		Дробление, термическая переработка (в том числе газификация), выщелачивание NaOH, реагентная обработка, брикетирование. Наиболее токсичны соединения фтора. Перерабатывают отходы с получением CaF <sub>2</sub> . Брикетированные отходы используют в качестве топлива, в производстве цемента. Из красного шлама извлекают Al, Sc, Ti и PЗЭ, получают строительные материалы, минвату и флюсовые материалы для металлургии
Хвосты флотации угольной пены	—		11 кг/т алюминия	F 6—12, C 65—85, Na 4—7, Al 2—6	
Шламы газоочистки	IV		7 кг/т алюминия	F 17—25, C 20—30, Na 15—23, Al 12—23	
Пыль электрофильтров	III		9 кг/т алюминия	F 13—23, C 20—34, Na 9—13, Al 9—19	
Футеровка электролизеров (углеродная часть)	IV	10 тыс. т/г. на Иркутском заводе	Срок службы футеровки на заводах в РФ 1000—1500 сут (складируется вблизи заводов)	C — до 50, криолит Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> 16—18, хиолит Na <sub>5</sub> AlF <sub>14</sub> — до 1,4, NaF 10—14, AlF <sub>3</sub> 1—5, CaF <sub>2</sub> — до 1, Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> — до 10, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — до 0,6	
Футеровка электролизеров (огнеупорная часть)	IV			C 4, F 10, Al 13, Na 9, Si 18, Ca 1, Fe 2, Mg 0,7	
Красный шлам	—		0,9—1,5 т/т глинозема Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> 9, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 12, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 44, TiO <sub>2</sub> 4, CaO 13, MgO 1, Na <sub>2</sub> O 0,3—4, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,7, MnO 0,5, PЗЭ 0,14, Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,01	
Шлаки производства медно-бериллиевых лигатур (МБЛ) и сплавов	III	—	—	Бериллийсодержащие отходы содержат 10—20 % Be	Измельчение, разделение на классы крупности (–1 и +1 мм). Раздельное плавление каждого класса. Из класса +1 мм получают МБЛ (применяют в военной индустрии, в производстве радиоаппаратуры)
Ванадийсодержащие металлургические шлаки	—	—	—	V 12—15, Fe 28, MgO 2—4, SiO <sub>2</sub> 13—20, TiO <sub>2</sub> 10, MnO 12	Измельчение, магнитная сепарация, обжиг немагнитной фракции крупностью –0,1 мм с последующим выщелачиванием содой. Готовый продукт содержит 98 % V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (используется для получения V в качестве катализатора, в наукоемких технологиях)
Металлические радиоактивные отходы (РО) и металлургические шлаки	—	Более 1 млн т РО (накоплено в хранилищах)	Расход шлака 1—1,5 % от массы РО (используется в качестве флюса)	Жидкий шлак низкой основности (экстрагирование радионуклидов из металла): SiO <sub>2</sub> 46—57, CaO 9—12, MgO 1—4, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 11—13, Fe <sub>общ</sub> 5—18, MnO 4—10	Экстрагирование радионуклидов из металла в шлак и их фиксация в шлаке. Выпуск из плавильной камеры радиоактивного шлака и дезактивированного металла (возвращается в оборот) — раздельный
Лежалые железосодержащие хвосты медной флотации	IV	—	—	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 35, FeO 27, SiO <sub>2</sub> 29, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 4, CaO 3, MgO 3	Сушка, измельчение до 1—2 мм, восстановительный обжиг, резкое охлаждение, измельчение до 1 мм, магнитная сепарация. Немагнитная фракция — высококачественный песок
Хвосты обогащения вольфрамовых руд	—	—	—	WO <sub>3</sub> 0,09	Доизвлечение вольфрама: отсев класса +8 мм, винтовая сепарация, обогащение черного концентрата на столах и флотация (получаемый концентрат содержит 62 % WO <sub>3</sub> при извлечении от операции 50 %)
Шлак свинцового производства	—	—	—	Si 11, Zn 9,5, Fe 14, Ca 16, Ge 0,04 Полезные продукты: Ca(OH) <sub>2</sub> , соли Zn, гидроксиды Fe, SiO <sub>2</sub> , GeO <sub>2</sub>	Измельчение, выщелачивание HCl, фильтрование (жидкая фаза — Fe, Zn, Ca, твердая — SiO <sub>2</sub> , GeO <sub>2</sub> ). Жидкая фаза проходит щелочную обработку, твердая — кислотную

Окончание таблицы

Отходы	Класс опасности	Выход	Ресурсные характеристики	Состав, %	Примечание (применяемые технологии, технологические операции)
Лежалые шлаки медеплавильного производства		—	—	Cu 3—9, Pb 40, Zn 1—2, Fe 8—11, As 0,6—9, Sb 1—3,5, S <sub>общ</sub> 4—11 Полезные продукты: Черновой свинец, цементная медь, арсенат кальция, железоксидный пигмент, вторичный шлак (для стройиндустрии)	Обогащение на винтовых сепараторах, кучное биовыщелачивание легкой фракции (извлечение, %: Cu 76—88, Zn 80); кек — на доводку металлургическими методами
Медьсодержащие шламы гальванического производства	III	—	—	Cu 60, Fe 3, Ca 0,1, Si 0,04, Pb 0,45, Sn 0,01, Zn 0,03, Cr 0,01. Полезные продукты: Алюминиевая бронза, легированная железом (Cu 87 %, Al 9 %, Fe 3 %)	Термообработка, измельчение и смешивание с алюминиевым порошком (отход механической обработки алюминиевых деталей)
Пылевидные отходы металлургического производства (пыль газоочистки)	IV	—	—	Пыль газоочистки: CaO 13—14, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 50, SiO <sub>2</sub> 6, Na <sub>2</sub> O 10, MgO 4, ZnO 6, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,6, K <sub>2</sub> O 0,5—6, MnO 2—3, PbO 0,5, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,3, SO <sub>3</sub> 1,5, CuO 0,15, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,15, Br 0,01, Cd 0,02, V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 0,01, NiO 0,02	Послойная подача на поверхность жидкого шлака (исключается вторичное окисление металлов): уголь + отходы + уголь. Магнитная сепарация шлака (извлечение металлов)
Шламы и пыли ферросплавного производства	—	—	—	Шламы ферросплавных электропечей: Mn 9, Fe 20, MgO 2, SiO <sub>2</sub> 30, CaO 2, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 6, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 4, SO <sub>3</sub> 5, K <sub>2</sub> O 1,5, H <sub>2</sub> O 50. Пыли ферросплавных электропечей: Mn 40—42, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 8, CaO 3, MgO 2, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3, SiO <sub>2</sub> 10, P 0,4, H <sub>2</sub> O 0,7	Выщелачивание сырья H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , фильтрование пульпы (извлечение Mn в раствор 95—96 %). Из фильтрата выделяют Mn (в виде осадка, содержит 65 % Mn) и получают удобрение
Извлечение драгметаллов из плат радиоэлектронных изделий	IV	1,2 млн т/г. (электронный лом)		Au 0,08—0,27, Ag 0,43—2,5, Cu 21—23, Al 15,0—15,5, Fe 7—12, Pb 3, Sn 1,5—12,5, Pt 0,7—0,9. Состав осадка (направляется на аффинаж), %: Au 6—7, Ag 35,5—64,8, Pt 23,3—57,8, прочие металлы 0,7—4,9	Дробление плат (крупность 0,1—0,5 мм), флотация (отделение металлической фракции от текстолита и органических материалов), промывка металлической фракции и ее сушка, смешивание металлической фракции с тетрафтороброматом KBrF <sub>4</sub> (соотношение 1:10), нагрев смеси при температуре 400 °C (сплавление), растворение плава в воде (после остывания), отделение осадка фильтрованием, сушка и направление на аффинаж

Система управления отходами создается в интересах охраны окружающей среды и рационального природопользования (с учетом одного из основных принципов: предпочтительно сохранение энергии, сосредоточенной в отходах, за счет их вторичного использования в качестве ВМР, а не прямое сжигание с утилизацией энергии). Без научно обоснованного подхода оптимизировать систему управления отходами невозможно.

При вовлечении в хозяйственный оборот много-тоннажных отходов необходима достоверная информация не только о ресурсах, но и о качестве вторсырья и возможных направлениях его переработки и утилизации (приоритеты отраслевых инвестиций), для чего требуются организация опробования скоплений и отвалов техногенного сырья и проведение масштабных экспериментальных исследований (по аналогии с новыми месторождениями природных полезных ископаемых). Это весьма трудоемкая задача, для решения которой нужны средства и время [12]. (Оценка запасов месторождений природного ископаемого сырья проводится в ком-

плексе с исследованием их обогатимости — способности подвергаться переработке с применением существующих технологий.)

Для экономии средств и времени, для повышения комплексности исследований и их достоверности впервые предложено обоснование методологии оценки качества техногенного сырья и возможных направлений его утилизации на основе аналитического исследования *совокупности запатентованных технологических решений*, объектом разработки которых является техногенное сырье, образовавшееся в результате переработки полезных ископаемых и их производных (в цепочке получения разнообразной продукции, утрачивающей со временем потребительские свойства).

Приведем обоснование целесообразности применения такой методологии:

- запатентованные технологические решения проверены экспериментально на реальных пробах отходов производства; они не только выявляют возможности технологии, но и уточняют состав отходов как объектов переработки;

- эксперименты можно считать комплексными: они проведены разными исследователями и решают разные задачи;

- запатентованные технологии применительно к ВМР являются ресурсосберегающими; их можно рассматривать как инновационные предложения;

- в случае укрупненных положительных технологических испытаний, например полупромышленных, технология может быть рекомендована к практическому применению и использована в качестве исходных данных для проектирования нового производства.

Представим новые ресурсосберегающие технологии, прошедшие полупромышленную и опытно-промышленную апробацию:

- переработка мелкодисперсных фторуглеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия (на шламовых полях накоплены миллионы тонн отходов);

- переработка пылей вторичного свинца и пасты свинцовых аккумуляторов;

- совместная переработка медистых шлаков и шламов медеэлектролитного производства;

- обезвреживание сталеплавильного шлака и железного купороса (выделен при регенерации отработанных травильных растворов);

- извлечение из золошлаковых отходов (ЗШО) магнитной фракции;

- комплексная переработка ЗШО с извлечением ценных компонентов и недожога;

- переработки пиритных огарков;

- переработка фосфогипса (с извлечением ценных компонентов, в том числе РЗЭ);

- получение высокопрочного искусственного гипсового камня.

Анализ запатентованных технологических решений показывает [11], что техногенные месторождения многотоннажных отходов в РФ практически изучены и пригодны к эксплуатации. Многие апробированные технологические решения есть основания считать ресурсоэффективными. Следовательно, проблема отходов, исходя из методов её решения, перефокусируется на проблему вторсырья как части проблемы ресурсосбережения. Весьма важно, что вовлечение в хозяйственный оборот многих видов вторсырья базируется на применении экспериментально проверенных технологических решений и технологические и инвестиционные риски сведены к минимуму.

В целом извлечение из вторсырья ценных компонентов с последующей утилизацией оставшейся части в строительной индустрии принципиально является рациональным решением проблемы ресурсосбережения и повышения ресурсоэффективности (стратегическое планирование).

Таким образом, приведенное аналитическое исследование совокупности запатентованных ресурсосберегающих решений различных технологических задач является эффективным методом оценки качества техногенного сырья и его пригодности к вовлечению в хозяйственный оборот, оценки направлений его утилизации. Такой подход представляется также наиболее информативным и обоснованным

методом оценки правильности подходов к решению проблемы вторсырья и созданию соответствующих рыночных условий для переработки и использования отходов в том или ином регионе, для минимизации экологических и инвестиционных рисков. Его можно использовать и как метод экспертных оценок при определении эколого-экономической эффективности и целесообразности вовлечения в переработку техногенного сырья, при реализации обоснованной экологической промышленной политики.

Целесообразность масштабного вовлечения в переработку и утилизацию многотоннажных отходов как техногенного сырья, сосредоточенного в искусственных скоплениях отходов, загрязняющих окружающую среду, объясняется следующими причинами:

- необходимость решения проблемы отходов продиктована Федеральным законом "Об отходах производства и потребления" от 29.12.2014 № 458-ФЗ (в соответствии со ст. 3 этого Закона определена следующая приоритетность действий: максимальное использование исходного сырья и материалов; предотвращение образования отходов; сокращение образования отходов и снижение класса опасности отходов в источниках их образования; обработка отходов; утилизация отходов; обезвреживание отходов);

- экологические требования (в РФ в отвалах накоплено около 2 млрд т золошлаковых отходов (ЗШО), более 3 млрд т отходов горно-металлургического производства и других загрязняющих окружающую среду отходов; формирование отвалов связано с изъятием земель из полезного использования); экологические проблемы сами по себе не представляют интерес для рынка, но в то же время составной частью конкурентоспособности новой продукции становятся её экологические характеристики (экоэффективность);

- ЗШО и шлаки представляют собой тонкоизмельченный термически обработанный и несгораемый продукт (содержат реакционноспособные оксиды кальция, кремния и алюминия, обладают низкой теплопроводностью); характеристики многих отходов определяют их потенциальную пригодность к использованию в строительной индустрии и в дорожном строительстве [13];

- многие отходы содержат ценные компоненты (соединения железа, микросферы, редкие и редкоземельные металлы, цветные и благородные металлы и т. д.).

Необходимые действия на государственном уровне:

- законодательно все предприятия обязаны вести учет в области обращения с отходами и представлять информацию об этом органам власти;

- государственная поддержка реализации продукции с использованием вторсырья;

- наложение ограничений на использование первичных материалов или продукции из них, если имеются аналогичные материалы или продукция с использованием вторсырья;

- льготное налогообложение предприятий, осуществляющих деятельность по обращению с отходами;



- льготные тарифы на транспортирование вторсырья, полученного из отходов;
- кредитные льготы на создание инфраструктуры утилизации отходов.

Возможность перевода того или иного отхода в категорию "вторичный ресурс" в данных технико-экономических условиях зависит от ресурсной ценности и степени приоритетности отхода с учетом его количества, состава, технологической пригодности к переработке и утилизации, вида и количественных показателей выхода новой продукции и её востребованности (естественно, в первую очередь должен решаться вопрос о вовлечении в переработку и утилизацию отходов, содержащих ценные компоненты и запрещенных к захоронению; их номенклатура определена распоряжением Правительства РФ от 25.07.2017 № 1589-Р).

Из многотоннажных отходов (условно к ним можно отнести отходы, образование которых превышает 1 млн т в год), образующихся при переработке природных полезных ископаемых, и получаемой из них продукции приоритетными являются металлургические шлаки и отходы электролитического производства алюминия (металлургическая промышленность), золошлаковые отходы (топливно-энергетическая промышленность) и фосфогипс (химическая промышленность) исходя из их количественных характеристик, состава, свойств, широкой возможности и значимости полезного использования, ресурсной ценности, готовности к переработке.

К числу многотоннажных ресурсно-привлекательных отходов можно отнести:

- вскрышные породы, хвосты обогащения, шлаки и шламы (отходы горнодобывающей и металлургической промышленности);
- золошлаковые отходы (топливно-энергетическая промышленность);
- фосфогипс и пиритные огарки (отходы химической промышленности);
- твердые коммунальные отходы;
- отходы целлюлозно-бумажного и гидролизного производства;
- макулатуру;
- пластмассовые отходы;
- отработанные шины и резинотехнические изделия;
- электронный и электротехнический лом;
- автолом;
- отходы строительной индустрии;
- крупногабаритные материалы.

В целом ресурсоэффективность решения проблемы отходов и вторсырья определяется технологическими показателями, характеристикой продукции, экологичностью процесса и минимизацией расходов.

Ресурсоэффективность характеризует систему ресурсосбережения с точки зрения степени утилизации отходов и качества получаемой продукции (при минимизации затрат и экологических рисков). Степень утилизации отходов — это количество ресурсов, выделенных из отходов для вторичного использования, выраженное в процентах от общего количества образующихся отходов данного вида. Качество получаемой продукции характеризуется специфическими

показателями отраслевого применения этой продукции.

Технологические критерии, представляющие собой комбинацию рассматриваемых далее основных параметров процесса ( $\alpha, \beta, \varepsilon, \gamma$ ), связаны зависимостью  $\gamma\beta = \alpha\varepsilon$ . Целевой функцией является извлечение  $\varepsilon = \gamma\beta/\alpha$  (при условии, что содержание полезного компонента  $\beta$  в готовом продукте удовлетворяет требованиям последующего передела переработки) [14].

Критерии ресурсной эффективности переработки техногенного сырья следующие:

- степень утилизации отходов, %;
- технологические показатели применяемых процессов (обогащение, металлургия, химическая обработка и т. д.):
  - содержание в исходном продукте  $\alpha$ , %;
  - извлечение  $\varepsilon$ , %;
  - содержание в полезном продукте  $\beta$ , %;
  - выход  $\gamma$ , %;
- строительно-технологические свойства новой продукции (при условии её применения в стройиндустрии):
  - прочность на сжатие  $\delta_{сж}$ , МПа;
  - прочность на изгиб  $\delta_{из}$ , МПа;
  - морозостойкость  $M$ , циклы;
  - теплопроводность  $\lambda$ , Вт/м<sup>2</sup>·°С;
  - водопоглощение  $B$ , %;
- показатели, характеризующие бумагообразующие свойства макулатуры как вторсырья (макулатуроперерабатывающая отрасль):
  - разрывная длина, м;
  - сопротивление продавливанию, кПа;
- удельный расход энергии, кВт·ч/т (сырья, продукции).

Далее дана оценка ресурсоэффективности технологии обогащения как подготовительной операции в общей схеме переработки отходов.

Технология обогащения техногенного сырья — это совокупность методов (операций) воздействия на отходы в целях повышения их качества как вторсырья (стабилизация состава, крупности, извлечение ценных и удаление нежелательных компонентов) для последующей переработки и утилизации.

Основные технологические показатели, характеризующие процесс обогащения (сепарации), — *извлечение, содержание и выход*. Они позволяют оценить эффективность данной технологии и сравнить её с другими технологическими процессами, решающими аналогичные задачи.

Извлечение  $\varepsilon$  компонента в продукт сепарации — отношение массы компонента в продукте сепарации к массе компонента в исходном.

Содержание  $\beta$  компонента в продукте сепарации — отношение массы компонента в продукте сепарации к массе продукта сепарации.

Выход  $\gamma$  продукта сепарации — отношение массы продукта сепарации к массе исходного материала.

Показатели сепарации обычно выражают в процентах (реже — в долях единицы).

Продукты и полупродукты (фракции отходов), выделяемые при сепарации, должны удовлетворять действующим стандартам и требованиям конкретного производства, куда они будут направлены.

Приведем конкретный пример.

В процесс сепарации поступила 1 т отходов. Материал транспортируют конвейерной лентой, над которой установлен подвесной магнитный сепаратор.

В 1 т отходов содержится 5 % железа (50 кг).

В результате магнитной сепарации получена магнитная фракция массой 25 кг. Она представлена черными металлами (20 кг) и примесями (5 кг).

Определяем показатели сепарации:

$$\varepsilon = \frac{20 \text{ кг}}{50 \text{ кг}} 100 \% = 40 \%;$$

$$\beta = \frac{20 \text{ кг}}{25 \text{ кг}} 100 \% = 80 \%;$$

$$\gamma = \frac{25 \text{ кг}}{1000 \text{ кг}} 100 \% = 2,5 \%.$$

Численные значения технологических показателей позволяют судить об эффективности процесса сепарации (хорошие это показатели или плохие).

Извлечение: достигнутый показатель 40 %, максимально возможный 100 %. Большие потери черного металла с немагнитной фракцией свидетельствуют о том, что одностадийная магнитная сепарация недостаточна, требуется по крайней мере еще одна стадия, установка еще одного сепаратора по ходу процесса.

Содержание высокое: 80 %. По ГОСТу содержание железа в магнитной фракции при обогащении ТКО — не менее 97 % (следовательно, требуется перемелка).

Выход: 2,5 %. Показатель неплохой. Он показывает, что удалось отделить часть соединений железа от основной массы отходов (выход хвостов магнитной сепарации 100 % — 2,5 % = 97,5 %; в случае шлаков или ЗШО хвосты магнитной сепарации — оптимизированный продукт для использования в стройиндустрии).

Показатель комплексности использования отходов — число выделенных компонентов и их извлечение в кондиционные продукты.

Объединяющим процессом в схеме комплексной переработки отходов является обогащение. Управляя качеством и количеством отходов на основе их разделения на несколько несмешивающихся потоков методами обогащения, можно не только извлечь ценные компоненты, но и улучшить качество отходов как вторсырья (в частности, стабилизировать состав) и оптимизировать процессы их последующей переработки (производство бетона, цемента, вяжущих и т. д.).

Рациональная комплексная переработка отходов обеспечивает извлечение и получение ресурсоценных компонентов и материалов и соблюдение дей-

ствующих стандартов в сфере утилизации вторсырья [15].

Для сравнения технологий утилизации обогащенных отходов в стройиндустрии и дорожном строительстве (производство бетона, цемента, вяжущих, цементного клинкера и т. д.) изучают *строительно-технологические свойства* новой продукции: прочностные характеристики, нормализуемая влажность, сыпучесть, неслеживаемость и т. д. (основные показатели качества получаемой продукции)\* [16].

Таким образом, технологии сравнивают с учетом специфики отраслевого применения получаемой продукции.

Независимо от вида вовлекаемых в переработку отходов, состав сырья на входе в термический процесс должен быть оптимизирован по критериям энергосбережения и экологической безопасности:

- термической утилизации должна подвергаться обогащенная горючая фракция отходов определенной крупности (требования конкретного процесса) и теплотворной способности, не содержащая ресурсоценных и опасных компонентов (отработанные сухие гальваноэлементы, отслужившие свой срок ртутьсодержащие изделия и т. п.);

- теплотворная способность смеси отходов (типа ТКО), поступающих на сжигание, — в пределах 2000—3000 ккал/кг (обеспечение стабильности и автономности процесса);

- содержание в шлаке недогоревшего углерода — не более 0,3 % (требования к содержанию недожога);

- класс опасности шлака — не ниже IV.

Основные пути повышения энергоэффективности при переработке отходов:

- полнота сгорания объекта переработки (минимизация выхода недожога);

- рациональная подготовка отходов к термической переработке (например, брикетирование, удаление балласта и т. д.);

- извлечение из золы недожога (его брикетирование и использование в качестве топлива);

---

\* Бетон — один из важнейших строительных материалов, который представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердения уплотненной смеси вяжущего вещества, воды, заполнителей и, в некоторых случаях, добавок. Основным показателем качества бетона — прочность при сжатии (по ней устанавливается марка бетона).

Вяжущие вещества — строительные материалы для изготовления бетонов и растворов. Минеральные вяжущие вещества при смешивании с водой образуют пластичную массу, приобретающую затем камневидное состояние. Их делят на гидравлические (способны твердеть и сохранять прочность на воздухе и в воде, например портландцемент) и воздушные (твердеют и сохраняют прочность только на воздухе, например гипс, известь).

Цемент — гидравлическое вяжущее вещество. При смешивании с водой он образует пластичную массу, приобретающую затем камневидное состояние.

Портландцемент — гидравлическое вяжущее вещество. Его получают совместным измельчением клинкера и гипса (иногда некоторых добавок).

Клинкер цементный — полупродукт, получаемый в виде гранул при обжиге тонкоизмельченной смеси известняка с глиной. Применяется в производстве цемента.

- полнота утилизации выделяющейся теплоты при термической переработке отходов, например за счет:

- утилизации теплоты расплава шлаков при переработке пылевидных отходов металлургического производства с получением чистых металлизированных слитков;
- получения более эффективных энергоносителей, например в так называемом адиабатическом процессе газификации отходов;

- экономия энергии за счет совершенствования технологии основного производства:

- низкой энергоемкостью характеризуется возгонка олова в сульфидной форме (технология извлечения олова из бедных металлургических шлаков);
- 30 % энергии позволяет экономить технология переработки техногенного сырья с получением гидравлических вяжущих, основанная на его специальной физической обработке и применении эффективных химических добавок;
- низким расходом энергии характеризуется технология извлечения углеродных наночастиц из углеродистого материала (за счет использования в качестве сырьевого материала отходов, прошедших высокотемпературную обработку в процессе электролиза алюминия);

- измельчение отработанных шин с добавлением девулканизатора резины.

Анализ совокупности запатентованных технологических решений доказывает пригодность металлургических отходов, ЗШО и фосфогипса, образующих большие скопления, к вторичному использованию и характеризует их широкие технологические возможности как объектов переработки.

### Выводы

Отмечены причинно-следственные связи между закономерным образованием отходов и целесообразностью их вовлечения в хозяйственный оборот (в том числе с учетом инвестиционных приоритетов) исходя из характеристики, количества и качества техногенного сырья и востребованности новой продукции.

Впервые предложено обоснование методологии оценки обогатимости техногенного сырья (его качества с точки зрения готовности к переработке и возможных направлений утилизации) на основе аналитического исследования совокупности запатентованных технологических решений, объектом разработки которых является техногенное сырье, образовавшееся в результате переработки полезных ископаемых и получаемой из них продукции, утратившей со временем потребительские свойства.

Подчеркнуто, что техногенные месторождения многотоннажных отходов в РФ практически изучены и пригодны к эксплуатации.

Показано, что стратегическое планирование ресурсосбережения и повышения ресурсоэффективности в сфере обращения с многотоннажными отхода-

ми может быть связано с извлечением из вторсырья ценных компонентов с последующей утилизацией оставшейся части в строительной индустрии.

Рассмотрены критерии ресурсо- и энергоэффективности при переработке техногенного сырья (степень утилизации отходов, технологические показатели применяемых процессов, специфические показатели качества новой продукции, удельный расход энергии).

Из многотоннажных отходов, образующихся при переработке природных полезных ископаемых и получаемой из них продукции приоритетными для вовлечения в хозяйственный оборот являются металлургические шлаки и отходы электролитического производства алюминия (металлургическая промышленность), золошлаковые отходы (топливно-энергетическая промышленность) и фосфогипс (химическая промышленность) — исходя из их количественных характеристик, состава, свойств, широкой возможности и значимости полезного использования, ресурсной ценности, готовности к переработке.

Предложена эколого-экономическая типизация отходов горно-металлургического комплекса (в порядке обсуждения).

---

*Авторы выражают благодарность  
за ценные советы по содержанию статьи  
доктору технических наук,  
профессору Т. В. Гусевой*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Эволюция стратегии управления ТБО // Твердые бытовые отходы. 2014. № 11(101). С. 12—15.
2. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Стратегия оптимизации комплексного управления твердыми бытовыми отходами в Российской Федерации // Экология промышленного производства. 2017. № 4(100). С. 16—25.
3. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Состав ТБО — критерий эффективности схем управления // Твердые бытовые отходы. 2013. № 12(90). С. 28—33.
4. Прутков Д. В. и др. Переработка АМг-лома в алюминиевых электролизерах // Теория и практика металлургии. 2014. № 3—6. С. 165—167.
5. Sugiyama S. et al. Feasibility of recycling aluminum alloy scrap by semisolid extrusion // Solid State Phenom. 2008. № 141—143. P. 79—83.
6. Камалов К. О. и др. Переработка цинкосодержащих пылей медеплавильного производства на цинковые пигменты // Цветные металлы. 2015. № 7. С. 2932.
7. Amer Ashraf. The hydrometallurgical extraction of rhenium from copper industrial wastes // J. Miner. Metals and Mater. Soc. 2008. V. 60. № 8. P. 52—54.
8. Bakhtiari F. et al. Continuous copper recovery from a smelter's dust in stirred tank reactors // Int. J. Miner. Process. 2008. V. 86. № 1—4. P. 50—57.
9. Amaral Fabio et al. Metals recovery from galvanic sludge by sulfate roasting and thiosulfate leaching // Miner. Eng. 2014. V. 60. P. 1—7.
10. Mahmoudi H. A. и др. Высокотемпературный процесс переработки медных отходов в порошок меди // Химический журнал Армении. 2017. Т. 70. № 4. С. 477—486.
11. Иванков С. И., Скобелев К. Д., Шубов Л. Я., Доронкина И. Г. Систематизация многотоннажных отходов и запатентованные технологии их утилизации и переработки // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2020. № 1. С. 2—118.
12. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Оптимизация системы комплексного управления ТБО в Российской Федерации (обосновывающие материалы и стратегия) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2018. № 1. С. 2.

13. 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.

14. Скобелев Д. О. Ресурсная эффективность экономики: аспекты стратегического планирования // Менеджмент в России и за рубежом. 2020. № 4. С. 3—13.

15. Скобелев Д. О. Возвращение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот: экономика, технология, право // Компетентность. 2020. № 4. С. 8—15.

16. Скобелев Д. О., Гусева Т. В., Молчанова Я. П., Аверочкин Е. М. Энергетическая и экологическая эффективность производства строительных материалов // Компетентность. 2011. № 9—10(90—91). С. 32—41.

## Criteria of resource and energy efficiency in the processing of technogenic raw materials and assessment of its quality (on the example of the mining and metallurgical industry)

L. Ya. SHUBOV, K. D. SCOBEEV, I. G. DORONKINA  
FSAB "Research Institute "Environmental Industrial Policy Center",  
Mytischki, Moscow region, Russia

*It is shown that waste can be used as a resource for a great number of material. The article attempts an outline of possible roadmaps towards sustainable solutions of the technology based on creation of waste management. The creation of resource recovery environmentally safe technology is the rational way to develop branch of industry of complex waste and recyclable materials treatment and utilization.*

**Keyword:** technology, waste management, recyclable materials.

**Bibliography** —16 references.

*Received September 1, 2020*

УДК 666.7

## Применение гальванического шлама и диоксида титана в производстве облицовочной керамики

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

*Представлены результаты исследований зависимости основных физико-механических свойств керамики от соотношения количеств гальванического шлама и диоксида титана в составе шихты на основе малопластичной глины с добавлением 5 масс. % борной кислоты в качестве плавня. Установлено, что гальванический шлам выступает в качестве порообразующей добавки, которая за счет повышения пористости снижает плотность и теплопроводность керамики, но одновременно снижает ее прочность и морозостойкость. Однако диоксид титана совместно с борной кислотой способствует жидкофазному спеканию с получением эффектов самоглазурования изделий и остекловывания частиц керамики при высокой степени кристалличности стекловидной фазы, что повышает прочность и морозостойкость керамики. По результатам исследований выявлено, что при введении 5 масс. % гальванического шлама и 10 масс. % диоксида титана может быть получена экологически безопасная керамика с высокими эксплуатационными свойствами для применения в производстве изделий для наружной облицовки зданий и сооружений.*

**Ключевые слова:** гальванический шлам, облицовочная керамика, самоглазурование, малопластичная глина, диоксид титана, борная кислота, экологическая безопасность.

Гальванические шламы являются одними из основных видов промышленных отходов, образующихся на машиностроительных, электротехнических и химических предприятиях в качестве побочного продукта работы гальванических линий. Их образование связано с появлением осадка на дне гальванических ванн, преимущественно ванн фосфатирования, с осаждением анодных материалов (кадмия, никеля, цинка и т. д.) в результате их неравномерного растворения и с реагентной очисткой сточных вод гальванических линий. Гальванические шламы представляют собой пастообразные массы с нестабильным и сложным химическим составом, в которых содержатся высокие концентрации ионов тяжелых металлов, представляющих опасность для человека и окружающей среды в целом за счет своей токсичности и способности к биоаккумуляции.

С учетом высокого класса опасности гальванических шламов и больших объемов их образования на промышленных предприятиях обезвреживание и утилизация данного вида отходов являются актуальной задачей. Переработку и обезвреживание проводят путем извлечения тяжелых металлов и их соединений (в первую очередь методом выщелачивания), связыванием инертными веществами, ферритизацией и остекловыванием в результате высокотемпературной обработки [1—3]. Утилизацию осуществляют за счет использования гальванических шламов и продуктов их переработки в металлургических производствах в качестве легирующих добавок или в составе противопригарных красок и покрытий, в составе цементных смесей и полимерных композиций, в производстве асфальтобетона, строительной керамики, стекла и т. д. [2—4], а также применения ферритизированных гальваношламов в качестве сорбентов [5].

Из перечисленных методов обезвреживания и утилизации наиболее простым, быстрым и перспективным является использование гальванических шламов в качестве добавки в производстве строительных материалов и изделий. В этом направлении наиболее важными целями являются эффективное применение данных отходов в качестве функциональных добавок, позволяющих повышать качество материалов и изделий, а также разработка и применение технологий по получению экологически безопасной продукции при максимально возможном количестве утилизируемого гальваношлама.

**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 сентября 2020 г.

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



Авторы данной работы ранее проводили исследование по разработке составов керамических шихт, в которых гальванический шлам являлся добавкой, способствующей снижению плотности и теплопроводности, повышению термостойкости и химической стойкости стекловидной фазы керамики [6—8]. К этим разработкам относится состав шихты на основе малопластичной глины для производства облицовочной керамики, в которую одновременно с гальваническим шламом вводили борную кислоту и диоксид титана [6]. В результате данной разработки изучено влияние гальванического шлама и диоксида титана в исследуемом составе шихты на свойства строительной керамики.

Цель данной работы — определение соотношения количеств гальванического шлама и диоксида титана в составе шихты на основе малопластичной глины с добавлением борной кислоты для производства экологически безопасной облицовочной керамики с высокими эксплуатационными свойствами.

### Сырьевые материалы и методы исследования

Основным компонентом исследуемой шихты являлась глина Суворотского месторождения Владимирской области следующего состава (масс. %):  $\text{SiO}_2$  — 67,5;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 10,75;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 5,85;  $\text{CaO}$  — 2,8;  $\text{MgO}$  — 1,7;  $\text{K}_2\text{O}$  — 2,4;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 0,7. Данная глина относится к малопластичным по ГОСТ 9169-75, т. к. число ее пластичности составляет 5,2, что является причиной низких эксплуатационных показателей и трещинообразования изделий, получаемых из нее без введения добавок [9—11].

Для обеспечения жидкофазного спекания, эффекта самоглазурования поверхности изделий и эффекта остекловывания поверхности частиц керамики в состав шихты одновременно вводили гальванический шлам, образованный в результате реагентной очистки сточных вод гальванических производств предприятия ОАО "Завод "Автоприбор" (г. Владимир), борную кислоту марки В 2-го сорта по ГОСТ 18704-78 с содержанием основного вещества в количестве не менее 98,6 масс. % и диоксид титана марки Р-02 по ГОСТ 9808-84 с содержанием основного вещества в количестве не менее 93 масс. %.

Применяемый в данной работе гальванический шлам имел следующий состав (масс. %):  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  — 11,3 %;  $\text{SiO}_2$  — 7,08 %;  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  — 16,52 %;  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  — 9,31 %;  $(\text{Fe}^{2+})\text{Cr}_2\text{S}_4$  — 4,17 %;  $\text{CaCO}_3$  — 40,25 %;  $\text{CaO}$  — 3,45 %;  $\text{ZnO}$  — 2,41 %;  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  — 2,38 %;  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  — 2,62 %;  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  — 0,64 %;  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  — 0,14 % [6—8].

Для получения образцов исследуемой керамики глину и гальванический шлам предварительно высушивали до постоянной массы и измельчали с отбором фракции с размером частиц не более 0,63 мм. Затем все компоненты шихты в принятых для экспериментов соотношениях перемешивали в сухом состоянии, а потом — с добавлением 8 масс. % воды с получением однородной массы, из которой при давлении прессования 15 МПа и максимальной температуре обжига 1050 °С получали образцы керамики. На основании ранее проведенных экспериментов со-

держание борной кислоты во всех составах шихты было принято равным 5 масс. %, т. к. при меньших количествах данной добавки эффект от ее применения снижается из-за недостатка образующейся стекловидной фазы, а при более высоких количествах наблюдается избыток стекловидной фазы, приводящий к потере формы образцами, и не обеспечивается экологическая безопасность керамики [6—8]. Для определения каждого свойства для всех исследуемых составов шихты готовили серии по три образца.

У образцов по стандартным для строительной керамики методикам определяли прочность на сжатие ( $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа) и изгиб ( $\sigma_{\text{из}}$ , МПа), открытую пористость ( $P_{\text{от}}$ , %), водопоглощение ( $V$ , %), морозостойкость ( $M$ , циклы), плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) и теплопроводность ( $\lambda$ , Вт/(м·°С)).

Экологическую безопасность образцов исследуемой керамики оценивали по методике определения токсичности суточных водных вытяжек из образцов со сколами по смертности дафний *Daphnia magna* Straus (СД, %) [12].

### Результаты экспериментов и их обсуждение

На первом этапе экспериментальных исследований была установлена зависимость основных физико-механических свойств керамики от соотношения количеств рассматриваемых добавок. Как видно из рис. 1, прочность на сжатие исследуемого материала повышается с увеличением содержания диоксида титана и с уменьшением содержания гальванического шлама.

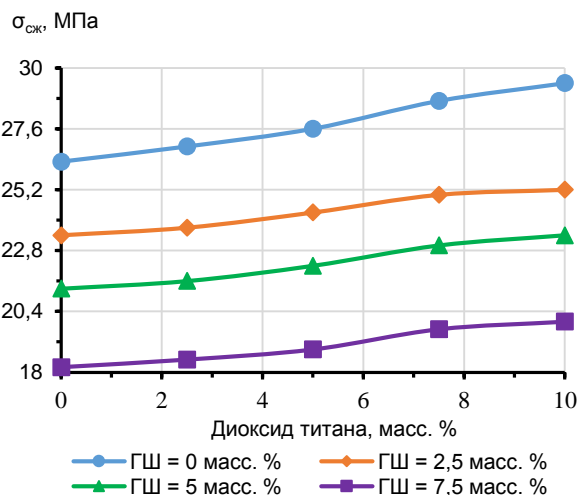


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие исследуемой керамики от содержания гальванического шлама и диоксида титана

Подобный характер зависимости связан с тем, что при обжиге гидроксиды и карбонаты, входящие в состав гальванического шлама, разлагаются с образованием углекислого газа и паров воды, которые повышают пористость керамики и снижают ее прочность. При разложении этих соединений также образуются оксид кальция, являющийся плавнем, и

оксиды тяжелых металлов, которые повышают эксплуатационные свойства (прочность, термостойкость и химическую стойкость [7, 8]) стекловидной фазы и керамики в целом, однако порообразующее действие данной добавки преобладает над флюсующе-упрочняющим, поэтому повышение ее содержания в составе шихты снижает прочность керамики.

В то же время диоксид титана при обжиге входит в состав стекловидной фазы, существенно увеличивая ее количество при совместном введении с борной кислотой, и повышает степень ее кристалличности, что увеличивает прочность стекловидной фазы [6]. Это, в свою очередь, приводит к повышению прочности керамического материала, т. к. стекловидная фаза заполняет крупные поры и пустоты в объеме материала и выступает в роли связующего, объединяя частицы керамики в прочную структуру.

Влияние рассматриваемых добавок на пористость керамики подтверждает рис. 2, из которого видно, что количество открытых пор в структуре материала снижается с уменьшением содержания гальванического шлама и увеличением количества диоксида титана в составе шихты.

В соответствии с изменением открытой пористости керамики изменяется и ее водопоглощение, что,

в свою очередь, оказывает влияние на морозостойкость материала (см. рис. 3 и 4).

Стоит отметить, что при достаточном количестве стекловидной фазы, которое обеспечивается введением диоксида титана и борной кислоты, наряду с остекловыванием поверхности частиц керамики наблюдается самоглазурование поверхности изделий, при котором большинство открытых пор переводится в закрытые, а размер пор, остающихся открытыми, снижается. Данный эффект приводит к уменьшению водопоглощения и, как следствие, к повышению морозостойкости.

На втором этапе экспериментальных исследований установлено влияние соотношения количеств рассматриваемых добавок на токсичность водных вытяжек из образцов со сколами для всех рассмотренных на первом этапе составов шихты. Установлено, что при получении керамики без введения гальванического шлама в состав шихты наблюдается нулевая смертность тест-организмов при всех рассматриваемых в данной работе количествах диоксида титана, т. е. обеспечение экологической безопасности исследуемой керамики заключается в возможности иммобилизации тяжелых металлов в составе стекловидной фазы.

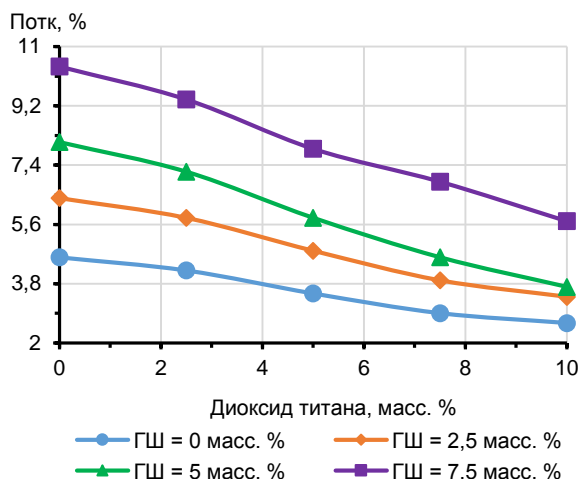


Рис. 2. Зависимость открытой пористости исследуемой керамики от содержания гальванического шлама и диоксида титана

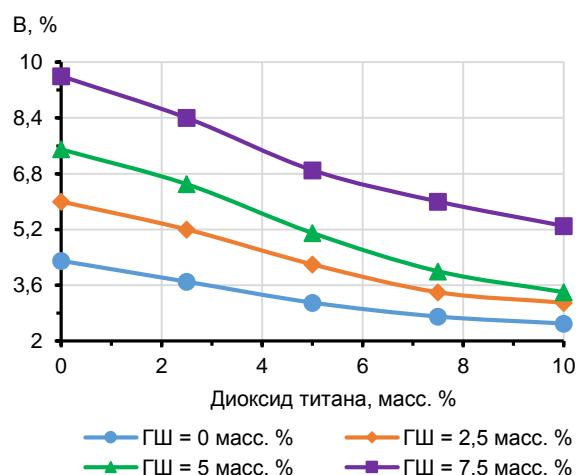


Рис. 3. Зависимость водопоглощения исследуемой керамики от содержания гальванического шлама и диоксида титана

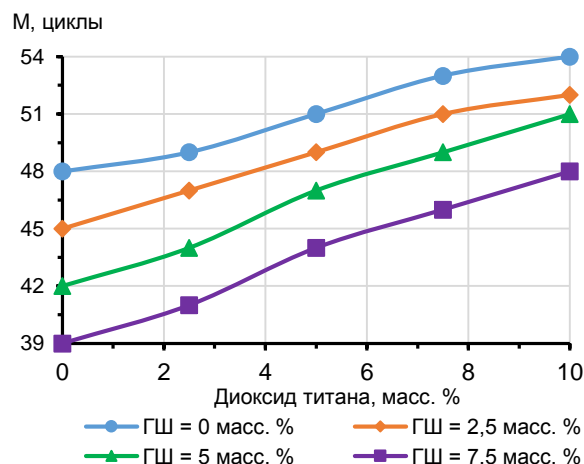


Рис. 4. Зависимость морозостойкости исследуемой керамики от содержания гальванического шлама и диоксида титана

При исследовании образцов, полученных при совместном введении рассматриваемых добавок (рис. 5), выявлено, что при содержании в составе шихты до 5 масс. % гальванического шлама и свыше 5 масс. % диоксида титана токсичность водных вытяжек минимальна, что проявляется в гибели не более 50 % тест-организмов, и возможно получение керамики, обеспечивающей безвредные концентрации тяжелых металлов в водных вытяжках, что проявляется в гибели не более 10 % тест-организмов. Таким образом, данные количества рассматриваемых добавок позволяют получить экологически безопасную керамику.

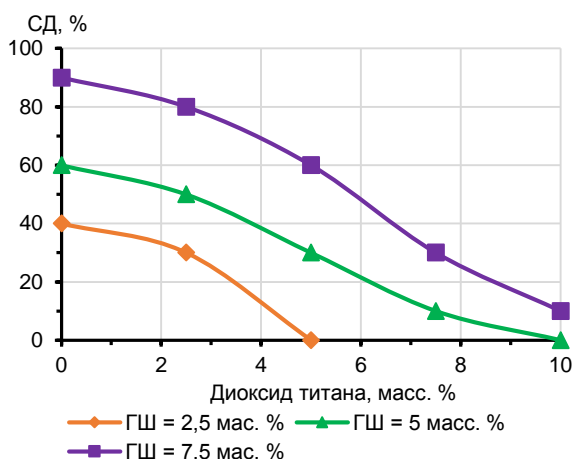


Рис. 5. Зависимость смертности дафний за 96 ч в суточных водных вытяжках из образцов

При введении более 5 масс. % гальванического шлама и менее 5 масс. % диоксида титана наблюдается острая токсичность водных вытяжек, при которой гибель тест-организмов превышает 50 % и экологическая безопасность материала не обеспечивается.

В связи с тем что максимальные значения прочности керамики достигаются при содержании диоксида титана в количестве 10 масс. % (см. рис. 1) и с тем, что при этом количестве возможно получение экологически безопасного материала (при нулевой смертности тест-организмов) при введении 5 масс. % гальванического шлама, на третьем этапе экспериментальных исследований при данных количествах добавок были определены основные физико-механические показатели керамики (см. таблицу).

Свойства исследуемой облицовочной керамики

$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{сж}$ , МПа	$\sigma_{из}$ , МПа	$P_{от}$ , %	$B$ , %	$M$ , циклы	$\lambda$ , Вт/(м·°С)
1991,7	23,4	13,7	3,7	3,4	51	0,739

Как следует из представленных данных, полученная керамика по морозостойкости соответствует требованиям, предъявляемым к плиткам по ГОСТ 13996-2019, лицевым кирпичам и камням по ГОСТ 530-2012 для наружной облицовки (не менее 50 циклов). В то же время по прочности данная керамика соответствует требованиям для лицевых кирпичей и камней марки М200 по ГОСТ 530-2012 ( $\sigma_{сж} = 20$  МПа;  $\sigma_{из} = 3,4$  МПа).

При этом плотность и теплопроводность разработанного материала соответствует средним для строительной керамики значениям.

## Заключение

По результатам исследований установлено, что при введении 5 масс. % гальванического шлама и 10 масс. % диоксида титана в состав шихты на основе малопластичной глины с добавлением 5 масс. % борной кислоты может быть получена экологически безопасная керамика строительного назначения. При этом диоксид титана и борная кислота являются флюсующе-упрочняющими добавками, обеспечивающими жидкофазное спекание керамики и эффект самоглазурования поверхности изделий. Диоксид титана за счет активного участия в фазовых превращениях при обжиге способствует повышению степени кристалличности и прочности стекловидной фазы, что обеспечивает прочность получаемой керамики. Кроме того, образующаяся стекловидная фаза способствует эффективной иммобилизации тяжелых металлов при введении 5 масс. % гальванического шлама при нулевой смертности тест-организмов в суточных водных вытяжках из образцов керамики. Введение гальванического шлама приводит к снижению прочности и морозостойкости керамики за счет повышения пористости материала. Однако при этом происходит снижение его плотности и теплопроводности.

По своим свойствам разработанная керамика может быть использована в качестве облицовочной при наружных строительных работах. Таким образом, разработанный состав шихты расширяет ассортимент изделий и сырьевую базу для строительной керамики. При этом появляются возможности для применения маловостребованной на керамических предприятиях глины с низкой пластичностью и для утилизации гальванического шлама, представляющего опасность для окружающей среды, при производстве экологически безопасной керамики высокого качества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Плакунова Е. В., Татаринцева Е. А., Панова Л. Г. Свойства шламов гальванических производств // Экология и промышленность России. 2005. № 3. С. 38—39.
2. Мальцева И. В. Об использовании шламов отходов при производстве строительных материалов // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. С. 157. <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4880>
3. Коровин В. А., Романов А. С., Леушин И. О., Курилина Т. Д. Утилизация шламов гальванического производства // Литейные процессы. 2013. № 12. С. 226—233.
4. Ольшанская Л. Н., Лазарева Е. Н., Егоров В. В. Утилизация гальванических шламов предприятий Саратовского региона в товары народного потребления // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 3. С. 41—46.
5. Семенов В. В., Подольская З. В., Бузаева М. В., Климов Е. С. Сорбционная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием гальваношламов // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2009. № 6. С. 99—101.
6. Воробьева А. А., Шахова В. Н., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г., Сысоев Э. П., Чухланов В. Ю. Получение облицовочной керамики с эффектом остекловывания на основе малопластичной глины и техногенного отхода Владимирской области // Стекло и керамика. 2018. № 2. С. 13—17.

7. Уварова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Применение отходов гальванического производства для получения термически и химически стойкой керамики // Экология промышленного производства. 2020. № 3. С. 18—22.

8. Виткалова И. А., Торлова А. С., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Использование отходов, содержащих тяжелые металлы, для получения кислотоупорной керамики с эффектом самоглазурования // Экология промышленного производства. 2018. № 2. С. 2—6.

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

10. Торлова А. С., Виткалова И. А., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г. Разработка энергоэффективной облицовочной керамики на основе местного сырья и стекольного боя // Экология промышленного производства. 2019. № 3. С. 22—26.

11. Шахова В. Н., Березовская А. В., Пикалов Е. С., Селиванов О. Г., Сысоев Э. П. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13—18.

12. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Федеральный реестр ФР.1.39.2007.03222. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293842/4293842234.pdf>

## Application of galvanic sludge and titanium dioxide in the producing of facing ceramics

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

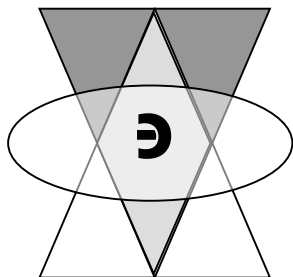
Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletovs, Vladimir, Russia

*This article presents the research results on the development of the dependence of the main physical and mechanical properties of ceramics on the ratio of the amounts of electroplating sludge and titanium dioxide in the charge based on low-plastic clay with the addition of 5 wt. % boric acid as a fluxing agent. It is established that electroplating sludge acts as a pore-forming additive, which, by increasing porosity, reduces the density and thermal conductivity of ceramics while reducing its strength and frost resistance. At the same time, titanium dioxide together with boric acid contributes to liquid-phase sintering to produce the effects of self-glazing of products and glazing of ceramic particles with a high degree of crystallinity of the vitreous phase, which increases the strength and frost resistance of ceramics. According to the results of research, it was found that with the introduction of 5 wt. % of electroplating sludge and 10 wt. % titanium dioxide can be obtained environmentally friendly ceramics with high performance properties for use in the production of products for the exterior cladding of buildings and structures.*

**Keywords:** galvanic sludge, facing ceramics, self-glazing, low-plastic clay, titanium dioxide, boric acid, environmental safety.

Bibliography — 12 references.

Received September 18, 2020



# Очистка промышленных газовых выбросов

УДК 662.041.54:662.951.2

## Повышение экологической безопасности работы трубчатых печей путем оптимизации подбора конструкций газомазутных горелок

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

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

<sup>2</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

<sup>3</sup> Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия

А. В. КАТИН, канд. эконом. наук

Дальневосточный институт управления — филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Хабаровск, Россия

*Рассмотрены вопросы повышения экологической безопасности трубчатых печей нефтеперерабатывающих заводов. Проанализированы конструктивные недостатки и особенности эксплуатации действующих горелочных устройств трубчатых печей на отечественных нефтеперерабатывающих заводах. Показана необходимость учета экологических параметров работы газомазутных горелок при правильном подборе эффективных типов топливосжигающих устройств для печных агрегатов. Разработаны и предложены технические решения и рекомендации по выбору оптимальных конструкций горелок для нефтезаводских печей, работающих на газообразном и жидком топливе, с учетом варианта их компоновки на печных агрегатах в целях повышения экологической безопасности их эксплуатации. Рекомендована к внедрению принципиально новая конструкция малотоксичной газомазутной горелки типа ГП, защищенная авторскими патентами на полезные модели.*

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающие заводы, трубчатые печи, компоновка горелок, малотоксичные и маложарные горелки, инжекционные и диффузионные горелки, мазут, топливные газы, факел, продукты сгорания, оксиды азота, экологическая безопасность.

Нефтеперерабатывающие производства являются потенциальными и реальными источниками нега-

тивного воздействия на природную среду в виде загрязнения атмосферного воздуха. По данным исследований [1, 2], нефтеперерабатывающими заводами (НПЗ) выбрасывается в атмосферу более 1500 тыс. т загрязняющих веществ, в том числе, тыс. т: углеводородов — 1182; оксидов серы — 232; оксидов азота — 27; оксида углерода — 112; твердых частиц — 14; прочих — 16. Удельные выбросы вредных веществ в воздушный бассейн в целом по заводам отрасли составили, кг/т нефти: углеводородов — 3,83; оксидов серы, азота и углерода — 0,79; 0,09; 0,41 соответственно. Основными источниками загрязнения воздуха на НПЗ [1, 2] являются трубчатые технологические печи наряду с факельными и битумными установками.

**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

**Катин Алексей Викторович**, доцент кафедры "Экономика и финансовое право".

E-mail: katin-a@ranepa.ru

Статья поступила в редакцию 29 февраля 2020 г.

© Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Катин А. В., 2020

Следует отметить, что вопросы охраны атмосферы на НПЗ решаются пока не в полной мере. Это можно объяснить тем, что существующие методы проектирования и эксплуатации технологических печей основаны главным образом на обеспечении производства целевых нефтепродуктов без надлежащего учета состава сопутствующих вредных выбросов в воздушный бассейн. Внедрение мероприятий по охране атмосферного воздуха, обеспечивающих снижение выбросов вредных веществ, должно стать приоритетной задачей как энергетических, так и экологических служб НПЗ.

#### **Постановка задачи в части экологической и энергетической политики на НПЗ**

В соответствии с энергетической стратегией России до 2030 года определены критерии экологической безопасности по снижению удельных показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух предприятиями энергетического сектора (в процентах к 2005 г.) с разбивкой на этапы: 1-й этап (2010—2015 гг.) — не менее 25 %; 2-й этап (2016—2020 гг.) — не менее 40 %; 3-й этап (2021—2030 гг.) — не менее 50 %.

Целью государственной энергетической политики в сфере обеспечения экологической безопасности является последовательное ограничение нагрузки топливно-энергетического комплекса на окружающую среду путем снижения выбросов загрязняющих веществ печным парком в воздушный бассейн. Для реализации экологической безопасности энергетического сектора предполагается применять следующие основные меры государственной экологической политики: стимулирование условий для внедрения экологически чистых энергосберегающих и малоотходных технологий при использовании топлива; ужесточение контроля за соблюдением экологических требований при эксплуатации горелочных устройств (ГУ) печного парка [1—4].

Кроме того, распоряжением Правительства № 398-р от 19.03.2014 г. утвержден ряд мер, направленных на отказ от использования устаревших технологий и переход на наилучшие доступные технологии и их внедрение, что согласуется с действующим Федеральным законом "Об охране окружающей среды".

В связи с этим проектные организации нефтегазовой отрасли нуждаются в руководящих указаниях и рекомендациях по проектированию топливосжигающих устройств с минимальным выбросом загрязняющих веществ, в том числе оксидов азота как наиболее токсичных компонентов. Нельзя не отметить, что изучению различных методов подавления вредных веществ при эксплуатации промышленных котлов и печей на традиционных видах топлива (природном газе и мазуте) посвящены многочисленные исследования [4—6], а применительно к трубчатым печам НПЗ, работающим на нефтезаводских газах переменного состава, аналогичных работ пока недостаточно. Проблема эффективного сжигания собственных газов нефтепереработки в технологических печах без использования природного газа является весьма актуальной и практически значимой. В дан-

ных условиях решение проблемы экологической безопасности печного парка НПЗ требует разработки четких научно обоснованных рекомендаций по повышению экологичности работы горелок нефтезаводских печей.

#### **Анализ конструктивных особенностей действующих горелок нефтезаводских печей и экологичности их работы**

На отечественных НПЗ эксплуатируют ГУ следующих типов и классов [1, 3, 4]:

- диффузионного принципа сжигания топлива (горелки типа ГП и т. п.);
- инжекционные горелки с полным предварительным смешением топлива и воздуха (горелки типа ГИК, ГЭВК, ГГМ и т. п.);
- многосопловые плоскофакельные горелки типа ФП, работающие по смешанному принципу горения.

При этом, по данным обследования парка ГУ Ачинского, Киришского и Хабаровского НПЗ, около 75—80 % всех горелок приходится на диффузионные горелки, а остальные 20—25 % представляют ГУ кинетического и диффузионно-кинетического принципов горения [3].

Проблема проектирования горелок и разработки их новых конструкций для трубчатых печей всегда являлась и до сих пор считается одной из актуальных и сложных задач. На протяжении многих лет выпускаемые отечественной промышленностью горелки (в основном конструкции ВНИИнефтемаша) являлись универсальными и использовались в различных типах трубчатых печей без учета каких-либо специфических конструктивных особенностей, а также параметров и условий работы: состава и вида сжигаемого топлива, подогрева воздуха и т. д. Проектирование ГУ для нефтезаводских печей производится в полном соответствии с требованиями государственного стандарта [7].

Следует также отметить, что конструкция топочного устройства трубчатых печей предопределяет варианты компоновки ГУ на печах, их взаимное расположение, взаимодействие факелов, время пребывания продуктов горения в топочном объеме и интенсивность их охлаждения.

Применительно к заводским условиям подбор стандартных горелок конструкции ВНИИнефтемаша осуществляют исходя из их тепловой мощности, требований равномерного распределения тепловых потоков на экранных поверхностях нагрева, а также удобства размещения ГУ и надежной работы. В связи с этим в ряде случаев имеют место неправомерный подбор тех или иных конструкций горелок для печных агрегатов и недостаточно обоснованная схема их установки на печах. Так, опыт эксплуатации горелок типа ГП с мазутной форсункой, предназначенной для вертикальной и горизонтальной установки на печах, показывает, что при наклонном расположении форсунки с поступлением в нее жидкого топлива в смесителе происходят расслоение фаз и пульсационный выброс нераспыленного мазута. В комбинированных горелках типа ГЭВК наблюдается явление попадания капель мазута в газовые сопла, в результате чего



нарушается совместное сжигание газа и мазута. Причиной этого является расположение газовой части горелки в одной камере с жидкостной форсункой [8].

Анализ результатов исследования печей, оборудованных комбинированными инжекционными горелками ГЭВК, ГИК и т. д., позволил установить, что данные ГУ при совместном сжигании газа и мазута страдают следующими конструктивными и эксплуатационными недостатками [8, 9]:

- неудачная конструкция газовых сопел, образующих истечение газовых струй параллельно потоку воздуха, что существенно ухудшает процесс образования газозооной смеси в корпусе горелки;
- газовые сопла в случае совместного сжигания газа и мазута закоксовываются, в связи с чем уменьшается подача газа и частично или полностью прекращается горение, что приводит к нарушению теплового режима работы трубчатой печи и создает реальную опасность для обслуживающего персонала;
- повышенные выбросы оксидов азота в атмосферу из инжекционных ГУ вследствие максимальной температуры горения, развиваемой в топке;
- появление продуктов неполного сгорания топлива при работе горелок на нефтезаводских газах переменного состава;
- повышенный уровень шума, создаваемый инжекционными и диффузионными горелками.

Таким образом, при правильном подборе ГУ для той или иной конструкции печного агрегата необходимо учитывать весь комплекс вопросов, связанных с эксплуатацией: полноту сгорания топлива, требуемый теплообмен в печи и поддержание заданной по регламенту температуры подогрева нефти и нефтепродуктов, минимальный выброс вредных веществ и малозумную работу.

При проектировании и эксплуатации трубчатых печей возникают научно-технические проблемы, связанные с правильным подбором рациональных типов и конструкций ГУ и их оптимальной компоновкой на печных агрегатах с учетом предъявляемых экологических требований.

На основе анализа результатов ранее выполненных экологических исследований горелок авторами разработаны технические решения и рекомендации для повышения экологичности печного парка нефтеперерабатывающих предприятий [3, 8, 9].

#### **Технические решения по повышению экологичности газовых инжекционных горелок для вертикально-цилиндрических печей**

Для топочного устройства нефтезаводской печи необходима организация такого метода сжигания топлива и таких конструкций ГУ, при которых габаритные и теплообменные параметры факела (его длина, тепловой поток) наиболее соответствуют относительно расположению экранных поверхностей нагрева и размерам и конфигурации топки. В связи с этим ее контур следует выполнять так, чтобы топка охватывала факел, получающийся при выбранной компоновке ГУ. Подобный подход применяют на стадии проектирования отечественных конструкций печей во избежание прямого касания факелами экран-

ных труб и их прогара с дальнейшим выходом из строя печных агрегатов. Уменьшения длины факела горелок можно достичь повышением степени крутки воздушного потока, улучшением предварительного смешения топлива с воздухом в ГУ, уменьшением единичной мощности горелок и увеличением их количества, а также комбинацией перечисленных способов.

Так, для печных агрегатов вертикально-цилиндрической конструкции во избежание контакта факела с экранными трубами могут быть рекомендованы инжекционные горелки при эксплуатационных условиях небольших колебаний теплоты сгорания и давления газа и возможности достижения температуры по технологическому регламенту без подогрева воздуха. Однако по результатам авторских исследований [8, 9] инжекционные ГУ нуждаются в конструктивном усовершенствовании в целях сокращения выбросов оксидов азота. Например, для горелок типа ГЭВК авторами разработаны рекомендации по их реконструкции, заключающиеся в дополнительной подаче вторичного воздуха в зону горения через ряд отверстий, специально проделанных в верхней части корпуса ГУ [10]. В результате такой модернизации организуется двухступенчатый подвод воздуха на сжигание газомазутного топлива, что по сравнению с одноступенчатой подачей воздуха обеспечивает существенное снижение концентрации оксидов азота в продуктах горения. В результате подобной реконструкции горелки будут отвечать экологическим требованиям.

#### **Рекомендации по повышению эффективности применения диффузионных газомазутных горелок**

Диффузионные горелки типа ГП, по данным исследований [2, 8], относятся к числу малотоксичных и малозумных ГУ, которые целесообразно применять в нефтезаводских печах, имеющих топку значительных габаритных размеров, требующих светящегося длинного факела с относительно равномерным нагревом больших площадей. Следует отметить, что данные ГУ могут работать как на подогретом воздухе, так и на холодном дутье. При этом последний вариант эксплуатации таких горелок отвечает минимальному выбросу оксидов азота [9, 10]. Кроме того, эти горелки обладают большим диапазоном регулирования тепловой мощности, более устойчивы, чем инжекционные ГУ, к колебаниям давления и теплоты сгорания газа, имеют сравнительно допустимые шумовые характеристики.

Комбинированные газомазутные ГУ применяют в трубчатых печах, для которых предусмотрено жидкое (резервное) топливо, а также в случае дополнительного придания факелу светимости. При этом наиболее рациональным режимом эксплуатации подобных горелок является совместное сжигание топливного газа и мазута в соотношении 0,5:0,5 (по тепловыделению) с точки зрения сокращения выбросов оксидов азота и оксидов серы по сравнению с раздельным горением жидкого топлива.

Опишем разработанные авторами принципиально новые конструкции комбинированного ГУ типа ГП для

применения в нефтезаводских печах. Предлагаемые к внедрению технические разработки защищены авторскими патентами [11, 12]. Они позволяют значительно повысить экологическую эффективность действующих печей в результате снижения вредных выбросов оксидов азота, а также продуктов неполного горения топлива.

Согласно авторским техническим решениям сущность реконструкции ГУ типа ГП заключается в перемещении форсунки к выходу амбразуры горелки и в дополнительном устройстве канала с заслонкой для подачи рециркулирующих газов через отверстие в амбразуру горелки, что приводит к снижению выбросов оксидов азота на 15—20 % [12].

Авторами разработана еще одна конструкция малотоксичной газомазутной горелки, на которую получен патент на полезную модель [13]. Согласно разработке ГУ дополнительно оборудована трубой с распылителем впрыска пара в зону горения газообразного и жидкого топлива. В результате подачи пара в ядро факела снижается максимальная температура горения и существенно сокращается выброс оксидов азота (на 10—15 %) при сжигании газа и мазута.

#### **Рекомендации по повышению экологичности работы дутьевых газовых горелок**

На основе результатов экспериментальных исследований [14] различных конструкций дутьевых горелок (типа ГП-2 с завихрителем А, ГУ типа Е-2 с завихрителем Т и ГУ типа ГП-2,5Д с завихрителем ТЛ) по изучению степени влияния крутки воздуха на экологичность работы (по выбросу оксидов азота и уровню создаваемого шума) установлено, что среди исследованных ГУ наиболее эффективными с экологической точки зрения являются горелки типа ГП-2, как малотоксичные, так и малозумные. Кроме того, опытным путем определена оптимальная величина степени крутки воздуха (0,5—0,7), позволяющая эксплуатировать дутьевые горелки при сохранении допустимых экологических параметров их работы.

Можно сделать вывод, что прямоточные конструкции ГУ имеют экологические преимущества по сравнению с вихревыми дутьевыми горелками, что объясняется особенностями прямоточного факела, в котором определяющее значение приобретает температурный фактор. Поэтому сам по себе выбор прямоточных ГУ является приоритетным, позволяющим реально обеспечить снижение выбросов оксидов азота из трубчатых печей НПЗ [14].

#### **Рекомендации и технические решения по выбору числа горелок и варианта их рациональной компоновки на нефтезаводских печах**

При определении числа ГУ, устанавливаемых на печных агрегатах, необходимо комплексно учитывать назначение, конструкцию и тепловую мощность трубчатой печи, а также вариант принятой компоновки горелок. При этом увеличение числа ГУ позволяет обеспечивать заданный тепловой режим, улучшает возможность регулирования теплопроизводительности путем отключения части горелок, но в то же время усложняет наладку горения, автоматику и кон-

троль за их работой. Вместе с тем необходимо отметить, что на стадии проектирования печей способом рассредоточения фронта горения, т. е. увеличения числа ГУ, можно реально добиться сокращения выбросов оксидов азота из-за снижения максимальной температуры [5, 6, 9].

В практике проектирования и эксплуатации трубчатых печей применяют различные варианты установки ГУ: фронтальная одноярусная односторонняя; двухсторонняя; фронтальная многоярусная (2, 4 и 6 ярусов); угловая и подовая. В заводских условиях выбор конкретных компоновок горелок определяется требованиями равномерного распределения тепловых потоков на экранных поверхностях, а также удобством установки и эксплуатации ГУ. Однако стоит отметить, что влияние компоновки ГУ на уровень образования оксидов азота изучено еще не в полной мере. В работах [3, 6] показано, что минимальная концентрация оксидов азота наблюдается при подовой компоновке, а максимальная — при фронтальной многоярусной размещении горелок, обеспечивающей более высокий температурный уровень в топке за счет взаимного подогрева пламени верхних ГУ нижними ярусами горения. Следовательно, по экологическим соображениям следует отдавать предпочтение оптимальной подовой установке горелок на печах. Кроме того, по данным [9], при выборе на стадии проектирования подовой компоновки ГУ и обосновании методов сжигания топлива в печах в обособленных факелах или со сливающимся пламенем рекомендуется преимущественное применение первого способа. Это объясняется тем, что при слиянии пламени отдельных ГУ наблюдается повышенный (на 30—40 %) выброс оксидов азота, что связано с некоторым увеличением общего уровня температурного режима топки за счет взаимного подогрева соседних факелов и возрастанием времени пребывания реагирующих веществ в высокотемпературной зоне.

#### **Заключение**

Практическое использование предлагаемых авторами технических решений и рекомендаций поможет конструкторам, проектировщикам и эксплуатационникам на НПЗ обоснованно, с учетом экологических требований подходить к выбору эффективных типов горелок для нефтезаводских печей при решении различных научно-производственных проблем, включая экономичность и экологичность сжигания топлива, сокращение вредных выбросов в атмосферу и охрану окружающей среды от шумового воздействия. Предлагаемые новые конструкции малотоксичных газомазутных горелок типа ГП позволят реально повысить экологическую безопасность эксплуатации действующих трубчатых печей нефтеперерабатывающих предприятий.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Житков А. Б. Трубчатые нагревательные печи нефтепереработки и нефтехимии. — СПб: Артпроект, 2015. — 104 с.
2. Катин В. Д. Методы сокращения вредных выбросов в атмосферу на нефтеперерабатывающих заводах // Безопасность в техносфере. 2009. № 1. С. 50—52.

3. Катин В. Д., Вольхин И. В. Малоотходные и ресурсосберегающие технологии сжигания топлива на НПЗ. — Владивосток: Дальнаука, 2013. — 199 с.
4. Шарихин В. В., Ентус Н. Р. Трубчатые печи нефтепереработки и нефтехимии. — М.: Сенсоры. Модули. Системы, 2000. — 488 с.
5. Роддатис К. Ф., Полтарецкий А. Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. — М.: Энергоатомиздат, 2005. — 392 с.
6. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — СПб: Недра, 2007. — 269 с.
7. ГОСТ Р 50591-2013 Агрегаты тепловые газопотребляющие. Горелки газовые промышленные. — М.: Стандартинформ, 2014. — 48 с.
8. Катин В. Д., Киселев И. Г. Результаты исследований эколого-технического уровня эксплуатации горелок котельно-печного парка Ачинского НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. 1999. № 2. С. 38–41.
9. Катин В. Д., Березуцкий А. Ю. Горелки нефтезаводских печей и охрана окружающей среды от химического и шумового загрязнения. — Владивосток: Дальнаука, 2016. — 220 с.
10. Катин В. Д. Модернизация горелочных устройств нефтезаводских трубчатых печей и охрана окружающей среды. — Владивосток: Дальнаука, 2011. — 196 с.
11. Катин В. Д., Березуцкий А. Ю. Газомазутная горелка. Патент № 139470. Россия, МКИ F 23Д 17/00. Оpubл. 20.04.2014. Бюл. № 11.
12. Березуцкий А. Ю., Катин В. Д. Газомазутная горелка. Патент № 158820. Россия, МКИ F23Д 17/00. Оpubл. 20.01.2016. Бюл. № 2.
13. Катин В. Д., Нестеров В. И. Газомазутная горелка. Патент № 187171. Россия, МКИ F 23Д 17/00. Оpubл. 22.02.2019. Бюл. № 11.
14. Катин В. Д., Косыгин В. Ю., Березуцкий А. Ю., Кулябин Н. В. Влияние степени закрутки воздуха в горелках нефтезаводских печей на выброс оксидов азота и уровень шума // Безопасность в техносфере. 2017. № 5. С. 56–60.

## Increase of ecological safety of work of tubular furnaces by optimization of selection of designs of gas-masut torches

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

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

<sup>2</sup> Pacific State University, Khabarovsk, Russia

<sup>3</sup> Computing Center of the Far-Eastern Branch of RAS, Khabarovsk, Russia

A. V. KATIN

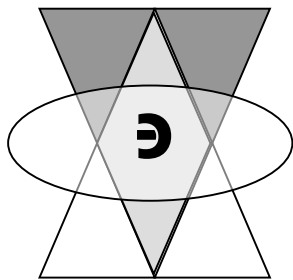
Far-Eastern Management Institute — Branch of the Russian Academy of National Economy and Public Service at the President of the Russian Federation, Khabarovsk, Russia

*Pressing questions of increase of ecological safety of tubular furnaces of oil refining factories are considered. Constructive lacks and features of operation of operating burning devices of tubular furnaces at domestic oil refining factories are analysed. Necessity of the account of ecological parametres of work of gas-masut torches is shown at correct selection of effective types of devices for oven units. Technical decisions and recommendations for choice optimum designs of torches for the petrofactory furnaces working on gaseous and liquid fuel taking into account a variant of their configuration on oven units for the purpose of increase of ecological safety of their operation are developed and offered. Essentially new design of few toxic gas-masut torches of type GP, protected by author's patents for useful models is recommended to introduction.*

**Keywords:** oil refining factories, tubular furnaces, configuration of torches, few toxic and quiet torches, injection and diffusive torches, black oil, fuel gases, torch, combustion products, oxides of nitrogen, ecological safety.

Bibliography — 14 references.

Received July 13, 2020



УДК 662.351

## Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка их последствий

### Сравнительная характеристика опасности загрязнения почвы тротилом и гексогеном

А. А. МАСЛЕННИКОВ, д-р биол. наук; С. А. ДЕМИДОВА, канд. биол. наук;  
В. А. АНТОНОВ, д-р мед. наук

ФГУП «Научно-исследовательский институт гигиены, токсикологии и профпатологии»  
Федерального медико-биологического агентства, г. Волгоград, Россия

*Впервые проведена комплексная экспериментальная оценка опасности содержания производимых тротила и гексогена в почве. Установлено, что оба соединения оказывают негативное воздействие на численность микробных сообществ, процессы нитрификации, ферментативную активность и дыхание почвы. В то же время вещества не представляют опасности при миграции из почвы в атмосферу и водоёмы. Полученные данные учтены при разработке соответствующих гигиенических нормативов рассматриваемых взрывчатых веществ в данной экосистеме.*

**Ключевые слова:** почва, тротил, гексоген, общесанитарный, миграционный водный и воздушный показатели вредности, подпороговые концентрации.

Взрывчатые вещества (ВВ) в течение многих лет широко используют в оборонной промышленности и отдельных видах хозяйственной деятельности (буровые работы, горно-разведочные выработки, взрывание льда и т. д.) [1].

В нашей стране предприятия по производству ВВ входят в категорию химически опасных производственных объектов [2].

Опасность применения ВВ помимо основного назначения (брзантность, фугасность, детонационная волна и т. д.) заключается в загрязнении зданий, сооружений и объектов окружающей среды [3].

Для защиты здоровья от токсического воздействия ВВ, включая наиболее распространенные — тротил и гексоген, экспериментально обосновываются соответствующие гигиенические нормативы,

обеспечивающие их безопасное содержание в производственной зоне и объектах окружающей среды. Разработаны методические подходы по обоснованию стандартов безопасности после деконтаминации поверхности помещений, загрязнённых в результате химических чрезвычайных ситуаций [4, 5].

Однако комплексная экспериментальная оценка опасности содержания тротила и гексогена в почве отсутствует. Цель настоящих исследований — разработка гигиенических нормативов, необходимых для обоснования предельно допустимых предельно допустимых концентраций (ПДК) данных соединений в рассматриваемой биосреде.

#### Материалы и методы

Объектом исследований служили тестируемые ВВ:

- Тротил (2,4,6-тринитротолуол, ТНТ,  $C_7H_5N_3O_6$ ), номер CAS — 118-96-7, удельная плотность  $d_4^{20} = 1,663$  г/см<sup>3</sup>, молекулярная масса 227. Представляет собой порошкообразное соединение кремового цвета. Растворимость в воде при температуре 20 °С составляет 0,013 г на 100 г, при 100 °С — 0,15 % [6];
- Гексоген (циклотримегилентринитрамин, циклонит, RDX,  $C_3H_6N_6O_6$ ), номер CAS — 121-82-4, удельная плотность  $d_4^{20} = 1,8$  г/см<sup>3</sup>, молекулярная масса 222. Твердое белое порошкообразное соеди-

**Масленников Александр Александрович**, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией "Экологическая токсикология".

E-mail: maslennikov@rihtop.ru

**Демидова Светлана Александровна**, старший научный сотрудник лаборатории "Экологическая токсикология".

E-mail: demidova@rihtop.ru

**Антонов Валерий Алексеевич**, профессор, исполняющий обязанности директора.

E-mail: antonov@rihtop.ru

Статья поступила в редакцию 7 августа 2020 г.

© Масленников А. А., Демидова С. А., Антонов В. А., 2020

нение, негигроскопично, плохо растворяется в воде и спирте [6].

При выборе методов исследований авторы руководствовались положениями действующих методических рекомендаций [7], а также профильной монографии [8].

Экспериментальная оценка опасности загрязнения почвы тестируемыми ВВ состояла из следующих разделов: характеристика общесанитарного состояния грунта, исследование способности соединений к миграции в атмосферу и грунтовые воды.

В целях создания экстремальных условий все исследования, кроме воздействия соединений на общесанитарный режим почвы, проводили на модельном почвенном эталоне (МПЭ). В качестве МПЭ использовали предварительно подготовленный средне-мелкозернистый карьерный песок, отобранный с глубины не менее 3 м от поверхности почвы [7, 8].

При выполнении микробиологических и биохимических исследований формировали смесь почвы и МПЭ (в соотношении 1:2) с таким расчётом, чтобы содержание углерода в ней составляло 0,5 %. Такой грунт в меньшей степени способствует ускоренному распаду химических веществ с учётом биологического фактора [8]. В качестве образца почвы использован дерново-подзолистый грунт (верхний слой 0—25 см) средней полосы европейской части России.

В ходе оценки влияния тротила и гексогена на функциональную активность почвы исследовали состояние микробиоценоза, процессов нитрификации, интенсивность дыхания и биохимических реакций [7, 8].

В качестве основных групп тест-организмов использовали *E.coli* (специально вносимый вид условно-патогенной микрофлоры, являющийся индикатором загрязнения почвы, музейный штамм-675), микромицеты, актиномицеты и сапрофитные бактерии. Общую численность микробных сообществ учитывали при их выращивании на следующих средах [7—9]: *E.coli* — среда Эндо; микромицеты (почвенные грибы) — среда Чапека; актиномицеты — крахмало-аммиачный агар; сапрофитные бактерии — почвенный агар.

Длительность микробиологических экспериментов для микромицетов, актиномицетов и сапрофитных бактерий составляла 14 дней, а для *E.coli* — 7 сут. Отборы проб и посевы из почвенной смеси выполняли на 0-е, 1-е, 3-и, 7-е, 10-е и 14-е сут с момента внесения веществ в почвенную смесь [7—9].

В качестве критерия вредного действия ВВ принимали уровень подавления роста всех тестируемых микроорганизмов, а также стимуляцию развития колоний микромицетов и *E.coli* на 50 % относительно контроля [7, 8].

О воздействии соединений на процессы нитрификации почвы судили по изменению показателей азота аммонийного, нитритов и нитратов [7—11].

Интенсивность биохимических процессов, протекающих в почве, определяли по активности каталазы, уреазы, протеаз и инвертазы [7—9, 12]. Данные ферменты выбраны из разных классов и подгрупп для получения более полной информации о состоянии почвы.

Определение интенсивности продуцирования диоксида углерода с одновременным потреблением кислорода проводили по методу Галстяна [7, 8, 12].

Тестирование проб почвенной смеси по перечисленным биохимическим показателям (процессы нитрификации, ферментативная активность и дыхание почвы) проводили в следующие сроки: на 0-е, 1-е, 3-и, 7-е, 10-е и 14-е сут [7—9].

Для указанных трех видов исследований в качестве критерия величины в зависимости от вида эксперимента принимали уровень подавления/стимуляции интенсивности биохимических реакций и выделения углекислого газа, равный или превышающий 25 % относительно контроля [7, 8].

Эксперименты по изучению миграционного воздушного показателя вредности проводили в герметичной камере объёмом 100 дм<sup>3</sup>, оснащенной оборудованием для отбора проб воздуха. Критерием безопасности определён уровень ВВ, не превышающий их ПДК в атмосфере [7, 8].

При оценке миграционного водного показателя вредности применяли фильтрационные колонки высотой 1 м, заполненные МПЭ. В качестве подпорогового принимали максимальное содержание веществ в почве, при котором они мигрируют из грунта в подземные воды в количествах, не превышающих ПДК для воды водоёмов [7, 8].

## Результаты и обсуждение

При изучении микробиоценоза почвы действие токсикантов оценивали в соответствующих концентрациях: тротил — 20, 10, 2 мг/кг; гексоген — 10, 5, 2 мг/кг.

В ходе работ установлено, что при содержании тротила в грунте на уровнях 20 и 10 мг/кг в течение всего эксперимента выявлен достоверно значимый рост колоний *E.coli* от 53,38 до 458,87 % (табл. 1), что свидетельствует об интенсивном загрязнении почвы кишечной палочкой [7, 8]. При воздействии вещества в этих же концентрациях с 1-х по 7-е сут эксперимента зарегистрировано увеличение количества колоний микромицетов до 200 % [7, 8]. Кроме того, внесение тротила в модельную смесь на уровне 20 мг/кг вызывало на 3-и сутки опыта угнетение жизнедеятельности актиномицетов, достигавшее 50,27 %. Также выявлено отрицательное воздействие токсиканта (до 58,5 %) в концентрациях 20 и 10 мг/кг на сапрофитную микрофлору, отмечавшееся на 3-и и 10-е сут эксперимента (табл. 1).

Наличие в грунте гексогена на уровнях 10 и 5 мг/кг с 1-х по 5-е сутки эксперимента приводило только к критерияльно значимому угнетению роста (до 97,20 %) условно-патогенной микрофлоры — колоний *E.coli* (табл. 1).

С учётом изложенного концентрации тротила и гексогена 10 и 5 мг/кг соответственно приняты в качестве пороговых, а значение 2 мг/кг — как не действующее по данному критерию вредности для каждого токсиканта.

Вредное влияние ВВ на процессы нитрификации оценивали при их поступлении в почву в единых концентрациях 5, 2 и 1 мг/кг.

При этом установлено следующее. Тротил на уровне 5 мг/кг в течение эксперимента способствовал достоверному замедлению процесса образования аммиачного азота и нитратов (до 30 и 44,45 % соответственно). В более низких концентрациях значимых отличий от контроля не отмечено (табл. 2).

Таблица 1

Влияние тротила и гексогена на микробиоценоз почвы (тысяч колониеобразующих единиц на 1 г почвы с учетом влажности)

ВВ	Показатель	Срок наблюдения, сут	Содержание веществ в почвенной смеси, мг/кг			Контроль
Тротил	E.coli	1	20	10	2	310,00
		2	1732,50 ( <b>458,87</b> ↑)	479,59 ( <b>54,71</b> ↑)	231,67 (25,27)	
		5	530,00 ( <b>70,00</b> ↑)	521,67 ( <b>67,38</b> ↑)	239,17 (23,26)	
		7	556,65 ( <b>55,34</b> ↑)	549,62 ( <b>53,38</b> ↑)	448,57 (25,18)	
	Микромицеты	1	443,34 ( <b>116,78</b> ↑)	326,67 ( <b>59,73</b> ↑)	114,17 (44,17)	204,51
		3	2,25 ( <b>200,00</b> ↑)	1,42 ( <b>89,33</b> ↑)	0,83 (10,67)	0,75
		7	2,50 ( <b>66,67</b> ↑)	1,92 (28,00)	1,00 (20,00)	33,33
	Актиномицеты	3	0,92 (8,00)	1,83 ( <b>83,00</b> ↑)	1,08 (8,00)	1,00
	Сапрофитные бактерии	3	3466,67 ( <b>50,27</b> ↓)	7700,00 (10,46)	6100,00 (12,49)	6970,88
Гексоген	E.coli	1	5083,29 ( <b>51,04</b> ↓)	5091,67 ( <b>50,96</b> ↓)	7766,63 (25,20)	10383,38
		10	4450,04 ( <b>53,44</b> ↓)	3966,63 ( <b>58,50</b> ↓)	11483,34 (20,14)	9558,34
		10	101,31 ( <b>96,41</b> ↓)	250,43 ( <b>91,14</b> ↓)	2075,01 (26,55)	2825,00
		2	87,53 ( <b>96,07</b> ↓)	121,25 ( <b>93,86</b> ↓)	2125,00 (7,60)	1975,00
	Микромицеты	5	10,25 ( <b>97,20</b> ↓)	15,43 ( <b>95,78</b> ↓)	349,38 (4,50)	365,84
		3	1,32 (20,96)	1,25 (25,15)	1,67 (0,00)	1,67
		3	2397,50 (43,81)	2457,50 (42,40)	4737,50 (11,03)	4266,72
	Актиномицеты	3	1423,37 (20,29)	1317,67 (11,36)	1033,29 (12,68)	1183,29
	Сапрофитные бактерии	14				

Примечание: В скобках полужирным шрифтом указаны достоверное отклонение величины (в %) и направленность эффекта (↑↓).

Таблица 2

Влияние тротила и гексогена на процессы нитрификации почвы

ВВ	Показатель и единица измерения	Срок наблюдения, сут	Содержание веществ в почвенной смеси, мг/кг			Контроль
			5,0	2,0	1,0	
Тротил	Азот аммонийный (по NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/на 100 г почвы	7	1,47 (30,00↓)	1,85 (11,91)	1,92 (8,57)	2,10
		10	1,13 (25,66↓)	1,27 (16,45)	1,35 (11,18)	1,52
		14	0,85 (27,35↓)	0,99 (15,38)	1,03 (11,97)	1,17
	Азот нитритов (по NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг на 100 г почвы	10	0,012 (20,00)	0,011 (10,00)	0,012 (20,00)	0,010
	Азот нитратов (по NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг на 100 г почвы	1	0,13 (27,78↓)	0,15 (16,67)	0,18 (0,00)	0,18
		10	0,12 (36,84↓)	0,17 (10,53)	0,17 (10,53)	0,19
		14	0,15 (44,45↓)	0,22 (18,52)	0,28 (3,70)	0,27
Гексоген	Азот аммонийный (по NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг на 100 г почвы	3	1,76 (31,25↓)	1,99 (22,26)	2,35 (8,20)	2,56
		7	1,95 (36,07↓)	2,75 (9,84)	2,97 (2,62)	3,05
		10	2,19 (27,72↓)	2,58 (14,85)	2,79 (7,92)	3,03
		14	1,02 (26,62↓)	1,30 (6,47)	1,24 (10,79)	1,39
	Азот нитритов (по NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг на 100 г почвы	7	0,015 (31,82↓)	0,019 (13,64)	0,020 (9,09)	0,022
	Азот нитратов (по NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг на 100 г почвы	7	0,21 (23,53)	0,21 (23,53)	0,17 (0,00)	0,17

Примечание: В скобках полужирным шрифтом указаны достоверное отклонение величины (в %) и направленность эффекта (↑↓).

Содержание гексогена в почве также на максимальном уровне (5 мг/кг) вызывало достоверное одностороннее изменение показателей первой стадии аммонификации до 36,07 % с 3-х и по 14-е сут эксперимента и промежуточной окислительной — до 31,82 % только на 7-е сут (табл. 2).

Таким образом, единая для тротила и гексогена пороговая концентрация в данных исследованиях составила 5 мг/кг, а допустимая (недействующая) — 2 мг/кг.

Воздействие тротила и гексогена на активность энзимов оценивали при их поступлении в почву в концентрациях 15, 10, 5, 2 мг/кг, и 15, 10, 5 мг/кг соответственно.

При внесении тротила в почву в концентрациях от 15 до 5 мг/кг на протяжении эксперимента зарегистрировано торможение активности уреазы (до 38,31 %). В противоположность отмеченному внесение токсиканта в почву на 3-и и 7-е сут опыта сопровождалось повышением активности протеаз (15 мг/кг) и инвертазы (от 15 до 5 мг/кг) (табл. 3).



Таблица 3

## Влияние тротила и гексогена на ферментативную активность почвы

ВВ	Показатель и единица измерения	Срок наблюдения, сут	Содержание веществ в почвенной смеси, мг/кг				Контроль
			15	10	5	2	
Тротил	Каталаза, мг O <sub>2</sub> на 1 г почвы за 1 мин	10	8,56 (13,23)	8,09 (7,01)	7,74 (2,38)	8,01 (5,95)	7,56
	Уреаза, мг N—NH <sub>4</sub> на 10 г почвы за 24 ч	1	47,30 ( <b>31,45</b> ↓)	50,80 ( <b>26,38</b> ↓)	50,80 ( <b>26,38</b> ↓)	61,30 (11,16)	69,00
		7	9,20 ( <b>34,19</b> ↓)	11,37 (18,67)	10,10 ( <b>27,75</b> ↓)	12,79 (8,51)	13,98
		10	3,35 ( <b>38,31</b> ↓)	6,46 (18,97)	4,83 (11,05)	5,95 (9,58)	5,43
	Протеазы, мг глицина на 10 г почвы за 24 ч	3	110,00 ( <b>29,41</b> ↑)	92,50 (8,82)	81,30 (4,35)	82,50 (2,41)	85,00
		7	110,00 ( <b>46,67</b> ↑)	76,25 (1,67)	76,25 (1,67)	75,00 (0,00)	75,00
	Инвертаза, % моносахаридов за 24 ч	3	0,024 ( <b>26,32</b> ↑)	0,024 ( <b>26,32</b> ↑)	0,020 (5,26)	0,021 (10,53)	0,019
		7	0,021 ( <b>31,25</b> ↑)	0,021 ( <b>31,25</b> ↑)	0,020 ( <b>25,00</b> ↑)	0,017 (6,25)	0,016
Гексоген	Каталаза, мг O <sub>2</sub> на 1 г почвы за 1 мин	7	7,74 (17,10)	7,15 (8,17)	7,32 (10,74)	—	6,61
	Уреаза, мг N—NH <sub>4</sub> на 10 г почвы за 24 ч	3	39,00 ( <b>25,00</b> ↓)	49,00 (5,77)	63,50 (22,12)	—	52,00
		10	3,11 ( <b>34,53</b> ↓)	3,28 ( <b>30,95</b> ↓)	5,80 (22,11)	—	4,75
	Протеазы, мг глицина на 10 г почвы за 24 ч	1	85,00 ( <b>30,77</b> ↑)	85,00 ( <b>30,77</b> ↑)	65,00 (0,00)	—	65,00
		3	160,50 ( <b>68,95</b> ↑)	117,50 (23,68)	100,00 (5,26)	—	95,00
		7	47,50 ( <b>26,92</b> ↓)	47,50 ( <b>26,92</b> ↓)	62,50 (3,85)	—	65,00
	Инвертаза, % моносахаридов за 24 ч	14	0,015 ( <b>25,00</b> ↓)	0,016 (20,00)	0,016 (20,00)	—	0,020

Примечание: В скобках полужирным шрифтом указаны достоверное отклонение величины (в %) и направленность эффекта (↑↓).

Присутствие гексогена в почве в концентрациях 15 и 10 мг/кг приводило к ингибированию на 3-и и 10-е сут эксперимента активности уреазы (до 34,53 %) и единичному угнетению (25 %) инвертазы при внесении вещества в грунт только на уровне 15 мг/кг на 14-е сут исследований. В то же время при содержании вещества в почве на двух больших уровнях на протяжении опыта зарегистрировано достоверное повышение активности протеаз, достигавшее 68,95%, а также их угнетение на 7-е сут до 26,92 %. В минимальной концентрации (5 мг/кг) исследуемое соединение не оказало негативного действия на активность рассматриваемых энзимов.

Следует отметить, что на протяжении опытов ВВ не изменяли активность каталазы (табл. 3).

В качестве пороговой концентрации тротила по данному общесанитарному показателю принято значение 5 мг/кг, гексогена — 10 мг/кг, а подпороговой (допустимой) — 2 мг/кг (тротил) и 5 мг/кг (гексоген).

Вредное влияние взрывчатых веществ на интенсивность дыхания оценивали при их внесении в почву в следующих концентрациях: 15, 10, 5 и 2 мг/кг.

Установлено, что в течение всего эксперимента тротил в диапазоне концентраций от 15 до 5 мг/кг способствовал как стимуляции, так и ингибированию процесса выделения углекислого газа. При понижении уровня химагента до 2 мг/кг достоверных отличий проб от контроля не выявлено (табл. 4).

Таблица 4

Влияние тротила и гексогена на интенсивность выделения углекислого газа (дыхание почвы — мг CO<sub>2</sub> на 100 г почвы за 24 ч)

ВВ	Период проведения исследований, сут	Содержание веществ в почвенной смеси, мг/кг				Контроль
		15	10	5	2	
Тротил	1	2,05 ( <b>51,85</b> ↑)	1,80 ( <b>33,33</b> ↑)	1,70 ( <b>25,93</b> ↑)	1,50 (11,11)	1,35
	3	1,60 ( <b>39,13</b> ↑)	1,45 ( <b>26,09</b> ↑)	1,30 (13,04)	1,25 (8,70)	1,15
	7	0,10 ( <b>84,62</b> ↓)	0,15 ( <b>76,92</b> ↓)	1,30 ( <b>100,00</b> ↑)	0,75 (15,39)	0,65
	10	0,38 ( <b>34,48</b> ↓)	0,40 ( <b>31,03</b> ↓)	0,47 (18,97)	0,60 (3,45)	0,58
	14	0,47 ( <b>31,88</b> ↓)	0,51 ( <b>26,09</b> ↓)	0,50 ( <b>27,54</b> ↓)	0,57 (17,39)	0,69
Гексоген	1	1,75 ( <b>34,62</b> ↑)	1,60 (23,08)	1,40 (7,69)	1,35 (3,85)	1,30
	3	1,25 ( <b>26,47</b> ↓)	1,35 (20,59)	1,25 ( <b>26,47</b> ↓)	1,60 (5,88)	1,70
	7	0,90 (5,88)	1,10 ( <b>29,41</b> ↑)	0,20 ( <b>76,47</b> ↓)	0,78 (8,24)	0,85
	10	0,65 ( <b>30,00</b> ↑)	0,65 ( <b>30,00</b> ↑)	0,65 ( <b>30,00</b> ↑)	0,55 (10,00)	0,50
	14	0,90 ( <b>50,00</b> ↑)	0,85 ( <b>41,61</b> ↑)	0,65 (8,33)	0,60 (0,00)	0,60

Примечание: В скобках полужирным шрифтом указаны достоверное отклонение величины (в %) и направленность эффекта (↑↓).

При внесении гексогена в модельную смесь в концентрации 15 мг/кг на 1-е, 10-е и 14-е сут эксперимента зарегистрирована активная стимуляция процесса выделения углекислого газа (до 50 %), что свидетельствует о возрастании интенсивности жизнедеятельности почвенной биоты и скорости минерализации соединения. В противоположность отмеченному понижение содержания соединения в модельной смеси до 10 и 5 мг/кг способствовало его разнонаправленному действию на интенсивность образования  $\text{CO}_2$  в почве. Отрицательного влияния вещества в количестве 2 мг/кг на данный процесс не обнаружено (табл. 4). В качестве пороговых концентраций тротила и гексогена в почве по данному показателю следует принять концентрацию 5 мг/кг, а подпороговой (допустимой) — 2 мг/кг как не оказывающей негативного воздействия на интенсивность дыхания почвы.

Эксперименты по определению миграционного воздушного показателя вредности для данных взрывчатых веществ проводили в единых концентрациях: 20 и 2 мг/кг.

При этом присутствия ВВ в пробах воздуха не установлено. С учетом этого уровень тротила и гексогена в 20 мг/кг признан в качестве максимально не действующего по миграционному воздушному показателю вредности.

В ходе выполнения исследований по миграционному водному показателю вредности тротил и гексоген вносили в модельные фильтрационные установки с МПЭ в количестве: 5 и 2 мг/кг и 6 и 2 мг/кг соответственно.

Выявлено, что при внесении тротила в МПЭ на уровне 5 мг/кг его содержание в фильтрационных водах оказывается ниже значения ПДК<sub>ВВ</sub> ( $1,0 \cdot 10^{-2}$  мг/л), а при 2 мг/кг присутствия химагента в пробах не отмечено. Таким образом, пороговый (действующий) уровень тротила не установлен, а в качестве подпорогового (недействующего) по водно-миграционному показателю вредности принята величина, равная 5 мг/кг.

При определении степени миграции гексогена при указанных уровнях из МПЭ в фильтрационные воды его присутствие не зарегистрировано. Следовательно, максимально не действующая концентрация соединения составляет 6 мг/кг.

### Заключение

Обобщенный анализ приведенных данных свидетельствует о том, что оцениваемые взрывчатые вещества оказывают негативное влияние на процессы самоочищения и восстановления почвы, установленное по всем четырем общесанитарным показателям (численность микробных сообществ, процессы нитрификации, ферментативная активность и дыхание почвы). При этом следует особо подчеркнуть, что тротил обнаружил более значимое по широте токсического эффекта воздействие на микробиоценоз, вызывая изменения численности подавляющего большинства тестируемых представителей почвенной микрофлоры, что в полной мере согласуется с результатами ранее выполненных аналогичных исследова-

ний отравляющих веществ [13] и свидетельствует об опасности его попадания в почву. Кроме того, тротил в сопоставлении с гексогеном в более низкой концентрации вызывает изменения активности ряда ферментов.

При этом оба соединения не представляют опасности при миграции из почвы в воздух и воду.

Полученные данные необходимо учитывать при обращении с рассмотренными взрывчатыми веществами.

### Выводы

Тротил и гексоген в концентрациях свыше 2 мг/кг приводят к изменению микробиоценоза, процессов нитрификации и интенсивности дыхания почвы.

Концентрации тротила 2 мг/кг и гексогена 5 мг/кг определены в качестве подпороговых по ферментативной активности почвы.

Содержание исследуемых соединений в почве на уровне 20 мг/кг не представляет опасности по миграционному воздушному показателю вредности.

В качестве недействующей концентрации тротила по миграционному водному показателю вредности принята величина 5 мг/кг, а гексогена — 6 мг/кг.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Взрывчатые вещества — основные понятия, применение, классификация [Электронный ресурс]. Код доступа: <http://fb.ru/article/47526/vzryvchatye-veschestva---osnovnyie-ponyatiya-primenenie-klassifikatsiya> (дата обращения: 29.04.2020).
2. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изм. и доп., вступ. в силу с 25.03.2017) [Электронный ресурс]. Код доступа из справ.-правовой системы "Консультант Плюс".
3. Об экологической чистоте взрывчатых веществ [Электронный ресурс]. Код доступа: <http://mirznaniy.com/a/10955/ob-ekologicheskoy-chistote-vzryvchatykh-veshchestv> (дата обращения: 27.04.2020).
4. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Точилкина Л. П., Жуков В. Е., Масленников А. А., Игнатенко М. Н., Волчек К. Регламенты де-контаминации поверхностей, загрязненных в результате химических чрезвычайных ситуаций (концептуальные подходы) // Медицина труда и промышленная экология. 2011. № 7. С. 37—42.
5. Филатов Б. Н., Британов Н. Г., Кирюхин В. В., Масленников А. А., Точилкина Л. П., Клаучек В. В. Разработка стандартов безопасности после де-контаминации поверхностей помещений, загрязненных в результате химических чрезвычайных ситуаций // Химическая и биологическая безопасность. 2007. № 6(36). С. 3—9.
6. Пиротехника. Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам. Изд. 6. — М., 2012. — 310 с.
7. МР № 2609-82. Методические рекомендации по обоснованию ПДК химических веществ в почве. Изд. 2. — М., 1982.
8. Гончарук Е. И., Сидоренко Г. И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. Руководство. — М.: Медицина, 1986.
9. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Звягинцева Д. Г. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.
10. ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО.
11. ГОСТ 26488-85 Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО.
12. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. Изд. 2, перераб. и доп. / под ред. Минеева В. Г. — М.: Изд-во МГУ, 2001.
13. Демидова С. А., Максимова Е. Ю., Масленников А. А., Юдина Е. В. Экспериментальная оценка токсического влияния отравляющих веществ кожно-нарывного и нервно-паралитического действия на микробиоценоз почвы // Токсикологический вестник. 2006. № 2. С. 10—14.

## Comparative characteristics of soil contamination risk with trinitrotoluene and hexogene

A. A. MASLENNIKOV, S. A. DEMIDOVA, V. A. ANTONOV

Federal State Unitary Enterprise "Research Institute of Hygiene, Toxicology and Occupational Pathology" at Federal Medical and Biological Agency, Volgograd, Russia

*For the first time, the comprehensive experimental hazard assessment of the produced trinitrotoluene and hexogene content in the soil was carried out. It was found that both compounds had a negative effect on the number of microbial communities, nitrification processes, enzymatic activity, and soil respiration. At the same time, the substances did not pose a hazard during migration from the soil to the atmosphere air and water reservoirs. The data obtained were taken into account when developing the relevant hygienic standards for the explosives in the given ecosystem.*

**Keywords:** soil, trinitrotoluene (TNT), hexogene (RDX), general sanitary, migratory water and air hazard indicators, subthreshold concentrations.

Bibliography — 13 references.

*Received August 7, 2020*

УДК 614.77:629.7

## Влияние загрязнения почв объектов авиационной и космической деятельности на здоровье человека

**Ж. Ю. КОЧЕТОВА**, канд. хим. наук; **О. В. БАЗАРСКИЙ**, д-р физ.-мат. наук;  
**И. О. БАКЛАНОВ**, д-р пед. наук

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина", г. Воронеж, Россия

**Н. В. МАСЛОВА**, канд. хим. наук

ФГБУ "Центр гигиены и эпидемиологии № 97 Федерального медико-биологического агентства", г. Воронеж, Россия

*Установлено влияние приоритетных контаминантов и их суммарное воздействие на здоровье взрослого населения исследуемой территории и сотрудников объектов авиационной и космической деятельности. К экологически обусловленным заболеваниям этих групп людей относятся заболевания костно-мышечной, мочеполовой и пищеварительной систем.*

**Ключевые слова:** загрязнение почв, объекты авиационно-космической деятельности, экологически обусловленные заболевания.

Объекты авиационной и космической деятельности (ОАКД) имеют много общего по структуре, источникам выбросов, а следовательно, и по природе контаминантов — химически активных загрязнителей объектов окружающей среды, оказывающих необратимое влияние на здоровье человека. Анализ литературных данных и собственный опыт исследований показывают, что оценку многолетнего влияния на экологическую ситуацию территорий под воздействием ОАКД целесообразно проводить по накоплению в депонирующих средах (почвах, грунтах) специфических контаминантов — керосина и формальдегида [1—4].

Наиболее опасный токсикант ракетно-космической деятельности — гептил, из почв он в основном испаряется и благодаря своей высокой реакционной способности трансформируется в метан, нитриты, нитраты, аммиак, диметилгидразид муравьиной кислоты, диметилгидразоны формальдегида и т. д. [2]. К приоритетным неспецифическим контаминантам ОАКД относятся тяжелые металлы (ТМ), накапливающиеся в почвах аэродромов и космодромов в больших ко-

личествах (Pb, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni) [3], нитраты и нитриты ( $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$ ) [4].

Причины заболевания людей, попадающих в зону воздействия ОАКД, рассмотрены в трудах многих российских ученых [2, 3, 5—7]. Проведенные ранее исследования заболеваемости взрослого населения в зависимости от уровня техногенного загрязнения депонирующих сред позволили установить взаимосвязь между общей заболеваемостью населения с уровнем содержания в почвах нефтепродуктов, меди, цинка, свинца [8]. Однако вопрос изучения экологически обусловленных заболеваний не теряет своей актуальности, так как сложен и зависит от ряда разнородных факторов, в первую очередь от природы и интенсивности источников выбросов.

Цель исследования — оценка индивидуального и совокупного влияния содержания в почвах специфических и неспецифических контаминантов объектов авиационной и космической деятельности на структуру заболеваемости людей, попадающих под их воздействие (на примере г. Воронежа).

### Объекты и методы исследования

Исследования проводили с 2007 по 2019 гг. в Советском районе Воронежа, на территории которого расположены химически опасный объект АО "Конструкторское бюро химавтоматики" (АО КБХА) и аэродром государственной авиации "Балтимор". На площади 177,5 км<sup>2</sup> 2—3 раза в год отбирали пробы почв и анализировали их на содержание приоритетных контаминантов в сертифицированной лаборатории. Карта-схема точек отбора проб и результаты мониторинга опубликованы в [9].

**Кочетова Жанна Юрьевна**, доцент кафедры "Физика и химия".  
E-mail: zk\_vva@mail.ru

**Базарский Олег Владимирович**, профессор кафедры "Физика и химия".

E-mail: zk\_vva@mail.ru

**Бакланов Игорь Олегович**, заведующий кафедрой "Физика и химия".

E-mail: z\_vaiu@mail.ru

**Маслова Наталья Владимировна**, химик-эксперт.

E-mail: maslovanatv@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2020 г.

© Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Бакланов И. О., Маслова Н. В., 2020

Приведены данные по ключевым годам наблюдений за исследуемый период. До 2009 г. вследствие низкой интенсивности деятельности аэродрома и испытательного комплекса ракет-носителей концентрации загрязнителей не превышали техногенных фоновых, характерных в среднем для Воронежа. Увеличение количества испытаний ракет-носителей и самолетовылетов с 2012 г. привело к значительным отклонениям (в 2—8 раз) от фоновых концентраций в почвах всех загрязнителей. В 2013 г. на аэродроме начали реконструкцию взлетно-посадочной полосы и склада горюче-смазочных материалов, связанную с перемещением грунта, что негативно сказалось на загрязнении почв прилегающих территорий: в радиусе до 1 км от аэродрома фиксировалось многократное превышение предельно допустимых концентраций керосина, тяжелых металлов, азотсодержащих соединений. В 2017 г. был зафиксирован максимальный за наблюдаемый период уровень загрязнения почв, мало изменяющийся до настоящего времени.

Для изучения влияния загрязнения почв на состояние здоровья персонала АО КБХА использовали данные мониторинга в точках отбора проб, находящихся в зоне с наибольшим скоплением людей и на испытательных площадках ракет-носителей. Для оценки воздействия загрязнения депонирующих сред на здоровье населения выбрана точка отбора проб в ближайшем к авиационному и ракетному комплексам (5,8 и 5 км соответственно) населенном пункте, при этом наименее подверженном влиянию других источников (промышленных предприятий, свалок мусора, отстойника, очистительных сооружений).

За тринадцатилетний период исследована взаимосвязь изменения уровня загрязнения почв исследуемой территории с числом обращений за медицинской помощью в медико-санитарную часть персонала АО КБХА (1000 человек), а также с изменением структуры заболеваний взрослого населения на территории, прилегающей к аэродрому и испытательному комплексу ракет-носителей (159 800 человек).

Для установления экологически обусловленных заболеваний людей, находящихся под воздействием ОАКД, в качестве данных сравнения использовали материалы, ежегодно публикуемые территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Воронежской области. В структуре распространенности заболеваний по Воронежу первые места принадлежат болезням органов дыхания и системы кровообращения. Отмечаются частые заболевания глаза и его придаточного аппарата, мочеполовой системы, органов пищеварения. Социально-экономические характеристики Советского района за исследуемый период времени отличаются положительными тенденциями, поэтому при установлении влияния деятельности авиационного и ракетного комплексов на здоровье населения этой составляющей пренебрегали [10].

Загрязнение депонирующих сред приоритетными загрязнителями оценивали по уточненному суммарному показателю  $S$ , который объективно отражает сложившуюся экологическую ситуацию, так как учитывает все загрязнители независимо от соотношения их фактических концентраций в почвах с предельно допустимыми [11].

Корреляционную связь между загрязнением почв и числом заболеваний находили по ранговому коэффициенту Спирмена  $R_s$ , дающему возможность определять силу связи и ее направление между двумя признаками с отличными от нормального распределениями. Статистическую значимость коэффициента  $R_s$  определяли по  $t$ -критерию Стьюдента. При уровне значимости  $p = 0,01$  и количестве проведенных измерений  $m = 32$  критическое значение  $R_s$  составило 0,6.

## Результаты и обсуждение

Структура обращений сотрудников АО КБХА в лечебные учреждения за ключевые годы мониторинга представлена в табл. 1. В 2007 г. 1-е место занимали болезни органов дыхания. Наибольшее количество случаев в этой нозологической группе приходилось на болезни носа и носовых синусов, хронические болезни миндалин и аденоидов, бронхиты, астмы. С 2009 г. их вытеснили болезни органов кровообращения, представленные гипертонической и ишемической болезнями сердца.

С начала активной деятельности испытательного комплекса ракет-носителей у сотрудников АО КБХА возросло число заболеваний органов пищеварения. В основном это гастриты и дуодениты, болезни поджелудочной железы и язвенная болезнь двенадцатиперстной кишки. Подобная картина была отмечена при изучении влияния космодромов и полигонов на здоровье жителей близлежащих населенных пунктов в [2]. Отмечается повышенное количество обращений граждан по поводу заболеваний костно-мышечной ткани, среди которых ведущее место занимает остеохондроз позвоночника (98 %). Скачкообразно возросло число кондуктивной и нейросенсорной потери слуха (с десятого по пятое места). Устойчиво высоко количество обращений персонала за медицинской помощью в связи с заболеваниями эндокринной системы и глаз. Среди болезней мочеполовой системы распространены воспалительные болезни предстательной железы и гиперплазия предстательной железы.

Число онкологических больных работников за 13 лет возросло более чем в 2 раза, однако при расчете числа заболеваний относительно общего количества обращений этот показатель незначительно, но снижается (девятое—восьмое места). На десятом месте по распространению находятся болезни крови и кроветворных органов.

У взрослого населения Советского района за тот же период времени установлена иная структура заболеваний (представлена в табл. 2). Чаще всего до 2007—2009 гг. за медицинской помощью обращались люди, страдающие болезнями мочеполовой системы. На втором месте по распространенности стояли заболевания костно-мышечной ткани, на третьем — болезни глаза и придаточного аппарата. В период интенсификации ОАКД структура заболеваний претерпела существенные изменения: с десятого на второе место переместились заболевания органов дыхания, на третье место вышли болезни органов кровообращения. К 2019 г. они также преобладают над всеми указанными заболеваниями, отмечается тенденция их дальнейшего роста. При абсолютном

росте случаев заболевания населения болезнями костно-мышечной ткани, глаз, органов пищеварения их относительная составляющая незначительно снижается. Это происходит на фоне увеличения числа

заболеваний системы кровообращения (с шестого до третьего места). В 2012 г. впервые проявляется увеличение заболеваний кроветворных органов и крови (десятое место).

Таблица 1

**Временная нетрудоспособность персонала АО КБХА**

Нозология	Количество случаев					
	2007 г.		2012 г.		2017 г.	
	Абс. число	%	Абс. число	%	Абс. число	%
Некоторые инфекционные и паразитические	6	0,3	5	0,2	4	0,1
Новообразования	18	0,9	29	1,0	31	1,0
Болезни крови, кроветворных органов	1	0,05	19	0,7	28	0,8
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	2	0,1	15	0,5	18	0,5
Болезни нервной системы	17	0,8	60	2,2	34	1,0
Болезни глаза и его придаточного аппарата	32	1,6	139	5,0	144	4,1
Болезни уха и сосцевидного отростка	12	0,6	183	6,6	207	6,2
Болезни системы кровообращения	394	19,4	1007	36,3	1214	34,9
Болезни органов дыхания	850	41,9	332	12,0	697	20,0
Болезни органов пищеварения	124	6,1	441	15,9	421	12,1
Болезни кожи и подкожной клетчатки	41	2,0	19	0,7	39	1,1
Костно-мышечная система и соединительная ткань	262	12,9	339	12,2	410	11,8
Болезни мочеполовой системы	91	4,5	167	6,0	198	5,7
Беременность, роды и послеродовой период	16	0,8	0	0	4	0,1
Травмы, отравления и т. п.	162	8,0	20	1,1	27	0,8
Всего	2028	100	2775	100	3476	100

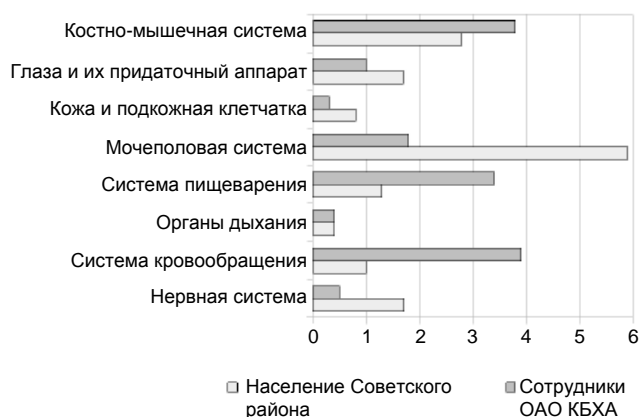
Таблица 2

**Заболеваемость взрослого населения Советского района**

Нозология	Количество случаев					
	2007 г.		2012 г.		2017 г.	
	Абс. число	%	Абс. число	%	Абс. число	%
Некоторые инфекционные и паразитические	1704	3,7	1498	2,6	1382	2,3
Новообразования	968	2,1	1641	2,8	1845	3,0
Болезни крови, кроветворных органов	636	1,4	656	1,1	704	1,2
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	664	1,5	557	0,9	544	0,9
Психические расстройства и расстройства поведения	465	1,0	309	0,5	311	0,5
Болезни нервной системы	1950	4,3	2016	3,4	2112	3,6
Болезни глаза и его придаточного аппарата	4307	9,5	4567	7,8	4633	7,6
Болезни уха и сосцевидного отростка	2119	4,7	1871	3,2	1914	3,2
Болезни системы кровообращения	2107	4,6	5043	8,6	5845	9,6
Болезни органов дыхания	1652	3,6	9175	15,6	10911	18,0
Болезни органов пищеварения	2801	6,2	2990	5,1	2876	4,7
Болезни кожи и подкожной клетчатки	1905	4,2	1969	3,4	2004	3,3
Костно-мышечная система и соединительная ткань	4548	10,0	5069	8,6	5349	8,8
Болезни мочеполовой системы	11241	24,7	12418	21,2	12523	20,6
Беременность, роды и послеродовой период	1598	3,5	4121	7,0	3410	5,6
Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения	31	0,1	38	0,1	40	0,1
Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях	343	0,8	395	0,7	412	0,7
Травмы, отравления и т. п.	6409	14,1	4345	7,4	3876	6,3
Всего	45448	100	58678	100	60691	100



Анализ динамики заболеваний населения и сотрудников АО КБХА позволил установить заболевания, рост которых характерен только для исследуемого района г. Воронежа в период интенсификации работы аэродрома и испытательных площадок ракет-носителей, что отображено на рисунке. Максимальное отклонение числа первичных заболеваний населения исследуемых групп людей от статистических данных по Воронежу установлено для болезней мочеполовой и костно-мышечной систем. Для сотрудников АО КБХА установлены также высокие показатели по росту заболеваний систем кровообращения и пищеварения.



**Отношение числа заболеваний населения Советского района и сотрудников АО КБХА к числу заболеваний по г. Воронежу (на 1000 человек в среднем за 2012—2019 гг.)**

Число заболеваний органов дыхания, занимающих первое место среди заболеваний населения г. Воронежа, для исследуемой группы людей, напротив, снижено. Это объясняется повышенным содержанием оксидов азота в газовых выбросах основных источников загрязнения территории, которые являются антисептическими соединениями и снижают риск вирусных заболеваний.

Значения рангового коэффициента корреляции Спирмена между ростом числа заболеваний насе-

ния исследуемой территории и уровнем загрязнения почв приоритетными контаминантами представлены в табл. 3. Расчеты показали высокую и среднюю связь между всеми нозологическими группами заболеваний и уточненным суммарным показателем загрязнения почв  $S$ , содержанием в них керосина, свинца, марганца и нитратов. Исключения составляют ожидаемо те заболевания, которые мало зависят от экологических факторов (психические расстройства и расстройства поведения). Низкая зависимость числа болезней эндокринной системы, расстройств питания, нарушений обмена веществ, желудочно-кишечных заболеваний от уровня загрязнения почвы исследуемой территории обусловлена тем, что факторы неправильного питания и образа жизни преобладают над экологическими. Поэтому рост заболеваний этих нозологических групп характерен для всех регионов нашей страны и ряда западных стран независимо от источников выбросов.

Ранее было установлено, что между содержанием оксида азота в воздухе и изменением числа заболеваний в жилых районах города существует тесная связь. В первую очередь это отражается на росте болезней органов дыхания, кровообращения, кроветворения, числа новообразований [8]. При исследовании влияния загрязнения почвы нитратами и нитритами на здоровье населения связь проявляется слабее ( $R_s = 0,61—0,71$ ). Формальдегид, как и азот-содержащие соединения, поступает в организм человека в основном через дыхательные пути. Поэтому связь между его содержанием в почвах и ростом заболеваний также является слабо- или средневыраженной.

Установлена средняя сила связи между уточненным суммарным коэффициентом содержания металлов в почвах  $S^{TM}$  и распространенностью желудочно-кишечных заболеваний у населения под воздействием ОАКД. Поскольку основным путем поступления тяжелых металлов в организм является желудочно-кишечный тракт, он наиболее уязвим к действию металлов. Влияние отдельных элементов (марганца, свинца, меди, цинка, никеля и т. д.) на заболевания этой группы описаны во многих работах [2, 8].

Таблица 3

**Значимые коэффициенты корреляции Спирмена между ростом числа заболеваний населения и динамикой загрязнения почв ( $p = 0,01$ ;  $n = 26$ ; критическое значение  $R_s = 0,6$ )**

Заболевание	Керосин	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn	$S^{TM}$	$NO_3$	ФА	S
Новообразования	0,9	0,6	—	—	—	—	0,7	—	0,6	0,7	0,9
Болезни крови	0,8	0,9	—	—	—	0,6	0,6	—	0,7	—	0,6
Нервная система	0,8	0,9	0,6	—	—	0,6	0,7	—	0,7	—	0,9
Болезни глаз	0,9	0,8	0,6	—	—	—	0,8	—	0,6	0,8	0,9
Система кровообращения	0,8	0,8	0,6	—	—	—	0,8	—	0,6	0,8	0,9
Органы дыхания	0,8	0,8	0,6	—	—	—	0,8	—	—	0,8	0,7
Система пищеварения	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—
Болезни кожи	0,8	0,9	0,6	—	—	0,6	0,6	—	—	—	0,7
Костно-мышечная система	0,9	0,8	0,6	—	—	—	0,8	—	0,6	0,8	0,9
Мочеполовая система	0,9	0,6	—	0,6	—	—	—	—	0,6	—	0,9

Однако в условиях мегаполисов нельзя считать почвы единственным источником поступления тяжелых металлов в организм человека. Широкий ассортимент готовых продуктов и полуфабрикатов на прилавки магазинов поступает из других регионов, причем качество их оставляет желать лучшего. Но несмотря на этот значительно искажающий результаты исследования фактор, уточненный суммарный коэффициент содержания исследуемых тяжелых металлов в почвах на территории ОАКД имеет среднюю устойчивую силу связи с ростом заболеваний желудочно-кишечного тракта ( $R_s = 0,71$ ).

Отмечается слабая связь между содержанием никеля и числом заболеваний крови, кроветворных органов, нервной системы, болезнями кожи и подкожной клетчатки среди населения исследуемого района, что соответствует ранее полученным данным [8]. Установлено слабое влияние содержания кадмия в почве на распространение болезней нервной системы, болезней глаз, а также с распространенными по г. Воронежу заболеваниями системы кровообращения, органов дыхания, костно-мышечной и мочеполовой систем. Кадмий является высокотоксичным подвижным элементом, содержание которого в почвах исследуемой территории стабильно растет. В проводимых ранее исследованиях его вклад в общую структуру заболеваний населения Воронежа отмечен не был из-за отсутствия корреляционных связей этих показателей. Проявление связей свидетельствует о высоком содержании Cd в почве, уже достаточном для оказания влияния на структуру заболеваний населения.

Проведенный анализ корреляции между числом заболеваний персонала АО КБХА и уровнем загрязнения почв на территориях административных построек и испытательных площадок ракет-носителей показал, что достоверные связи между уровнем загрязнения почв отдельными загрязнителями и заболеваемостью работников отсутствуют. Однако уточненный суммарный показатель загрязнения  $S$  показывает тесную связь с числом всех исследуемых групп заболеваний за исключением болезней органов дыхания. Такое различное трактование результатов анализа воздействия ОАКД на население прилегающих территорий и на сотрудников химически опасного объекта обусловлено высоким разнообразием экологических факторов, оказывающих воздействие на персонал АО КБХА, которые выходят за рамки исследования этой работы. Необходимо отметить, что использование для испытаний более экологичного топлива, проводимые на территории медицинские мероприятия, улучшение качества техники безопасности персонала также внесло положительные коррективы в результаты исследований.

### Заключение

Установлены экологически обусловленные заболевания людей, попадающих под воздействие объектов авиационной и космической деятельности, расположенных в черте г. Воронежа. К ним относятся заболевания систем: костно-мышечной, мочеполо-

вой, пищеварения. Для работников химически опасного предприятия установлено также превышение заболеваемости систем кровообращения и пищеварения более чем в три раза относительно статистических данных по городу. У населения исследуемой территории повышено число заболеваний глаз и придаточного аппарата, нервной системы.

Установлена сильная связь между содержанием в почвах керосина, свинца, суммарным загрязнением почв и практически всеми исследуемыми заболеваниями, кроме заболеваний системы пищеварения.

Связь средней степени выявлена между ростом содержания формальдегида и нитратного азота в почвах и динамикой роста новообразований у населения, заболеваний глаз, систем кровообращения и костно-мышечной.

На рост заболеваний органов пищеварения влияние отдельных металлов не установлено, однако ранговый коэффициент корреляции между суммарным показателем загрязнения почв тяжелыми металлами и заболеваниями органов пищеварения у населения и работников АО КБХА характеризуется средней степенью связи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев А. Д., Королева Т. В. Химико-аналитическое обеспечение экологического мониторинга ракетно-космической деятельности // Ползуновский вестник. 2015. № 2. С. 117—121.
2. Мешков Н. А. Методические основы оценки влияния последствий ракетно-космической деятельности на здоровье населения, проживающего вблизи районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // Российский биомедицинский журнал. 2009. Т. 10. С. 57—80.
3. Kochetova Z. Y., Bazarskii O. V., Maslova N. V. Filtration of heavy metals in soils with different degrees of urbanization and technogenic load // Russian J. General Chemistry. 2018. V. 88. № 13. P. 2990—2996.
4. Булычев С. Н., Мануйлова Н. Б., Мессинева Е. М. и др. Комплексный анализ химических воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации авиационной техники, и возможных путей решения данной проблемы (Обзор) // Экология промышленного производства. 2016. № 4(96). С. 62—66.
5. Шойхет Я. Н., Колядо И. Б., Колядо В. Б. и др. Заболеваемость населения территорий, прилегающих к районам падения отделяющихся частей ракет-носителей // Проблемы клинической медицины. 2005. № 4. С. 102—108.
6. Hecht A. Causality and disease // Wien Med Wochenschr. 1992. № 142. P. 425—429.
7. Берестенко Е. Д., Григорьев Ю. И. Факторы среды обитания и состояние здоровья населения // Российский медико-биологический вестник им. академика И. П. Павлова. 2011. № 4. С. 147—153.
8. Куропат С. А., Епринцев С. А., Клепиков О. В. и др. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска. — Воронеж: Истоки, 2010.
9. Кочетова Ж. Ю. Авиационно-ракетный кластер как новый класс объектов геоэкологического мониторинга // Географический вестник. 2019. № 3(50). С. 79—91.
10. Оценка влияния факторов среды обитания на здоровье населения Воронежской области по показателям социально-гигиенического мониторинга [Электронный ресурс]. URL: [http://36.gospotrebnadzor.ru/download/sgminf/ochen\\_2016.pdf](http://36.gospotrebnadzor.ru/download/sgminf/ochen_2016.pdf) (дата обращения: 12.05.2020).
11. Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Маслова Н. В. Сравнительный анализ интегральных показателей загрязнения почвогрунтов урбанизированных территорий приоритетными загрязнителями // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 1(125). С. 28—37.

## Impact of priority contaminants of aviation and space activities on human health

Zh. Yu. KOCHETOVA, O. V. BAZARSKY, I. O. BAKLANOV  
Military Educational and Scientific Center Air Force "N. E. Zhukovsky  
and Y. A. Gagarin Air Force Academy", Voronezh, Russia

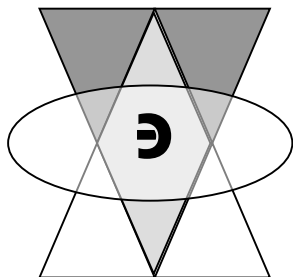
N. V. MASLOVA  
FGBUZ "Hygiene and Epidemiology № 97 FMBA of Russia Federal Medical  
Biological Agency", Voronezh, Russia

*The influence of individual priority contaminants and their total impact on the health of the adult population of the studied territory and employees of JSC was established. Environmentally-related diseases of these groups of people include: diseases of the musculoskeletal, urogenital and digestive systems.*

**Keywords:** soil pollution, objects of aerospace activity, environmentally caused diseases.

Bibliography — 11 references.

*Received September 20, 2020*



УДК 614.331

## Общие вопросы

### Актуальные проблемы уязвимости человека в условиях изменения среды обитания

<sup>1</sup> О. Д. ДОРОНИНА, д-р биол. наук, канд. хим. наук; <sup>1, 2</sup> Ю. А. РУТИНА

<sup>1</sup> Образовательное учреждение профсоюзов высшего образования  
«Академия труда и социальных отношений», Москва, Россия

<sup>2</sup> ООО «Энергодом сервис», Москва, Россия

*Описаны процессы преобразования среды обитания человека, определено их влияние на состояние здоровья человека. На основе официальных статистических данных проведен комплексный анализ состояния здоровья трудоспособного населения России. Показаны недостатки существующей в России системы сбора и обработки статистических данных. Установлено, что в качестве нового критерия принятия управленческих решений по вопросам охраны здоровья и благополучия населения в международной среде применяют интегральный показатель "уязвимость человека вследствие изменения окружающей среды". Определено, что наиболее эффективными методами снижения уязвимости человека вследствие изменения окружающей среды являются менеджмент риска и принятие мер предосторожности.*

**Ключевые слова:** охрана здоровья, уязвимость человека, меры предосторожности, менеджмент риска, окружающая среда.

В сложившейся структуре экономических моделей роль трудовой занятости населения перестала носить исключительно экономический характер и приняла на себя вопросы социального плана. Работающие составляют половину мирового населения и, как следствие, являются основными вкладчиками экономического и социального развития, с одной стороны, и объектами риска, связанного с их профессиональной деятельностью и напрямую влияющего на все сферы их жизни, с другой стороны.

Под влиянием процессов глобализации, урбанизации, мировой экономической нестабильности, научно-технического прогресса трудовая деятельность претерпела колоссальные изменения.

Экономическая нестабильность большинства стран мира способствует распространению нестандартных форм занятости, таких, как сезонная, неполная, разовая, аутсорсинг, аутстаффинг и другие.

Технологическое развитие и цифровизация экономики способствуют сокращению количества рабочих мест в традиционных производственных и промышленных секторах, при этом содействуют созданию новых рабочих мест в целом ряде секторов экономики, связанных с оказанием услуг, управлением, научными разработками, IT-технологиями и т. п.

Урбанизация наравне с предоставлением обширного спектра возможностей, в том числе потенциального доступа к улучшенному медицинскому обслуживанию, становится источником новых рисков. Окружающая человека городская среда концентрирует в себе опасности для его здоровья, связанные с ухудшением качества питьевой воды, нездоровым питанием, отсутствием физической активности, употреблением алкоголя, насилием и травмами, неинфекционными болезнями (сердечно-сосудистыми, раковыми заболеваниями, диабетом и хроническими респираторными болезнями), а также рисками, связанными со вспышками инфекционных болезней.

---

**Доронина Ольга Дмитриевна**, заведующая кафедрой "Охрана труда, промышленная безопасность и экология".  
E-mail: rodep@mail.ru

**Рутин Юлиа Александровна**, аспирант, начальник отдела охраны труда, промышленной безопасности и экологии.  
E-mail: otvet@edserv.ru, rutina.y@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 20 июля 2020 г.*

© Доронина О. Д., Рутин Ю. А., 2020

Происходящие социально-экономические изменения, ограниченность материальных и финансовых ресурсов у организаций и работодателей приводят к возрастанию конкуренции на рынке труда и стремительной трансформации требований к работникам. Помимо профессиональных и личных качеств работников все большее значение придается состоянию их здоровья, которое напрямую влияет на способности выдерживать нагрузки, адаптироваться к изменению внешних и внутренних условий труда, адекватно взаимодействовать с коллективом и внешними контрагентами.

Именно в период агрессивной рыночной борьбы оказывается очевидным, что одним из ключевых факторов повышения производительности и конкурентоспособности организаций становится забота о сохранении и улучшении состояния здоровья работников.

В связи с этим крайне необходимо вырабатывать новые подходы не только к оценке состояния здоровья человека, но и к оценке влияния на его здоровье происходящих изменений в окружающей среде обитания, а также обеспечивать комплексное изучение факторов, влияющих на возможности адаптации человека в новых условиях его жизнедеятельности.

### **Комплексный анализ состояния здоровья трудоспособного населения России**

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) является специализированным учреждением ООН, чья сфера деятельности связана с вопросами здравоохранения населения во всех странах мира. Данные, предоставляемые ВОЗ, позволяют формировать оценки состояния здоровья людей в аспектах их деятельности, гендерной и национальной принадлежности, климатических особенностей, материальной обеспеченности, уровня развития инфраструктуры и систем здравоохранения.

По данным ВОЗ, во всем мире сохраняется тенденция к увеличению доли неинфекционных заболеваний в общей структуре заболеваемости населения. Неинфекционные заболевания имеют продолжительное течение и являются результатом воздействия комбинации генетических, физиологических, экологических и поведенческих факторов.

Например, только в 2016 г. из 56,9 млн случаев смерти во всем мире более половины (54 %) были вызваны неинфекционными заболеваниями. Так, от ишемической болезни сердца и инсульта в 2016 г. умерло более 15,2 млн человек, от хронической обструктивной болезни легких — 3,0 млн человек, а от рака легких (наряду с раком трахеи и бронхов) — 1,7 млн человек. Увеличивается смертность и от других неинфекционных заболеваний. В частности, от диабета в 2016 г. умерло 1,6 млн человек против менее 1 млн в 2000 г. От деменции за пятилетний период (2000—2016 гг.) смертность возросла более чем в два раза, в связи с чем это заболевание стало пятой ведущей причиной смертей в мире [1]. За последние 15 лет ишемическая болезнь сердца и инсульт унесли больше всего человеческих жизней, и эти заболевания остаются ведущими причинами смертей в мире.

Причинами значительной части бремени хронических неинфекционных заболеваний являются риски, связанные с профессиональной деятельностью. По оценкам ВОЗ, 37 % всех случаев заболеваний опорно-двигательного аппарата, 16 % потери слуха, 13 % хронических обструктивных легочных заболеваний, 11 % астмы, 8 % травм, 9 % рака легких, 2 % лейкемии и 8 % депрессии вызваны именно профессиональными рисками.

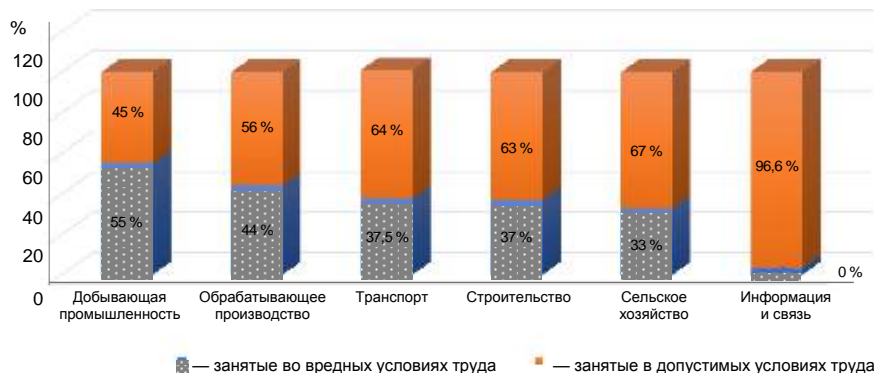
Кроме того, от различной формы инвалидности страдает более одного миллиарда человек, что составляет около 15 % мирового населения. Показатели инвалидности растут по причинам общего старения населения, связанного с ростом продолжительности жизни, роста бремени хронических нарушений здоровья и т. д. [2].

На фоне показателей мировой статистики в области здравоохранения большой интерес представляют статистические оценки состояния здоровья населения Российской Федерации. В связи с этим авторами на основе официальных статистических данных проведен анализ состояния здоровья трудоспособного населения страны по следующим показателям: процент занятого населения от его общей численности; коэффициент смертности трудоспособного населения; показатели профессиональной заболеваемости; число дней временной нетрудоспособности.

В результате анализа статистических данных определено, что численность населения России в 2018 г. составляла 146,7 млн человек, из которых 72 млн относилось к занятому населению, что составляет 49 % от общей численности населения страны [3]. Очевидно, что практически половина населения России попадает в сферу воздействия на здоровье потенциальных факторов риска рабочей среды, связанных с профессиональной деятельностью.

Установлено, что коэффициент смертности населения страны в трудоспособном возрасте в 2018 г. составлял 482,2 случая на 100 000 человек (48,2 случая на 10 000 человек). При этом смертность, вызванная паразитарными и инфекционными болезнями, составляла всего 8 %, а вызванная неинфекционными заболеваниями — 89,6 %. В том числе смертность от новообразований составляла 18 %, от болезни системы кровообращения — 27 %, органов дыхания — 3,6 %, органов пищеварения — 10 %, от внешних причин — 22 %, от прочих болезней — 9 % [4]. Это свидетельствует о том, что в стране преобладание причин смертности от неинфекционных заболеваний полностью соотносится с общемировой статистикой.

Анализ статистических данных об условиях труда за 2017 и 2018 гг. показал отсутствие существенных улучшений в данной области. Так, в 2018 г. численность работников, занятых на работах во вредных и/или опасных условиях труда (класс опасности условий труда 3.1 и выше), составляла в добывающей промышленности 55 %, в обрабатывающем производстве — 44 %, в сельском хозяйстве — 33 %, в строительстве — 37 %, в транспорте — 34,5 %, в области информации и связи — 3,3 % (рис. 1).



**Рис. 1. Удельный вес численности работников организаций, занятых на работах во вредных и/или опасных условиях труда, по видам экономической деятельности (в процентах от общей численности работников организаций соответствующего вида экономической деятельности; без субъектов малого предпринимательства)**

По видам воздействия на здоровье работников производственных факторов обычно выделяют такие категории, как шум, ультразвук, воздушный ультразвук, вибрация (общая и локальная), аэрозоли преимущественно фиброгенного действия, химический фактор [5].

Особо следует отметить, что до сих пор в России статистическими наблюдениями не охвачены субъекты малого и среднего предпринимательства, а также отсутствует информация о задействованности работников в условиях воздействия физических, психофизиологических и социальных факторов.

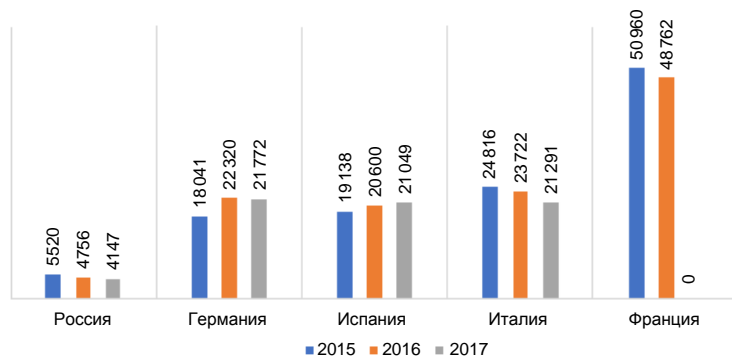
В результате сравнительного анализа показателей численности лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием в России и в странах Европейского союза (рис. 2) определено, что в таких странах, как Германия, Испания, Италия, Франция, этот показатель в разы превышает аналогичный показатель Российской Федерации [6].

Авторы убеждены, что такие низкие российские показатели связаны в первую очередь с несовершенством методологии получения статистической информации, отсутствием современных методик установления связи заболеваний с профессией, а также заинтересованности государства в регистрации положительной статистики в области производственного травматизма и профессиональных заболеваний в

связи с неготовностью обеспечения достойного уровня социальных гарантий.

Статистические наблюдения Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека РФ (Роспотребнадзор) фиксируют перераспределение больных с профессиональной патологией в сторону более молодых работников и работников с меньшим стажем контакта с вредными производственными факторами. В распределении уровней профессиональной заболеваемости в зависимости от классов условий труда наметилась тенденция к снижению доли пострадавших работников, занятых на рабочих местах с допустимыми условиями труда, при одновременном увеличении доли пострадавших на постоянных рабочих местах с классом условий труда "вредный" (классы опасности 3.1 и 3.2).

Анализ динамики изменения числа случаев временной нетрудоспособности и числа дней временной нетрудоспособности (таблица) выявил, что за период 2015—2018 гг. данные по этим показателям оставались в одних и тех же пределах, что свидетельствует об отсутствии существенных улучшений в системе обеспечения здоровья работающих. При этом, по оценкам российских экспертов, только 8 % работников всегда болеют дома, а 77 % не берут листы временной нетрудоспособности и ходят больными на работу [7].



**Рис. 2. Сравнительные показатели численности лиц с впервые установленным профессиональным заболеванием**

**Число случаев временной нетрудоспособности и число дней временной нетрудоспособности за 2015—2018 гг.**

Год	Число случаев временной нетрудоспособности, ед.	Число дней временной нетрудоспособности, дни
2018	13 5593 70	95 316 115
2017	13 378 328	82 257 973
2015	13 767 994	78 177 897

Примечание: Данные Росстата приведены без учета случаев ухода за больными и отпуска по беременности и родам



Таким образом, отсутствие эффективных систем поддержания здоровья работающего населения дорого обходится не только государству, но и бизнесу. Так, по заявлению вице-премьера РФ Т. А. Голиковой на III Форуме социальных инноваций регионов (19.06.2019) "...российская экономика в 2018 г. потеряла порядка 223 млрд руб. из-за предотвратимой нетрудоспособности граждан".

Наряду с условиями труда огромное влияние на здоровье работника оказывает состояние окружающей его среды обитания. По данным ВОЗ, качество окружающей человека среды обуславливает от 15 до 25 % глобального бремени болезней. К основным факторам риска, вносящим значительный вклад в дополнительные, ассоциированные с факторами среды обитания, заболеваемость и смертность населения, относятся многокомпонентное загрязнение атмосферного воздуха, питьевой воды и почв, особенно на селитебных территориях.

Данные, представленные Роспотребнадзором, подтверждают, что весомый вклад в заболеваемость и смертность населения вносят факторы риска, обусловленные загрязнением среды обитания, которые определяют многолетнюю комплексную химическую, биологическую и физическую нагрузку на население [8]. Именно эти факторы риска в значительной степени влияют на показатели смертности и заболеваемости населения по таким видам заболеваний, как новообразования, болезни системы кровообращения, органов пищеварения, органов дыхания, а также инфекционные и паразитарные болезни.

#### **Современные подходы к снижению степени уязвимости человека**

Стремительное технологическое развитие, активная хозяйственная деятельность, быстрые социально-экономические изменения привели к тому, что отдельно взятый человек не успевает самостоятельно адаптироваться к таким изменениям и становится уязвимым в новых условиях среды обитания.

Более того, проблемы, связанные с уязвимостью человека, усугубляются все возрастающим негативным воздействием промышленной и сельскохозяйственной деятельности и ускоряющихся процессов урбанизации, что приводит к увеличению как относительной, так и абсолютной численности работников, пострадавших от профессиональных заболеваний.

В связи с этим в рамках ООН принято решение о необходимости применения интегрального показателя "уязвимость человека вследствие изменения окружающей среды" в качестве нового критерия принятия управленческих решений по вопросам охраны здоровья и благополучия населения [9].

Это обусловлено тем, что уязвимость человека является основным индикатором, определяющим качество окружающей его среды обитания, и поэтому должна занимать центральное место при выработке мероприятий, преследующих цель помочь людям избежать неблагоприятных последствий, противостоять внешним воздействиям или адаптироваться к новым условиям проживания.

Понятие "уязвимость человека" характеризует соотношение между двумя величинами: вероятностью развития угроз (риска) здоровью и благополучию человека вследствие изменения факторов среды обитания и способностью человека и общества справиться с этими угрозами (рисками) [10].

Одним из обязательных компонентов при оценке уязвимости человека является прогнозирование адаптивных/приспособительных возможностей человека к условиям изменения состояния его среды обитания.

В методологии оценки уязвимости человека большое значение отводят гармонизации подходов к менеджменту угрозы (риска) здоровью человека и безопасности его среды обитания, так как в противном случае невозможна корректная корреляция уровней потенциальных рисков и адаптивных возможностей человека.

Однако в текущих условиях развития научного знания, практики международных взаимоотношений и обмена опытом, несовершенства систем сбора и обработки статистических данных не всегда представляется возможным определить с высокой степенью достоверности факторы, вызывающие изменения состояния окружающей человека среды, и оценить их воздействие на здоровье населения.

Поскольку менеджмент риска здоровью носит комплексный характер, он должен включать также и анализ потенциальных угроз, связанных с развитием инновационных технологий, преобразованием мировых и региональных экономических структур, формированием социально-трудовых и экологических аспектов жизнедеятельности населения.

Ввиду обозначенных проблем принятие решений по вопросам охраны здоровья человека, особенно в процессе его хозяйственной деятельности, зачастую происходит в условиях неопределенности, связанной как с неполнотой знаний о проблеме, так и с невозможностью прогнозировать результаты принимаемых решений. В связи с этим лица, принимающие решения как на региональном, так и на локальном уровне, продолжают сталкиваться с новыми системными задачами при выборе наиболее эффективных мер, направленных на уменьшение потенциальных факторов риска.

В международной практике в качестве эффективного механизма, обеспечивающего практическую основу для разработки мер по риск-менеджменту, широко используется подход, получивший название "меры предосторожности" (15-й принцип Рио-де-Жанейрской Декларации, 1992 г.), который применяется во многих многосторонних соглашениях, принятых в рамках ООН [11].

Сконцентрированный на неопределенности последствий от антропогенных воздействий такой подход, являясь одним из методов прогнозирования в целях предотвращения негативных событий, которые еще не произошли, выдвигает на передний план необходимость учета возможного в будущем ущерба.

Меры предосторожности включают четыре совокупных компонента: риск, ущерб, научную неопределенность, дифференцированные возможности.

*Риск* — это определяющая характеристика мер предосторожности, представляющая собой потенциальную угрозу, которая может привести к какому-либо ущербу. Поскольку по своей природе риск содержит большую долю неопределенности, основная задача при анализе риска состоит в установлении его качественных и количественных показателей. Однако ввиду изменчивости окружающей среды достоверность результатов оценки риска зависит от используемой методологии, которая должна своевременно реагировать на появление новых научных данных.

*Анализ ущерба* здоровью человека осуществляют только в совокупности с анализом риска и определяют такими понятиями, как "серьезность" и "необратимость". Оценка ущерба должна базироваться на методиках, которые используют комплекс количественных показателей, позволяющих оценить влияние на здоровье человека качества его среды обитания. Важным аспектом оценки ущерба является его стоимостная характеристика. Однако при оценке возмещения и устранения ущерба часто возникают сложности, обусловленные финансовыми проблемами.

*Научная неопределенность* считается непрямым условием для принятия "мер предосторожности". Именно эта составляющая системы менеджмента риска определяет различия между такими понятиями, как "меры предупреждения" и "меры предосторожности".

Меры предупреждения, которые обычно являются наиболее распространенными, используют в тех случаях, когда с научной точки зрения обеспечена достаточная степень объективности восприятия наступающих рисков. Однако зачастую отсутствие или недостаток достоверных данных об уровнях риска или объективном существовании потенциальных опасностей, особенно при запуске новых производств, использовании новых материалов и продукции, создают иллюзию безопасности.

Меры предосторожности используют тогда, когда в процессе принятия решений отсутствует однозначное научное понимание проблемы опасности наступающих рисков, и они должны защитить человека от возможного причинения ущерба его здоровью.

*Дифференцированные возможности* учитывают способность различных структур или сообществ соотносить меры предосторожности с соразмерным подходом к менеджменту риска в зависимости от уровня их развития и возможностей. Соразмерность в этом контексте определяется в качестве некой функции совокупных человеческих, финансовых, экономических возможностей и технических средств, имеющихся в распоряжении конкретной структуры для менеджмента риска в целях предотвращения серьезного и необратимого ущерба.

Это означает, что в каждом конкретном случае необходим индивидуальный подход к применению мер "предосторожности", так как уровень применения этих мер развитыми государствами или транснациональными корпорациями, безусловно, будет отличаться от уровня их применения в структурах или сообществах, не обладающих такими ресурса-

ми. Однако независимо от уровня экономического развития или степени владения теми или иными ресурсами действующие субъекты, а также лица, принимающие решение, не должны освобождаться от обязанности применения мер предосторожности.

Краткая характеристика обязательных компонентов, формирующих меры предосторожности, наглядно показывает, что решающую роль в их применении играет наличие всеобъемлющих, качественных и достоверных информационных ресурсов.

Принимая во внимание, что система менеджмента риска предполагает необходимость анализа большого объема взаимосвязанных факторов, чрезвычайно важно обеспечить лицам, принимающим решения на всех уровнях управления, возможность оперативно получать верифицированные и научно обоснованные данные по любым сферам жизнедеятельности человека, представленные в форме легко интерпретируемых показателей, которыми проще оперировать. В противном случае принятие решений, основанных на недостоверных данных оценки рисков, может привести к необратимым последствиям.

Комплексный анализ структуры и состава статистических данных по вопросам охраны здоровья человека, имеющихся в Российской Федерации, показал, что существующая система сбора и обработки таких данных в первую очередь направлена на классификацию зарегистрированных случаев заболевания и смерти населения. При этом деятельность, направленная на установление причин нарушения здоровья, а также установление достоверных взаимосвязей между здоровьем человека и факторами окружающей его среды, продолжает оставаться на крайне низком уровне, а систематизированные данные по обозначенному кругу вопросов по-прежнему недоступны для заинтересованных сторон. До сих пор существуют проблемы, препятствующие оперативному получению качественной информации о состоянии здоровья населения, в частности:

- скорость получения данных несопоставима со скоростью процессов изменения жизнедеятельности общества. Так, на апрель 2020 г. Росстат оперировал данными за период 2017—2018 гг., а последние данные ВОЗ и МОТ, опубликованные на русском языке, представлены за период 2015—2016 гг. Такое отставание в получении и без того скудных статистических данных не позволяет своевременно и эффективно определять меры, направленные на охрану здоровья населения;

- в стране до сих пор не определен государственный федеральный орган, отвечающий за консолидацию статистической информации, что негативно сказывается на уровне достоверности существующих данных;

- на текущий момент не разработаны единые методологии сбора первичной информации по рискам здоровью вследствие изменения состояния окружающей человека среды, что приводит к значительному искажению получаемых статистических данных.

Кроме того, серьезной проблемой, препятствующей формированию качественных информационных ресурсов, являются информационный монополизм и ведомственная разобщенность, что приводит к дублированию работ, отсутствию единой методологии сбора первичной информации, общих принципов и правил ее представления.

Таким образом, в условиях отсутствия качественных информационных ресурсов применение мер предосторожности становится практически единственным эффективным способом защиты человека от нанесения серьезного и необратимого ущерба его здоровью вследствие изменения окружающей среды обитания.

Модель применения мер предосторожности должна основываться на базе научных выводов, характеризующихся некоторой степенью логичности относительно опасности наступающих рисков. Такой подход требует постоянной переоценки рисков и, как следствие, регулярных корректировок и пересмотра тех решений, которые были приняты ранее.

Немаловажную роль в менеджменте риска играют управленческие решения при внедрении инновационных технологий, которые обеспечивают социально-экономическое развитие, не выходящее за рамки ассимиляционного потенциала экосистем, т. е. устойчивое развитие. Такой подход позволяет снизить совокупные факторы риска, в том числе и производственные риски, здоровью человека, прежде всего за счет снижения антропогенной нагрузки на его среду обитания.

Однако в РФ до сих пор преобладают нерациональные модели производства, применение которых обусловлено следующими причинами:

- ориентированность развития технологий на прибыльность без учета вероятности возникновения потенциальных рисков здоровью человека и состоянию экосистем от использования этих технологий;
- слабая организационная база и недостаток квалифицированных кадров;
- несоблюдение установленных национальных стандартов и нормативов при производстве и реализации продукции или предоставлении услуг;
- дробление и дублирование ответственности между министерствами и ведомствами.

### Заключение

Проведенные авторами исследования наглядно показывают, что основной причиной ухудшения здоровья и роста общего числа заболеваемости населения как в мире в целом, так и в Российской Федерации в частности является существенное изменение качества окружающей человека среды, особенно трудовой, экологической, социальной и информационной.

Очевидно, что состояние здоровья человека является индикатором качества окружающей среды и, как следствие, одним из основных показателей его уязвимости. Поэтому в интересах снижения степени уязвимости человека перед реальностью существования в изменчивой среде обитания необходимо осуществлять комплексный подход к менеджменту риска в процессе всех видов хозяйственно-экономической деятельности.

Для этих целей в качестве первоочередных мер целесообразно направить усилия государственных органов власти на формирование универсальной системы получения, обработки и предоставления качественных и достоверных информационных ресурсов, отражающих все аспекты жизнедеятельности человека.

В процессе принятия решений по снижению степени уязвимости человека вследствие воздействия потенциальных факторов риска следует использовать меры предосторожности, в соответствии с которыми незнание возможных опасных последствий от нерациональной деятельности хозяйствующих субъектов не освобождает их от ответственности за причинение ущерба здоровью человека. При этом предосудительно не ведение о возможных серьезных и необратимых ущербах здоровью человека, а неприятие мер по их предотвращению или по крайней мере их уменьшению.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирная организация здравоохранения. Информационный бюллетень "10 ведущих причин смерти в мире" [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/top-10-causes-of-death> (дата обращения: 10.04.2020).
2. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru>.
3. Труд и занятость в России. 2019: стат. сб. — М.: Росстат, 2019. — 135 с.
4. Здравоохранение в России. 2019: стат. сб. — М.: Росстат, 2019. — 170 с.
5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: государств. доклад. — М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. — 254 с.
6. База данных "Здоровье для всех" (HFA-DB) [Электронный ресурс]. URL: <https://gateway.euro.who.int/ru/datasets/european-health-for-all-database/#demographic-and-socio-economic-indicators>
7. Работа.ру. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rabota.ru/articles/career/21-rossiyan-vsegda-berut-bolnichnye-v-sluchae-zabolevaniy-5467>
8. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://rospotrebnadzor.ru>
9. Рахманин Ю. А., Доронина О. Д. Стратегические подходы к управлению рисками для снижения уязвимости человека вследствие изменения водного фактора // Гигиена и санитария. 2010. № 2. С. 8—13.
10. Доронина О. Д. Уязвимость человека — основной показатель устойчивого развития. — Germany: LAP Lambert Academic Publishing, International Book Market Service Ltd., 2019.
11. Доронина О. Д. Роль принципа принятия "мер предосторожности" для обеспечения безопасной окружающей человека среды // Бюллетень Научного совета "Медико-экологические проблемы работающих". 2009. № 2. С. 18—24.

## Actual problems of human vulnerability in a changing environment

<sup>1</sup> O. D. DORONINA, <sup>1, 2</sup> Yu. A. RUTINA

<sup>1</sup> EITU HE "Academy of Labor and Social Relations", Moscow, Russia

<sup>2</sup> LLC "Energodom service", Moscow, Russia

*The article describes the processes of transformation of the human environment and determines their impact on human health. Based on official statistical data, a comprehensive analysis of the health status of the working-age population of Russia was conducted. Shortcomings of the existing system of collecting and processing statistical data in Russia are revealed. It is established that the integral indicator "human vulnerability due to environmental changes" is used as a new criterion for making managerial decisions on issues of public health and well-being in the international environment. It is determined that the most effective methods of reducing human vulnerability due to environmental changes are risk management and precautionary measures.*

**Keyword:** occupational safety and health, human vulnerability, precautionary measures, risk management, environment.

Bibliography — 11 references.

Received July 20, 2020

УДК 338.45

## Экотехнопарк в Новокузнецке как пример развития техноэкосистемы и реализации принципов экономики замкнутого цикла

Е. П. ВОЛЫНКИНА, д-р техн. наук;

ОЮЛ «Кузбасская Ассоциация переработчиков отходов», Новокузнецк, Россия

<sup>1</sup>В. А. МАРЬЕВ; <sup>1</sup>О. В. ГОЛУБ; <sup>1,2</sup>Т. С. СМИРНОВА, канд. техн. наук

<sup>1</sup> ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики»,  
г. Мытищи, Московская обл., Россия

<sup>2</sup> Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина,  
Москва, Россия

В работе раскрыты вопросы реализации принципов экономики замкнутого цикла посредством создания экотехнопарков. Результаты исследования показывают, что замыкание материальных потоков в экотехнопарке может обеспечить синергетический эффект по снижению негативной экологической нагрузки за счет ликвидации площадных источников загрязнения атмосферного воздуха пылью, бенз(а)пиреном и другими канцерогенными полициклическими ароматическими углеводородами; частичной замены в производственных процессах природных ресурсов вторичными. Немаловажным фактором создания экотехнопарка является также увеличение объемов производства промышленной продукции в регионе за счет вовлечения в хозяйственный оборот вторичных ресурсов.

**Ключевые слова:** экотехнопарк, экономика замкнутого цикла, обращение с промышленными отходами, циклическая экономика, техноэкосистема, промышленный симбиоз.

Новокузнецк входит в число крупнейших промышленных центров России. Основой промышленного потенциала Новокузнецка являются металлургическое производство, добыча, обогащение и переработка угля (главным образом, сжигание в целях получения тепловой и электрической энергии), на долю которых приходится более 80 % объема отгруженных товаров и услуг. Высокий промышленный потенциал города имеет оборотную сторону — напряженную экологическую ситуацию, в том числе в сфере обращения с отходами.

Ресурсоемкие отрасли промышленности обуславливают образование значительного количества крупнотоннажных отходов производства (рис. 1): 9—10 млн т ежегодно, что составляет 98 % в общей массе отходов и структурно складывается из отходов

углеобогащения (31 %), металлургических шлаков (23 %), отходов обогащения железной руды (20 %), а также золошлаковых отходов ТЭЦ и котельных установок, огнеупоров, пылей и шламов газоочистных устройств и т. д. Твердые коммунальные отходы (ТКО) составляют около 2 %.

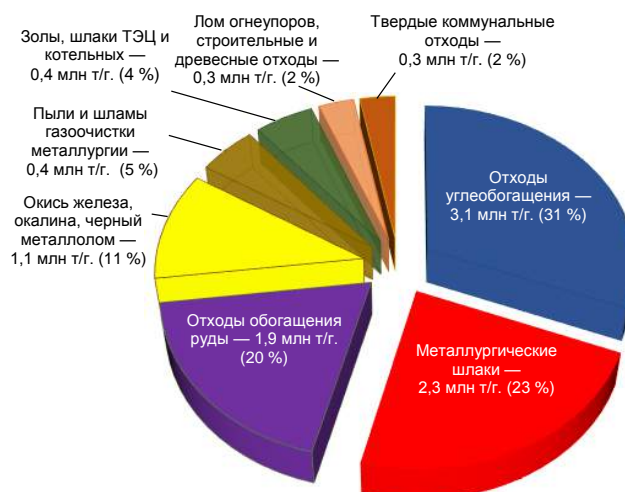


Рис. 1. Структура образующихся отходов в г. Новокузнецке

За период активной деятельности промышленных предприятий, начиная с 30-х гг. XX в. на территории Новокузнецка накоплено около 300 млн т разнообразных техногенных отходов. Основными объектами накопления промышленных отходов являются хвостохранилище отходов обогащения железных руд

**Волынкина Екатерина Петровна**, председатель правления.

E-mail: [ekaterina.volynkina@gmail.com](mailto:ekaterina.volynkina@gmail.com)

**Марьев Владимир Александрович**, руководитель научно-методического центра "Управление обращением с отходами и вторичными ресурсами".

E-mail: [v.maryev@eipc.center](mailto:v.maryev@eipc.center)

**Голуб Ольга Владимировна**, начальник отдела методологии ресурсосбережения.

E-mail: [o.golub@eipc.center](mailto:o.golub@eipc.center)

**Смирнова Татьяна Сергеевна**, доцент кафедры "Промышленная экология", заместитель начальника отдела методологии ресурсосбережения.

E-mail: [Tatsmirnova82@mail.ru](mailto:Tatsmirnova82@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 17 сентября 2020 г.

© Волынкина Е. П., Марьев В. А., Голуб О. В., Смирнова Т. С., 2020

Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики площадью свыше 100 га, шламонакопитель Западно-Сибирского металлургического комбината площадью 300 га, отвалы металлургических шлаков, накопители жидких отходов коксохимического производства, золошлаковые отвалы ТЭЦ и котельных, шламонакопители ферросплавного и алюминиевого заводов, 4 флотохвостохранилища углеобогачительных фабрик и т. д. (рис. 2).



**Рис. 2. Объекты накопления промышленных отходов в г. Новокузнецке:** а — хвостохранилище Абагурской ОАФ; б — шламонакопитель Западно-Сибирского металлургического комбината; в — отвал металлургических шлаков; г — накопитель жидких отходов коксохимического производства ("смоляное озеро"); д — шламонакопитель Новокузнецкого алюминиевого завода; е — флотохвостохранилище углеобогачительной фабрики

Объекты накопления промышленных отходов, в том числе от прошлой хозяйственной деятельности, вследствие занимаемых ими значительных площадей являются крупными источниками загрязнения окружающей среды, в том числе источниками пыления и эмиссии в окружающую среду широкого спектра загрязняющих веществ, включая взвешенные вещества и полициклические ароматические углеводороды.

Ежегодно с поверхности отвалов и шламонакопителей выдуваются сотни тысяч тонн пыли, поступающей в атмосферу г. Новокузнецка и близлежащих районов. Годовое выпадение пыли в районе, расположенном вблизи хвостохранилища Абагурской ОАФ, составляет  $409 \text{ мг/м}^2$ , в то время как фоновый показатель —  $2 \text{ мг/м}^2$ , т. е. превышает фоновое значение более чем в 200 раз. Основным загрязняющим веществом в атмосфере г. Новокузнецка является бенз(а)пирен, обладающий высокой канцерогенной активностью. Одним из источников поступления бенз(а)пирена и других канцерогенов в окружающую среду г. Новокузнецка являются объекты накопления жидких отходов коксохимического производства, в которые на протяжении свыше 70 лет сливали токсичные смолистые отходы. Так, например, концентрация бенз(а)пирена в накопителе жидких отходов коксохимического производства ликвидированного в настоящее время Кузнецкого металлургического комбината ("смоляное озеро") превышает ПДК в почве в 7605 раз, а в атмосферном воздухе в районе его размещения — в 4 раза. Кроме бенз(а)пирена, в накопителе в значительных концентрациях содержатся еще 15 канцерогенов. Размещаемые в "смоляном озере" жидкие отходы коксохимического производства на протяжении десятков лет, испаряясь, поставляют в атмосферный воздух целый спектр опасных загрязнителей, нанося огромный экологический вред окружающей среде и здоровью жителей г. Новокузнецка [1].

Таким образом, переработка накопленных на территории г. Новокузнецка техногенных отходов является одной из первоочередных задач по снижению загрязнения атмосферного воздуха.

В то же время в объектах накопления отходов промышленности сосредоточены колоссальные объемы выведенных из хозяйственного оборота различных видов сырья, сконцентрированного на сравнительно небольших и более доступных для разработки площадях по сравнению с природными месторождениями. По запасам и содержанию полезных компонентов многие из таких объектов могут быть отнесены к техногенным месторождениям.

В табл. 1 приведены данные о накоплении техногенных отходов промышленности в наиболее крупных объектах накопления, расположенных на территории г. Новокузнецка.

Таблица 1

Характеристика основных объектов накопления промышленных отходов на территории г. Новокузнецка [1]

Объект накопления отходов	Наименование отходов	Площадь, га	Количество накопленных отходов, млн т
Хвостохранилище № 1 Абагурской ОАФ	Мелкодисперсные шламы обогащения железных руд	100	90
Отвалы Кузнецкого металлургического комбината	Шлаки сталеплавильного производства	176	20
Шламонакопитель Кузнецкого металлургического комбината	Мелкодисперсные шламы доменного производства	20	1
Шламонакопитель АО "ЕВРАЗ ЗСМК"	Отходы обогащения и сжигания угля, шламы доменного и сталеплавильного производств и т. д.	300	140
Накопители коксохимического производства	Жидкие отходы коксохимического производства	10	1
Отвалы ТЭЦ и котельных	Золошлаковые отходы	50	1
Флотохвостохранилище ЦОФ "Абашевская"	Отходы обогащения угля	15	5
Итого		671	258



Представленные данные характеризуют запасы техногенных ресурсов в объектах накопления промышленных отходов в г. Новокузнецке, вовлечение которых в переработку позволит не только очистить городскую территорию и ликвидировать источники загрязнения окружающей среды, но и создать производство новых видов востребованной на рынке промышленной продукции на основе извлеченных из отходов ценных компонентов, обеспечив при этом снижение потребления природных ресурсов.

Однако переработка промышленных отходов требует разработки новых нетрадиционных технологий и оборудования, является затратной в плане капитальных и эксплуатационных затрат с длительными сроками окупаемости, рынок производимой на их основе продукции не развит и требует опытно-промышленного тестирования и сертификации, подтверждения экологической безопасности, инвестиции имеют высокую степень риска. Решение этих проблем возможно путем создания в г. Новокузнецке инновационного экотехнопарка со спецификой переработки промышленных отходов, в рамках которого будут разработаны, апробированы и внедрены новые технологии, созданы инновационные производства по переработке отходов и вторичных ресурсов.

Само понятие "экотехнопарк" возникло в 80-х гг. XX в. Ко второму десятилетию XXI в. в мире создано свыше 300 экотехнопарков, которые стали важным глобальным инструментом в создании новых экоориентированных промышленных зон и основой для создания экогородов, представляющих собой принципиально новый вид города, находящийся в экологическом равновесии с природой, с высоким качеством среды обитания, экологичной архитектурно-ландшафтной средой, экологически безопасной индустрией, энергетикой и транспортом, организованным управлением отходами, высоким уровнем развития экологической культуры [2].

Создание в индустриальном городе экотехнопарка и затем на его основе экогорода отражает эволюцию цивилизации, а точнее, эволюцию биосферы, частью которой является цивилизация, в ноосферу — сферу разума.

Биосфера представляет собой глобальную земную экологическую систему, состоящую из множества разнообразных экосистем. В соответствии с теорией В. И. Вернадского, производственная деятельность человека является частью биосферы, а создаваемая им техника — качественно новым ее этапом развития.

Таким образом, создаваемые человеком машины, предприятия, отрасли, города также являются частью биосферы и могут быть определены как техногенные экосистемы или техноэкосистемы. В то время как в природных экосистемах происходят биологические процессы, в техноэкосистемах наряду с естественными биологическими реализуются производственные технологические процессы. Экосистемы появляются и исчезают в процессе эволюции биосферы, техноэкосистемы формируются человеком также в результате его эволюции и эволюции биосферы, частью которой он является [3].

Согласно теории В. И. Вернадского человечество не может остановиться в своем движении, а "ход научной мысли в создании машин аналогичен ходу размножения организмов", поэтому прекратить создание и развитие техноэкосистем невозможно, но необходимо обеспечить их безопасное для биосферы развитие. Повсеместно рядом с собой человек может наблюдать совершенные образцы такого развития — природные экосистемы.

Природная экосистема — это пространственно-определенная совокупность живых организмов и среды их обитания, объединенных материально-энергетическими и информационными воздействиями. Каждая природная экосистема представляет собой упорядоченную саморегулирующуюся систему. Можно сказать, что внутри природных экосистем действует система управления, обеспечивающая их самоорганизацию и эволюционное развитие, не нарушающее устойчивости биосферы.

В. И. Вернадский считал, что развитие биосферы осуществляется эволюционным путем, а человеческое общество — один из этапов ее эволюции. Венцом его теории является положение, согласно которому биосфера постепенно перейдет в ноосферу — сферу разума. Только в этом случае возникнет оптимальное соотношение между потребностями человека и возможностями биосферы. Ноосфера — это состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно, когда коллективный разум человечества имеет возможность направлять развитие биосферы в интересах эволюции человека [3].

По аналогии с природной экосистемой техноэкосистема может быть определена как пространственно-определенная совокупность производственных компонентов (ячеек), которыми являются производственные участки, цехи, предприятия и т. д., и живых организмов, объединенных материально-энергетическими и информационными воздействиями. Техноэкосистемой является и любой населенный пункт, так как на его территории осуществляется производственная деятельность человека. Внутри техноэкосистемы реализуются производственные процессы, являющиеся источниками образования отходов, а также процессы сбора, транспортирования, утилизации, обезвреживания или захоронения образующихся отходов [4]. В техноэкосистемах, как и в природных экосистемах, материальные и энергетические потоки транспортируются между компонентами производственной сферы и в окружающую среду. Между ними также развита система информационных связей. Отличием техноэкосистем от природных экосистем является неразвитость информационных потоков между объектами, регулирующих материальные и энергетические обмены между ними таким образом, чтобы обеспечить замкнутость круговорота природных ресурсов и сохранение устойчивого динамического равновесия биосферы. Низкий уровень информации в техноэкосистемах обуславливает низкую степень их организованности и, соответственно, высокий уровень организации транспортируемых материальных и энергетических потоков.



Устойчивость биосферы в условиях прогрессирующего развития техноэкосистем может быть обеспечена только в случае, если они будут организованы аналогично природным экосистемам. Организация техноэкосистем по аналогии с природными экосистемами является шагом из биосферы в ноосферу, обеспечивающим их устойчивое эволюционное развитие.

Таким образом, создание в индустриальном городе экотехнопарка и затем на его основе экогорода может быть рассмотрено как управляемое развитие и преобразование существующей промышленной техноэкосистемы, т. е. эволюцию биосферы в ноосферу — сферу разума.

Основные принципы организации экотехнопарка могут быть сформулированы следующим образом:

- управление материальными и энергетическими потоками между его объектами и окружающей средой должно быть организовано таким образом, чтобы количество транспортируемых материалов и энергии, а следовательно, и количество образующихся отходов постоянно сокращалось, приближаясь к минимально необходимому для осуществления каждого конкретного технологического процесса;
- образующееся в результате производственных процессов минимально возможное количество отходов подвергается рециклингу внутри экотехнопарка, обеспечивая его максимальную замкнутость. При невозможности организации рециклинга в рамках одного экотехнопарка он может быть осуществлен в соседних техноэкосистемах, включая их в материальный и энергетический круговорот в биосфере;
- выводимые из техноэкосистемы отходы перед попаданием в природные экосистемы должны быть переведены в характерную для данных экосистем форму, обеспечивающую возможность обезвреживания существующими в природе механизмами без нарушения динамического равновесия экосистем.

Выполнение этих принципов не только обеспечит устойчивость биосферы, но и будет способствовать устойчивому развитию самого экотехнопарка, создавая минимизацию потребления материальных, энергетических, а значит, и финансовых ресурсов.

Специфика создания экотехнопарков основана на концепции экономики замкнутого цикла, реализуемой как внутри местной, так и в масштабах региональной экономики.

По аналогии с определением техноэкосистемы экотехнопарк — это пространственно определенная совокупность объектов (промышленные предприятия, производственно-технические комплексы и оборудование, отходоперерабатывающие предприятия, объекты городского хозяйства, научно-исследовательские и образовательные учреждения и т. д.), объединенных материальными и энергетическими потоками, управляемыми таким образом, чтобы обеспечить их максимальную замкнутость внутри экотехнопарка и постепенное снижение количества

потребляемых природных ресурсов и количества отходов (твердых, жидких или газообразных), размещаемых в окружающей среде.

Задачей экотехнопарка является создание и развитие информационного взаимодействия внутри техноэкосистемы, обеспечивающего постепенное снижение количества транспортируемых материальных и энергетических потоков в целях обеспечения в конечном итоге их замкнутого круговорота (самоорганизация техноэкосистемы и ее устойчивое развитие).

Система управления экотехнопарком представляет собой систему информационного взаимодействия между производственными объектами техноэкосистемы, осуществляющую управление материальными и энергетическими потоками.

Результат реализации системы управления в экотехнопарке — обеспечение эффективного экономического развития предприятий, города и региона, минимизация негативного воздействия на окружающую среду, что обеспечивает создаваемая в экотехнопарке экономика замкнутого цикла [5, 6].

Создание экотехнопарков имеет особенно большое значение для промышленных городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха, включенных в федеральный проект "Чистый воздух" национального проекта "Экология". В Новокузнецком экотехнопарке объекты системы управления — объекты, оказывающие влияние на процесс образования отходов.

Новокузнецкий экотехнопарк — экопромышленная зона, в которой формируются и развиваются кооперирование предприятий и экопромышленный симбиоз — взаимовыгодные отношения предприятий (промышленные производители, переработчики отходов, производители оборудования, сервисные компании, потребители продукции из вторичных ресурсов) и различных групп общества (местные и региональные органы власти, научно-исследовательские, проектные и общественные организации, образовательные учреждения, все жители), деятельность которых осуществляется скоординированно, чтобы обеспечить создание и развитие новых отраслей экономики, постепенное снижение количества потребляемых природных ресурсов и количества выбросов в окружающую среду.

На рис. 3 приведена схема Новокузнецкого экотехнопарка как экопромышленного симбиоза, когда отходы производства и потребления, образующиеся на промышленных предприятиях и в коммунальном секторе, а также отходы, накопленные от прошлой хозяйственной деятельности, подвергаются переработке на специализированных отходоперерабатывающих предприятиях с производством вторичной продукции, которая потребляется главным образом местным сообществом (промышленные предприятия, торговля, население).

Таким образом, в экотехнопарке создается замкнутая схема потоков отходов, которая может быть описана математически с помощью системы балансовых уравнений.



В табл. 2 приведены виды технологий переработки образующихся и накопленных отходов производства промышленных предприятий и производимых на их основе вторичных ресурсов и продукции из них в Новокузнецком экотехнопарке.

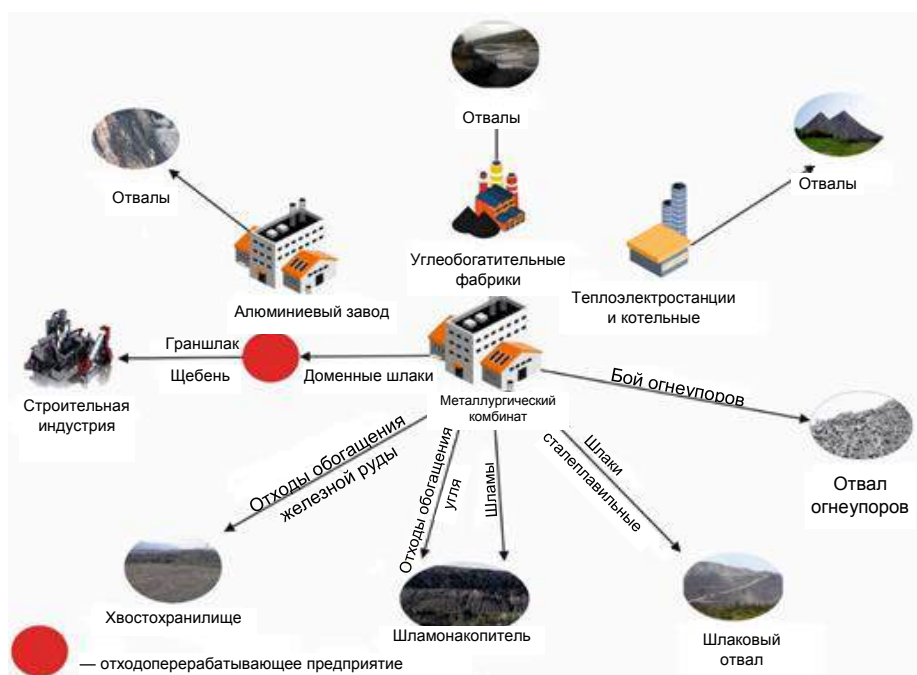
На рис. 4 и 5 приведены схема движения промышленных отходов в г. Новокузнецке до создания экотехнопарка и замкнутая схема потоков в новокузнецком экотехнопарке при реализации перечисленных технологий. Создание экотехнопарка

обеспечит синергетический эффект по снижению загрязнения атмосферного воздуха г. Новокузнецка за счет ликвидации площадных источников загрязнения пылью, бенз(а)пиреном и другими канцерогенными полициклическими ароматическими углеводородами, сокращение объемов добычи и первичной обработки природных ресурсов, увеличение количества производимой в г. Новокузнецке продукции, что будет способствовать развитию экономики региона.

Таблица 2

**Виды технологий переработки образующихся и накопленных отходов производства промышленных предприятий и производимых на их основе вторичного сырья и продукции в экотехнопарке**

Наименование технологии переработки отходов	Виды образующихся и накопленных отходов производства	Виды вторичного сырья и продукции
Переработка отходов обогащения железной руды	Отходы обогащения железной руды	Железорудный концентрат, металлизованный продукт, пиритный концентрат, транатовый концентрат, сульфидный концентрат, строительные пески
Переработка отходов обогащения угля	Отходы обогащения угля	Угольный концентрат, топливные брикеты, керамический кирпич, строительные пески
Переработка металлургических шлаков	Металлургические шлаки (доменные, сталеплавильные)	Железорудный концентрат, щебень, строительные пески
Переработка металлургических шламов	Металлургические шламы (доменные, сталеплавильные)	Железорудный концентрат, цинковый концентрат, строительные пески
Переработка жидких отходов коксохимического производства	Жидкие отходы коксохимического производства	Спекающий пластификатор для коксохимического производства, шпалопропиточное масло, связующие для брикетов
Переработка золошлаковых отходов ТЭЦ и котельных	Золошлаковые отходы ТЭЦ и котельных	Концентраты черных и цветных металлов, строительные материалы



**Рис. 4. Схема движения промышленных отходов в г. Новокузнецке до создания экотехнопарка**

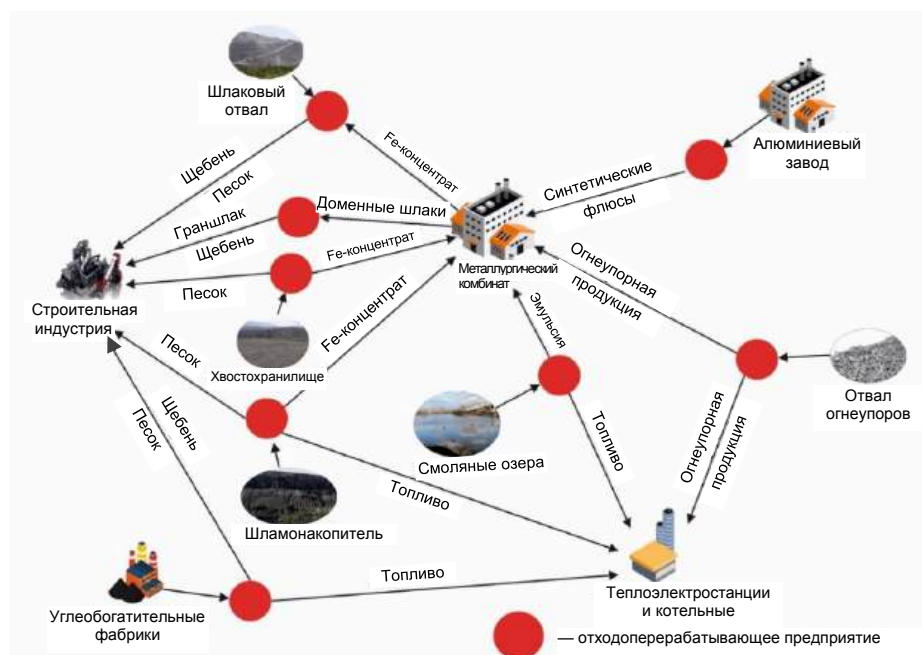


Рис. 5. Замкнутая схема потоков в Новокузнецком экотехнопарке при реализации перечисленных инновационных технологий

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марьев В. А., Волынкина Е. П., Смирнова Т. С., Мочалов С. П. Практическая реализация принципов промышленного симбиоза в г. Новокузнецке // Менеджмент в России и за рубежом. 2019. № 5. С. 99—106.
2. Смирнова Т. С., Евтухов В. Л., Марьев В. А. Анализ мирового опыта организации эко-промышленных парков и реализации принципов экономики замкнутого цикла. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 186 с.
3. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. — М.: Т8 RUGRAM, 2017. — 576 с.

4. Волынкина Е. П. Развитие концепции управления отходами и разработка методологии ее реализации на металлургическом предприятии: дис. ... д-ра техн. наук. — Новокузнецк, 2007. — 404 с.

5. Halonen N., Seppänen Eco-Industrial Parks. [Электронный ресурс]. Режим доступа: Available at: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-71062-4\\_5-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-71062-4_5-1)

6. Cooperation fostering industrial symbiosis market potential, good practice and policy actions. Final report. Teresa Domenech — University College London Asel Doranova, Laura Roman — Technopolis Group Matthew Smith, Irati Artola — Trinomics. Publications Office of the European Union, 2018.

## Eco-industrial park in Novokuznetsk as an example of the development of a industrial ecosystem and the implementation of the principles of a circular economy

E. P. VOLYNKINA

Kuzbass Association of waste recyclers, Novokuznetsk, Russia

<sup>1</sup> V. A. MARYEV, <sup>1</sup> O. V. GOLUB, <sup>1,2</sup> T. S. SMIRNOVA

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Body Research Institute "Environmental Industrial Policy Center", Mytishchi, Moscow region, Russia

<sup>2</sup> Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia

*The manuscript reveals the issues of implementing the circular economy principles through the creation of eco-industrial parks. The results of the research demonstrate that the circulation of material flows in an eco-industrial park can provide a synergistic effect to reduce the negative environmental influence by eliminating sources of air pollution with dust, benz(a)pyrene and other carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons; partial substitution of natural resources in production processes with secondary ones. An important factor in the creation of an eco-industrial park is also an increase in the production of industrial products in the region due to the involvement of secondary resources in the economy.*

**Keywords:** eco-industrial park, circular economy, industrial waste management, circular economy, industrial ecosystem, industrial symbiosis.

Bibliography — 6 references.

Received September 17, 2020

Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2020. Вып. 4. С. 1—60.

Редактор *О. А. Константинова*

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

Подписано в печать 24.11.2020.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,2.

Тираж 250 экз. Заказ 1961.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,

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

<http://ntskomпас.ru>

Отпечатано в ООО "РАПИТОГРАФ".

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

**БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2021 г.  
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»**

Наименование издания	Периодичность в год	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	4	1550,00		
Конструкции из композиционных материалов	4	1700,00		
Экология промышленного производства	4	1500,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	4	1750,00		
Вопросы защиты информации	4	1750,00		
<i>В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.</i>				

*Поставка журналов подписчикам через издательство осуществляется почтовыми бандеролями с приложением всех необходимых бухгалтерских документов.*

**Наши реквизиты:**

Полное наименование организации: \_\_\_\_\_

Сокращенное наименование организации: \_\_\_\_\_

ИНН/КПП \_\_\_\_\_

ОКПО \_\_\_\_\_

Расчётный счёт № \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_

к/с \_\_\_\_\_ БИК \_\_\_\_\_

Юридический адрес: \_\_\_\_\_

Почтовый адрес: \_\_\_\_\_

Контактное лицо \_\_\_\_\_ тел. \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

*(Для оформления счёта и бухгалтерских документов просьба заполнить все строчки).*

**Справочно:**

Заполненный бланк-заказ просьба отправить по факсу: 8(495) 491-44-80 или

E-mail: secretariat@ntckompas.ru

Более подробную информацию об изданиях и подписке можно получить по телефону:

8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-20.

E-mail: ivleva@ntckompas.ru

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское шоссе, д.77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».