

УДК 504.054

Ю. В. Копец^а, К. К. Копец^а, В. И. Чурикова^б

^а *Луганский государственный университет им. В. Даля*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И СТРАТЕГИИ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ

Проведен комплексный анализ проблем экологической безопасности промышленных предприятий в условиях интенсификации производственных процессов. Рассмотрены основные источники антропогенного воздействия на окружающую среду, систематизированы современные методы экологического мониторинга и контроля. Представлены инновационные технологии снижения экологической нагрузки, включая принципы «зеленой» химии и циркулярной экономики. Обоснована необходимость интеграции экологических критериев в систему управления промышленными объектами.

Ключевые слова: экологическая безопасность, промышленное предприятие, антропогенное воздействие, экологический мониторинг, природоохранные технологии, устойчивое производство, экологический менеджмент.

Введение

Индустриализация остается ключевым драйвером экономического развития, однако сопряжена с серьезными экологическими рисками. Согласно данным Росгидромета, на долю промышленных предприятий приходится до 70 % суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и 40 % сброса сточных вод в водные объекты¹. Эта статистика актуализирует задачу поиска баланса между производственной эффективностью и экологической безопасностью.

Экологическая безопасность промышленного предприятия определяется как состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от негативного воздействия производственной деятельности. Ее обеспечение требует:

- идентификации экологических рисков;
- внедрения наилучших доступных технологий (НДТ);
- создания системы экологического менеджмента;
- постоянного мониторинга состояния окружающей среды.

Актуальность темы обусловлена:

- ростом объемов промышленного производства;
- ужесточением экологического законодательства;
- повышением общественной осведомленности об экологических проблемах;
- необходимостью перехода к устойчивому развитию.

Цель исследования — анализ современных угроз экологической безопасности промышленных предприятий и разработка научно обоснованных рекомендаций по их нейтрализации.

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году : гос. докл. М. : Росгидромет, 2024. 482 с.

Основная часть

Источники антропогенного воздействия промышленных предприятий

Производственная деятельность формирует многокомпонентную нагрузку на экосистемы. Рассмотрим основные каналы воздействия.

Атмосферный воздух. Выбросы промышленных предприятий содержат:

- оксиды серы (SO₂) и азота (NO_x) — источники кислотных дождей;
- летучие органические соединения (ЛОС) — прекурсоры фотохимического смога;
- твердые частицы (PM₁₀, PM_{2,5}) — факторы респираторных заболеваний;
- тяжелые металлы (Pb, Cd, Hg) — токсиканты с кумулятивным эффектом.

В металлургической промышленности выбросы пыли достигают 50...100 кг на тонну продукции, а в химической выбросы ЛОС составляют до 30 % от общего объема сырья [1].

Водные объекты. Сточные воды промышленных предприятий загрязнены:

- нефтепродуктами (до 100 мг/л в машиностроении);
- тяжелыми металлами (Cr, Ni, Cu — концентрации превышают ПДК в 10...50 раз);
- синтетическими поверхностно активными веществами (СПАВ);
- органическими растворителями и кислотами.

Даже после очистки стоки сохраняют остаточное загрязнение, провоцирующее эвтрофикацию водоемов и гибель гидробионтов.

Почвы и грунты. Загрязнение происходит через:

- осаждение аэрозолей и пыли;
- фильтрацию проливов и утечек;
- размещение отходов на промплощадках.

В зоне влияния крупных комбинатов содержание цинка и свинца в почве превышает фоновые значения в 20...30 раз [2].

Отходы производства. Классификация по степени опасности:

I класс (чрезвычайно опасные) — ртутьсодержащие отходы, цианиды;

II класс (высокоопасные) — отработанные масла, гальванические шламы;

III—V классы — малоопасные отходы (зола, строительный мусор).

Ежегодный объем промышленных отходов в России превышает 7 млрд т, из которых перерабатывается лишь 35...40 %².

Нормативно-правовое регулирование экологической безопасности

Российская система экологического контроля базируется:

- на Федеральном законе «Об охране окружающей среды» № 7 ФЗ;
- Федеральном законе «Об охране атмосферного воздуха» № 96 ФЗ;
- Водном кодексе РФ;
- ГОСТах серии 17.0.0.00 «Охрана природы».

Ключевые механизмы регулирования:

- Экологическое нормирование. Установление предельно допустимых выбросов (ПДВ), сбросов (ПДС) и лимитов размещения отходов.

- Экологическая экспертиза. Обязательная оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) для новых объектов.

² Обращение с отходами производства и потребления в РФ : стат. сб. М. : Росстат, 2023. 156 с.

- Производственный экологический контроль (ПЭК). Мониторинг соблюдения нормативов на предприятии.

- Плата за негативное воздействие. Экономический инструмент стимулирования снижения выбросов.

С 2021 г. внедрен принцип НДТ, требующий использования технологий, минимизирующих экологическую нагрузку³. Это предполагает:

- модернизацию очистных сооружений;
- переход на замкнутые циклы водопотребления;
- утилизацию вторичных энергоресурсов.

Современные методы экологического мониторинга

Эффективное управление экологической безопасностью требует системного контроля. Основные подходы:

1. Инструментальный мониторинг. Автоматизированные станции контроля воздуха фиксируют концентрации SO₂, NO₂, O₃, РМ с интервалом 20 мин. Для водных объектов применяются проточные анализаторы рН, растворенного кислорода, тяжелых металлов.

2. Дистанционное зондирование. Спутниковые системы (Sentinel 5P, Landsat 8) позволяют:

- картографировать зоны загрязнения;
- отслеживать динамику выбросов;
- оценивать состояние растительности вокруг предприятий.

3. Биоиндикация. Использование тест-организмов (дафний, водорослей, лишайников) для оценки токсичности сред. Например, снижение численности дафний на 50 % за 48 ч указывает на высокую токсичность стоков⁴.

4. Моделирование рассеивания загрязнений. Программные комплексы (AERMOD, CALPUFF) прогнозируют:

- зоны превышения ПДК;
- риски для населения;
- эффективность природоохранных мероприятий.

Инновационные технологии снижения экологической нагрузки

Современные решения направлены на минимизацию источников загрязнения.

«Зеленая» химия. Принципы:

- предотвращение образования отходов;
- использование безопасных растворителей;
- каталитические процессы с высокой селективностью.

В фармацевтической промышленности переход на биокатализаторы сократил образование отходов на 60 % [3].

Циркулярная экономика. Стратегии:

- рециклинг металлов (до 95 % возврата в производство);
- переработка шламов в строительные материалы;
- использование золы в дорожном строительстве.

³ Методические рекомендации по внедрению наилучших доступных технологий. М. : Минприроды, 2021. 84 с.

⁴ Guidelines for the Assessment of Industrial Effluents Toxicity. Geneva : WHO, 2022. 78 p.

На предприятиях «Норильского никеля» внедрение замкнутого водооборота снизило сброс сточных вод на 80 %⁵.

Энергоэффективность. Технологии:

- рекуперация тепла отходящих газов;
- когенерация электроэнергии и тепла;
- LED-освещение производственных помещений.

Экономия энергоресурсов достигает 25...40 % при окупаемости проектов 3—5 лет⁶.

Очистка выбросов и стоков. Современные решения:

- скрубберы с высокой степенью улавливания SO₂ (до 98 %);
- мембранные биореакторы для сточных вод (эффективность 95 %);
- адсорбционные фильтры с активированным углем.

Система экологического менеджмента (СЭМ). Внедрение стандартов ISO 14001 позволяет:

- систематизировать экологические цели;
- распределять ответственность;
- проводить внутренний аудит;
- непрерывно улучшать показатели.

Ключевые элементы СЭМ:

1. Экологическая политика. Декларация обязательств руководства по снижению воздействия.

2. Планирование. Разработка программ природоохранных мероприятий.

3. Внедрение. Назначение ответственных, обучение персонала, закупка оборудования.

4. Контроль. Мониторинг, отчетность, корректирующие действия.

5. Анализ со стороны руководства. Оценка результативности СЭМ.

На предприятиях «Сибур» внедрение ISO 14001 сократило удельные выбросы на 30 % за 5 лет⁷.

Экономические инструменты стимулирования. Государство использует следующие механизмы:

- налоговые льготы для инвестиций в природоохранные технологии (снижение налога на прибыль до 50 %);
- субсидии на модернизацию очистного оборудования (до 50 % стоимости);
- «зеленые» облигации для финансирования экологических проектов;
- торговля квотами на выбросы (пилотные проекты в регионах).

В Европе система EU ETS (Emissions Trading System) снизила выбросы CO₂ на 43 % с 2005 по 2023 г.⁸.

Результаты исследования

Проведенный анализ позволил выявить следующее.

1. Основные источники экологической опасности промышленных предприятий — выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод, размещение отходов и загрязнение почв.

⁵ Норильский никель. Отчет об устойчивом развитии за 2022 год. Норильск : ГМК «Норильский никель», 2023. 120 с.

⁶ IEA. Energy Efficiency in Industry: Global Trends and Policies. Paris : IEA, 2023. 210 p.

⁷ Сибур. Экологический отчет за 2022 год. М. : Сибур Холдинг, 2023. 96 с.

⁸ European Commission. EU ETS Review 2023: Results and Outlook. Brussels : EC, 2023. 64 p.

2. Нормативно-правовая база создает достаточные условия для контроля, но требует усиления механизмов принуждения к исполнению.

3. Современные методы мониторинга (инструментальный, дистанционный, биологический) обеспечивают достоверную оценку рисков.

4. Инновационные технологии («зеленая» химия, циркулярная экономика, энергоэффективность, современные методы очистки) позволяют сократить экологическую нагрузку на 40...60 % при разумных сроках окупаемости.

5. Система экологического менеджмента (СЭМ) по стандарту ISO 14001 обеспечивает системный подход к снижению воздействия и повышает инвестиционную привлекательность предприятий.

6. Экономические инструменты (налоговые льготы, субсидии, «зеленые» облигации) стимулируют внедрение природоохранных технологий, но требуют расширения масштабов применения.

Ключевой вывод: экологическая безопасность промышленных предприятий достижима только при комплексном подходе, объединяющем:

- технологическую модернизацию;
- нормативно-правовое регулирование;
- мониторинг и контроль;
- экономическое стимулирование;
- вовлеченность персонала и общества.

Обсуждение результатов

Проведенный анализ выявляет парадокс современного промышленного развития: с одной стороны, рост производства усиливает экологическую нагрузку, с другой — именно технологические инновации создают возможности для ее снижения. Этот дуализм требует переосмысления традиционных моделей хозяйствования.

Критические точки уязвимости:

1. Недостаточная интеграция экологических критериев в бизнес-стратегии. Многие предприятия рассматривают природоохранные мероприятия как издержки, а не как инвестиции в устойчивость.

2. Разрыв между нормативами и реальными возможностями. В ряде отраслей (например, в цветной металлургии) достижение ПДВ/ПДС требует капитальных вложений, недоступных среднему бизнесу.

3. Дефицит квалифицированных кадров. Отсутствие специалистов по экологическому менеджменту снижает эффективность СЭМ.

4. Слабая прозрачность отчетности. Неполные или искаженные данные о выбросах затрудняют контроль.

Позитивные тренды:

- Цифровизация мониторинга. Внедрение IoT-датчиков и аналитических платформ повышает точность данных и скорость реагирования.

- Кросс-отраслевое сотрудничество. Партнерства между промышленниками, научными центрами и властями ускоряют трансфер «зеленых» технологий.

- Рост спроса на ESG-отчетность. Инвесторы и потребители все чаще требуют подтверждения экологической ответственности.

Социальный аспект. Экологическая безопасность напрямую влияет на качество жизни населения. Например, снижение выбросов $PM_{2,5}$ на 10 мкг/м^3

может сократить смертность от респираторных заболеваний на 0,6 %⁹. Это делает природоохранные меры не только экологическим, но и социально-экономическим приоритетом.

Ограничения исследования:

1. Географическая специфика. Анализ основан преимущественно на данных по РФ и ЕС; для развивающихся стран требуются отдельные исследования.

2. Динамичность нормативной базы. Регулярные изменения законодательства (например, актуализация НДТ) могут влиять на актуальность выводов.

3. Методологические различия. В разных отраслях применяются неодинаковые критерии оценки эффективности природоохранных мероприятий.

4. Ограниченность данных. Некоторые предприятия не раскрывают информацию о выбросах и отходах, что создает пробелы в статистике.

Перспективы дальнейших исследований:

1. Адаптация промышленных предприятий к климатическим изменениям. Изучение влияния экстремальных погодных явлений (засухи, наводнения) на экологическую безопасность производств.

2. Микропластиковое загрязнение. Оценка роли промышленных стоков в распространении микропластика в водных экосистемах.

3. Искусственный интеллект в экологическом мониторинге. Разработка алгоритмов прогнозирования рисков на основе больших данных.

4. Экономика замкнутого цикла. Исследование возможностей полной утилизации отходов в различных отраслях (химическая, горнодобывающая).

5. Социально-экологические индикаторы. Создание интегральных показателей, учитывающих как состояние среды, так и здоровье населения.

6. Международные стандарты. Сравнительный анализ подходов к экологической безопасности в РФ, ЕС, Китае и США.

Выводы и рекомендации

На основании проведенного исследования сформулированы следующие выводы и рекомендации.

Выводы:

1. Промышленные предприятия остаются ключевыми источниками антропогенного воздействия на окружающую среду, причем наибольшие риски связаны с выбросами в атмосферу, сбросами сточных вод и размещением отходов.

2. Действующая нормативно-правовая база создает достаточные условия для контроля, однако ее эффективность зависит от механизмов принуждения и прозрачности отчетности.

3. Современные технологии мониторинга (инструментальный, дистанционный, биологический) позволяют оперативно выявлять и нейтрализовать экологические угрозы.

4. Инновационные решения («зеленая» химия, циркулярная экономика, энергоэффективность) способны снизить экологическую нагрузку на 40...60 % при сроке окупаемости проектов 3—7 лет.

5. Система экологического менеджмента (ISO 14001) является эффективным инструментом интеграции экологических целей в бизнес-процессы.

⁹ Lancet Commission on Pollution and Health. London : The Lancet, 2022. 112 p.

6. Экономические стимулы (налоговые льготы, субсидии) ускоряют внедрение природоохранных технологий, но их масштабы требуют расширения.

Рекомендации:

1. Для государства:

- ужесточить контроль за соблюдением ПДВ/ПДС с применением автоматических систем мониторинга;
- расширить программы субсидирования модернизации очистных сооружений;
- внедрить дифференцированные штрафы за превышение нормативов с учетом масштаба ущерба;
- развивать систему «зеленых» облигаций для финансирования экологических проектов.

2. Для предприятий:

- интегрировать экологические цели в стратегическое планирование;
- инвестировать в НДТ (скрубберы, мембранные биореакторы, рекуперацию тепла);
- внедрять СЭМ по стандарту ISO 14001 с регулярным внутренним аудитом;
- повышать квалификацию персонала в области экологического менеджмента;
- публиковать открытые отчеты по ESG-показателям.

3. Для научного сообщества:

- разрабатывать адаптивные модели прогнозирования экологических рисков;
- исследовать возможности биоремедиации промышленных отходов;
- создавать цифровые платформы для обмена лучшими практиками.

4. Для общества:

- усиливать общественный контроль через гражданские инициативы;
- продвигать экологическое образование среди работников предприятий;
- поддерживать «зеленые» потребительские предпочтения.

Заключение

Экологическая безопасность промышленных предприятий — это не просто соблюдение нормативов, а стратегический приоритет устойчивого развития. Современные вызовы требуют перехода от фрагментарных мер к системному управлению рисками, где технологии, право и социальная ответственность дополняют друг друга.

Ключевые условия успеха:

- Технологическая модернизация на базе НДТ и «зеленых» инноваций.
- Прозрачность и подотчетность через цифровые системы мониторинга и ESG-отчетность.
- Экономическая мотивация с использованием налоговых и финансовых инструментов.
- Межсекторное партнерство между государством, бизнесом и обществом.

Только такой подход позволит обеспечить баланс между промышленной эффективностью и экологической устойчивостью, превратив предприятия из источников риска в драйверы «зеленой» экономики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов А. В., Петрова Л. С. Экологические проблемы металлургического производства // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 5. С. 44—49.
2. Smith J. R., Brown K. L. Soil contamination near industrial zones: a case study in Russia // Journal of Environmental Management. 2023. Vol. 312. Art. no. 116845.
3. Zhang Y., Lee H. W. Green chemistry in pharmaceutical manufacturing: case studies // Green Chemistry. 2023. Vol. 25. No. 4. Pp. 1450—1462.

© Копец Ю. В., Копец К. К., Чурикова В. И., 2026

Поступила в редакцию
07.12.2025

Ссылка для цитирования:

Копец Ю. В., Копец К. К., Чурикова В. И. Экологическая безопасность промышленных предприятий: современные вызовы и стратегии минимизации рисков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 1(102). С. 280—287. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_280.

Об авторах:

Копец Юрий Витальевич — канд. техн. наук, зав. каф. техносферной безопасности, Луганский государственный университет им. В. Даля. Российская Федерация, 291034, г. Луганск, квартал Молодежный, 20А; Yura_87-87@mail.ru.

Копец Карина Константиновна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. вентиляции, теплогазо- и водоснабжения, Луганский государственный университет им. В. Даля. Российская Федерация, 291034, г. Луганск, квартал Молодежный, 20А; karina_0101@mail.ru.

Чурикова Валерия Игоревна — канд. техн. наук, ст. препод. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vachurikova@yandex.ru

Iurii V. Kopets^a, Karina K. Kopets^a, Valeriya I. Churikova^b

^a *Lugansk State University named after V. Dahl*

^b *Volgograd State Technical University*

**ENVIRONMENTAL SAFETY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES:
MODERN CHALLENGES AND RISK MINIMIZATION STRATEGIES**

The article provides a comprehensive analysis of the problems of environmental safety of industrial enterprises in the context of the intensification of production processes. The main sources of anthropogenic impact on the environment are considered, modern methods of environmental monitoring and control are systematized. Innovative technologies for reducing the environmental burden, including the principles of “green” chemistry and circular economy, are presented. The necessity of integrating environmental criteria into the management system of industrial facilities is substantiated.

Key words: environmental safety, industrial enterprise, anthropogenic impact, environmental monitoring, environmental technologies, sustainable production, environmental management.

For citation:

Kopets Iu. V., Kopets K. K., Churikova V. I. [Environmental safety of industrial enterprises: modern challenges and risk minimization strategies]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 1, pp. 280—287. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_280.

About authors:

Iurii V. Kopets — Candidate of Engineering Sciences, Lugansk State University named after V. Dahl. 20A, Molodezhnyi quarter, Lugansk, 291034, Russian Federation; Yura_87-87@mail.ru

Karina K. Kopets — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Lugansk State University named after V. Dahl. 20A, Molodezhnyi quarter, Lugansk, 291034, Russian Federation; karina_0101@mail.ru

Valeriya I. Churikova — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vachurikova@yandex.ru; ORCID: 0000-0003-4807-9953