

Обзорная статья

УДК 658.5.011/615

doi:10.32687/1561-5936-2026-30-2-178-182

Методы комплексного экологического обследования объектов фармацевтической промышленности

Алексей Васильевич Головин¹, Наталья Валерьевна Пятигорская²,
Лилиана Любановна Брkich³, Олег Анатольевич Зырянов⁴, Василий Викторович Беляев⁵

^{1,2,3,4,5}ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова»
Минздрава РФ (Сеченовский Университет), 119048, Москва, Россия;

²ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, 690002,
Владивосток, Россия;

³Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н. А. Семашко,
г. Москва, Российская Федерация

¹avg@vmin.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6063-8374>

²pyatigorskaya_n_v@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4901-4625>

³brkich.lily@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5509-4663>

⁴zyryanov_o_a@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9038-8720>

⁵belyaev_v_v_1@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3011-9390>

В статье рассмотрены современные подходы к экологическому обследованию фармацевтических предприятий с учётом специфики выбросов биологически активных веществ, способных оказывать эффект в низких концентрациях. Проанализирована последовательная схема обследования «источник → инфраструктура → очистные сооружения → экосистема → зоны накопления». Обоснована необходимость сочетания таргетного анализа приоритетных соединений с нетаргетными методами, включая высокоразрешающую масс-спектрометрию, для выявления полного спектра загрязнителей. Показана значимость интеграции химических, биологических и экотоксикологических методов, включая оценку антибиотикорезистентности. Отмечены высокая вариабельность выбросов и необходимость длительного мониторинга. Сформулированы принципы комплексного, риск-ориентированного подхода, направленного на повышение достоверности оценки экологического воздействия фармацевтических предприятий.

Ключевые слова: экологическое влияние фармацевтических производств; загрязнение вод; таргетные методы мониторинга

Для цитирования: Головин А. В., Пятигорская Н. В., Брkich Л. Л., Зырянов О. А., Беляев В. В. Методы комплексного экологического обследования объектов фармацевтической промышленности // Ремедиум. 2026. Т. 30, № 2. С. 178—182. doi:10.32687/1561-5936-2026-30-2-178-182

Review article

Methods of comprehensive environmental assessment of pharmaceutical industry facilities

Aleksei V. Golovin¹, Nathalia V. Pyatigorskaya², Liliana L. Brkich³, Oleg A. Zyryanov⁴, Vasiliy V. Belyaev⁵

^{1,2,3,4,5}Sechenov First Moscow State Medical University, 119048, Moscow, Russia;

²Pacific State Medical University, 690002, Vladivostok, Russia;

³N. A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia

¹avg@vmin.ru, <https://orcid.org/0009-0006-6063-8374>

²pyatigorskaya_n_v@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4901-4625>

³brkich.lily@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5509-4663>

⁴zyryanov_o_a@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9038-8720>

⁵belyaev_v_v_1@staff.sechenov.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3011-9390>

The article examines current approaches to environmental assessment of pharmaceutical enterprises, taking into account the specific nature of emissions of biologically active substances capable of exerting effects at low concentrations. A sequential assessment framework is analyzed: "source ? infrastructure ? wastewater treatment ? receiving ecosystem ? accumulation zones." The need to combine targeted analysis of priority compounds with non-targeted methods, including high-resolution mass spectrometry, is substantiated to ensure comprehensive identification of contaminants. The importance of integrating chemical, biological, and ecotoxicological methods, including the assessment of antimicrobial resistance, is demonstrated. High variability of emissions and the need for long-term monitoring are highlighted. Key principles of a comprehensive, risk-based approach aimed at improving the reliability of environmental impact assessment are formulated.

Key words: environmental impact of pharmaceutical production; water pollution; targeted monitoring methods

For citation: Golovin A. V., Pyatigorskaya N. V., Brkich L. L., Zyryanov O. A., Belyaev V. V. Methods of comprehensive environmental assessment of pharmaceutical industry facilities. *Remedium*. 2026;30(2):178–182. (In Russ.). doi:10.32687/1561-5936-2026-30-2-178-182

Введение

Экологическое обследование объектов фармацевтической промышленности в широком понимании — от анализа источников воздействия в пределах производственной площадки до мониторинга экосистем, испытывающих антропогенную нагрузку, обладает рядом принципиальных особенностей, отличающих его от аналогичных обследований в других отраслях промышленности [1, 2].

Прежде всего, специфика фармацевтических предприятий обусловлена природой загрязнителей, которые нередко представлены биологически активными веществами, включая антибиотики, гормоны и другие фармакологически активные соединения [3, 4]. Данные вещества способны оказывать выраженное биологическое действие даже в сверхнизких концентрациях [5]. При этом в зонах локализации фармацевтических предприятий — особенно в пределах промышленных кластеров и сопряжённой инфраструктуры — могут формироваться участки с аномально высокими уровнями загрязнения. Во-вторых, экологические эффекты определяются не только концентрацией отдельных соединений, но и их комбинированным действием, включая синергизм, антагонизм и кумулятивные эффекты, что требует интегрированных подходов к оценке риска [6, 7].

Особую значимость данная проблематика приобрела после исследований в районе Патанчерру (Индия), где выявлены экстремально высокие концентрации фармацевтических соединений, приводящие к формированию устойчивых микроорганизмов [1].

Дальнейшие исследования показали распространение загрязнения в поверхностные, подземные и питьевые воды [4, 8]. Установлено, что даже низкие концентрации фармацевтических соединений могут вызывать биологические эффекты, включая изменения экспрессии генов у водных организмов и нарушение репродуктивной функции [5].

Материалы и методы

Исследование выполнено в формате аналитического обзора с систематизацией современных подходов к экологическому обследованию фармацевтических предприятий на основе анализа научных публикаций и нормативных документов. В качестве объектов рассмотрены фармацевтические предприятия различного профиля (производство активных фармацевтических ингредиентов и лекарственных форм), очистные сооружения, а также природные объекты, находящиеся в зоне их воздействия, включая поверхностные и подземные воды, донные отложения и почвы.

Анализ проводили в соответствии с поэтапной схемой экологического обследования, охватывающей источник загрязнения, инфраструктуру, очистные сооружения, принимающую экосистему и зоны накопления. Отбор проб в рассматриваемых подходах учитывал пространственную и временную вариативность загрязнения, включая использование интегральных проб и серийных отборов для оценки

динамики выбросов. Для химического анализа загрязнителей применяли методы высокоэффективной жидкостной и газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией. Для выявления полного спектра соединений использовали высокоразрешающую масс-спектрометрию с нетаргетным анализом. Совокупное воздействие анализировали с применением биотестирования и анализа биологических эффектов, мониторинг антибиотикорезистентности проводили методом количественной полимеразной цепной реакции с исследованием воды, иловых осадков и донных отложений. Обработка данных включала расчёт концентраций и нагрузок загрязнителей, сопоставление результатов с нормативными значениями, анализ динамики и интегральную оценку экологического воздействия.

Результаты и обсуждение

Нормирование загрязнителей в водных объектах осуществляется на основе ГН 2.1.5.1315—03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». Основной величиной экологического нормирования содержания вредных веществ в природной среде является ПДК. ПДК для водных объектов — это максимальная концентрация вещества в воде, которая при поступлении в организм в течение всей жизни не должна оказывать прямого или опосредованного влияния на здоровье населения в настоящем и последующих поколениях, в том числе в отдалённые сроки жизни, а также не ухудшать гигиенические условия водопользования.

На основании санитарно-токсикологических показателей выделяют 4 класса опасности веществ: 1-й класс — чрезвычайно опасные; 2-й — высокоопасные; 3-й — опасные; 4-й — умеренно опасные. В случае присутствия в воде водных объектов 2 или более веществ 1-го или 2-го классов опасности, характеризующихся однонаправленным механизмом токсического действия, в том числе канцерогенным, сумма отношений концентраций каждого из них к соответствующим ПДК не должна превышать 1 (согласно СанПиН 2.1.3684—21¹⁷ качество воды в водных объектах должно соответствовать гигиеническим нормативам, установленным СанПиН 1.2.3685—21¹⁸):

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_{2(1)}} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

¹⁷ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684—21 „Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий“».

¹⁸ Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685—21 „Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания“».

где $C_1 \dots C_n$ — концентрация веществ, обнаруженных в воде; $ПДК_1 \dots ПДК_n$ — ПДК соответствующих веществ.

Для веществ, перспективы применения которых не определены, устанавливается временный (на 3 года) гигиенический норматив — ориентировочный допустимый уровень (ОДУ). ОДУ разрабатывается на основе расчётных и экспресс-экспериментальных методов и применяется только на стадии предупредительного санитарного надзора за строящимися предприятиями и реконструируемыми очистными сооружениями. По истечении срока действия ОДУ подлежит пересмотру или замене на ПДК с учётом дополнительных данных о параметрах токсичности и опасности исследуемого вещества.

Требования, предъявляемые к источникам воздействия, отражают научно-технические нормативы, т. е. нормативы сбросов вредных веществ (предельно допустимый сброс (ПДС); временно согласованный сброс). Под ПДС понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте [6, 7].

В современной научной литературе, посвящённой экологическому воздействию фармацевтических предприятий, применяется подход, основанный на последовательной организации программ экологического обследования:

1. Источник (производственная площадка): технологические линии, склады сырья и реагентов, системы вентиляции, локальные стоки и выбросы.
2. Инфраструктура: системы промышленной канализации, входные потоки на очистные сооружения, отдельные потоки сточных вод с учётом их сезонной и технологической variability.
3. Очистные сооружения: входящие потоки → стадии очистки → активный ил → сброс (с оценкой трансформации загрязнителей).
4. Принимающая экосистема (водный объект): контрольные точки выше по течению → зона сброса → несколько точек ниже по течению.
5. Зоны накопления: донные отложения, иловые осадки, почвы, используемые для ирригации, а также водоносные горизонты.

Данный подход широко применяется в полевых исследованиях. Так, при оценке влияния фармацевтических предприятий на эффективность городских очистных сооружений в США показано, что их сбросы могут приводить к значительному превышению концентраций активных фармацевтических субстанций (АФС) даже после стадии очистки. Это обосновывает необходимость обследования интегрированной системы «предприятие → очистные сооружения → водный объект» [8].

Похожая логика прослеживается и для производств лекарственных форм: было продемонстрировано, что предприятия, не связанные с химическим синтезом или производством АФС, могут быть источником фармацевтических загрязнителей в сточных водах, что важно для выбора профиля ана-

лизируемых веществ и для трассировки их источника [9].

Ключевой методический вывод из работ последних лет — высокая вариабельность выбросов и необходимость построения временного профиля их активности. В исследованиях на основе данных систем управления персоналом в ходе долгосрочного мониторинга показано, что производственные выбросы и сбросы могут проявляться как кратковременные пики, обусловленные особенностями технологии и цикличностью производственных процессов. Именно поэтому объединённые пробы, регулярный отбор и анализ временного распределения поступающих загрязнителей повышают вероятность обнаружения и корректной оценки экологического воздействия промышленного объекта [10].

На национальном уровне (на примере Швейцарии) продемонстрировано, что для выявления сложных и динамичных потоков органических загрязнителей наиболее эффективным является применение высокоразрешающей масс-спектрометрии в сочетании с нетаргетным анализом. Дополнительно используются геоинформационные методы для пространственного анализа источников загрязнения и корреляционный анализ между химическими данными и результатами биотестирования *in vitro* [7].

Традиционные таргетные методы мониторинга, основанные на ограниченном перечне веществ, оказываются недостаточными для оценки воздействия фармацевтических предприятий из-за высокой специфичности и изменчивости их сбросов. Таким образом, современные подходы к экологическому обследованию требуют комплексного применения высокочувствительных аналитических методов, длительного мониторинга и интеграции химических и биологических методов оценки риска [7].

Для промышленных очистных сооружений, принимающих антибиотик-содержащие стоки, дизайн пробоотбора должен включать не только воду, но и ил/осадки, поскольку именно там часто концентрируются микроорганизмы, обладающие резистентностью, и мобильные генетические элементы. Это подтверждено, например, для объекта, связанного с производством азитромицина, где в иле на очистных сооружениях было зафиксировано более высокое суммарное присутствие генов устойчивости по сравнению с объектами коммунального назначения [3].

Отдельного внимания заслуживает концепция количественной оценки экологической безопасности, предложенная в работах Д. А. Кузнецова, в рамках которой вводится интегральный показатель E , позволяющий комплексно оценивать уровень экологической безопасности промышленного объекта:

$$E = E_1 \lambda_{e1} + E_2 \lambda_{e2} + E_3 \lambda_{e3} + E_4 \lambda_{e4} + E_5 \lambda_{e5} + E_6 \lambda_{e6} + E_7 \lambda_{e7},$$

где E_1 — проведение фармацевтической организацией (ФО) природоохранных мероприятий; λ_{e1} — весовой коэффициент уровня проведения ФО природоохранных мероприятий; E_2 — развитие системы природоохранного законодательства и системы

контроля со стороны государства; λ_{e2} — весовой коэффициент уровня развития системы природоохранного законодательства и системы контроля со стороны государства; E_3 — степень соответствия фармацевтического производства экологическим нормативам, использование экологически чистого сырья; λ_{e3} — весовой коэффициент степени соответствия фармацевтического производства экологическим нормативам; E_4 — степень соответствия выпускаемой продукции экологическим нормативам, использование экологически чистого сырья; λ_{e4} — весовой коэффициент степени соответствия выпускаемой продукции экологическим нормативам, использование экологически чистого сырья; E_5 — степень развития системы экологического контроля и мониторинга в ФО; λ_{e5} — весовой коэффициент степени развития системы экологического контроля и мониторинга в ФО; E_6 — степень влияния экологической обстановки на деятельность ФО; λ_{e6} — весовой коэффициент степени влияния экологической обстановки на деятельность ФО; E_7 — вероятность штрафных санкций к ФО за экологические правонарушения; λ_{e7} — весовой коэффициент влияния вероятности штрафных санкций к ФО за экологические правонарушения [10, 17, 18].

Первый шаг и основа обследований — количественное определение целевых соединений (приоритетные АФС, антибиотики, вспомогательные вещества, выбранные исходя из данных об их наличии на конкретном производстве и сведений об их потенциальной токсичности) и расчёт нагрузок. Полевые данные из Индии показали, что именно целевые измерения способны выявлять экстремальные уровни отдельных АФС в стоках и водоёмах, тем самым формируя основу для последующей оценки риска. Кроме того, целевой анализ полезен для сравнения воздействия на различные среды (поверхностные воды, подземные, питьевые) [11]. В то же время для анализа сложных промышленных воздействий необходимы нетаргетные подходы. Применение высокоразрешающей масс-спектрометрии с анализом временных рядов позволяет выявлять специфические «сигнатуры» выбросов и оценивать их вклад в нагрузку на очистные сооружения и экосистемы [10]. Однако химический анализ сам по себе не гарантирует понимания совокупного воздействия: комбинации веществ могут проявлять токсичность даже при умеренных концентрациях отдельных компонентов. Показательно, что стоки производства АФС в Индии были охарактеризованы как токсичные для водных позвоночных, что подтверждает необходимость включения биотестирования, оценки профиля экосистемной токсичности в программы мониторинга [10]. Дополнительно установлено, что даже разбавленные стоки вызывают изменения экспрессии генов и биохимических показателей у рыб, что свидетельствует о воздействии на молекулярном уровне [2, 5].

Одна из наиболее проработанных тем исследований — связь ФО, производящих антибиотики, с селекцией и распространением генов устойчивости. Для их мониторинга широко применяется количе-

ственная ПЦР в реальном времени в сочетании с дизайном «выше — ниже по течению», что подтверждено исследованиями на Кубе и в Пакистане [13, 14].

Показано, что донные отложения являются ключевым резервуаром генов устойчивости и мобильных генетических элементов [15, 16]. Для очистных сооружений установлена зависимость профиля устойчивости от типа поступающих стоков, а также необходимость мониторинга на всех стадиях очистки [13].

Современные исследования всё чаще используют интегрированный подход, объединяющий химический анализ, оценку устойчивых микроорганизмов и анализ генов антибиотикорезистентности, что позволяет комплексно оценивать экологические риски [17, 18].

Заключение

Экологическое обследование ФО методологически отличается от типового промышленного мониторинга из-за специфики загрязнителей: многие из них биологически активны в низких концентрациях, а при отдельных режимах сбросов и в локальных точках высокого риска возможны экстремальные уровни, формирующие выраженные экологические и санитарные риски. Наиболее обоснованной считается цепочечная логика обследования «источник на площадке → очистные сооружения → принимающая экосистема → среды накопления».

Ключевым практическим выводом является необходимость корректного дизайна пробоотбора: разовые пробы часто не репрезентативны из-за высокой вариабельности промышленного воздействия, поэтому более информативными будут объединённые пробы, временные ряды и нетаргетная оценка широкого профиля загрязнителей.

Химико-аналитические методы являются основой программ мониторинга, однако для оценки промышленного воздействия крайне важна оценка конечных эффектов для биоты и экосистем с применением биотестирования, что позволит атрибутировать вклад конкретного промышленного объекта в нагрузку на очистные сооружения и экосистемы, а также эффективнее управлять возможными рисками.

Для объектов, связанных с антибиотиками, особенно актуально выполнение мониторинга генов устойчивости бактерий и мобильных генетических элементов — с приоритетом контроля ила и донных отложений очистных сооружений как ключевых резервуаров накопленного воздействия и селекции резистентности. В наиболее высокорискованных точках, например, крупных кластерах, оправданы продвинутое методы функционального метагеномного анализа для выявления мутаций и новых генов резистентности.

В совокупности эти данные позволяют сделать вывод о том, что эффективное экологическое обследование ФО должно быть комплексным, широко-профильным и ориентированным не только на количественные показатели, но и на эффекты и меха-

низмы реализации рисков, а результаты обследования должны напрямую транслироваться в управленческие решения по предотвращению выбросов, оптимизации очистки и повышению прозрачности экологических требований в цепочках производства и поставок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Larsson D. G. J. Pollution from drug manufacturing: review and perspectives // *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2014. Vol. 369, N 1656. Art. 20130571.
2. Boxall A. B. A., Rudd M. A., Brooks B. W. et al. Pharmaceuticals and personal care products in the environment // *Environ. Health Perspect.* 2012. Vol. 120. P. 1221—1229.
3. aus der Beek T., Weber F. A., Bergmann A. et al. Pharmaceuticals in the environment — global occurrences and perspectives // *Environ. Toxicol. Chem.* 2016. Vol. 35. P. 823—835.
4. Bengtsson-Palme J., Larsson D. G. J. Antibiotic resistance genes in the environment: prioritizing risks // *Nat. Rev. Microbiol.* 2015. Vol. 13. P. 396—408.
5. Karkman A., Do T. T., Walsh F., Virta M. P. J. Antibiotic-resistance genes in waste water // *Trends Microbiol.* 2018. Vol. 26. P. 220—228.
6. Мясников В. М. Влияние лекарственных средств на гидросферу планеты // *Вопросы науки.* 2022. № 1. С. 57—62.
7. Petrie B., Barden R., Kasprzyk-Hordern B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment // *Water Res.* 2015. Vol. 72. P. 3—27.
8. Fick J., Söderström H., Lindberg R. H. et al. Contamination of surface, ground, and drinking water from pharmaceutical production // *J. Hazard. Mater.* 2009. Vol. 170. P. 1128—1133.
9. Larsson D. G. J., de Pedro C., Paxeus N. Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals // *J. Hazard. Mater.* 2007. Vol. 148. P. 751—755.
10. Кузнецов Д. А. Подходы к оценке экологической безопасности в фармации // *Вестник новых медицинских технологий.* 2010. Т. 17, № 4. С. 202—205.
11. Hollender J., Schymanski E. L., Singer H. P., Ferguson P. L. Nontarget screening with high resolution mass spectrometry in environmental analysis // *Environ. Sci. Technol.* 2017. Vol. 51. P. 11505—11512.
12. Michael I., Rizzo L., McArdell C. S. et al. Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria // *Water Res.* 2013. Vol. 47. P. 957—995.
13. Verlicchi P., Al Aukidy M., Zambello E. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater // *Sci. Total Environ.* 2012. Vol. 429. P. 123—155.
14. Manaia C. M., Rocha J., Scaccia N. et al. Antibiotic resistance in wastewater treatment plants // *Water Res.* 2018. Vol. 134. P. 365—376.
15. Tran N. H., Reinhard M., Gin K. Y. H. Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 613—614. P. 1317—1335.
16. European Medicines Agency. Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use (EMA/CHMP/SWP/4447/00 Rev. 1). London; 2006.

17. Кузнецов Д. А. Обеспечение экологической безопасности фармацевтической деятельности // *Индустриальная экономика.* 2020. № 2. С. 53—56.
18. Кузнецов Д. А. Обоснование и разработка методологии управления экономической безопасностью фармацевтических систем: автореф. дис. ... д-ра фармац. наук. М.; 2015. 49 с.

REFERENCES

1. Larsson D. G. J. Pollution from drug manufacturing: review and perspectives. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2014;369(1656):20130571.
2. Boxall A. B. A., Rudd M. A., Brooks B. W. et al. Pharmaceuticals and personal care products in the environment. *Environ. Health Perspect.* 2012;120:1221—1229.
3. aus der Beek T., Weber F. A., Bergmann A. et al. Pharmaceuticals in the environment—global occurrences and perspectives. *Environ. Toxicol. Chem.* 2016;35:823—835.
4. Bengtsson-Palme J., Larsson D. G. J. Antibiotic resistance genes in the environment: prioritizing risks. *Nat. Rev. Microbiol.* 2015;13:396—408.
5. Karkman A., Do T. T., Walsh F., Virta M. P. J. Antibiotic-resistance genes in waste water. *Trends Microbiol.* 2018;26:220—228.
6. Myasnikov V. M. Influence of medicines on the hydrosphere of the planet. *Voprosy Nauki.* 2022;(1):57—62. (In Russ.)
7. Petrie B., Barden R., Kasprzyk-Hordern B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment. *Water Res.* 2015;72:3—27.
8. Fick J., Söderström H., Lindberg R. H. et al. Contamination of surface, ground, and drinking water from pharmaceutical production. *J. Hazard. Mater.* 2009;170:1128—1133.
9. Larsson D. G. J., de Pedro C., Paxeus N. Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals. *J. Hazard. Mater.* 2007;148:751—755.
10. Kuznetsov D. A. Approaches to assessing environmental safety in pharmacy. *Vestn. Nov. Med. Tekhnol.* 2010;17(4):202—205. (In Russ.)
11. Hollender J., Schymanski E. L., Singer H. P., Ferguson P. L. Nontarget screening with high resolution mass spectrometry in environmental analysis. *Environ. Sci. Technol.* 2017;51:11505—11512.
12. Michael I., Rizzo L., McArdell C. S. et al. Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria. *Water Res.* 2013;47:957—995.
13. Verlicchi P., Al Aukidy M., Zambello E. Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater. *Sci. Total Environ.* 2012;429:123—155.
14. Manaia C. M., Rocha J., Scaccia N. et al. Antibiotic resistance in wastewater treatment plants. *Water Res.* 2018;134:365—376.
15. Tran N. H., Reinhard M., Gin K. Y. H. Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants. *Sci. Total Environ.* 2018;613—614:1317—1335.
16. European Medicines Agency. *Guideline on the Environmental Risk Assessment of Medicinal Products for Human Use (EMA/CHMP/SWP/4447/00 Rev. 1).* London; 2006.
17. Kuznetsov D. A. Ensuring environmental safety of pharmaceutical activities. *Industrialnaya Ekonomika.* 2020;(2):53—56. (In Russ.)
18. Kuznetsov D. A. Justification and development of methodology for managing the economic security of pharmaceutical systems. Abstract of D. Pharm. Sci. dissertation. Moscow; 2015. 49 p. (In Russ.)

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Conflict of interest. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the article, acquisition, analysis, interpretation of data for the article, drafting and revising the article, final approval of the version to be published.

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; одобрена после рецензирования 12.12.2025; принята к публикации 12.05.2026.

The article was submitted 11.11.2025; approved after reviewing 12.12.2025; accepted for publication 12.05.2026.