



Мельников О.А., Жернов Ю.В., Болехан В.Н., Краевой С.А., Юдин С.М.

Европейский опыт создания национальных систем эпидемиологии сточных вод. Часть 1. Сущность, эволюция и основные особенности (аналитический обзор)

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Мониторинг циркуляции вирусов является важной частью системы здравоохранения развитых стран, которые в последние годы активно внедряют современные инновационные подходы и методы выявления биологических рисков. Созданные в европейских странах системы на основе методологии эпидемиологии сточных вод обеспечивают раннее выявление новых и вновь возникающих инфекций на популяционном уровне, способствуют предотвращению угрозы вспышек и эпидемий инфекционных болезней, локализации и снижению биологических рисков для здоровья населения до допустимого уровня.

Цель исследования — углублённое изучение опыта и инструментария европейских стран (на примере Германии, Франции, Италии и Ирландии) при создании и функционировании национальных систем эпидемиологии сточных вод (ЭСВ).

Материалами исследования были научные публикации и стратегические документы Германии, Франции, Италии, Ирландии, Евросоюза в области эпидемиологии сточных вод. Отбор источников осуществляли на основе критериев тематического соответствия, смысловой и функциональной значимости и актуальности научных статей и нормативных документов. Поиск литературных источников и документов проведён в базах данных (БД): на русском языке — eLIBRARY, CyberLeninka, на английском, немецком и французском языках — Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, Cochran Library, а также в национальных БД правительств и парламентов указанных стран. К основным методам исследования относятся: контент-анализ, систематизация материала, ретроспективный анализ (эволюция метода), системный подход (к изучению сетей мониторинга), сравнительный анализ (систем ЭСВ), обобщение (опыта).

В первой части аналитического обзора представлена эволюция использования принципа эпидемиологии сточных вод в мире. Раскрыты сущность и содержание механизма ЭСВ, выделены его основные процессы. В Европе приоритет отдан созданию национальных и совместных, объединённых в рамках Евросоюза, систем ЭСВ с упором на внедрение современных информационных, телекоммуникационных технологий, искусственного интеллекта. Изучен опыт Франции (проект Obéripne). Во 2-й части обзора исследованы функционирующие в Европе системы ЭСВ, созданные по национальным проектам: AMELAG (Германия), SARI (Италия), NWSF (Ирландия). Сравнительный анализ систем позволил выделить их общие черты, характерные особенности и направления развития, представляющие интерес для профильных специалистов Российской Федерации.

Заключение. Европейские системы ЭСВ, построенные на современных технологиях, вносят существенный вклад в функционирование национальных систем мониторинга биологических рисков, позволяя проводить прогностическую оценку состояния когортных групп и населения в целом, выявляя не только конкретные патогены или опасные вещества, но и определяя состояние популяционного здоровья населения. Механизм ЭСВ активно внедряется в системы мониторинга радиационных, химических и биологических рисков европейских государств. Сегодня создание в России аналогичного современного механизма ЭСВ, встроенного в систему мониторинга радиационных, химических и биологических рисков, востребовано и необходимо.

Ключевые слова: эпидемиология сточных вод (ЭСВ); биологическая безопасность; мониторинг радиационных рисков; мониторинг химических рисков; мониторинг биологических рисков; национальная система; Германия; Франция; Италия; Ирландия; Евросоюз; аналитический обзор

Для цитирования: Мельников О.А., Жернов Ю.В., Болехан В.Н., Краевой С.А., Юдин С.М. Европейский опыт создания национальных систем эпидемиологии сточных вод. Часть 1. Сущность, эволюция и основные особенности (аналитический обзор). *Гигиена и санитария*. 2026; 105(7): 721–729. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-7-721-729> <https://elibrary.ru/aioluk>

Для корреспонденции: Мельников Олег Александрович, e-mail: omelnikov@cspfmba.ru

Вклад авторов: Мельников О.А. — концепция и дизайн исследования, поиск, сбор, анализ, оценка, систематизация, обобщение и интерпретация данных, подготовка иллюстративного материала и черновика рукописи; Жернов Ю.В. — сбор, систематизация, обобщение и интерпретация данных, редактирование; Болехан В.Н. — научно-методическое сопровождение, редактирование; Краевой С.А. — организационно-методическое сопровождение, редактирование; Юдин С.М. — концепция, утверждение окончательного варианта статьи. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи и ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 16.04.2026 / Принята к печати: 01.07.2026 / Опубликована: 14.08.2026

Oleg A. Melnikov, Yury V. Zhernov, Vasily N. Bolekhan, Sergey A. Kraevoy, Sergey M. Yudin

European experience in the development of national wastewater-based epidemiology systems. Part 1: Essence, evolution, and key features (analytical review)

Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation

ABSTRACT

Monitoring viral circulation is an important part of the public health framework in developed countries, which in recent years have been actively implementing modern, innovative approaches and methods for monitoring biological risks. Systems developed in European countries based on wastewater-based epidemiology methodology ensure the early detection of new and re-emerging infections at the population level, helping to prevent the threat of infectious disease outbreaks and epidemics, and to contain and reduce biological risks to public health down to acceptable levels. The purpose of this study is to provide an in-depth analysis of the experience and tools used by European countries (Germany, France, Italy, and Ireland) in the development and operation of their national wastewater-based epidemiology (WBE) systems. The study materials included scientific report and policy documents from Germany, France, Italy, Ireland, and the European Union on wastewater epidemiology. Sources were selected based on criteria of thematic relevance, semantic and functional significance, and relevance of scientific reports

and regulatory documents. A search for literary sources and documents was conducted in the following databases: eLibrary and CyberLeninka in Russian; Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, and the Cochran Library in English, German, and French; and national government and parliamentary databases of the aforementioned countries. The main research methods include content analysis, material systematization, retrospective analysis (evolution of the method), a systems approach (to studying monitoring networks), comparative analysis (of electronic health systems), and generalization (of experience).

Part 1 of the analytical review presents the evolution of the global application of the WBE principle. The essence and content of the WBE mechanism are revealed, and its key processes are highlighted. The primary focus in Europe is on the creation of national and joint WBE systems, united within the European Union, with a focus on the implementation of modern information and telecommunications technologies and artificial intelligence. The experience of France (the OBÉPINE project) is examined. Part 2 examines WBE systems operating in Europe, created under national projects: AMELAG (Germany), SARI (Italy), and NWSP (Ireland). A comparative analysis of the systems allowed identifying their common features, characteristics, and development directions of interest to relevant specialists in the Russian Federation.

Conclusion. European WBE systems, built on modern technologies, make a significant contribution to the functioning of national biological risk monitoring systems, enabling prognostic assessment of the status of cohorts and the population as a whole, identifying not only specific pathogens or hazardous substances but also determining the population's health status. The WBE mechanism is being actively implemented in radiation, chemical, and biological risk monitoring systems in European countries. Today, the creation of a similar modern WBE mechanism in Russia, integrated into the radiation, chemical, and biological risk monitoring system, is highly desirable and necessary.

Keywords: wastewater-based epidemiology; WBE; biological safety; monitoring of radiation risks; monitoring of chemical risks; monitoring of biological risks; national system; Germany; France; Italy; Ireland; European Union; analytical review

For citation: Melnikov O.A., Zhernov Yu.V., Bolekhan V.N., Kraevoy S.A., Yudin S.M. European experience in the development of national wastewater-based epidemiology systems. Part 1: Essence, evolution, and key features (analytical review). *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2026; 105(7): 721–729. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-7-721-729> <https://elibrary.ru/aioluk> (In Russ.)

For correspondence: Oleg A. Melnikov, e-mail: omelnikov@cspfmba.ru

Contributions: Melnikov O.A. — concept and design of the study, search, collection, analysis, evaluation, systematization, generalization and interpretation of data, preparation of illustrative material and draft of the manuscript; Zhernov Yu.V. — collection, systematization, generalization and interpretation of data, editing; Bolekhan V.N. — scientific and methodological support, editing; Kraevoy S.A. — organizational and methodological support, editing; Yudin S.M. — concept, approval of the final version. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 16, 2026 / Accepted: July 1, 2026 / Published: August 14, 2026

Введение

Мониторинг циркуляции вирусов является важной частью системы здравоохранения развитых стран, которые в последние годы активно внедряют современные инновационные подходы и методы выявления биологических рисков. Один из таких подходов, основанный на методиках выявления различных биомаркёров в сточной воде для получения качественных и количественных данных, в том числе о коронавирусной инфекции, получил название «эпидемиология сточных вод (ЭСВ)»¹. Проводимые с помощью ЭСВ исследования способствуют раннему выявлению новых и вновь возникающих инфекций на популяционном уровне, предотвращению угрозы вспышек и эпидемий инфекционных болезней, локализации и снижению биологических рисков для здоровья населения до допустимого уровня.

Интерес для российских специалистов, работающих в этой области, представляют как сами методики, используемые для проведения аналитических исследований проб сточных вод в рамках ЭСВ, так и накопленный опыт уже функционирующих европейских национальных мониторинговых сетевых систем, а также результаты научно-исследовательских проектов по тематикам их создания и развития.

Цель исследования — углублённое изучение опыта и инструментария европейских стран (на примере Германии, Франции, Италии и Ирландии) при создании и функционировании национальных систем ЭСВ.

Изучены научная литература и стратегические документы Германии, Франции, Италии и Ирландии в области эпидемиологии сточных вод. В результатах исследования отражены публикации с глубинной информационного поиска пять лет. Отбор источников осуществляли на основе критериев тематического соответствия, смысловой и функциональной значимости и актуальности научных статей и нормативных документов. Поиск литературных источников и документов проведён в базах данных (БД): на русском языке — eLIBRARY, CyberLeninka, на английском, немецком

и французском языках — Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, Cochran Library, а также в национальных БД правительств и парламентов указанных стран. К основным методам исследования относятся: контент-анализ, систематизация материала, ретроспективный анализ (эволюция метода), системный подход (к изучению сетей мониторинга), сравнительный анализ (систем ЭСВ), обобщение (опыта).

Содержание и механизм эпидемиологического исследования сточных вод

Патогенные микроорганизмы появляются в организме инфицированного человека задолго до возникновения первых симптомов болезни и остаются в индивидууме в течение определённого периода, иногда довольно длительного. Так, вирус гепатита А присутствует в выделениях человека за 2–3 нед до появления первых симптомов. Коронавирус SARS-CoV-2 у инфицированного также начинает распространяться до проявления симптомов за 5–14 дней (при инкубационном периоде от 2 до 14 дней со средней составляющей 5,2 календарных дня). Эти данные особенно ценны для раннего предупреждения и принятия необходимых противоэпидемических мер [1–3].

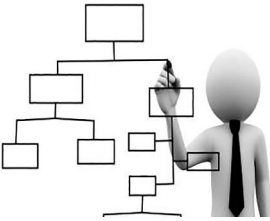
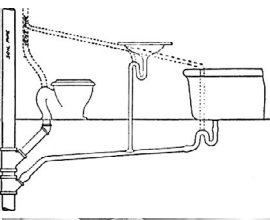
Биомаркёры человека, в том числе вирусная РНК, могут указывать на уровень заболеваемости или распространения патогенов в популяции. Научные исследования, проводимые в разных странах мира, выявили наличие РНК (в частности, тяжёлого острого респираторного синдрома, вызываемого коронавирусом SARS-CoV-2) в физиологических жидкостях и выделениях человека (слизь, фекалии, слюна и мокрота). Патогенные микроорганизмы и продукты их распада накапливаются в выделениях человека и попадают в систему сточных вод. Анализ сточных вод на присутствие РНК любого патогенного организма даёт возможность использовать полученные результаты в качестве инструмента для изучения геномики вируса, эпидемиологии и распространённости болезни [4–7].

Эпидемиология сточных вод — методология, используемая для изучения биосубстратов, выделяемых организмом человека и попадающих в канализацию, с последующим составлением объективной картины образа жизни, питания,

¹ В иностранных англоязычных научных изданиях используется термин «Wastewater-based epidemiology, WBE».

Таблица 1 / Table 1

Поэтапный механизм эпидемиологического исследования сточных вод**Staged mechanism for epidemiological research of wastewater**

Стадия Stage	Последовательность действий (функционал) Sequence of actions (functionality)	
Организационно-методическая (начальная) Managerial and methodological (initial)	Выбор объектов исследования (когорты). Определение водозаборной зоны и мест отбора проб. Определение методов забора и анализа сточной воды. Разработка сценария и методов оценки эффективности. Согласование действий с муниципальными органами и операторами Очистных сооружений. Проведение инструктажа с лицами, участвующими в процессе. Tailoring of study objects (cohort). Determination of water intake zone and sampling locations. Determination of wastewater collection and analysis methods. Development of a scenario and methods for evaluating effectiveness. Coordination of actions with municipal authorities and wastewater treatment plant operators. Conducting briefings for those involved in the process.	
Лабораторно-диагностическая Laboratory and diagnostic	Процесс состоит из трёх этапов: / The process consists of three stages: 1-й этап — проаналитический (отбор, регистрация, маркировка, хранение, транспортировка проб, пробоподготовка); пробы сточных вод отбираются на входе в очистные сооружения перед их очисткой и направляются (в контейнерах или с использованием автоматических средств доставки) в лабораторию для исследований Stage 1 — the pre-analytical stage (sample collection, registration, labeling, storage, sample transportation, and sample preparation); wastewater samples are collected at the inlet of the treatment facility before treatment and sent (in containers or using automated delivery vehicles) to the laboratory for analysis 2-й этап — аналитический (исследование материала, анализ, идентификация, обработка данных) Stage 2 — the analytical stage (material examination, analysis, identification, and data processing) 3-й этап — постаналитический (ознакомление с информацией по предшествующей биологической обстановке, интерпретация данных аналитического этапа, подготовка заключения по биологической обстановке, прогнозирование развития ситуации, подготовка предложений по снижению биологического риска, подготовка итогового отчёта с предложениями) Stage 3 — the post-analytical stage (review of information on the previous biological situation, interpretation of analytical data, preparation of a conclusion on the biological situation, forecasting the situation's development, preparation of proposals for reducing biological risk, and preparation of a final report with proposals)	  
Принятие решения Decision making	Принятие решения специализированным органом системы управления санитарно-эпидемиологической обстановкой Decision-making by a specialized body of the sanitary and epidemiological situation management system	

заболеваемости и экологических рисков для населения. Это стремительно развивающееся междисциплинарное направление объединяет:

- мониторинг инфекций с ранним выявлением вирусов (COVID-19, полиомиелит, гепатит А);
- контроль неинфекционных болезней (диабета, воспалительных процессов, патологий почек по белковым маркерам и метаболитам лекарств);
- оценку образа жизни (объективные данные о потреблении алкоголя, табака, наркотиков и прочих психоактивных веществ, фармпрепаратов, а также о пищевых предпочтениях);
- мониторинг реального воздействия пестицидов и бытовой химии на популяцию с оценкой химических рисков, в том числе общей химической нагрузки на популяцию.

Механизм ЭСВ можно представить в виде трёх последовательных стадий: организационно-методической (начальной); лабораторно-диагностической и стадии принятия решений. Функционал стадий представлен в табл. 1.

Эволюция эпидемиологии сточных вод

В противоэпидемических целях обнаружение вирусных частиц в сточных водах используется достаточно давно. Первые шаги в области анализа сточных вод были сделаны британским врачом Джоном Сноу, применившим новаторский для своего времени метод в исследовании эпидемии холеры XIX века, исследовав связь между распространением холеры и загрязнением питьевой воды сточными водами в Лондоне в 1854 г. [8]. В 1923 г. российский учёный С.Н. Строганов выделил статистически значимое различие между содержанием белкового и аммонийного азота в стоках, показав, что состав сточных вод напрямую зависит от качества питания населения [4, 9]. Исследования с оценкой числа инфицированных полиовирусом во время вспышек полиомиелита через анализ бытовых сточных вод в канализации Нью-Йорка и Чикаго были реализованы в США в начале 40-х годов XX века.

Аналитические исследования тропической паразитарной болезни, вызываемой кровяными сосальщиками (тре-

Таблица 2 / Table 2

Эволюционное развитие эпидемиологии сточных вод
Evolutionary development of wastewater epidemiology

Год Year	Этап развития Stage
1854	Обнаружение возбудителя холеры Detection of the cholera pathogen
1923	Взаимосвязь состава сточных вод с питанием горожан Relationship between wastewater composition and urban nutrition
1940	Выявление полиовируса Poliovirus detection
1954	Обнаружение возбудителей тропических паразитарных болезней Detection of tropical parasitic pathogens
1980	Исследование на наличие вируса гепатита А Hepatitis A virus testing
2005	Исследование на содержание наркотиков Drug testing
2013	Обнаружение вирусной инфекции (норовирус, полиовирус и др.) Detection of viral infections (norovirus, poliovirus, etc.)
2016	Начало создания единых стандартов и протоколов исследований Start of development of unified standards and research protocols
2017	Анализ с использованием когортных данных сетей Телеком Analysis using cohort data from Telecom networks
2019	Обнаружение SARS-CoV-2 SARS-CoV-2 detection
2021	Старт проектов создания национальных систем ЭСВ Launch of national WBE system projects
2022	Проект системы ЭСВ Евросоюза EU WBE project
2023	ЭСВ исследования с применением искусственного интеллекта WBE research using artificial intelligence

матодами) из рода *Schistosoma* (шистосома улиток), были проведены в 1954 г.: бразильские учёные анализировали пробы канализационной воды, содержащей яйца паразитов, у инфицированных людей в Северо-Восточной Бразилии.

Эволюционное развитие ЭСВ представлено в табл. 2.

В 1980 г. учёные начали исследовать сточные воды на наличие вируса гепатита и параллельно разрабатывать молекулярные методы мониторинга сточных вод [10]. В 2005 г. в реке По в Италии исследователи обнаружили кокаин и его метаболит бензоилэконин в образцах воды. К 2010 г. изучение сточных вод уже воспринималось экспертным сообществом как важный инструмент анонимного анализа биохимических параметров жизнедеятельности людей. В 2013 г. в Израиле были проведены исследования, в ходе которых в сточных водах были обнаружены норовирус, вирус гепатита А и полиовирус, что позволило использовать полученные данные в качестве средства раннего предупреждения соответствующих болезней [10, 11]. Исследования проводились для контроля инфекций, вызываемых вирусами гриппа, норовирусами, энтеровирусами, вирусом гепатита А, вирусами Денге и Зика и рядом других.

С 2016 г. Европейская ассоциация Sewage analysis CORE group – Europe (SCORE) публикует регулярные отчёты об исследованиях сточных вод для определения уровня употребления наркотиков в Европе. При этом SCORE объединила независимые лаборатории, занимающиеся эпидемиологией сточных вод, с целью общей координации усилий и выработки единых стандартов и протоколов исследований.

В дальнейшем методика ЭСВ продолжала совершенствоваться: когортные исследования были направлены на популяционную диагностику и прогнозирование. В 2017 г. норвежские учёные коррелировали выводы результатов исследований сточных вод с использованием когортных данных² телекоммуникационных сетей.

При наступлении эпидемии коронавируса в 2019 г. и последующем её перерастании в пандемию существовавшие в то время методы прогнозирования были основаны на лабораторном тестировании или самотестировании, что не позволяло выявлять бессимптомные случаи. При этом многие страны вообще отказывались от строгих требований к тестированию. В конце 2019 г. методика ЭСВ была адаптирована для измерения патогенов SARS-CoV-2.

Так, голландские исследовательские группы изучали и демонстрировали присутствие вируса на станциях очистки сточных вод во время эпидемической волны SARS-CoV-2. С 2020 г. исследование сточных вод для мониторинга распространения SARS-CoV-2 на уровне популяции начинают применять во многих странах Европы и мира.

С 2021–2022 гг. в развитых странах создаются сетевые национальные системы ЭСВ (Германия, Франция, Великобритания, США). Отмечается тенденция к стандартизации национальных механизмов, способных отслеживать в сточных водах потенциальные биологические угрозы: различные варианты коронавируса, вирусы гриппа, устойчивые к антибиотикам бактерии или совершенно новые патогены. Идёт процесс создания и эксплуатации межгосударственных сетей ЭСВ-мониторинга в рамках Евросоюза.

На ранних этапах исследовательской деятельности с использованием методики ЭСВ как междисциплинарной междико-биологической области были задействованы такие специалисты, как химики-аналитики, молекулярные биологи, медицинские работники (эпидемиологи, инфекционисты, наркологи). В дальнейшем при усложнении и расширении технологических возможностей к процессу отбора и анализа проб стали привлекать технологов и операторов очистных сооружений, а для получения аналитической прогнозной информации – специалистов в области информационных и телекоммуникационных технологий, аналитиков.

В 2023 г. учёные из Невадского университета в Лас-Вегасе (США) разработали технологию анализа сточных вод с применением методов искусственного интеллекта (ИИ): исследовали 3700 проб сточных вод, собранных на очистных сооружениях в 2021–2023 гг. Результаты показали, что ИИ успешно выявлял различные варианты вирусов, обучившись на двух-пяти образцах. Этот метод значительно превосходил и сейчас превосходит многие существующие подходы, позволяя быстрее и точнее находить возбудителей болезней, в отличие от предыдущих методик, которые требовали глубокого анализа генетической структуры вирусов и клинических данных от уже протестированных пациентов.

Другая группа исследователей изучала данные о сточных водах 159 округов США, в которых проживает ≈ 100 млн граждан. Исследование показало, что с помощью системы ИИ, основанной на анализе проб сточных вод, содержащих COVID-19, можно точно предсказать число госпитализаций на срок от одной до четырёх недель [12].

Применение ИИ существенно расширило потенциал ЭСВ как эффективного метода раннего оповещения

² Когортные данные – информация, полученная в результате когортного анализа (метод исследования поведения групп пользователей, объединённых по общему признаку в определённый период).

Таблица 3 / Table 3

Примеры исследований с применением методики эпидемиологии сточных вод

Examples of studies using wastewater epidemiology methods

Год Year	Страна Country	Фактор риска / воздействующий препарат Risk factor of acting preparation	Комментарии Comments
2001	Финляндия Finland	Полиовирус Poliovirus	Для проверки метода вбросили в канализацию Хельсинки известную дозу живой полиомиелитной вакцины. После этого учёным удалось выделить вирус в концентрации, соответствующей одному инфицированному на 10 тыс. человек To test the method, a known dose of "live" polio vaccine was released into the Helsinki sewer system. Afterward, the scientists were able to isolate the virus at a concentration equivalent to one infected person in 10,000 people
2005	Италия Italy	Кокаин Cocaine	Метод позволил обойти личный фактор, препятствовавший получению достоверных данных при помощи опросов The method made it possible to bypass the personal factor that prevented obtaining reliable data through surveys
2011– 2015	Австралия Australia	Психоактивные вещества, опиоиды Psychoactive substances, opioids	Оценка проб сточных вод в городе с населением 1,2 млн жителей на наличие психоактивных веществ и опиоидов. Выявлены важные внутригодовые тенденции и доказаны различия в моделях употребления наркотиков в выходные дни по сравнению с рабочими днями An assessment of wastewater samples in a city of 1.2 million residents for the presence of psychoactive substances and opioids revealed significant year-over-year trends and demonstrated differences in drug use patterns on weekends compared to weekdays
2013	Израиль Israel	Полиовирус Poliovirus	Выявлена дозозависимая связь между концентрацией вируса в сточных водах и числом положительных случаев (активных носителей) A dose-dependent relationship was found between the concentration of the virus in wastewater and the number of positive cases (active carriers)
2014	Нидерланды Netherlands	Силденафил (фармацевтический препарат) Sildenafil (pharmaceutical drug)	В сточных водах обнаружен безрецептурный фармацевтический препарат для снижения эректильной дисфункции у мужчин силденафил, что указывало на широкое его распространение через интернет и нелегальные аптеки Sildenafil, an over-the-counter pharmaceutical drug used to treat erectile dysfunction in men, was found in wastewater, indicating its widespread distribution through the internet and illegal pharmacies
2017	Норвегия Norway	Наркотики (уточняющих данных нет) Drugs (no further details available)	Использовались данные мониторингов операторов мобильной связи. Выявлено, что снижение содержания наркотиков в сточных водах зависело от того, что часть исследуемой популяции (студенты) разъехалась на каникулы, а не из-за снижения потребления наркотических препаратов Using data from mobile phone operator monitoring, it was found that the decrease in drug levels in wastewater was due to the fact that part of the study population (students) were away on vacation, and not due to a decrease in drug use
2017– 2018	США USA	Глюкокортикоиды кортизола и кортизона Glucocorticoids cortisol and cortisone	Определение уровня коллективного стресса у студентов с помощью исследования сточных вод, основанное на анализе экскреции эндогенных глюкокортикоидов. На примере университетского городка с населением около 26 000 человек на юго-западе США была показана возможность контролировать уровень экскреции гормонов стресса Determining collective stress levels in students using wastewater analysis based on endogenous glucocorticoid excretion. Using a university campus with a population of approximately 26,000 in the southwestern United States as a case study, the feasibility of monitoring stress hormone excretion levels was demonstrated
2018– 2019	Канада Canada	Каннабис, метамфетамин Cannabis, methamphetamine	Обнаружен высокий уровень потребления каннабиса на душу населения в Монреале, Галифаксе и метамфетамина в Ванкувере и Эдмонтоне. Получено представление о влиянии пандемии COVID-19 на употребление наркотиков в Канаде High per capita cannabis use was found in Montreal and Halifax, and methamphetamine use in Vancouver and Edmonton. This provides insight into the impact of the COVID-19 pandemic on drug use in Canada
2019	Нидерланды Netherlands	Коронавирус SARS-CoV-2 SARS-CoV-2 coronavirus	Обнаружено присутствие вируса на станциях очистки сточных вод (STEU) во время эпидемической волны SARS-CoV-2 The presence of the virus was detected in wastewater treatment plants (STEU) during the SARS-CoV-2 epidemic wave
2020	Беларусь Belarus	Аденовирус, энтеровирус Adenovirus, enterovirus	Мониторинговые исследования сточных вод и биологического материала пациентов с вирусными острыми кишечными инфекциями в разных регионах Республики Беларусь. Методом ПЦР (полимеразная цепная реакция) выявлены различия в структуре возбудителей вирусных ОКИ пациентов и в обнаруженных сточных водах, что указывало на активную скрытую циркуляцию аденовирусов F и энтеровирусов Monitoring studies of wastewater and biological material from patients with viral acute intestinal infections in different regions of the Republic of Belarus. Using the PCR (polymerase chain reaction) method, differences were identified in the structure of pathogens causing viral acute intestinal infections in patients and those detected in wastewater, indicating active latent circulation of adenoviruses F and enteroviruses

Продолжение Таблицы 3 на стр. 726 / Continuation of Table 3 on page 726

Продолжение Таблицы 3. Начало на стр. 725 / Continuation of Table 3. Beginning on page 725

Год Year	Страна Country	Фактор риска / воздействующий препарат Risk factor of acting preparation	Комментарии Comments
2021	Франция France	Коронавирус SARS-CoV-2 SARS-CoV-2 coronavirus	Методика эпидемиологии сточных вод адаптирована для поиска патогенных микроорганизмов и вирусных инфекций в «чёрной воде» на авианосце «Шарль де Голль» Wastewater epidemiology methodology adapted to detect pathogens and viral infections in blackwater on the aircraft carrier Charles de Gaulle
2021	Китай China	Норовирус Norovirus	В сточных водах выявлен новый доминирующий вариант норовируса, что позволило заблаговременно предупредить службы о его появлении A new dominant variant of norovirus has been detected in wastewater, allowing authorities to be warned early about its emergence
2021	Канада Canada	Коронавирус SARS-CoV-2 SARS-CoV-2 coronavirus	Фиксировалось увеличение концентрации возбудителей инфекции в сточных водах, наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению числа инфицированных до того, как это отражалось в клинических данных An increase in the concentration of infection in wastewater was recorded, and a steady trend towards an increase in the number of infected people was observed before this was reflected in clinical data
2022	Россия Russia	Клинически значимые штаммы бактерий, грибов и паразитарных простейших Clinically significant strains of bacteria, fungi and parasitic protozoa	Определение бактериологических, паразитологических показателей, а также колифагов при исследовании поверхностных и сточных вод в целях санитарно-микробиологического и санитарно-паразитологического контроля (НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина ФГБУ «ЦСП» ФМБА России) Determination of bacteriological and parasitological indicators, as well as coliphages in the study of surface and wastewater for the purposes of sanitary-microbiological and sanitary-parasitological control (Research Institute of Human Ecology and Environmental Health named after A.N. Sytin, Center for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical and Biological Agency)
2023	США USA	Коронавирус SARS-CoV-2 SARS-CoV-2 coronavirus	Разработана технология анализа сточных вод с применением методов искусственного интеллекта A technology for wastewater analysis using artificial intelligence methods has been developed
2025	Беларусь Belarus	Ротавирус, норовирус, аденовирус, энтеровирус, астровирус, саповирус, парчовирус, бокавирус и вирус аичи Rotavirus, norovirus, adenovirus, enterovirus, astrovirus, sapovirus, parechovirus, bocavirus, and aichi virus	Оценка частоты выявления редких (минорных) кишечных вирусов у больных острым гастроэнтеритом в Республике Беларусь, изучение распространённости данных вирусов в общей популяции на основе анализа сточных вод с последующим установлением их генотипов. Исследование проводилось методом мультиплексной полимеразной цепной реакции в режиме реального времени To assess the detection rate of rare (minor) enteric viruses in patients with acute gastroenteritis in the Republic of Belarus, study their prevalence in the general population based on wastewater analysis, and then determine their genotypes. The study was conducted using real-time multiplex polymerase chain reaction

для систем здравоохранения. Примеры мировых исследований за последние два десятилетия с применением методики ЭСВ, направленных на выявление факторов риска и популяционных болезней, представлены в табл. 3 [13–15].

Французская национальная сеть Obérine

Ранние исследования французских специалистов показали, что геном SARS-CoV-2 выявлялся в сточных водах, поступающих из очистных сооружений в провинции Иль-де-Франс (регион центральной части Парижского бассейна, между реками Сена, Марна, Уаза). Мониторинг позволил в 2020 г. выявить вспышку инфекции, обнаружив коронавирус в сточных водах до выявления первых заболевших. Резкое снижение вирусной нагрузки в сточных водах Франции свидетельствовало о сокращении циркуляции вируса с момента введения противоэпидемических мероприятий. Первые сетевые анализы были проведены в марте 2020 г. Эта стратегия была направлена на измерение воздействия мер санитарного контроля (изоляция, комендантский час и вакцинация) и выявление любых вспышек эпидемии в масштабах страны.

Тогда же, в 2020 г., рабочая группа специалистов в области медицинской вирусологии, микробиологии, окружающей среды, гидрологии, моделирования и статистической математики предложила создать сеть Obérine — исследовательский консорциум, объединивший большое количество участников, нацеленных на создание эффективной систе-

мы мониторинга состояния здоровья населения с помощью анализа сточных вод [16]. Общая характеристика французского проекта по созданию консорциума Obérine представлена в табл. 4.

Для обеспечения мониторинга распространения вируса исследователи консорциума Obérine разработали математические модели, которые продемонстрировали корреляцию между отдельными показателями (частотой случаев болезней) и уровнем циркуляции вирусов в сточных водах. В начале 2021 г. был создан индикатор качества сточных вод на основе проб, взятых на ≈ 200 станциях очистки сточных вод. Сеть уже позволяла получать информацию о распространении вируса SARS-CoV-2 в водосборных бассейнах, охватывающих более 3% населения. До 31 октября 2021 г. проект финансировался Министерством солидарности и здравоохранения.

Измерения концентрации вируса, проводимые Obérine, предварительно корректировались с учётом характеристик источников сточных вод, возможности попадания в канализационную систему (не бытовых) атмосферных осадков, разбавляющих исследуемую воду, их количества, способного существенно исказить результаты. Чтобы получить сопоставимые значения для разных очистных сооружений, консорциум Obérine дополнительно выполнял масштабирование данных после сглаживания. При масштабировании учитывали максимальное количество вируса, обнаруженное во время волны эпидемии осенью 2020 г. во Франции, диапазон объёмов, очищаемых на очистных сооружениях,

Таблица 4 / Table 4

Общая характеристика французского проекта по созданию консорциума Obépine**General characteristics of the French project to create the Obépine consortium**

Показатель Indicator	Описание
Наименование национального консорциума Name of the national consortium	Obépine «Эпидемиологическая обсерватория сточных вод» (Observatoire Épidémiologique des Eaux Usées) Wastewater-based epidemiological Observatory
Год создания Year of creation	2020
Цель Project goal	Мониторинг состояния здоровья населения с помощью анализа сточных вод Monitoring public health through wastewater analysis
Задачи Project objectives	Обнаружение, классификация и количественное определение генома вируса в сточных водах Франции Мониторинг вирусной нагрузки в сточных водах, поступающих на очистные сооружения Выявление других возбудителей (гриппа, гастроэнтеритов и др.) в сточных водах, требующих усиления профилактических мероприятий Оценка эффективности обработки сточных вод. Например, изучение того, как обработка удаляет вирусную нагрузку во время фильтрации Detection, classification and quantification of viral genome in wastewater from France Monitoring viral load in wastewater entering treatment plants Detection of other pathogens (influenza, gastroenteritis, etc.) in wastewater that require enhanced preventive measures Evaluating the effectiveness of treatment. For example, studying how treatment removes viral load during filtration
Координатор от правительства Government Coordinator	Министерство высшего образования, исследований и инноваций Франции Ministry of Higher Education, Research and Innovation of France
Финансирование Financing	До 31 октября 2021 г. проект финансировало Министерство солидарности и здравоохранения Until October 31, 2021, the project was funded by the Ministry of Solidarity and Health
Участники программы Participants of the program	Военный институт биомедицинских исследований (L'Institut de recherche biomédicale des armées, IRBA) Military Institute of Biomedical Research (Institut de recherche biomédicale des armées, IRBA) Университет Сорбонна (вирусология, математика, гидрология) Sorbonne University (virology, mathematics, hydrology) Группа исследований и разработок в области водных ресурсов Парижа (вирусология окружающей среды) Paris Water Research and Development Group (environmental virology) Лаборатория физической химии и микробиологии материалов и окружающей среды (LCPME) Laboratory of Physical Chemistry and Microbiology of Materials and the Environment (LCPME) Университет Лотарингии University of Lorraine Французский научно-исследовательский институт эксплуатации моря (IFREMER) French Research Institute for Exploitation of the Sea (IFREMER) Университет Клермон-Овернь University of Clermont-Auvergne
Название обновлённой версии проекта Name of the updated version of the project	Obépine+
Организатор проекта Obépine+ The organizer of the Obépine+ project	Университет Сорбонна Sorbonne University
Старт обновлённого проекта Start of the updated project	2024
Число партнёров Number of partners	21
Партнёры (участники) Partners (participants)	Технический центр Actalia Actalia Technical Center Национальное агентство по санитарной безопасности пищевых продуктов, окружающей среды и условий труда (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, ANSES) National Agency for Food, Environment and Working Conditions, ANSES Национальный центр исследований в области генома человека во Франции (подразделение Агентства альтернативных и атомных энергий, CEA) (Centre National de Génotypage, CNRGH) National Centre for Research on the Human Genome in France (a division of the Alternative and Atomic Energies Agency, CNRGH) Национальный центр научных исследований Франции (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS) National Center for Scientific Research of France, CNRS Центральный университетский госпиталь Тулузы Central University Hospital of Toulouse Центральный университетский госпиталь Клермон-Ферран Central University Hospital of Clermont-Ferrand Ветеринарная школа Тулузы (École nationale vétérinaire de Toulouse, ENVT) Toulouse Veterinary School, ENVT Муниципальное управление водных ресурсов Парижа (Eau de Paris) Paris Municipal Water Authority Компания IAGE IAGE Company Французский научно-исследовательский институт эксплуатации океана (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, IFREMER) French Research Institute for Ocean Exploitation, IFREMER Национальный институт медико-санитарных исследований (Institut national de la santé et de la recherche médicale, INSERM) National Institute for Health Research, INSERM Институт Пастера в Гвиане Pasteur Institute of Guiana Национальный институт исследований в области сельского хозяйства, продовольствия и окружающей среды (Institut National de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, INRAE) National Institute for Research on Agriculture, Food and the Environment, INRAE Институт Пастера в Новой Каледонии Pasteur Institute of New Caledonia Институт биомедицинских исследований вооружённых сил (L'Institut de recherche biomédicale des armées, IRBA) Armed Forces Biomedical Research Institute, IRBA Французская компания (управление водными ресурсами), SAUR French company (water resources management), SAUR Общественная служба очистки сточных вод в регионе Париж и его окрестностях, SIAAP Public wastewater treatment service for the Paris region and its environs, SIAAP Французская компания (управление водными ресурсами и отходами), SUEZ French company (water and waste management), SUEZ Университет Клермон-Овернь University of Clermont Auvergne Университет Лотарингии University of Lorraine Французская транснациональная компания (управление водными ресурсами, отходами и энергетикой), VEOLIA French multinational company (water, waste and energy management), VEOLIA
Финансирование Financing	10 млн евро в течение пяти лет 10,000,000 euros over five years

а также особенности лаборатории, в которой проводился анализ образца методом количественной ПЦР в реальном времени или методом цифровой ПЦР. Итоговый расчётный показатель (WWI, WasteWater Indicator) демонстрировал хорошие результаты по сравнению с соответствующими показателями заболеваемости [17].

Информация из созданной операционной сети Obépine использовалась в рамках специально разработанной геоинформационной платформы, на базе которой французские учёные и практики проводили прикладные изыскания в области состояния здоровья населения, распространяя свои исследования на другие патогены и химические вещества, обнаруженные в сточных водах. В целом консорциум Obépine в своей исследовательской деятельности в области анализа фекалий и осадка сточных вод добился значимых практических результатов в оценке рисков для здоровья.

В июле 2024 г. Obépine объявил о запуске проекта Obépine+ в рамках плана «Франция 2030»³. Проект Obépine+ направлен на создание национальной платформы исследований и разработок в области эпидемиологии с использованием сточных вод, которая интегрируется в национальную систему профилактики будущих инфекционных и патогенных болезней высокого риска (см. табл. 4). Obépine+ планирует собрать, обработать, проанализировать и хранить в акваланке 7500 проб парижской канализации и очистных сооружений в Парижском регионе (Иль-де-Франс) в течение следующих пяти лет. Это позволит исследовать различные вирусы и инфекционные болезни, циркулирующие среди населения, а также предвидеть потенциальные вспышки, которые могут произойти в будущем.

По инициативе Института биомедицинских исследований вооружённых сил Франции IRBA его эксперты, основываясь на результатах работы сети Obépine, для исследований SARS-CoV-2 на авианосце «Шарль де Голль» с учётом конфигурации системы сбора сточных вод корабля разработали методику комплексного отбора проб из корабельных резервуаров для сбора сточных вод [18]. Исследования проходили в 2021 г. в два этапа: эпидемиологическая ситуация первого этапа (февраль — май 2021 г.) была связана с появлением в декабре 2020 г. альфа-варианта вируса; второй этап (ноябрь — декабрь 2021 г.) прошёл в разгар дельта-волны SARS-CoV-2 [19].

³ Plan stratégique «France 2030». <https://www.elysee.fr> (дата обращения: 24.03.2026 г.).

Для обеспечения мониторинга была создана специальная лаборатория молекулярной биологии по исследованию «серой воды» (душ, мытьё посуды, стирка) и «чёрной воды», поступающей из бортовых туалетов корабля. Отбор проб «чёрной воды» был более сложен, поскольку ёмкости для сбора находились в разреженном состоянии; они не имели дренажной системы и регулярно опорожнялись автоматически, как только достигался предельный уровень. Протокол действий состоял из четырёх этапов:

- 1) отбор проб из «чёрной воды»;
- 2) извлечение нуклеиновых кислот путём перемешивания/осаждения и улавливания;
- 3) амплификация методом RT-кПЦР (quantitative PCR с обратной транскрипцией) идентифицированных мишеней (генов E и RdRp) в геноме SARS-CoV-2;
- 4) анализ данных и сравнительный мониторинг с течением времени. Был подтверждён ранее прогнозируемый характер вирусной нагрузки в «чёрных водах» и выявлены новые заражённые моряки корабля.

Заключение

Эволюционное развитие ЭСВ-метода демонстрирует путь от единичных экспериментов, связанных с необходимостью контролировать одну болезнь, к системному универсальному мониторингу общественного здоровья, способному оперативно реагировать на новые вызовы и угрозы. Сегодня эпидемиология сточных вод — это мощный инструмент оценки влияния факторов окружающей среды на здоровье человека. Европейские ЭСВ-системы, построенные на современных технологиях, вносят существенный вклад в функционирование национальных систем мониторинга биологических рисков, позволяя проводить прогностическую оценку состояния когортных групп и населения в целом, выявляя не только конкретные патогены или опасные вещества, но и определяя популяционное состояние здоровья населения. Французский опыт создания и функционирования национальной системы эпидемиологии сточных вод базируется на консолидированных усилиях мультидисциплинарного консорциума, объединяющего инновационные подходы и традиционные компетенции сотрудников медицинских, исследовательских и научно-образовательных организаций, лабораторий, служб очистных сооружений и управления водными ресурсами и др.

Литература

(п.п. 3, 5, 10–12, 16–18 см. References)

1. Поклонская Н.В., Амвросьева Т.В., Колтунова Ю.Б., Шилова Ю.А., Бельская И.В. Слежение за циркуляцией вирусов на основе мониторинга сточных вод — как эффективный инструмент контроля за инфекциями и профилактики биологических угроз. *Новости медико-биологических наук*. 2022; 22(2): 104–11. <https://elibrary.ru/ppspeu>
2. Ерхов А.А. SARS-CoV-2: канализация как путь передачи. *Строительство и техногенная безопасность*. 2023; (30): 105–12. <https://elibrary.ru/trkesc>
4. Щеголькова Н.М., Рыбка К.Ю., Козлова М.А., Харитонов С.Л. Анализ состава коммунальных сточных вод для прогноза состояния городской популяции. *Водные ресурсы*. 2023; 50(2): 218–31. <https://doi.org/10.31857/S0321059623020141> <https://elibrary.ru/inkfvv>
6. Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю., Рудакова М.А., Карамова К.О.К., Курынцева П.А. Способ мониторинга заболеваемости COVID-19 с использованием анализа сточных вод. Патент РФ №2743687; 2021. <https://elibrary.ru/nrxmqj>
7. Поклонская Н.В., Шилова Ю.А., Амвросьева Т.В., Гудкова Е.О., Колтунова Ю.Б. Распространенность минорных кишечных вирусов у пациентов с острым гастроэнтеритом и в сточных водах Минска и Минской области. *Проблемы здоровья и экологии*. 2025; 22(1): 65–71. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-08> <https://elibrary.ru/ytrjquy>
8. Медицинский вестник. Григорьева О. Джон Сноу. Новаторский метод в исследовании эпидемии холеры XIX века; 2021. Доступно: <https://medvestnik.by/be/dosug-bel/dzhon-snou-novatorskij-metod-v-issledovanii-epidemii-kholery-xix-veka>
9. Строганов С.Н. *Питание Москвы в 1903–1922 гг. по наблюдениям над сточной жидкостью*. М.; 1923.
13. Загайнова А.В., Асланова М.М., Курбатова И.В., Ракова В.М., Федец З.Е., Пай Г.В. и др. Оптимизация методов санитарно-микробиологического и санитарно-паразитологического контроля сточных вод. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(5): 545–55. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-545-555> <https://elibrary.ru/ldubwv>
14. Сизова Е.Н., Шамакова Л.Н., Видякина Е.В. Эколого-эпидемиологический мониторинг сточных вод. *Вятский медицинский вестник*. 2022; (2): 89–93. <https://elibrary.ru/rvebrw>
15. Рожанец В.В., Клименко Т.В. Эпидемиология сточных вод: мониторинг учебных и пенитенциарных учреждений. *Вопросы наркологии*. 2023; 35(5): 5–22. <https://doi.org/10.34757/0234-0623.2023.35.5.001> <https://elibrary.ru/rahdca>
19. Мельников О.А., Болехан В.Н., Краевой С.А. Перспективы применения метода «эпидемиологии сточных вод» для выявления биологических угроз на арктических судах. В кн.: *Материалы XV международной научной конференции «Многопрофильная клиника XXI века. Инновации и передовой опыт — 2026»*. СПб.; 2026: 102–5.

References

- Poklonskaya N.V., Amvrosieva T.V., Kaltunova Yu.B., Shilova Yu.A., Belskaya I.V. Wastewater based epidemiology as an effective tool for infection surveillance and biological hazards prevention. *Novosti mediko-biologicheskikh nauk*. 2022; 22(2): 104–11. <https://elibrary.ru/ppspeu> (in Russian)
- Erkhov A.A. SARS-CoV-2: sewerage as a transmission route. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2023; (30): 105–12. <https://elibrary.ru/trkcsc> (in Russian)
- O'Keeffe J. Wastewater-based epidemiology: current uses and future opportunities as a public health surveillance tool. *Environ. Health Rev*. 2021; 64(3): 44–52. <https://doi.org/10.5864/d2021-015> <https://elibrary.ru/mzwto>
- Shchegolkova N.M., Rybka K.Yu., Kozlova M.A., Kharitonov S.L. Analysis of the composition of municipal wastewater for forecasting the state of the urban population. *Water Resources*. 2023; 50(2): 218–31. <https://doi.org/10.1134/S0097807823020148> <https://elibrary.ru/jsrurq>
- Maryam S., Ul Haq I., Yahya G., Ul Haq M., Algammal A.M., Saber S., et al. COVID-19 surveillance in wastewater: An epidemiological tool for the monitoring of SARS-CoV-2. *Front. Cell. Infect. Microbiol*. 2023; 12: 978643. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.978643> <https://elibrary.ru/gcvnnq>
- Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu., Rudakova M.A., Karamova K.O.K., Kuryntseva P.A. Method for monitoring COVID-19 incidence using wastewater analysis. Patent RF № 2743687; 2021. <https://elibrary.ru/nrxmqj> (in Russian)
- Poklonskaya N.V., Shilova Yu.A., Amvrosieva T.V., Gudkova E.O., Kaltunova Yu.B. Prevalence of minor intestinal viruses in patients with acute gastroenteritis and in wastewater of Minsk and Minsk region. *Problemy zdorov'ya i ekologii*. 2025; 22(1): 65–71. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-08> <https://elibrary.ru/yryuqy> (in Russian)
- Meditinskii vestnik. Grigorieva O. John Snow. An Innovative Method in the Study of the 19th Century Cholera Epidemic; 2021. Available at: <https://medvestnik.by/be/dosug-bel/dzhon-snou-novatorskij-metod-v-issledovanii-epidemii-kholery-xix-veka> (in Russian)
- Stroganov S.N. *Water Supply of Moscow in 1903–1922 Based on Observations of Wastewater [Pitanie Moskvy v 1903–1922 gg. po nablyudeniym nad stochnoi zhidkost'yu]*. Moscow; 1923. (in Russian)
- Mousazadeh M., Ashoori R., Paital B., Kabdashli I., Frontistis Z., Hashemi M., et al. Wastewater based epidemiology perspective as a faster protocol for detecting coronavirus RNA in human populations: a review with specific reference to SARS-CoV-2 virus. *Pathogens*. 2021; 10(8): 1008. <https://doi.org/10.3390/pathogens10081008> <https://elibrary.ru/titwkk>
- Gogoi G., Singh S.D., Kalyan E., Koch D., Gogoi P., Kshattri S., et al. An interpretative review of the wastewater-based surveillance of the SARS-CoV-2: where do we stand on its presence and concern? *Front. Microbiol*. 2024; 15: 1338100. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1338100> <https://elibrary.ru/maytqc>
- Li X., Liu H., Gao L., Sherchan S.P., Zhou T., Khan S.J., et al. Wastewater-based epidemiology predicts COVID-19-induced weekly new hospital admissions in over 150 USA counties. *Nat. Commun*. 2023; 14(1): 4548. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-545-555> <https://elibrary.ru/wxmepb>
- Zagaynova A.V., Aslanova M.M., Kurbatova I.V., Rakova V.M., Fedez Z.E., Pay G.V., et al. Optimization of methods for sanitary-microbiological and sanitary-parasitological control of wastewater. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(5): 545–55. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-545-555> <https://elibrary.ru/ldubwv> (in Russian)
- Sizova E.N., Shmakova L.N., Vidyakina E.V. Ecological and epidemiological wastewater monitoring. *Vyatskii meditsinskii vestnik*. 2022; (2): 89–93. <https://elibrary.ru/rvebrw> (in Russian)
- Rozhanets V.V., Klimenko T.V. Wastewater epidemiology: monitoring of educational and penitentiary institutions. *Voprosy narkologii*. 2023; 35(5): 5–22. <https://doi.org/10.34757/0234-0623.2023.35.5.001> <https://elibrary.ru/rahdca> (in Russian)
- Manus J.M. Obepine, the French system for detecting SARS-CoV-2 from wastewater. *Rev. Francoph. Lab*. 2022; (542): 17. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(22\)00163-0](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(22)00163-0) <https://elibrary.ru/ijjjqq> (in French)
- Courbariaux M., Cluzel N., Wang S., Maréchal V., Moulin L., Wurtzer S., et al. A Flexible smoother adapted to censored data with outliers and its application to SARS-CoV-2 monitoring in wastewater. *Front. Appl. Math. Stat*. 2022; 8: 836349. <https://doi.org/10.3389/fams.2022.836349>
- Boni M., Gorgé O., Mullot J.U., Wurtzer S., Moulin L., Maday Y., et al. The French Armed Forces Biomedical Research Institute (IRBA) and wastewater-based epidemiology: Applicability and relevance in armed forces. *Bull. Acad. Natl. Med*. 2022; 206(8): 1011–21. <https://doi.org/10.1016/j.banm.2022.04.025> <https://elibrary.ru/mtfggu> (in French)
- Melnikov O.A., Bolekhan V.N., Kraevoy S.A. Prospects for applying the "wastewater epidemiology" method to identify biological threats on Arctic vessels. In: *Proceedings of the XV International Scientific Conference "Multidisciplinary Clinic of the XXI Century. Innovations and Best Practices – 2026"*. St. Petersburg; 2026: 102–5. (in Russian)

Сведения об авторах

Мельников Олег Александрович, вед. специалист, ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: omelnikov@cspfmba.ru

Жернов Юрий Владимирович, доктор мед. наук, профессор РАН, директор НИИ ЭЧигОС им. А.Н. Сысина ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: YZhernov@cspfmba.ru

Болехан Василий Николаевич, доктор мед. наук, доцент, директор ФИАЦ ММБР ФМБА России ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: vbolekhan@cspfmba.ru

Краевой Сергей Александрович, канд. мед. наук, первый зам. генерального директора ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: skraevoy@cspfmba.ru

Юдин Сергей Михайлович, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва, Россия. E-mail: Yudin@cspfmba.ru

About the authors

Oleg A. Melnikov, leading specialist, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation E-mail: omelnikov@cspfmba.ru

Yury V. Zhernov, DSc (Medicine), professor, director, A.N. Sytin Research Institute of Human ecology and Environmental Health, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8734-5527> E-mail: YZhernov@cspfmba.ru

Vasily N. Bolekhan, DSc (Medicine), associate professor, director, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2627-5534> E-mail: vbolekhan@cspfmba.ru

Sergey A. Kraevoy, PhD (Medicine), first deputy general director, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1775-9235> E-mail: skraevoy@cspfmba.ru

Sergey M. Yudin, DSc (Medicine), professor, general director, Center for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7942-8004> E-mail: Yudin@cspfmba.ru