



DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-3-515-526

EDN: DQTIKY

УДК 504.064

Научная статья / Research article

Вопросы комплексного внедрения распределенных сенсорных сетей и технологий интернета вещей для мониторинга окружающей среды в целях обеспечения экологической безопасности

А.В. Гусев^{1,2}  , М.А. Шахрамьян^{1,3}¹Российский государственный социальный университет, Москва, Российская Федерация²ООО «Сенсоматика», Москва, Российская Федерация³Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Российская Федерация gusevandree2015@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования — разработка критериального аппарата для оценки эффективности комплексных систем экологического мониторинга, объединяющих распределенные сенсорные сети (РСС) и технологии Интернета вещей (IoT) для контроля водной и воздушной сред. Объектом выступают архитектуры интегрированных систем, совмещающие стационарные и мобильные измерительные узлы. Методология опирается на системный и многокритериальный анализ: технологические (плотность сети, стабильность датчиков), информационные (пространственная репрезентативность, пригодность для цифровых двойников), экономические (совокупная стоимость владения, предотвращенный ущерб) и нормативные группы критериев. Проведен обзор международного опыта, выявивший разрыв между возможностями IoT-сенсоров и регуляторными требованиями. Предложена трехуровневая архитектура — от полевого сбора данных до облачной платформы цифровых двойников, формирующей тепловые карты относительно предельно допустимых концентраций (ПДК). Основной вывод: ключевые препятствия к внедрению носят не столько технологический, сколько нормативно-методический характер. Показано, что плотная сеть недорогих датчиков позволяет сократить «слепое время» обнаружения утечек почти вдвое, подтверждая ценность синергетического эффекта перед эпизодическими замерами. Предложенная система критериев образует методическую основу для обоснования и аудита проектов цифрового мониторинга, способствуя переходу к предиктивной модели управления экологическими рисками.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, распределенные сенсорные сети, интернет вещей, комплексный экологический контроль, цифровые двойники, оценка эффективности

Вклад авторов. Гусев А.В. — концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследования, разработка программного обеспечения, визуализация

© Гусев А.В., Шахрамьян М.А., 2026

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

и анализ полученных данных, написание, рецензирование и редактирование рукописи. *Шахрамьян М.А.* — создание модели исследования, научное руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Заявление о доступности данных. Все данные, полученные в ходе этого исследования, включены в опубликованную статью.

История статьи: поступила в редакцию 16.12.2025; доработана после рецензирования 14.01.2026; принята к публикации 12.02.2026.

Для цитирования: Гусев А.В., Шахрамьян М.А. Вопросы комплексного внедрения распределенных сенсорных сетей и технологий интернета вещей для мониторинга окружающей среды в целях обеспечения экологической безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 3. С. 515–526. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-3-515-526> EDN: DQTIKY

Issues of comprehensive implementation of distributed sensor networks and internet of things technologies for environmental monitoring to ensure ecological safety

Andrey V. Gusev^{1,2} , Mikhail A. Shakhramanyan^{1,3}

¹*Russian State Social University, Moscow, Russian Federation*

²*Sensomatics LLC, Moscow, Russian Federation*

³*Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

 gusevand2015@yandex.ru

Abstract. The study aims to develop a criteria framework for assessing the effectiveness of integrated environmental monitoring systems that combine distributed sensor networks (DSN) and Internet of Things (IoT) technologies for water and air quality control. The object of research is the architecture of integrated systems merging stationary and mobile measurement nodes. The methodology employs systemic and multi-criteria analysis across four groups: technological (network density, sensor stability), informational (spatial representativeness, suitability for digital twins), economic (total cost of ownership, prevented damage), and regulatory. A review of international experience revealed a gap between IoT sensor capabilities and regulatory requirements. A three-level architecture is proposed — from field data collection to a cloud platform of digital twins that generates heat maps normalized to permissible exposure limits. The main conclusion: key barriers are primarily normative and methodological rather than technological. A dense network of low-cost sensors has been shown to cut the “blind time” of leak detection nearly in half, confirming the value of synergistic effect over episodic measurements. The proposed criteria system provides a methodological basis for substantiating

and auditing digital monitoring projects, facilitating the transition to a predictive environmental risk management model.

Keywords: environmental monitoring, distributed sensor networks, Internet of Things (IoT), comprehensive environmental control, digital twins, efficiency assessment.

Authors' contribution. *A.V. Gusev* — conceptualization, development of research methodology, conduct of research, development of software, visualization and analysis of the obtained data, writing, reviewing, and editing of the manuscript. *M.A. Shakhramanyan* — creation of the research model, scientific management of the research. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. No generative artificial intelligence technologies were used in the creation of this article.

Data availability. All data obtained during this study are included in the published article.

Article history: received 16.12.2025; revised 14.01.2026; accepted 12.02.2026.

For citation: Gusev AV, Shakhramanyan MA. Issues of comprehensive implementation of distributed sensor networks and internet of things technologies for environmental monitoring to ensure ecological safety. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(3):515–526. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-3-515-526> EDN: DQTIKY

Введение

Актуальность разработки и внедрения комплексных систем экологического мониторинга, основанных на сквозных цифровых технологиях, обусловлена растущей антропогенной нагрузкой и необходимостью перехода к предиктивной модели управления экологическими рисками. Традиционные методы контроля, опирающиеся на эпизодические точечные измерения, не обеспечивают необходимой пространственно-временной детализации данных для оперативного реагирования и прогнозирования. В этом контексте объединение технологий распределенных сенсорных сетей (РСС) и интернета вещей (IoT) открывает принципиально новые возможности для создания непрерывных цифровых образов состояния окружающей среды (цифровых двойников). Однако массовое внедрение таких решений сдерживается не только технологическими сложностями, но и отсутствием унифицированных методик оценки их комплексной эффективности с точки зрения достижения целевых показателей экологической безопасности.

Настоящее исследование направлено на разработку и апробацию критериального аппарата для оценки эффективности внедрения архитектур, интегрирующих РСС для мониторинга водной и воздушной сред на единой IoT-платформе. Для достижения поставленной цели в работе решается ряд взаимосвязанных задач, включающих синтез архитектуры интегрированной системы, разработку системы многокритериальной оценки, анализ и система-

тизацию барьеров внедрения, а также иллюстрацию работы ключевых компонентов системы. Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе, который объединяет технические, экономические и нормативные аспекты оценки, с особым фокусом на проблеме интеграции разнородных данных и их пригодности для построения динамических цифровых двойников окружающей среды. Работа логически развивает и конкретизирует положения диссертационного исследования, посвященного синтезу и анализу систем мониторинга с использованием цифровых двойников и искусственного интеллекта.

Материалы и методы

Теоретическая и нормативная база

Эволюция систем экологического мониторинга демонстрирует четкий тренд от централизованных систем сбора аналоговых данных к распределенным, интеллектуальным сетевым решениям. Современный этап характеризуется доминированием беспроводных сенсорных сетей (WSN), которые стали отправной точкой для интернета вещей, формируя распределенную сенсорную сеть. Ключевыми источниками развития выступают уменьшение габаритов и снижение стоимости аппаратных платформ, рост энергоэффективности сенсоров и появление специализированных протоколов связи (таких как LoRaWAN, NB-IoT и др.), разработанных специально для устройств с батарейным питанием и малым трафиком [1].

Анализ международного опыта и научных публикаций позволяет выделить несколько ключевых тенденций. Во-первых, наблюдается рост числа развернутых городских и промышленных сетей мониторинга, например, для контроля качества воздуха в Сингапуре или выбросов метана в нефтегазовой отрасли [2]. Во-вторых, исследования все чаще фокусируются на объединении данных различных пространственных масштабов — от городского уровня до уровня здания и персонального воздействия [3–6]. Однако эти исследования зачастую ведутся изолированно, что создает разрыв в данных и препятствует формированию целостной картины. В-третьих, критическим вызовом, отмеченным в международных обзорах, является отсутствие единых стандартов, регламентирующих, что измерять, где, с какой частотой и с каким допустимым качеством измерений, особенно для данных, претендующих на интеграцию в государственные системы поддержки принятия решений [7].

Стратегическое значение внедрения IoT-систем подчеркивается ужесточающейся глобальной регуляторной средой, такой как Регламент ЕС 2024/1787 по метановым выбросам или требования Агентства по охране окружающей среды США, которые делают акцент на современных методах обнаружения и измерений. В России развитие данного направления стимулируется нацио-

нальным проектом «Экология»¹ и «Стратегией цифровой трансформации отрасли экологии»². Отечественные разработки включают как пилотные проекты коммерческих компаний, так и научные исследования в области создания цифровых двойников для оценки состояния водных объектов³. Однако нормативная база, регламентирующая мониторинг, остается ориентированной преимущественно на данные, полученные с помощью официальных, поверенных методов измерений. Это создает фундаментальный правовой барьер для интеграции данных с массовых IoT-сенсоров в систему государственного экологического контроля, что актуализирует задачу разработки новых методик валидации [8].

Методология оценки эффективности

Для преодоления фрагментарности оценок в данном исследовании применяется системный подход, рассматривающий комплексную систему мониторинга как целостный объект с четко выделенными взаимодействующими уровнями. В качестве ядра методики используется критериальный анализ, структурированный по четырем группам критериев, которые представлены в таблице.

Технологические критерии включают оценку плотности сети, энергоэффективности узлов и надежности связи с использованием как проводных (например, промышленный стандарт Modbus RS-485 для стационарных постов), так и различных беспроводных протоколов, выбор которых определяется конкретными требованиями приложения (дальность, энергопотребление, пропускная способность) [9].

Информационные критерии фокусируются на качестве данных и их пригодности для построения цифровых двойников, что требует применения методов пространственной интерполяции (кригинг, IDW) и алгоритмов машинного обучения для верификации и слияния разнородных потоков данных [10; 11].

Экономические критерии направлены на анализ совокупной стоимости владения (ТСО) и потенциального возврата на инвестиции (ROI), учитывающего как прямую экономию на традиционном мониторинге, так и стоимостную оценку предотвращенного экологического ущерба.

¹ Национальный проект «Экология» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/?ysclid=mrp5gi2j4675201776 (дата обращения: 11.11.2025).

² Распоряжение Правительства РФ от 15 декабря 2023 г. № 3664-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации отрасли экологии и природопользования, относящейся к сфере деятельности Министерства природных ресурсов и экологии РФ». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312250116?ysclid=mrp5k5x79j989815121> (дата обращения: 11.11.2025).

³ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025669365 Российская Федерация. Программа автоматизированного построения полей текущих концентраций загрязняющих веществ в водных объектах на основе данных со станций экологического мониторинга : заявл. 16.07.2025 : опублик. 25.07.2025 / А.В. Гусев.

Система критериев оценки эффективности комплексного внедрения

Группа критериев	Ключевые параметры и показатели	Методы и подходы к оценке
Технологические	Плотность покрытия сети. Точность и стабильность датчиков: отклонение от эталона, время дрейфа. Надежность связи: коэффициент готовности системы, уровень потерь данных. Поддержка различных протоколов Энергоавтономность: срок работы от автономного источника	Сравнительный анализ с эталонным оборудованием. Методы оптимизации размещения узлов сети. Полевые испытания и долгосрочные проекты
Информационные	Оперативность данных: задержка между измерением и доступностью (латентность) Пространственная репрезентативность. Пригодность для моделирования: качество данных как входных параметров для цифровых двойников и прогнозных моделей (рассеивания загрязнений)	Методы интерполяции Алгоритмы машинного обучения
Экономические	CAPEX (капитальные затраты): стоимость аппаратного обеспечения, развертывания сети. OPEX (эксплуатационные затраты): обслуживание, калибровка, энергопотребление, передача данных. Стоимость владения (TCO): совокупные затраты за жизненный цикл. Потенциальная экономия: оценка предотвращенного ущерба от оперативного реагирования	Анализ «затраты — эффективность» (Cost-Effectiveness Analysis, CEA). Моделирование возврата на инвестиции (ROI) с учетом факторов риска
Нормативные	Соответствие требованиям контролирующих органов: возможность верификации данных для официального учета. Интегрируемость: совместимость с государственными информационными системами	Экспертный анализ нормативных документов. Разработка и апробация методик валидации данных

Источник: составлено А.В. Гусевым.

Criteria system for evaluating the effectiveness of comprehensive implementation

Criteria group	Key parameters and indicators	Assessment methods and approaches
Technological	Network coverage density. Sensor accuracy and stability: deviation from reference, drift time. Communication reliability: system availability factor, data loss rate. Support for various protocols. Energy autonomy: battery life	Comparative analysis with reference equipment. Methods for optimizing network node placement. Field tests and long-term projects
Informational	Data timeliness: delay between measurement and availability (latency). Spatial representativeness. Suitability for modeling: data quality as input parameters for digital twins and predictive models (pollutant dispersion)	Interpolation methods. Machine learning algorithms
Economic	CAPEX (capital expenditures): cost of hardware, network deployment. OPEX (operating expenses): maintenance, calibration, energy consumption, data transmission. Total Cost of Ownership (TCO): total costs over the lifecycle. Potential savings: assessment of prevented damage due to rapid response	Cost-Effectiveness Analysis (CEA). ROI modeling with consideration of risk factors
Regulatory	Compliance with regulatory requirements: possibility of data verification for official accounting. Integrability: compatibility with government information systems	Expert analysis of regulatory documents. Development and testing of data validation methodologies

Source: compiled by A.V. Gusev.

Нормативные критерии оценивают соответствие выходных данных системы требованиям контролирующих органов и возможность их интеграции в государственные информационные системы, такие как ФГИС «Экомониторинг»⁴.

Результаты и обсуждение

Применение разработанной системы критериев позволяет перейти к структурированной оценке. Технологическая и информационная эффективность такой системы кардинально отличается от традиционного подхода. В отличие от разовых замеров, результаты которых становятся доступны через несколько суток, распределенная сеть даже относительно недорогих датчиков обеспечивает непрерывный мониторинг в режиме, близком к реальному времени. Это позволяет не только фиксировать факт загрязнения, но и отслеживать динамику и выявлять источник. Исследования в нефтегазовой отрасли показывают, что правильная конфигурация сенсорной сети позволяет сократить так называемое «слепое время» — период между утечкой и ее обнаружением — почти вдвое [2]. Таким образом, ценность заключается не в абсолютной точности отдельного бюджетного датчика, а в синергетическом эффекте от плотной сети, обеспечивающей репрезентативное покрытие района или акватории. Данный этап реализуется с учетом факторов равномерности покрытия, особенностей рельефа и наличия потенциальных источников загрязнения [12]. Получаемая картина распределения загрязнений, даже с определенной погрешностью, объективно более ценна, чем отсутствие данных в промежутках между редкими контрольными точками (рис. 1).

На основе системного анализа на рис. 2 предложена многоуровневая архитектура, интегрирующая сбор данных о водной и воздушной средах.

Верхний полевой уровень объединяет стационарные и мобильные посты с датчиками, использующими стандартизированные интерфейсы (включая Modbus RS-485) для надежной передачи данных. Сетевой уровень обеспечивает агрегацию информации с применением энергоэффективных протоколов, что критически важно для работы в удаленных или экстремальных условиях. Нижний платформенный уровень, основанный на облачных технологиях, выступает ядром системы, где с помощью методов пространственной интерполяции и машинного обучения создаются и актуализируются цифровые двойники, визуализируемые в виде нормализованных относительно ПДК тепловых карт [13].

⁴ Федеральная государственная информационная система состояния окружающей среды — ФГИС «Экомониторинг» // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/is/fgis-ekomonitoring/?ysclid=mrp61quth906763996> (дата обращения: 15.12.2025).



Рис. 1. Сравнительный анализ подходов к мониторингу
Источник: составлено А.В. Гусевым.

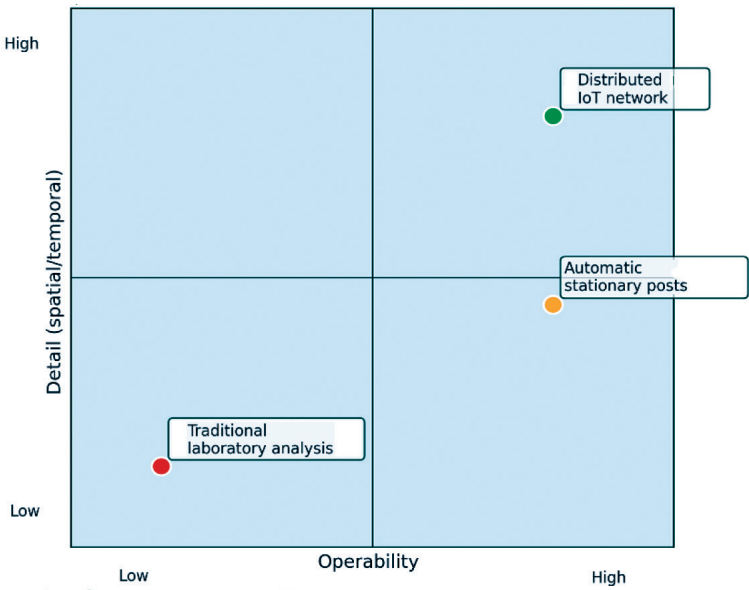


Figure 1. Comparative analysis of monitoring approaches
Source: compiled by A.V. Gusev.

Проведенный анализ позволяет классифицировать ключевые барьеры комплексного внедрения. К технико-метрологическим относятся нестабильность показаний низкобюджетных сенсоров и сложности обеспечения длительного энергоснабжения в удаленных локациях. Информационные барьеры связаны с проблемами обработки больших данных, их верификации

и объединения из разнородных источников. Наиболее значимым является нормативно-правовой барьер: данные с IoT-сенсоров, не входящих в государственный реестр средств измерений, не могут служить официальным основанием для санкций, а могут являться только «сигнальными» устройствами. Преодоление этого барьера видится в развитии гибридных моделей, где сеть IoT выполняет функции непрерывного скрининга и оперативного оповещения [14; 15]. Для подтверждения и принятия административных решений привлекаются либо поверенные приборы, либо приборы-аспираторы, которые на основе поступившей информации о превышении нормативов качества смогут в автоматическом режиме отбирать пробы воды и воздуха с последующим лабораторным анализом. Организационно-экономические барьеры включают высокие первоначальные затраты и межведомственную разобщенность.

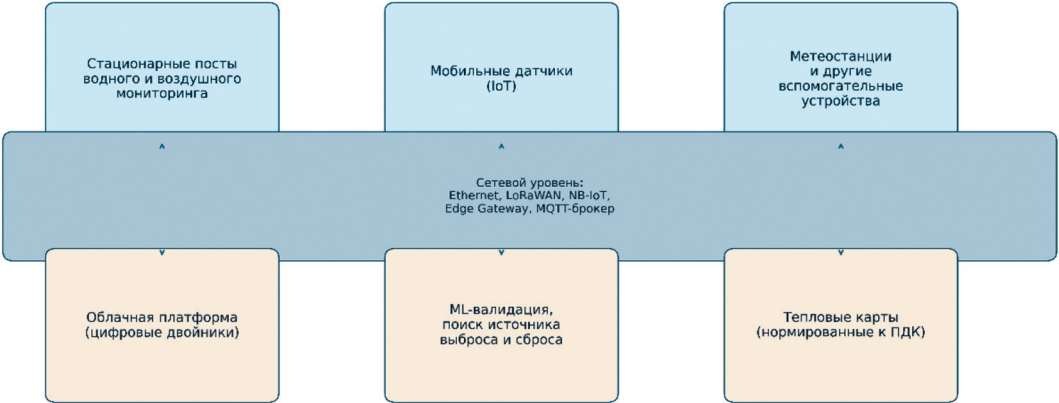


Рис. 2. Архитектура интегрированной системы комплексного экологического мониторинга
Источник: составлено А.В. Гусевым.

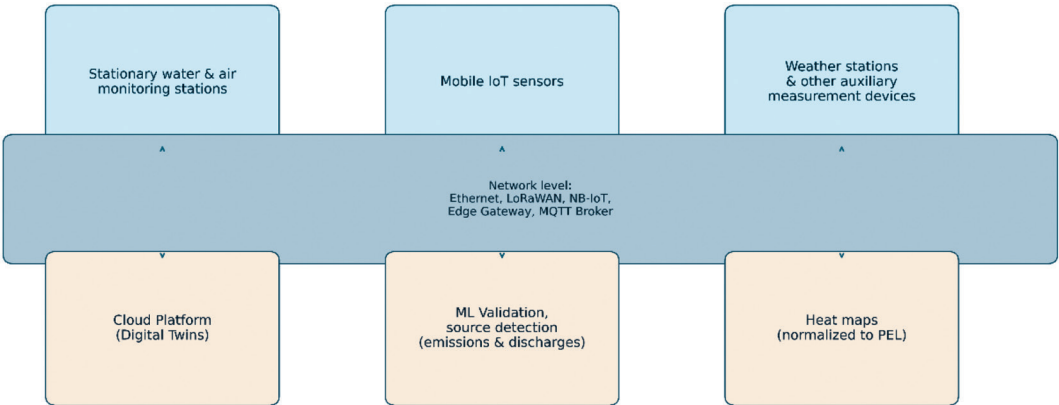


Figure 2. Comparative analysis of monitoring approaches
Source: compiled by A.V. Gusev.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что комплексное внедрение распределенных сенсорных сетей и технологий интернета вещей обладает значительным трансформационным потенциалом для экологического мониторинга. Предложенная система критериев оценки формирует методическую основу для обоснования и аудита подобных проектов, объединяя ранее разрозненные технологические, экономические и нормативные аспекты.

Ключевым выводом является констатация того, что главные препятствия носят не столько технологический, сколько нормативно-методический характер. Технологии развиваются опережающими темпами по сравнению с адаптацией к ним регуляторной среды и методов оценки. В этом контексте важность подобных научных исследований сложно переоценить. Именно они обеспечивают необходимый научно-методический фундамент для преодоления существующего разрыва. Работы, направленные на разработку архитектур гибридных систем, алгоритмов валидации данных сенсорных сетей и экономических моделей оценки их эффективности, имеют критическое прикладное значение. Они создают инструментарий, необходимый регуляторам для обновления нормативной базы, а бизнесу — для обоснования инвестиций в новые технологии в условиях растущего давления глобальных экологических требований и климатических целей.

К перспективным направлениям дальнейших исследований относятся разработка стандартизированных протоколов объединения и передачи данных, создание правовых механизмов для учета данных IoT-мониторинга, а также углубленное экономическое моделирование жизненного цикла комплексных систем для различных отраслей. Продолжение этих исследований является необходимым условием для формирования нового поколения инструментов экологической безопасности, обеспечивающих обоснованность, оперативность и предиктивность управленческих решений.

Список литературы / References

- [1] Abdulhussain SH., Mahmmmod BM, Alwhelat A, Shehada D, Shihab ZI, Mohammed HJ, Abdulameer TH, Alsabah M, Fadel MH, Ali SK, Abbood GH, Asker ZA, Hussian A. A comprehensive review of sensor technologies in IoT: technical aspects, challenges, and future directions. *Computers*. 2025;14(8):342–356. <https://doi.org/10.3390/computers14080342> EDN: FZTYVS
- [2] Van Kessel TG, Ramachandran M, Klein LJ, Nair D, Hinds N, Hamann HF, Sosa NE. Methane leak detection and localization using wireless sensor networks for remote oil and gas operations. *2018 IEEE SENSORS, New Delhi, India*. 2018:1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2018.8589585>
- [3] Pantelic J, Nazarian N, Miller C, Meggers F, Lee JaKW, Licina D. Transformational IoT sensing for air pollution and thermal exposures. *Frontiers in Built Environment*. 2022;8:971523. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.971523> EDN: DJXNXM

- [4] Maksoud N, Mohamed MM. Digital twins applications in the water sector. *AIP Conference Proceedings*. 2023;2928:160014. <https://doi.org/10.1063/5.0170525>
- [5] Tao F., Zhang H., Liu A., Nee AYC. Digital twin in industry: State-of-the-Art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019;15(4):2405–2415. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>
- [6] Yusuf A, O'Flynn D, White B, Holland L, Parle-McDermott A, Lawler J, McCloughlin T, Harold D, Huerta B, Regan F. Monitoring of emerging contaminants of concern in the aquatic environment: a review of studies showing the application of effect-based measures. *Analytical Methods*. 2021;13(43):5120–5143. <https://doi.org/10.1039/d1ay01184g> EDN: SHKDBT
- [7] Alaerjan A. Towards sustainable distributed sensor networks: an approach for addressing power limitation issues in WSNs. *Sensors*. 2023;23(2):975. <https://doi.org/10.3390/s23020975> EDN: JPTHYY
- [8] Kozłowski T, Noran O., Trevathan J. Designing an evaluation framework for IoT environmental monitoring systems. *Procedia Computer Science*. 2023;219:220–227. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.284> EDN: CXXKAO
- [9] Katie B. Internet of things (IoT) for environmental monitoring. *International Journal of Computing and Engineering*. 2024;6(3):29–42. <https://doi.org/10.47941/ijce.2139> EDN: BIZPFA
- [10] Zaresefat M, Derakhshani R, Griffioen JA. Empirical bayesian kriging, a robust method for spatial data interpolation of a large groundwater quality dataset from the Western Netherlands. *Water*. 2024;16(18):2581. <https://doi.org/10.3390/w16182581> EDN: YRPPUM
- [11] Chen J, Chen S, Fu R, Li D, Jiang H, Wang C, Peng Y, Jia K, Hicks BJ. Remote sensing big data for water environment monitoring: current status, challenges, and future prospects. *Earth's Future*. 2022;10(2):e2021EF002289. <https://doi.org/10.1029/2021EF002289>
- [12] Gusev AV, Shakhramanyan MA. Development of a software package for determining key parameters of water bodies required for building an environmental monitoring network. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):129–137. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137> EDN: YELZJY
- [13] Isa ARM, Yusoff IM, Rahman RA. Lake Water quality assessment through GIS based interpolation method: a case study of Beris Dam, Kedah, Malaysia. *Trends in Sciences*. 2024;21(4):7333. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7333>
- [14] Mei H, Han P, Wang Y, Zeng N, Liu D, Cai Q, Deng Z, Wang Y, Pan Y, Tang X. Field Evaluation of Low-Cost Particulate Matter Sensors in Beijing. *Sensors*. 2020;20(16):4381. <https://doi.org/10.3390/s20164381> EDN: EPRDDO
- [15] Heintzelman A, Filippelli GM, Moreno-Madriñan MJ, Wilson JS, Wang L, Druschel GK, Lulla VO. Efficacy of Low-Cost Sensor Networks at Detecting Fine-Scale Variations in Particulate Matter in Urban Environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023;20(3):1934. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031934> EDN: CCMGFE

Сведения об авторах:

Гусев Андрей Вячеславович, аспирант, кафедра экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4; ведущий инженер-программист, ООО «Сенсоматика», Российская Федерация, 127247, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 100, стр. 2, этаж 9, пом. 4940. ORCID: 0009-0001-1083-5242; eLIBRARY SPIN-код: 2732-1655. E-mail: gusevandre2015@yandex.ru

Шахрамьян Михаил Андраникович, доктор технических наук, профессор кафедры экологии и природоохранной деятельности, Российский государственный социальный университет, Российская Федерация, 129226, г. Москва, ул. Вильгельма Пика, д. 4; профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 125167, г. Москва, проспект Ленинградский, д. 49/2; eLIBRARY SPIN-код: 6603-6401. E-mail: MASHakhramanyan@fa.ru

Bio notes:

Andrey V. Gusev, Postgraduate Student, Department of Ecology and Environmental Protection, Russian State Social University, 4 Wilhelm Pika St, Moscow, 129226, Russian Federation; Lead Software Engineer, Sensomatics LLC, 100 Dmitrovskoye Shosse, bldg 2, 9th Floor, Room 4940, Moscow, 127247, Russian Federation. ORCID: 0009-0001-1083-5242; eLIBRARY SPIN-code: 2732-1655. E-mail: gusevandrey2015@yandex.ru

Mikhail A. Shakhramanyan, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection, Russian State Social University, 4 Wilhelma Peak St, Moscow, 129226, Russian Federation; Professor of the Department of Life Safety at the Financial University under the Government of the Russian Federation, 49/2 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125167, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 6603-6401. E-mail: MASHakhraman-yan@fa.ru