

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

## ENVIRONMENTAL MONITORING

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137

EDN: YELZJY

УДК 504.064

Научная статья / Research article

### Разработка программного комплекса для определения ключевых параметров водных объектов, необходимых для построения сети экологического мониторинга

А.В. Гусев<sup>1</sup>, М.А. Шахраманьян<sup>2</sup><sup>1</sup>Российский государственный социальный университет, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup>Российский государственный социальный университет, Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Российская Федерация gusevandree2015@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрен инновационный подход к созданию автоматизированной системы мониторинга водных объектов, основанный на современных технологиях дистанционного зондирования и компьютерного зрения. Представленное решение направлено на преодоление ключевых ограничений традиционных методов экологического мониторинга, таких как высокая трудоемкость, субъективность оценок и недостаточная оперативность получения данных. Разработанный программный комплекс реализует трехэтапный алгоритм анализа: автоматическое распознавание водных объектов на спутниковых снимках, расчет их морфометрических характеристик и оптимизированное проектирование сети мониторинговых станций. Особое внимание уделено адаптивности системы к различным типам исходных данных и условиям съемки, что обеспечивает высокую точность результатов даже при работе с низкокачественными изображениями. Описаны математические основы алгоритмов, результаты экспериментальных исследований и практические рекомендации по внедрению. Результаты демонстрируют перспективность применения автоматизированных систем анализа для решения задач экологического мониторинга в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на водные экосистемы.

**Ключевые слова:** проектирование сетей мониторинга, дистанционное зондирование, компьютерное зрение, детектирование водных объектов, автоматизированные системы, водный мониторинг, оптимизация сети наблюдений

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

© Гусев А.В., Шахраманьян 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 и редактирование рукописи. *Шахраманьян М.А.* — создание модели исследования, научное руководство исследованием. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

**История статьи:** поступила в редакцию 02.07.2025; доработана после рецензирования 24.07.2025; принята к публикации 28.11.2025.

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

**Для цитирования:** *Гусев А.В., Шахраманьян М.А.* Разработка программного комплекса для определения ключевых параметров водных объектов, необходимых для построения сети экологического мониторинга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 129–137. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137> EDN: YELZJY

## Development of a software package for determining key parameters of water bodies required for building an environmental monitoring network

Andrey V. Gusev<sup>1</sup>, Mikhail A. Shakhramanyan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Russian State Social University, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Russian State Social University, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

 gusevandre2015@yandex.ru

**Abstract.** This research discusses an innovative approach to creating an automated system for monitoring water bodies based on modern remote sensing and computer vision technologies. The presented solution is aimed at overcoming the key limitations of traditional environmental monitoring methods, such as high labor intensity, subjectivity of assessments and insufficient efficiency of data acquisition. The developed software package implements a three-stage analysis algorithm: automatic recognition of water bodies on satellite images, calculation of their morphometric characteristics and optimized design of a network of monitoring stations. Particular attention is paid to the adaptability of the system to various types of initial data and shooting conditions, which ensures high accuracy of results even when working with low-quality images. The mathematical foundations of the algorithms, the results of experimental studies and practical recommendations for implementation are described. The results demonstrate the promise of using automated analysis systems to solve environmental monitoring problems in the face of increasing anthropogenic load on aquatic ecosystems.

**Keywords:** monitoring network design, remote sensing, computer vision, water body detection, automated systems, water monitoring, optimization of the observation network

**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.

**Article history:** received 02.07.2025; revised 24.07.2025; accepted 28.11.2025.

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

**For citation:** 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. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-129-137> EDN: YELZJY

## Введение

Современные проблемы экологического мониторинга водных объектов требуют новых автоматизированных подходов к сбору и анализу данных. Для эффективного решения проблемы загрязнения водных ресурсов требуется применение современных технологий, включая интеллектуальные системы мониторинга и управления качеством воды [1]. Традиционные методы полевых исследований обладают существенными ограничениями: высокой трудоемкостью, субъективностью оценок, длительным измерением (невозможностью в режиме онлайн определить интересующий параметр) и недостаточной пространственной репрезентативностью. Использование инновационных технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение и Интернет вещей, позволит внедрить автоматизированные системы мониторинга состояния водоемов в реальном времени [2]. В этих условиях особую актуальность приобретают системы дистанционного мониторинга, основанные на машинном детектировании поступающих снимков.

Разработанный программный комплекс решает три ключевые задачи:

- 1) автоматическое определение границ водных объектов;
- 2) расчет морфометрических характеристик (площадь, длина береговой линии, изрезанность береговой линии);
- 3) оптимальное размещение станций мониторинга для последующего позиционирования станций экологического мониторинга с целью построения карт полей текущих концентраций приоритетных показателей.

**Цель исследования** — разработка программного комплекса, позволяющего автоматически определять морфометрические характеристики водных объектов и на основе этого оптимизировать размещение станций водного экологического мониторинга.

Особенностью предлагаемого решения является его комплексный характер — от первичной обработки спутниковых или картографических снимков и до выдачи готовых рекомендаций по размещению станций мониторинга.

## Материалы и методы

Основу методологии составляет многоуровневый анализ данных дистанционного зондирования. На первом этапе система автоматически классифицирует тип исходного изображения, определяя его как спутниковый снимок

или цифровую карту. Для каждого типа применяются специализированные алгоритмы обработки, учитывающие особенности цветопередачи и пространственного разрешения.

Этап предварительной обработки классифицированных изображений включает их коррекцию с учетом атмосферных искажений, радиометрическую калибровку и геометрическую привязку. Для устранения влияния облачности применяется адаптивный алгоритм маскирования облачного покрова, основанный на анализе спектральных характеристик в ближнем инфракрасном диапазоне. Особое внимание уделяется компенсации эффектов солнечной засветки и отражений от водной поверхности, которые могут существенно исказить результаты автоматизированного анализа.

Процедура сегментации водной поверхности реализована с использованием алгоритма NDWI (Normalized Difference Water Index) [3]. Алгоритм модифицирован дополненным морфологическим анализом и методами машинного обучения. Система автоматически адаптирует пороговые значения для выделения водных объектов в зависимости от сезонных особенностей и региональных характеристик территории.

Такие модели успешно применяются для задач классификации, детекции объектов и сегментации на спутниковых изображениях в различных регионах мира [4]. Они способны учитывать сложные пространственные и спектральные особенности изображений, обучаться на больших объемах данных и адаптироваться к разнообразным условиям съемки [4].

Расчет морфометрических параметров осуществляется с учетом пространственного разрешения исходных данных и топографических особенностей местности. Помимо базовых характеристик (площадь, длина береговой линии) система вычисляет комплекс производных показателей:

- 1) коэффициент изрезанности береговой линии;
- 2) индекс компактности водного зеркала;
- 3) градиенты глубины прибрежной зоны;
- 4) степень фрагментации акватории.

Эти параметры имеют важное значение для последующего моделирования гидрологических процессов и оценки экологического состояния водоема.

Заключительный этап — проектирование оптимальной сети мониторинговых станций. Данный этап реализуется с учетом факторов равномерности покрытия акватории, особенностей рельефа береговой линии и наличия потенциальных источников загрязнения.

Программная реализация комплекса разработана на языке Python, что обеспечивает высокую гибкость, производительность и широкие возможности интеграции с другими технологиями. Для обработки изображений и решения задач компьютерного зрения использовались специализированные библиотеки, такие как OpenCV (реализация алгоритмов детектирования, фильтрации и морфологического анализа) и Scikit-image (расширенные методы сегмента-

ции и обработки изображений). Для работы с геоданными применялись мощные инструменты геопространственного анализа, включая GDAL (чтение, запись и преобразование растровых и векторных данных) и Geopandas (манипуляции с геометрическими объектами и пространственные запросы). Архитектура системы предусматривает возможность экспорта результатов в форматах, совместимых с отраслевыми информационными системами.

Упрощенная схема программного комплекса представлена на рис. 1.

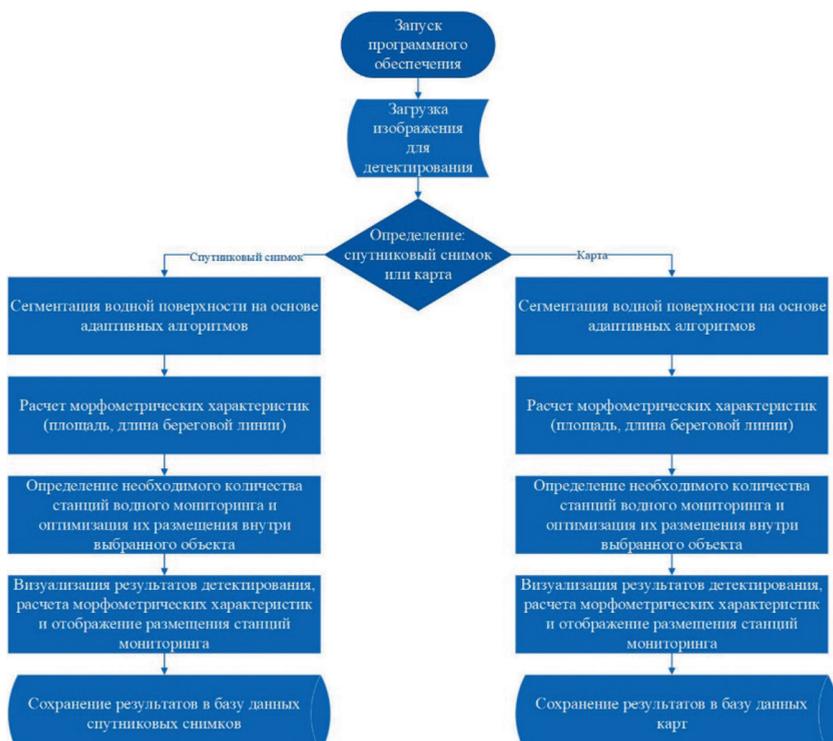


Рис. 1. Блок-схема работы программно-аппаратного комплекса

Источник: составлено А.В. Гусевым.

## Результаты и обсуждение

Экспериментальная апробация разработанного программного комплекса проводилась на разнообразных водных объектах, включая природные озера, водохранилища и речные системы. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность предложенных алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования и расчета ключевых параметров водных экосистем.

Точность автоматического определения границ водных объектов достигает в среднем 96 %. Наибольшие расхождения наблюдаются в зонах с интенсивной водной растительностью и на участках со сложной морфометрией береговой линии. Анализ этих расхождений показал, что они преимущественно связаны с особенностями спектральных характеристик прибрежных биотопов

и ограничениями пространственного разрешения используемых спутниковых снимков. В таблице приведено сравнение автоматизированных результатов расчета и действительных характеристик водных объектов.

**Сравнение результатов работы программного комплекса и действительных характеристик водных объектов**

Водный объект	Площадь из открытых источников, км <sup>2</sup>	Площадь в результате работы программного комплекса, км <sup>2</sup>	Относительная средняя погрешность, %	Время обработки, с
Ямкинское озеро	0,098	0,096	2,1	0,4
Черноголовское водохранилище	0,28	0,27	3,6	0,9
Озеро Серемо	19,62	20,37	3,7	1,7
Озеро Лаца	340	361	6,2	4,3

*Источник:* составлено А.В. Гусевым по результатам работы программного комплекса.

Расчет морфометрических параметров водных объектов показал высокую воспроизводимость результатов. Погрешность определения площади водного зеркала не превышает 6–7 %, даже для объектов площадью более 100 км<sup>2</sup>. При этом точность расчетов существенно зависит от качества исходных данных и их пространственного разрешения. Для снимков высокого разрешения (менее 5 м на пиксель) достигается наилучшая точность, тогда как при работе с материалами среднего разрешения возможны некоторые погрешности в определении сложных контуров береговой линии.

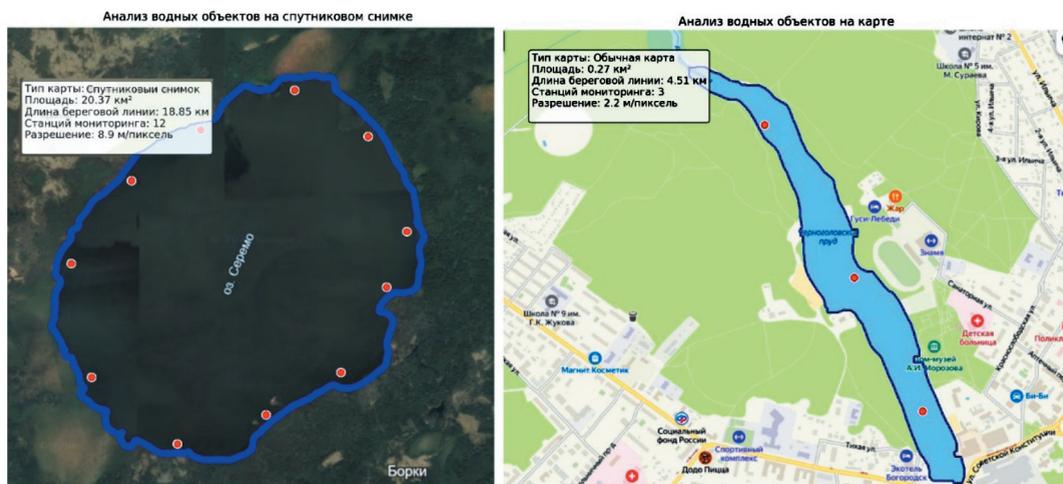
Полученные результаты демонстрируют не только техническую эффективность алгоритмов, но и их значительный потенциал для интеграции в систему государственного мониторинга водных объектов. Особую ценность разработка представляет для решения задач, связанных с оперативным выявлением изменений морфометрических характеристик водоемов — ключевого параметра в оценке антропогенного воздействия на водные экосистемы. Так, автоматизированный расчет коэффициента изрезанности береговой линии позволяет прогнозировать зоны аккумуляции загрязняющих веществ, что критически важно при проектировании наблюдательных сетей, в том числе в рамках развития и совершенствования ФГИС «Экомониторинг»<sup>1</sup>. Сопоставление данных, полученных с помощью разработанного комплекса, с материалами «витрины данных» Росводресурса<sup>2</sup> (в частности с динамикой изменения индекса загрязнения вод ИЗВ) показало высокую степень корреляции при анализе сезонных колебаний качества воды в тестовых водоемах. Это подтверждает возможность использования системы для верификации офици-

<sup>1</sup> ФГИС «Экомониторинг». URL: <https://ecomonitoring.mnr.gov.ru/public/lists/main> (дата обращения: 21.07.2025).

<sup>2</sup> Открытые данные Федерального агентства водных ресурсов // ГИС ЦП Вода. URL: <https://gis.favr.ru/web/guest/opendata> (дата обращения: 23.07.2025).

альных показателей мониторинга, особенно в части пространственного распределения точек отбора проб. Такая конвергенция данных свидетельствует о том, что предлагаемое решение способно не только дублировать, но и дополнять существующие методы наблюдений за счет учета морфодинамических особенностей конкретного водного объекта.

Особого внимания заслуживают результаты автоматизированного проектирования сети мониторинговых станций. Предложенный алгоритм учитывает равномерность пространственного распределения точек отбора проб. Это позволяет существенно повысить репрезентативность получаемых данных при одновременном сокращении количества необходимых станций. Результаты работы программного комплекса представлены на рис. 2.



**Рис. 2.** Результат работы Программы для автоматизированного расчета оптимального количества и пространственного распределения систем экологического мониторинга водных объектов на изображениях озера Серемо и Черноголовского водохранилища

Источник: составлено А.В. Гусевым по: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025667416 Российская Федерация. Программа для автоматизированного расчета оптимального количества и пространственного распределения систем экологического мониторинга водных объектов : заявл. 02.07.2025 : опубл. 04.07.2025 / А. В. Гусев. EDN FNRHNS.

Обсуждение полученных результатов выявило несколько перспективных направлений для дальнейшего совершенствования системы. В частности, особый интерес представляет разработка математических моделей полей текущих концентраций на основе данных с постов водного экологического мониторинга. Также перспективным представляется создание алгоритмов автоматической адаптации мониторинговой сети к изменяющимся условиям.

## Заключение

Проведенные исследования подтвердили эффективность разработанного программного комплекса для решения задач экологического мониторинга водных объектов. Основное преимущество предложенного подхода заключа-

ется в комплексном решении всех этапов проектирования мониторинговой сети — от обработки исходных изображений и классификации их на спутниковые снимки и обычные карты до выдачи конкретных рекомендаций по размещению и количеству станций наблюдения.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой точности автоматического определения ключевых параметров водных объектов. Точность выделения границ и расчета морфометрических характеристик находится на уровне, достаточном для решения большинства практических задач экологического мониторинга. Особенно важно, что система демонстрирует стабильные результаты при работе с различными типами водных объектов и в разных природных условиях.

Разработанные алгоритмы оптимизации сети мониторинга позволяют существенно повысить эффективность организации наблюдений. Программная реализация этих алгоритмов показала возможность значительного сокращения количества станций при одновременном улучшении пространственного охвата и репрезентативности данных. Это создает хорошие предпосылки для более широкого применения системы в практике экологического контроля и управления водными ресурсами.

Практическая значимость исследования заключается в создании инструмента, способного существенно модернизировать процедуру сбора первичных данных для государственной системы мониторинга. Разработанный комплекс устраняет существующий разрыв между технологиями дистанционного зондирования и нормативными требованиями к наблюдениям за водными объектами. Его внедрение в практику гидрологических служб позволит перевести на качественно новый уровень решение таких задач, как формирование ежегодных докладов «О состоянии и использовании водных ресурсов»<sup>3</sup>, где особую сложность традиционно представляет обработка пространственно распределенных данных. Перспективным направлением развития системы видится создание модуля автоматического формирования отчетных карт-схем, соответствующих требованиям Методических указаний РД 52.24.643-2002<sup>4</sup>. Это открывает возможности для сквозной автоматизации процесса — от анализа спутниковых снимков до внесения данных в государственный водный реестр.

### Список литературы

- [1] Яковлев В. И. Актуальность применения компьютерного зрения при обнаружении загрязнений на водных объектах // Цифровое будущее науки и образования: тренды и перспективы. 2024. С. 272–275. EDN: CASPWG

<sup>3</sup> Государственные доклады Федерального агентства водных ресурсов. URL: <https://voda.gov.ru/regulatory/gosudarstvennye-doklady/> (дата обращения 18.07.2025).

<sup>4</sup> Руководящий документ 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/10d/4293831806.pdf> (дата обращения 18.07.2025).

- [2] Овчинникова Н.Г., Ниценко И.А. Использование беспилотных летательных аппаратов в мониторинге водных объектов // Экономика и экология территориальных образований. 2022. Т.6. № 1. С. 87–94. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2022-6-1-87-94> EDN: OEWGGLA
- [3] Zhou Z., Rahman Siddiquee M.M., Tajbakhsh N., Liang J. UNet++: A nested U-Net architecture for medical image segmentation // Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support. 2018. P. 3–11. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00889-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00889-5_1)
- [4] Gaipnazarov R.T., Azimov Sh.O<sup>1</sup>., Choriyev A.A., Mamatqulov M.Y. Сверточные нейронные сети для дистанционного мониторинга водных ресурсов и экосистем Приаралья // Медицина, педагогика и технология: теория и практика. 2025. Т. 3. Вып. 5. С. 131–144. URL: <https://inlibrary.uz/index.php/mpttp/article/view/100879>

### 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; инженер-программист, ООО «БЕР», 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

Шахраманьян 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 «Безопасность жизнедеятельности», Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, 125167, г. Москва, проспект Ленинградский, д. 49/2; eLIBRARY SPIN-код: 6603-6401. E-mail: MASHakhramanya@fa.ru