

УДК 004:504.75  
DOI 10.17513/snt.40774



CC BY 4.0

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

<sup>1</sup>Гидаятзаде С. Г. ORCID ID 0000-0002-1170-0358, <sup>2</sup>Аммосова Н. В.,

<sup>1</sup>Абдуллаева Г. Г. ORCID ID 0009-0003-2386-352X

<sup>1</sup>*Институт математики Министерства науки и образования Республики Азербайджан,  
Баку, Республика Азербайджан, e-mail: seyurehidayatada@isi.com;*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Астраханский государственный университет», Астрахань, Российская Федерация*

В условиях нарастающего экологического кризиса и глобальных климатических изменений обеспечение экологической безопасности питьевой воды приобретает особую актуальность. Для Республики Азербайджан проблема рационального использования и охраны водных ресурсов имеет стратегическое значение, особенно в условиях дефицита пресной воды. Целью исследования является выявление путей повышения качества питьевой воды и обеспечения ее экологической безопасности на основе разработки централизованно управляемой интеллектуальной информационной системы мониторинга на примере Джейранбатанского водохранилища. В работе использованы методы системного анализа, обработки и моделирования многомерных временных рядов, дисперсионного анализа (ANOVA) и пост-хок тестирования для выявления статистически значимых различий показателей качества воды. Информационной базой послужили архивные и экспериментальные данные многолетних измерений физико-химических, органолептических и микробиологических показателей. В результате разработана модульная архитектура интеллектуальной системы, включающая блоки мониторинга, обработки данных и принятия решений. Система обеспечивает сбор, систематизацию и анализ данных, формирование прогнозных оценок и поддержку принятия управленческих решений. Проведен сравнительный анализ показателей качества воды с нормативами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Европейского союза (ЕС) и стандартами СНГ, что позволяет выявлять отклонения и оперативно формировать управляющие воздействия.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, мониторинг, искусственное водохранилище, физико-химические, микробиологические свойства, интеллектуальная информационная система, модуль принятия решений

## AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRINKING WATER IN ARTIFICIAL RESERVOIRS

<sup>1</sup>Gidayatzade S. G. ORCID ID 0000-0002-1170-0358, <sup>2</sup>Ammosova N. V.,

<sup>1</sup>Abdullaeva G. G. ORCID ID 0009-0003-2386-352X

<sup>1</sup>*Institute of Mathematics of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,  
Baku, Republic of Azerbaijan, e-mail: seyurehidayatada@isi.com;*

<sup>2</sup>*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Astrakhan State University”, Astrakhan, Russian Federation*

In the context of the growing environmental crisis and global climate change, ensuring the environmental safety of drinking water has become increasingly important. For the Republic of Azerbaijan, the rational use and protection of water resources is of strategic significance, especially under conditions of freshwater scarcity. The aim of the study is to identify ways to improve drinking water quality and ensure its environmental safety through the development of a centrally managed intelligent information monitoring system, using the Jeyranbatan Reservoir as a case study. The study employs methods of system analysis, processing and modeling of multidimensional time series, analysis of variance (ANOVA), and post hoc testing to identify statistically significant differences in water quality indicators. The information base consists of archival and experimental data from long-term measurements of physicochemical, organoleptic, and microbiological parameters. As a result, a modular architecture of an intelligent system has been developed, including monitoring, data processing, and decision-making modules. The system provides data collection, structuring, and analysis, generates predictive assessments, and supports managerial decision-making. A comparative analysis of water quality indicators with the standards of the World Health Organization (WHO), the European Union (EU), and CIS regulations has been carried out, enabling the detection of deviations and the prompt formation of control actions.

**Keywords:** environmental safety, monitoring, artificial reservoir, physico-chemical properties, microbiological properties, intelligent information system, decision-making module

### Введение

Как и во всем мире, сегодня большое внимание уделяется ряду недостаточно изученных, но важных проблем, таких как антропоэкосистема, ноосферные экологические вопросы, стабилизация состояния окружающей среды и др. В результате роста численности населения и усиления хозяйственной деятельности человека воздействие на окружающую среду стало более частым и положительный баланс между обществом и природой постепенно начал нарушаться. Новый этап формирования экологических знаний относится к XX в., когда в эпоху индустриализации и урбанизации обострились взаимоотношения природы и общества. В этот период, особенно с ростом общественного производства, начало возрастать использование природных ресурсов, а технологические процессы стали более интенсивными.

В настоящее время признаки экологического кризиса постепенно распространяются на многие страны, приобретая глобальный характер. Особую актуальность приобрела проблема глобального изменения климата. Существуют несколько версий, объясняющих данную ситуацию: потепление, вулканическая активность, изменения магнитного поля Земли, антропогенная деятельность. Примерами документов, рассматривающих данную проблему и непосредственно направленных на ее решение, являются Декларация ООН по охране окружающей среды и Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию<sup>1</sup>.

К таким документам также относятся Декларация тысячелетия ООН<sup>2</sup>, Йоханнесбургская декларация по устойчивому развитию<sup>3</sup> и COP-29 в Баку [1].

Все предлагаемые решения основываются на использовании новейших достижений современной науки и техники для преодоления этих проблем. Конечный результат, то есть благополучие человеческого общества в целом, зависит от состояния окружающей среды, в которой оно живет. В связи с вышеизложенным усилия государств направлены на приведение эко-

логических закономерностей в равновесие, в частности на обеспечение экологической безопасности питьевой воды. Как и для многих стран, для Республики Азербайджан проблема дефицита водных ресурсов является актуальной.

Существует несколько подходов к понятию экологической безопасности: экологическая безопасность как система решений; экологическая безопасность как часть национальной безопасности; экологическая безопасность как совокупность процессов, ситуаций и действий, направленных на обеспечение экологического баланса; экологическая безопасность как неотъемлемая часть охраны окружающей среды; экологическая безопасность как часть производственного процесса; экологическая безопасность как мера опасности [2, 3].

Когда речь идет об экологической безопасности и охране окружающей среды, воздух и вода находятся на первом месте. Именно по этой причине эксперты ООН назвали сокращающиеся запасы питьевой воды наиболее актуальной проблемой нового тысячелетия. Почти 80 % существующих в мире заболеваний связаны с низким качеством воды. Длительное употребление воды с повышенным содержанием железа вызывает заболевания печени и желудочно-кишечного тракта. При избыточном содержании соединений марганца в воде возникают нарушения нервной системы, слабость, утомляемость и сонливость. Кипячение воды устраняет жесткость, обусловленную содержащимися в ней ионами кальция и магния, однако не снижает концентрацию других примесей.

Из-за использования загрязненной воды 1,8 млн детей на Земле умирают, не достигнув пятилетнего возраста. Этот показатель превышает число смертей в результате войн, от малярии и других опасных заболеваний. Рост численности населения и неэффективное использование водных ресурсов признаны основными причинами дефицита воды. Так, численность населения планеты достигла 7 млрд чел. и, по прогнозам, к 2050 г. возрастет до 11 млрд. В среднем на Земле рождается 156 чел. в минуту, 25 000 чел. в день и 80 млн чел. в год. При том что 20 л чистой воды достаточно для удовлетворения суточных потребностей одного человека, из-за чрезмерного потребления допускаются значительные потери воды. Ученые считают, что к 2025 г. две трети населения мира столкнутся с нехваткой воды. Около 2 млрд. чел. уже живут в условиях водного дефицита. Нехватка воды сдерживает экономическое развитие многих стран и приводит к международной нестабильности.

<sup>1</sup> Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию // Документ Организации Объединенных Наций. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/riodecl.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml) (дата обращения: 04.04.2026).

<sup>2</sup> Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций // Официальный сайт ООН. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/summitdecl.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/summitdecl.shtml) (дата обращения: 04.04.2026).

<sup>3</sup> Йоханнесбургская декларация по устойчивому развитию // Официальный сайт ООН. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/decl\\_wssd.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/decl_wssd.shtml) (дата обращения: 04.04.2026).



Рис. 1. Джейранбатанское водохранилище

Примечание: составлен авторами на основе источника Google Earth

Океаны и моря являются естественными водными объектами Земли. Водохранилище представляет собой искусственный водоем, предназначенный для накопления, последующего использования и регулирования стока воды. В процессе эксплуатации гидрологический режим водохранилищ, то есть параметры и технические средства, необходимые для их функционирования, контролируются человеком. Тем не менее со временем эти искусственно созданные объекты занимают свое место в общем круговороте воды. Среди морфометрических характеристик водохранилищ наиболее важными являются площадь зеркала  $S$ , объем  $V$  и амплитуда колебаний уровня воды [4]. Приходная часть их водного баланса формируется за счет атмосферных осадков, поверхностного стока, конденсации водяного пара на поверхности водохранилища, а также подводных притоков. Расходная часть включает поверхностный сток, подземный сток и испарение воды с поверхности водохранилища. Структура водного баланса произвольного водохранилища учитывает взаимосвязь различных видов притока и оттока воды.

Количество водохранилищ в мире превышает 60 000. Их площадь поверхности составляет 400 000 км<sup>2</sup>, что эквивалентно площади 11 Азовских морей. В Азербайджане насчитывается более 140 водохранилищ. Их общий объем составляет 21,5 км<sup>3</sup>. Лишь 61 водохранилище имеет объем более 1 млн м<sup>3</sup>.

Реки Кура, Араз и Самух являются источниками питьевой воды для Абшеронского полуострова. Объектом исследования в данной работе является Джейранбатанское водохранилище (ДВ) (рис. 1), которое по объему и площади занимает седьмое место. ДВ питается водой из Самур-Абшеронского канала, а водоочистная станция, построенная на его берегу, обеспечивает значительную долю питьевой воды для Аб-

шеронского полуострова. Емкость водохранилища составляет 186 млн м<sup>3</sup>, из которых используется 150 млн м<sup>3</sup>. Максимальная длина водохранилища 8,74 км, максимальная ширина 2,15 км, длина береговой линии 23,3 км, максимальная глубина 28,5 м, минимальная глубина зарегистрирована на уровне 14,5 м, а площадь зеркала воды 1389 га. Одним из основных преимуществ водохранилища является то, что очистка собранной здесь воды на 80 % происходит естественным образом, после чего она поступает на обработку [5].

**Цель исследования** – выявление путей повышения качества питьевой воды и обеспечения ее экологической безопасности. В статье рассматривается разработка интеллектуальной информационной системы для обеспечения экологической безопасности воды в ДВ. Это включает: защиту водохранилища как физического объекта, мониторинг параметров входа и выхода воды, обработку лабораторных анализов, экспертные оценки, сравнительный анализ измеряемых показателей в ДВ с нормативами, установленными для питьевой воды международными организациями, такими как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Европейским союзом (ЕС), ГОСТ Содружества Независимых Государств (СНГ). Основная задача – это разработка подхода, направленного на создание централизованно управляемой интеллектуальной информационной системы.

#### Материал и методы исследования

В исследовании анализировалось качество питьевой воды, поставляемой на Абшеронский полуостров. Для оценки использовались лабораторные измерения воды, взятой из водохранилищ, распределительных сетей и общественных объектов, включая школы, детские сады, больницы и предприятия общественного питания.

*Техническая база и методы очистки.* В качестве методов очистки применяются низкоскоростные, скелетные, грубые, микроскоростные, двухслойные и высокоскоростные фильтры. В отделе водоснабжения Джейранбатанского водохранилища, расположенного на Абшеронском полуострове, преимущественно используются двухслойные фильтры; вода проходит через очистители и горизонтальные промывочные устройства. В инвентаре отдела имеются 16 отстойников, 14 горизонтальных отстойников, 36 фильтров, 2 насосные станции и 6 магистральных водопроводов.

*Средства измерения и мониторинга.* Для контроля физико-химических параметров воды в водоемах, распределительных сетях и искусственных водохранилищах используются специальные электронные анализаторы и одноразовые тест-полоски: рН-метр, хлорометр, TDS-метр, кондуктометр и спектрометр [6].

Для анализа содержания тяжелых и токсичных металлов применяется ICP-MS, позволяющий определять концентрации с точностью до нано- и пикограмм. Раствор нагревается до 10 000 °С и подвергается воздействию плазмы для выявления концентрации металлов в воде.

*Методология обработки данных и ИТ-составляющая.* Параметры качества воды определяются в соответствии с региональными стандартами СНГ (ГОСТ 2874-82). Пробы воды берутся в шести-семи ключевых точках водохранилища: канал Тахтакорпу – Джейранбатан, у водозабора, южная насосная станция, юго-западная дамба, южная дамба, северо-восточная дамба и вход на мелиорационную насосную станцию.

Для систематизации и обработки данных создается база данных. Работа системы включает:

- сортировку входных и выходных параметров;
- обработку баз данных, определяющих качество воды;
- выбор и обоснование математического аппарата обработки данных;

– тестирование системы [7].

*Классификация и систематизация данных.* Для комплексной оценки качества воды и формирования структуры базы данных показатели были разделены на следующие группы:

*Физико-химические и органолептические:* мутность, цветность, запах, привкус, рН, общая минерализация и жесткость.

*Химические (токсикологические):* содержание неорганических и органических веществ, включая тяжелые металлы (анализ методом ICP-MS).

*Микробиологические и паразитологические:* наличие бактерий группы кишечных палочек, общее микробное число и наличие патогенных микроорганизмов.

*Радиологические:* показатели удельной суммарной альфа- и бета-активности.

Этапы обработки информации в системе:

1. *Сбор данных:* регистрация первичных результатов лабораторных измерений из семи контрольных точек.

2. *Систематизация:* импорт данных в структурированную базу для обеспечения быстрого поиска и фильтрации.

3. *Аналитическая обработка:* применение математического аппарата для выявления взаимосвязей между параметрами (например, влияние мутности на эффективность фильтрации) [8].

4. *Валидация:* тестирование системы на соответствие региональным стандартам (ГОСТ 2874-82).

Функционирование системы включает в себя следующие этапы: сортировку входных и выходных параметров, обработку массивов данных, определяющих показатели качества воды, выбор и обоснование математического аппарата для анализа, а также итоговое тестирование системы.

Данная архитектура (рис. 3) позволяет интегрировать результаты измерений, полученных с помощью портативных анализаторов (рис. 2), и данные высокоточного лабораторного анализа (ICP-MS) в единую интеллектуальную среду для оперативного управления качеством водных ресурсов [9].



Рис. 2. Комплекс измерительных средств системы мониторинга качества воды на Джейранбатанском водохранилище  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

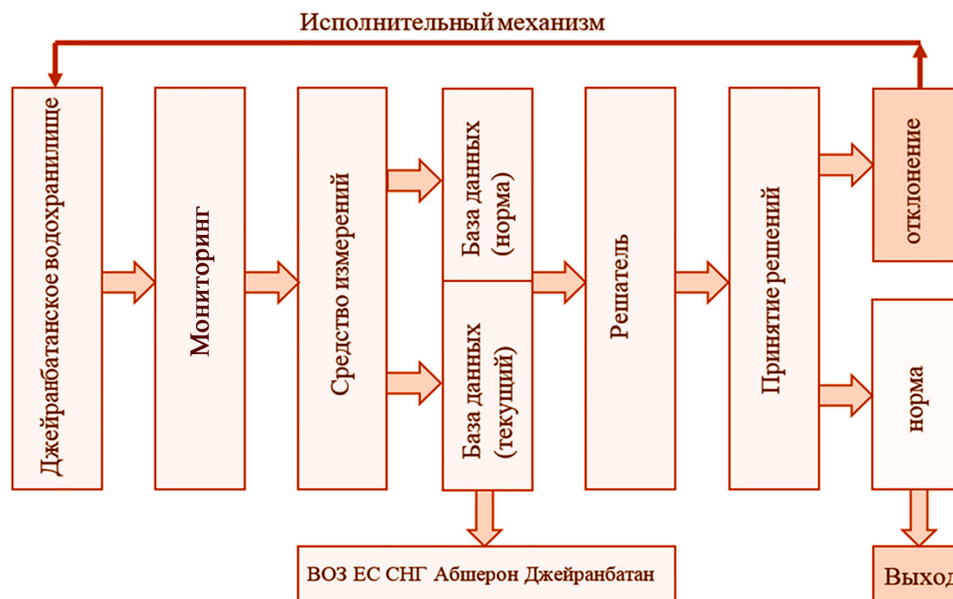


Рис. 3. Архитектура интеллектуально-информационной системы  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

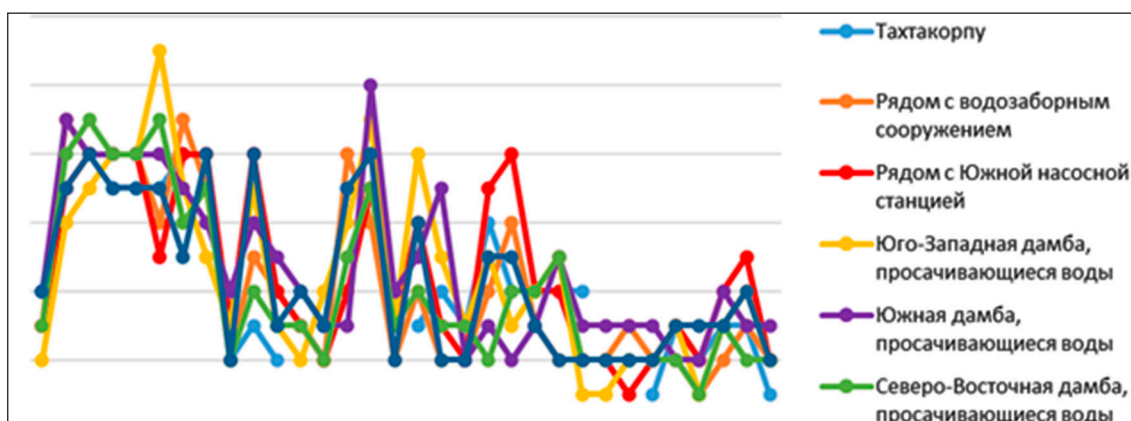


Рис. 4. График изменения углекислого газа в точках замера  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

В архитектуре интеллектуальной информационной системы (рис. 3) реализован замкнутый контур управления с наличием обратных связей, что является принципиальным для систем управления организационного типа. Обратная связь формируется на основе результатов мониторинга и аналитической обработки данных о текущем состоянии качества воды. Полученные отклонения от нормативных значений передаются в модуль принятия решений, где формируются управляющие воздействия. Например, система зафиксировала, что на юго-западной дамбе в просачивающихся водах отмечен резкий скачок  $CO_2$  (рис. 4). Модуль принятия решений в режиме, близком

к реальному, вырабатывает управляющие команды (уменьшить или приостановить поступление воды, увеличить силу фильтрации, изменить дозу реагента, передать сообщение по инстанциям). Результаты реализации управляющих команд повторно поступают в систему в виде новых измеряемых параметров, что обеспечивает непрерывный цикл управления и адаптацию системы к изменяющимся условиям, то есть реализуется замкнутый цикл: *мониторинг* → *анализ* → *принятие решений* → *управляющее воздействие* → *обратная связь* → *мониторинг*, что обеспечивает повышение эффективности и оперативности управления качеством водных ресурсов.

## Сравнение тестов

№	Тест	Назначение	Строгость	Применение
1	Бонферрони	Любые сравнения	Высокая	Небольшое число тестов
2	Даннета	Сравнение с контролем	Очень высокая	Сложные сравнения
3	Шеффе	Любые комбинации	Средняя	Контроль и эксперимент
4	Тьюки	Все попарные сравнения	Средняя	Равные группы

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

*Программная реализация и статистический аппарат.* Для реализации интеллектуальной информационной системы было разработано программное обеспечение в среде Visual Studio Code с использованием веб-технологий:

- HTML [10]: структурирование контента (списки, таблицы, иерархия данных);
- CSS [11]: визуальное оформление и компоновка интерфейса;
- JavaScript [12]: обеспечение динамической логики и последовательного выполнения операционных алгоритмов.

Для обработки временных рядов и выявления статистически значимых различий между показателями качества воды применялся программный пакет ANOVA [13]. При обнаружении различий использовались пост-хок тесты для уточнения их локализации. Сравнительная характеристика примененных методов множественных сравнений (Бонферрони, Шеффе, Даннета и Тьюки [14]) (таблица).

Начиная с 2018 г. проведено большое количество экспериментов по мониторингу водных ресурсов. Только за 2021–2023 гг. выполнено 720 измерений, успешно прошедших независимую экспертизу. Достоверность полученных результатов оценивается в пределах 87–94,7%. Система осуществляет непрерывный анализ всех измеряемых показателей в различных временных масштабах: ежедневно; ежемесячно; ежеквартально; сезонно.

Такой подход обеспечивает всестороннее сравнение данных и позволяет выявлять долгосрочные тренды изменения качества воды в Джейранбатанском водохранилище.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Использование ICP-MS позволило определить содержание тяжелых и токсичных металлов с точностью до нано- и пикограмм. Анализ показал, что концентрации металлов в воде находятся в пределах безопасных норм, а повторная обработка сточных вод с реагентами (жидкий хлор, манганаты LT-31) обеспечивает значительное снижение загрязняющих веществ.

Состав воды в водохранилище определяется многопараметрическими факторами.

Взаимосвязь показателей указывает на необходимость комплексного анализа: сортировка параметров, обработка баз данных, выбор математического аппарата и тестирование системы.

Параметры качества воды оценивались по физическим (температура, мутность, цвет, вкус, запах), химическим (сульфиды, растворенные газы, хлориды, щелочность, основные ионы, биогенные вещества), органолептическим и микробиологическим (общие колиформы, фекальные колиформы, энтерококки, *E. coli*) показателям.

Для анализа данных за 2014–2024 гг. были сформированы временные ряды, учитывающие трендовые, периодические и сезонные составляющие. Многомерный анализ временных рядов показал взаимное влияние параметров и динамику изменений качества воды с течением времени. Архивные данные 2014–2017 гг. и измерения 2018–2024 гг., выполненные авторами, позволили выявить долгосрочные тенденции и отклонения от норм. Архитектура интеллектуальной информационной системы обеспечила мониторинг, обработку данных и принятие решений на основе текущего состояния воды. Модуль мониторинга контролировал измерительные параметры, модуль обработки обеспечивал прогнозирование и анализ баз данных, а модуль принятия решений формировал команды для исполнительного механизма и отображал соответствие состояния воды международным стандартам.

Программное обеспечение, разработанное на платформе Visual Studio Code с использованием HTML, CSS и JavaScript, позволило автоматизировать обработку данных и построение временных рядов. Использование пакета ANOVA и пост-хок тестов (Бонферрони, Шеффе, Даннета, Тьюки) позволило выявить статистически значимые различия между группами показателей, что важно для корректировки процессов водоснабжения.

За 2021–2023 гг. было проведено 720 измерений, достоверность результатов составила  $\approx 87$ –94,7%. Ежедневный, ежемесячный, ежеквартальный и сезонный анализ всех показателей обеспечил всестороннюю оценку качества воды и своевременное принятие мер по устранению выявленных отклонений.

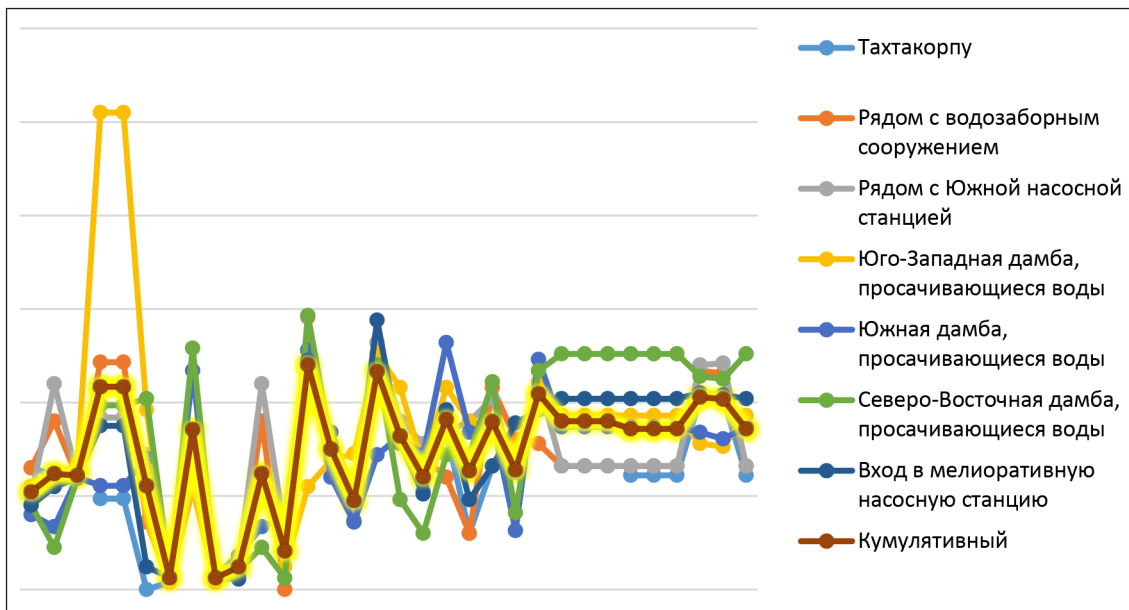


Рис. 5. График изменения магния в точках замера  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования



Рис. 6. Фрагмент сравнения показателей  
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Обработка измеряемых показателей позволяет управлять частотой количества измерений. То есть количество измерений тех показателей, которые имеют тенденцию к стационарности (рН, мутность и др.), можно уменьшить по сравнению с измерениями других веществ (нитраты  $\text{NO}_3^-$ , нитриты  $\text{NO}_2^-$ , фосфат-ион  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Такой анализ проводился для всех показателей [15].

Например,  $\text{CO}_2$  в водоемах – это важная часть водной экосистемы. Он участвует в поддержании кислотно-щелочного баланса воды, избыток  $\text{CO}_2$  приводит к снижению рН (закисление). На рис. 4 показаны колебания  $\text{CO}_2$  в точках забора воды за период с июня 2021 г. по июнь 2022 г.

Или еще один пример. Резкий всплеск магния (mg) в районе юго-западного забора был зарегистрирован в марте 2018 г., сигнал

передан в исполнительный механизм, после чего в течение апреля – мая наблюдения велись ежедневно, удалось приостановить рост, и только в июне 2018 г. выброс mg был восстановлен в пределах допустимой нормы. С июня 2018 г. по настоящее время отклонений не наблюдалось (рис. 5).

Для питьевой воды обычно рекомендуется концентрация магния до 30–50 мг/л, выше 70–100 мг/л вода может вызывать выраженный послабляющий эффект. Как видно из графика, магний постоянно ниже 30 мг/л, что указывает на нормальный и безопасный уровень. Воду с магнием ниже 30 мг/л можно пить без ограничений. Для информации отметим, что концентрация магния < 10 мг/л – это очень мягкая вода, 10–30 мг/л – оптимальный диапазон, > 50 мг/л – может вызывать дискомфорт при регулярном питье.

В разработанную систему включен еще один дополнительный блок сравнения текущих показателей воды в ДВ с нормами этих же показателей, принятых для питьевой воды в ВОЗ, ЕС, СНГ и Абшеронского полуострова (рис. 6).

Измеряемых международных показателей качества воды 35, в ДВ измеряются 22, совпадающих 16. Анализ проведен для всех совпадающих показателей.

### Закключение

В результате проведенного исследования была разработана и обоснована автоматизированная интеллектуальная информационная система мониторинга экологической безопасности питьевой воды в искусственных водохранилищах. Предложенный подход обеспечивает комплексный контроль физико-химических, органолептических и микробиологических показателей качества воды, что позволяет получать объективную и достоверную информацию о ее состоянии в режиме, близком к реальному времени.

Использование модульной архитектуры системы, включающей блоки мониторинга, обработки данных и принятия решений, обеспечивает эффективное формирование и анализ многомерных временных рядов, выявление тенденций изменения показателей качества воды и прогнозирование потенциально экологических рисков. Применение методов дисперсионного анализа (ANOVA) и пост-хок тестов повышает статистическую достоверность результатов и позволяет корректно оценивать значимость выявленных отклонений от нормативных значений.

Известно, что время для принятия управленческих решений связано с принятыми методами лабораторного контроля, которые включают отбор проб воды из точек измерения, его транспортировку в лабораторию, проведение анализов, обработку результатов, передачу информации по инстанции, принимающей решение. В среднем время составляет от 18 до 48 и более часов. Экспериментально доказано, что использование системы мониторинга и обработки данных в режиме, близком к реальному времени, сокращает этот показатель до 3–4 ч.

Сравнение текущих показателей качества воды с нормативами, принятыми ВОЗ, ЕС, СНГ и на региональном уровне, обеспечивает универсальность и практическую применимость системы в различных условиях эксплуатации. Реализация предложенной системы на примере Джейранбатанско-

го водохранилища подтверждает ее эффективность для оперативного выявления угроз экологической безопасности и оптимизации процессов водоподготовки.

### Список литературы

1. United Nations. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations, 2015. 41 p. URL: <https://digitalibrary.un.org/record/1654217> (дата обращения: 07.01.2026). ISBN 978-92-1-101307-5.
2. Руденко М. Н., Субботина Ю. Д. Состояние экологической безопасности на современном этапе развития // Экономическая безопасность. 2023. Т. 6. № 1. С. 347–366. URL: <https://economic.ru/lib/117556> (дата обращения: 10.01.2026). DOI: 10.18334/ecsec.6.1.117556. EDN: YKWDXN.
3. Гостева С. П. Экологическая безопасность России и устойчивое развитие // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16. № 3. С. 704–718. URL: [https://vestnik.tstu.ru/rus/t\\_16/pdf/16\\_3\\_026.pdf](https://vestnik.tstu.ru/rus/t_16/pdf/16_3_026.pdf) (дата обращения: 10.01.2026). EDN: NCHLGT. ISSN 0136-5835.
4. Siniscalchi A. G., Di Maggio J. A., Estrada V. G., Díaz M. S. Integrated mathematical models for drinking water reservoirs and constructed wetlands as a tool for restoration planning // Journal of Hydrology. 2020. Vol. 586. Art. 124867. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124867.
5. Yakubov R. M. Data on the Study of Anthropogenic Impacts on the Samur-Absheron Canal and the Jeyranbatan Reservoir // Bulletin of Science and Practice. 2020. Vol. 6. Is. 7. P. 93–101. DOI: 10.33619/2414-2948/56/10.
6. Thakur A., Devi P. A Comprehensive Review on Water Quality Monitoring Devices: Materials Advances, Current Status, and Future Perspective // Critical Reviews in Analytical Chemistry. 2024. Vol. 54. Is. 2. P. 193–218. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408347.2022.2070838> (дата обращения: 10.01.2026). DOI: 10.1080/10408347.2022.2070838.
7. Ali Davoudian, Liu Chen, Mengchi Liu. A survey on NoSQL stores // ACM Computing Surveys. 2018. Vol. 51. Is. 2. Art. 40. P. 1–43. DOI: 10.1145/3158661.
8. Athiyarath S., Paul M., Krishnaswamy S. A Comparative Study and Analysis of Time Series Forecasting Techniques // SN Computer Science. 2020. Vol. 1. Is. 3. Art. 175. DOI: 10.1007/s42979-020-00180-5.
9. Гидаятзаде С. Г. Система мониторинга экологической безопасности питьевой воды // Нанотехнологии: наука и производство. 2024. № 6. С. 68–74. EDN: SXXXRE.
10. Peroni S., Osborne F., Di Iorio A. et al. Research Articles in Simplified HTML: a Web-first format for HTML-based scholarly articles // PeerJ Computer Science. 2017. Vol. 3. Art. e132. DOI: 10.7717/peerj-cs.132.
11. Bader W. I., Hammouri A. I. Responsive Web Design Techniques // International Journal of Computer Applications. 2016. Vol. 150. Is. 2. P. 18–27. DOI: 10.5120/ijca2016911463.
12. Ziyuan Wang, Dexin Bu, Nannan Wang et al. An empirical study on bugs in JavaScript engines // Information and Software Technology. 2023. Vol. 155. Art. 107105. DOI: 10.1016/j.infsof.2022.107105.
13. Qin J., Liu Y., Li P. A selective review of statistical methods using calibration information from similar studies // Statistical Theory and Related Fields. 2022. Vol. 6. Is. 3. P. 175–190. DOI: 10.1080/24754269.2022.2037201.
14. Dunn O. J. Multiple Comparisons Using Rank Sums // Technometrics. 1964. Vol. 6. Is. 3. P. 241–252. DOI: 10.1080/00401706.1964.10490181.
15. Gidayatzada S. G. Environmental Safety Control in Water Reservoirs // Informatics and Control Problems. 2025. Vol. 45. Is. 2. P. 82–87. URL: <https://icp.az/2025/2-10.pdf> (дата обращения: 09.01.2026).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Финансирование:** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

**Financing:** The research was performed without external funding.