

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭКОСИСТЕМА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ ИОТ И ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ**

**Камолова Фотимахон Шавкат кизи**

ассистент кафедры “Общеэкономические науки” Ташкентского  
государственного экономического университета

[fatikamolova24@gmail.com](mailto:fatikamolova24@gmail.com)

**Ражабова Нилуфар Ярашовна**

Студент Бухоро государственного технического университета

**Аннотация:** Усложнение экологических процессов и возрастание техногенной нагрузки на природные системы обуславливают необходимость перехода от фрагментарного экологического контроля к интеллектуально организованным системам мониторинга, способным не только фиксировать изменения параметров окружающей среды, но и интерпретировать их с позиций будущих рисков. В статье предлагается научная концепция интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга, формируемой на основе интеграции сенсорных технологий Интернета вещей и инструментов предиктивной аналитики. Исследование ориентировано на разработку архитектуры экологического мониторинга нового поколения, в рамках которой распределённые IoT-устройства обеспечивают непрерывное получение многомерных данных о состоянии природной среды, а аналитический уровень системы реализует прогнозирование динамики экологических показателей с использованием алгоритмов интеллектуального анализа данных. В отличие от традиционных мониторинговых подходов, акцентированных на постфактум-оценке, предложенная экосистема направлена на раннее выявление латентных экологических угроз и формирование упреждающих

управленческих решений. Обосновано, что применение предиктивной аналитики позволяет выявлять нелинейные взаимосвязи между экологическими параметрами, моделировать сценарии деградации экосистем и оценивать вероятностные характеристики экологических рисков. Интеллектуализация мониторинговых процессов способствует снижению неопределённости при принятии решений, повышению оперативности реагирования и адаптивности экологического управления в условиях изменяющейся внешней среды. Сделан вывод о том, что формирование интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга является методологической основой перехода к проактивной модели обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития, основанной на прогнозировании, а не на ликвидации последствий экологических нарушений.

**Ключевые слова:** IoT, контроль качества воды, сенсоры, мониторинг, водоснабжение, экологический контроль, автоматизация, промышленность, цифровые технологии.

Современный этап социально-экономического развития характеризуется усилением техногенного воздействия на природные экосистемы, что приводит к увеличению частоты экологических кризисов, деградации природных ресурсов и росту экологических рисков. Традиционные методы экологического мониторинга, основанные на периодических измерениях и ретроспективном анализе данных, не позволяют своевременно выявлять скрытые угрозы и прогнозировать развитие негативных процессов.

В этих условиях особую значимость приобретает внедрение цифровых технологий, прежде всего Интернета вещей (IoT) и интеллектуальной аналитики, способных обеспечить непрерывный контроль состояния окружающей среды и формирование научно обоснованных управленческих решений. Переход к интеллектуальным экосистемам экологического мониторинга рассматривается как

ключевое направление повышения экологической безопасности и устойчивого развития.

Целью данной статьи является разработка и теоретическое обоснование интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга на основе IoT и предиктивной аналитики, ориентированной на предупреждение экологических рисков.

Экологический мониторинг представляет собой систематический процесс наблюдения, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. В рамках цифровой трансформации данное понятие расширяется за счет включения интеллектуальных компонентов обработки данных и автоматизированного принятия решений.

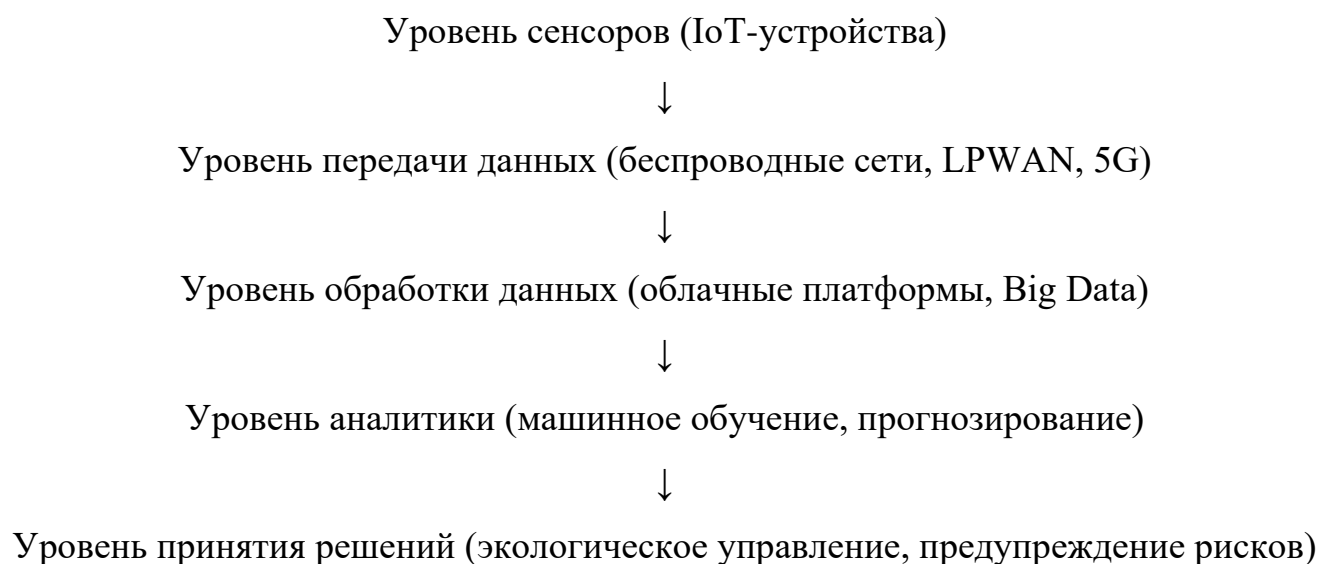
Интернет вещей в экологическом мониторинге представляет собой распределенную сеть сенсорных устройств, обеспечивающих сбор данных о физических, химических и биологических параметрах окружающей среды. В сочетании с предиктивной аналитикой IoT-системы формируют основу для перехода от фиксирования последствий к управлению причинами экологических нарушений.

Предиктивная аналитика основана на использовании методов машинного обучения, статистического моделирования и анализа больших данных, что позволяет выявлять скрытые закономерности и прогнозировать развитие экологических процессов.

Интеллектуальная экосистема экологического мониторинга представляет собой многоуровневую структуру, в которой каждый уровень выполняет определенную функциональную роль. С учетом многоуровневого характера процессов сбора, передачи и интерпретации экологической информации интеллектуальная экосистема экологического мониторинга формируется как иерархически организованная система. Каждый уровень выполняет функционально обособленную, но взаимодополняющую роль, что обеспечивает целостность и

адаптивность всей системы. Структурная модель данной экосистемы представлена на **схеме 1**.

**Схема 1. Структура интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга**



Как показано на **схеме 1**, интеллектуальная экосистема экологического мониторинга формируется в виде последовательной многоуровневой архитектуры, в которой каждый уровень выполняет строго определённые функции и обеспечивает непрерывность информационных потоков. Такое построение позволяет интегрировать физические источники экологических данных с цифровыми инструментами их обработки и аналитической интерпретации. Для более детального раскрытия функциональной структуры предложенной интеллектуальной экосистемы целесообразно конкретизировать состав её ключевых компонентов и их назначение. Несмотря на целостность архитектуры, каждый элемент системы выполняет самостоятельную роль и вносит вклад в формирование единого механизма экологического мониторинга и управления рисками.

В этой связи представляется обоснованным структурировать основные компоненты интеллектуальной экосистемы и определить их функциональные задачи в табличной форме, что позволяет наглядно продемонстрировать взаимосвязь

технологических решений и управленческих процессов. **Таблица 1** отражает состав базовых компонентов интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга и раскрывает их функциональное назначение в контексте сбора, передачи, анализа и практического использования экологической информации.

**Таблица 1. Основные компоненты интеллектуальной экосистемы**

<b>Компонент</b>	<b>Функциональное назначение</b>
IoT-сенсоры	Сбор данных о качестве воздуха, воды, почвы
Коммуникационная среда	Передача данных в реальном времени
Аналитическая платформа	Интеллектуальная обработка и фильтрация данных
Предиктивные модели	Прогноз экологических отклонений
Система поддержки решений	Разработка управленческих мер

Как видно из представленных в таблице данных, интеллектуальная экосистема экологического мониторинга формируется как многоуровневая интегрированная система, в которой каждый компонент выполняет строго определённую функцию и одновременно взаимодействует с другими элементами. Такое построение обеспечивает непрерывность информационного потока — от первичного сбора экологических показателей до выработки управленческих решений. Предиктивная аналитика позволяет формировать сценарии развития экологической ситуации на основе исторических и текущих данных. Это обеспечивает раннее выявление аномалий, потенциальных аварийных состояний и зон повышенного экологического риска. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет не только прогнозировать негативные изменения, но и оценивать эффективность превентивных мероприятий, что повышает качество экологического управления на региональном и отраслевом уровнях. Экологические риски в рамках интеллектуальной экосистемы классифицируются по источнику возникновения, масштабу воздействия и уровню опасности. Для обоснования эффективности интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга целесообразно

рассмотреть основные виды экологических рисков, характерных для современных социально-экономических систем. Экологические риски формируются под воздействием антропогенных факторов и отличаются по источникам возникновения, масштабу воздействия и характеру последствий. Их своевременная идентификация и классификация является необходимым условием разработки адекватных механизмов предупреждения и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. В условиях цифровизации экологического управления особое значение приобретает сопоставление конкретных типов экологических рисков с инструментами интеллектуального мониторинга и предиктивной аналитики. Это позволяет перейти от фрагментарного реагирования на экологические инциденты к системному управлению рисками на основе данных и прогнозов. С этой целью в таблице 2 представлена классификация ключевых экологических рисков с указанием их источников и механизмов предупреждения в рамках IoT-ориентированной интеллектуальной экосистемы.

**Таблица 2. Классификация экологических рисков**

<b>Тип риска</b>	<b>Источник</b>	<b>Механизм предупреждения</b>
Загрязнение воздуха	Промышленные выбросы	Непрерывный IoT-мониторинг
Загрязнение воды	Сброс сточных вод	Предиктивный анализ концентраций
Деградация почв	Химизация сельского хозяйства	Интеллектуальное моделирование
Техногенные аварии	Производственные объекты	Раннее выявление аномалий

Анализ представленной классификации показывает, что каждый тип экологического риска характеризуется специфическим механизмом формирования и требует применения дифференцированных инструментов мониторинга и анализа. Так, риски загрязнения атмосферного воздуха, обусловленные промышленными выбросами, наиболее эффективно контролируются посредством распределённых

IoT-сенсоров, обеспечивающих непрерывный сбор данных о концентрациях загрязняющих веществ.

Загрязнение водных ресурсов, как правило, носит латентный характер и проявляется с временным лагом, что делает особенно актуальным применение предиктивных моделей, основанных на анализе динамики химических показателей. В свою очередь, деградация почв, связанная с интенсивной химизацией сельского хозяйства, требует использования интеллектуального моделирования, позволяющего оценивать долгосрочные последствия агротехнологических воздействий.

Особое место в системе экологических рисков занимают техногенные аварии, характеризующиеся высокой степенью неопределённости и значительным ущербом. Применение методов раннего выявления аномалий на основе машинного обучения позволяет обнаруживать отклонения в функционировании производственных объектов до наступления критических состояний.

В целом, интеграция классификации экологических рисков с интеллектуальной экосистемой мониторинга подтверждает возможность формирования проактивной модели экологической безопасности, ориентированной на предупреждение угроз, а не на устранение их последствий.

Внедрение интеллектуальной экосистемы экологического мониторинга способствует:

1. повышению оперативности реагирования на экологические угрозы;
2. снижению вероятности экологических катастроф;
3. формированию научно обоснованных управленческих решений;
4. развитию концепции устойчивого и «умного» природопользования.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией цифровых двойников экосистем, расширением использования искусственного интеллекта и развитием межведомственных экологических платформ.

Таким образом, интеллектуальная экосистема экологического мониторинга на основе IoT и предиктивной аналитики представляет собой эффективный инструмент предупреждения экологических рисков. Ее внедрение обеспечивает переход к проактивной модели экологического управления, ориентированной на устойчивое развитие и экологическую безопасность. Полученные результаты могут быть использованы в научных исследованиях, практике экологического менеджмента и разработке государственных программ цифровизации экологии.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

**Atzori L., Iera A., Morabito G.** Internet of Things for environmental monitoring: recent advances and future directions // *Future Generation Computer Systems*. 2022. Vol. 129. P. 62–78.

**Zhang Y., Wang X., Li J.** Big data and predictive analytics for environmental risk prevention // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 344. Article 131042.

**Kumar A., Sharma R., Singh P.** Smart environmental monitoring systems based on IoT and machine learning // *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. 2022. Vol. 35. Article 100748.

**Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M.** Intelligent IoT systems: machine learning applications for environmental monitoring // *IEEE Internet of Things Journal*. 2022. Vol. 9(8). P. 6235–6247.

**Chen S., Liu H., Zhou Q.** Decision support systems for environmental management using IoT data streams // *Environmental Modelling & Software*. 2022. Vol. 149. Article 105316.

**Raza U., Kulkarni P., Sooriyabandara M.** LPWAN technologies for large-scale environmental monitoring applications // *Sensors*. 2022. Vol. 22(5). Article 1843.

**OECD.** Digital technologies and data-driven environmental policy. Paris: OECD Publishing, 2022. 162 p.

**UNEP.** Digital transformation for environmental sustainability. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022. 104 p.

**Li H., Sun Y., Zhao X.** Deep learning–based anomaly detection for environmental monitoring systems // *Applied Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 37(1). P. 1–17.

**Wang T., Chen J.** Predictive modeling of air and water pollution using IoT sensor networks // *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30(12). P. 35621–35635.

**Singh R., Kaur G.** Smart ecosystems for sustainable environmental monitoring: IoT perspectives // *Sustainability*. 2023. Vol. 15(6). Article 4982.

**European Commission.** Digital environmental monitoring and early warning systems. Brussels, 2023. 89 p.

**Ahmed S., Rahman M.** AI-driven environmental risk assessment in smart cities // *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 91234–91246.

**WHO.** Digital tools for environmental health monitoring. Geneva: World Health Organization, 2024. 97 p.

**UNESCO.** Artificial intelligence for environmental monitoring and resilience. Paris, 2024. 112 p.