

УДК: 528.8; 528.83; 528.85; 528.88

DOI: 10.26907/rwp29.2025.480-483

## СОЗДАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДАННЫХ ДЗЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ ДЛЯ АНАЛИЗА АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ СВЯЗАННЫХ С ВОЗНИКНОВЕНИЕМ НАВОДНЕНИЙ

**Е.В. Савченко, С.М. Маклаков**

*Институт радиотехники и электроники РАН, 141190, г. Фрязино, пл. Введенского 1*

*E-mail: eugeniy.fire@yandex.ru, ser2110@mail.ru*

**Аннотация.** В данной работе представлено предложение варианта создания гибридной системы, позволяющей в режиме практически реального времени производить мониторинг атмосферных процессов, предшествующих возникновению наводнений, посредством интеграции данных дистанционного зондирования и современных нейросетевых модулей. Данные, получаемые со спутниковых систем, благодаря высокой частоте съемки и широкому спектральному охвату, предоставляют возможность проводить детальный анализ показателей облачности и интенсивности осадков. Предложенный подход включает автоматизированное получение данных из открытых официальных источников, их предварительную обработку (геометрическая и радиометрическая коррекция, расчёт индексных значений, таких как NDWI и др.) и последующую интерпретацию с использованием нейросетевого модуля. Полученные результаты демонстрируют, что интеграция методов дистанционного зондирования и нейросетевого анализа может служить основой для разработки комплексных платформ поддержки оперативного принятия решений.

**Ключевые слова:** наводнения, изучение климата, визуализация данных, дистанционное зондирование, спутниковое зондирование, искусственный интеллект

## CREATION OF A HYBRID REMOTE SENSING DATA MONITORING SYSTEM USING AI TO ANALYZE ATMOSPHERIC PROCESSES RELATED TO FLOODING

**E.V. Savchenko, S.M. Maklakov**

**Abstract.** This paper presents a proposal for creating a hybrid system that allows monitoring the atmospheric processes preceding the occurrence of floods in almost real time by integrating remote sensing data and modern neural network modules. The data obtained from satellite systems, due to the high frequency of surveys and wide spectral coverage, make it possible to conduct a detailed analysis of cloud cover and precipitation intensity. The proposed approach includes automated data acquisition from open official sources, their preliminary processing (geometric and radiometric correction, calculation of index values such as NDWI etc.) and subsequent interpretation using a neural network module. The results obtained demonstrate that the integration of remote sensing and neural network analysis methods can serve as the basis for the development of integrated platforms to support operational decision-making.

**Keywords:** floods, climate research, data visualization, remote sensing, satellite sensing, artificial intelligence

### Введение

В современных условиях изменения климата и возрастающей частоты экстремальных погодных явлений оперативный мониторинг гидрометеорологических процессов становится важнейшей задачей. Данные, получаемые со спутниковых систем, позволяют охватывать обширные территории и фиксировать кратковременные изменения, не доступные традиционным наземным методам. Автоматизированное получение изображений из официальных источников, их корректная предварительная обработка и последующий комплексный анализ с применением современных нейросетевых модулей открывают новые возможности для прогнозирования угроз, связанных с наводнениями [1].

Разработка данного решения является особенно актуальной ввиду необходимости создания универсальных систем мониторинга, способных обеспечить оперативное и всестороннее наблюдение за атмосферными процессами. Комплексный анализ, осуществляемый с помощью нейросетевых моделей, способствует формированию детализированного представления о динамике показателей, что позволяет не только выявлять текущие угрозы, но и прогнозировать дальнейшее развитие процессов, связанных с возникновением паводков. Такой интегрированный

подход имеет потенциал для создания общедоступных платформ, объединяющих спутниковые и наземные данные, что открывает новые горизонты в области предупреждения и минимизации последствий гидрометеорологических чрезвычайных ситуаций [2], [3].

Главной целью исследования является предложение варианта создания гибридной системы мониторинга, способной посредством автоматизированной загрузки, обработки и анализа спутниковых данных формировать оперативную картину динамики атмосферных процессов. При этом нейросетевой модуль, интегрированный в систему, обеспечивает интерпретацию полученной информации и выдачу аналитических выводов, что значительно повышает эффективность прогнозирования и поддержки принятия управленческих решений. Данный подход находит подтверждение в ряде современных исследований, демонстрирующих высокую перспективность комбинированного использования спутниковых данных и методов нейросетевого анализа [4].

### Описание предложенной системы мониторинга

Предлагаемый вариант создания гибридной системы базируется на интеграции автоматизированного получения спутниковых данных и их обработки с использованием нейросетевых моделей. Предлагается использовать спутниковые данные, полученные из систем спутников серии Sentinel для детальной оценки и прибора SEVIRI (Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager, спутники серии MSG, Meteosat) для оперативного мониторинга в реальном времени.

На первом, предварительном этапе, спутниковые мультиспектральные данные, подвергаются предварительной обработке с целью коррекции геометрии и яркостных характеристик, удаления облаков (маски облачности), а также геопривязки и выделения необходимой пространственной области поиска.

На следующем этапе рассчитываются ключевые индексные показатели, такие как гиперспектральные индексы, отобранные для идентификации наводнений. К ним относятся:

1). NDWI (Normalized Difference Water Index) [2], рассчитываемый по формуле:

$$NDWI = (Green + NIR)/(Green - NIR) \quad (1),$$

где для спутника Sentinel-2 это каналы 3 (Green) и 8 (NIR). Данный широко применяемый индекс выделяет открытую воду (реки, озёра) и зоны затопления, но чувствителен к влажной почве и растительности, что может давать ложные срабатывания.

2). MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) [2], рассчитываемый по формуле:

$$MNDWI = (Green + SWIR1)/(Green - SWIR1) \quad (2),$$

где для спутника Sentinel-2 это каналы 3 (Green) и 11 (SWIR1), для SEVIRI это VIS0.8NIR и IR1.6SWIR соответственно, так как зелёный канал отсутствует. Данный индекс эффективнее NDWI в городских районах, так как SWIR (средний инфракрасный диапазон) сильнее поглощается водой и меньше отражается от искусственных поверхностей, лучше отделяет воду от теней и влажной растительности.

3). AWEI (Automated Water Extraction Index) [5], рассчитываемый по формуле:

$$AWEI_{sh} = Blue + 2.5 * Green - 1.5 * (NIR + SWIR1) - 0.25 * SWIR2 \quad (3),$$

где для спутника Sentinel-2 это каналы 2 (Blue), 3 (Green), 8 (NIR), 11 (SWIR1) и 12 (SWIR2). Данный индекс специально разработан для автоматического выделения воды на снимках, устойчив к шумам (тени, облака, городские поверхности).

4). SWI (Surface Water Index) [6], рассчитываемый по формуле:

$$SWI = NIR + SWIR1/NIR - SWIR1 \quad (4),$$

где для спутника Sentinel-2 это каналы 8 (NIR) и 11 (SWIR1). Аналогичен NDMI (индекс влажности), но используется для детектирования поверхностной воды. Подходит для анализа динамики затопления.

Третьим этапом является контроль полученных данных и сверка результатов с уже имеющимися ранее данными в системе. Для точной идентификации в системе должна быть уже готовая интегрированная ГИС-карта местности с зонированием, для отделения городской

местности от сельской и лесной, и для определения границ уже существующих до наводнения водных объектов. Сопоставление с ней будет отсеивать нерелевантные для целей поиска результаты и вычленять проблемные области при их наличии.

После этого структурированная информация передаётся в нейросетевой модуль, который осуществляет комплексный анализ полученных результатов и вырабатывает развернутые аналитические отчёты в текстовой форме как по уже готовому шаблону, так и по дополнительным запросам пользователей.

В дальнейшем может производиться мониторинг и углублённый анализ поражённых наводнением территорий для определения динамики и последствий наводнения, с использованием дополнительных гиперспектральных индексов. Набор наиболее подходящих индексов может отличаться для городской и сельской местности. Для сельской местности могут быть полезны NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, фиксирует повреждение растительности, падение индекса из-за гибели растений), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index, корректирует влияние почвы на оценку растительности, полезен в районах с оголённой почвой после схода воды). Для городских условий будут полезны NDBaI (Normalized Difference Bare soil Index, обнаруживает обнажённую почву или грязь после наводнения), UI (Urban Index, различает искусственные поверхности (асфальт, крыши) и водные объекты).

Такой комплексный подход (рис. 1) позволяет своевременно выявлять условия, способствующие возникновению наводнений, что имеет решающее значение для оперативного реагирования служб гражданской защиты, и, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций данного типа, проводить оперативный мониторинг динамики и негативных последствий.

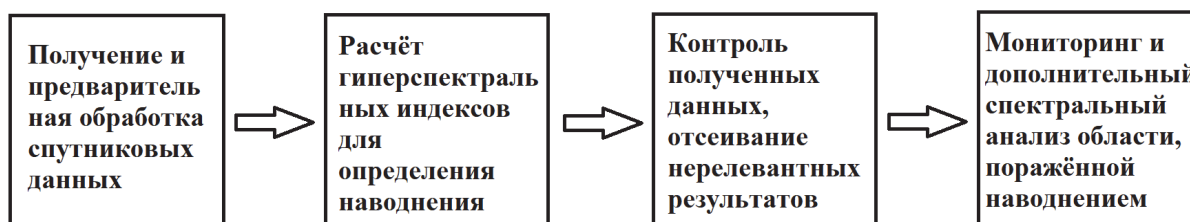


Рис. 1. Предложенный подход для автоматического детектирования наводнений.

### Заключение

Проведенное исследование демонстрирует, что интеграция данных дистанционного зондирования, получаемых со спутниковых систем, с современными нейросетевыми модулями позволяет создать эффективный инструмент для мониторинга атмосферных процессов, предшествующих возникновению наводнений. Предложенный вариант создания гибридной системы, основанный на автоматизированном получении данных, их предварительной обработке и последующем комплексном анализе с использованием нейросетевых моделей, позволяет формировать объективное представление о динамике гидрометеорологических явлений. Результаты показывают, что такой подход способен улучшить качество прогнозирования и поддержать оперативное принятие решений службами гражданской защиты. В перспективе данная методика может стать основой для разработки масштабируемых информационных платформ, объединяющих спутниковую и наземную информацию, что открывает новые возможности в предупреждении и минимизации последствий природных катастроф.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН № 075-01110-23-01.

### Список литературы

1. R. Kumar, A. Sharma, P. Singh. Prediction of Flood Monitoring for Satellite Image Using Artificial Neural Networks. ResearchGate. 2025. – URL:

- [https://www.researchgate.net/publication/387599533\\_Prediction\\_of\\_Flood\\_Monitoring\\_for\\_Satellite\\_Image\\_Using\\_Artificial\\_Neural\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/387599533_Prediction_of_Flood_Monitoring_for_Satellite_Image_Using_Artificial_Neural_Networks).
2. L. Hernandez, M. Ali, S. Zhang. Geospatial Artificial Intelligence for Satellite-based Flood Extent Mapping: Concepts, Advances, and Future Perspectives // ResearchGate. - 2025. – URL: <https://arxiv.org/html/2504.02214v2>
  3. Wu, Xuan; Zhang, Zhijie; Xiong, Shengqing; Zhang, Wanchang; Tang, Jiakui; Li, Zhenghao; An, Bangsheng; Li, Rui. A Near-Real-Time Flood Detection Method Based on Deep Learning and SAR Images // Remote Sensing, 15(8), 2046, 2023. – URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/8/2046>.
  4. Pranath Reddy Kumbam and Kshitij Maruti Vejre. FloodLense: A Framework for ChatGPT-based Real-time Flood Detection. arXiv preprint, arXiv:2401.15501v1, 2024. – URL: <https://arxiv.org/html/2401.15501v1>.
  5. Firozjaei M.K., Sedighi A., Kiavarz M., Qureshi S., Haase D., Alavipanah S.K. Automated Built-Up Extraction Index: A New Technique for Mapping Surface Built-Up Areas Using LANDSAT 8 OLI Imagery // Remote Sens. – 2019, 11, 1966. <https://doi.org/10.3390/rs11171966>
  6. Sharma R.C., Tateishi R., Hara K., Nguyen L.V. Developing Superfine Water Index (SWI) for Global Water Cover Mapping Using MODIS Data // Remote Sens. – 2015, 7, 13807–13841. <https://doi.org/10.3390/rs71013807>