

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2026-2-119-127>

УДК 551.5

## Деятельность Всемирной метеорологической организации по ускорению цифровой трансформации оперативной гидрологии

*Ю.А. Симонов<sup>1</sup>, Т.М. Дмитриева<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия;*

*<sup>2</sup> Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана г. Москва, Россия  
simonov@mecom.ru*

В последнее время цифровая трансформация играет все более важную роль в гидрометеорологических исследованиях и прогнозах. Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в развитии своей глобальной инфраструктуры в области наблюдений, информационного обмена, обработки данных и прогнозирования существенно расширила использование методов искусственного интеллекта и машинного обучения, а также «интернета вещей». В 2025 году Исполнительный совет и Всемирный метеорологический конгресс утвердили План действий ВМО в области использования искусственного интеллекта, учредили совместную консультативную группу по искусственному интеллекту, приняли новую стратегию Комплексной системы ВМО обработки данных и прогнозирования с ускоренным внедрением искусственного интеллекта, придав тем самым цифровой трансформации гидрометеорологии стратегическое значение.

Оперативная гидрология, охватывающая мониторинг водных объектов, сбор гидрологической информации, её обработку, производство и доведение информационной, аналитической и прогностической продукции до конечных пользователей не стала исключением. В статье представлен обзор основных направлений цифровой трансформации проектов и систем ВМО в области оперативной гидрологии.

*Ключевые слова:* цифровая трансформация, искусственный интеллект, ВМО, оперативная гидрология

## The World Meteorological Organization's activities to accelerate the digital transformation of operational hydrology

*Yu.A. Simonov<sup>1</sup>, T.M. Dmitrieva<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia;*

*<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia  
simonov@mecom.ru*

Recently, digital transformation has played an increasingly important role in hydrometeorological research and forecasting. The World Meteorological Organization (WMO) has significantly expanded the use of artificial intelligence and machine learning, as well as the Internet of Things, in developing its global infrastructure for observations, information exchange, data processing, and forecasting. In 2025, the Executive Council and the World Meteorological Congress endorsed the WMO Action Plan on Artificial Intelligence,

established a joint advisory group on artificial intelligence, and adopted a new strategy for the WMO Integrated Data Processing and Prediction System with accelerated adoption of artificial intelligence, thereby giving strategic importance to the digital transformation of hydrometeorology.

Operational hydrology, encompassing the monitoring of water bodies, collection of hydrological information, its processing, production, and delivery of information, analytical and forecast products to end users, is no exception. The present paper provides an overview of the main areas of digital transformation of WMO projects and systems in operational hydrology.

*Keywords:* digital transformation, artificial intelligence, WMO, operational hydrology

## Введение

К современным тенденциям общемировой практики оперативной гидрологии и управления водными ресурсами относится внедрение элементов цифровой трансформации в процессы гидрологического мониторинга, обработки данных наблюдений, подготовки информационно-аналитической продукции, выпуска гидрологических прогнозов и их доведения до широкого круга потребителей.

Разрабатываются и внедряются в оперативную практику методики гидрологических прогнозов, основанные на моделях машинного обучения [1, 8, 10]. К преимуществам моделей машинного обучения можно отнести снижение временных затрат на их разработку, переобучение, а также возможность их использования для речных бассейнов, недостаточно освещённых данными гидрометеорологических наблюдений. На основе анализа больших данных эти модели позволяют получать надежные методики прогноза. Широко распространен и гибридный подход, при котором совместно с методами искусственного интеллекта используются физически обоснованные модели формирования речного стока [14].

Искусственный интеллект используется при учете речного стока, когда традиционно сложная задача по определению зависимостей «расход – уровень воды» решается с помощью методов машинного обучения [11, 13].

Элементы «интернета вещей» применяются в решении задач мониторинга состояния водных объектов, включая сеть автоматизированных гидрологических комплексов мониторинга, оснащенных датчиками измерений различных параметров [2], объединяются одним или несколькими протоколами в единую сеть, которая обеспечивает сбор данных наблюдений и позволяет изменять частоту сбора данных, передачи информации и сохранения в базах данных в зависимости от состояния водного объекта [12, 19].

Переход от традиционных методов и моделей отдельных элементов гидрологического цикла речных бассейнов к использованию цифровых двойников позволяет определить все возможные процессы системы речного бассейна, которые влияют на управление водными ресурсами, их комплексное использование, моделирование последствий паводков и маловодий, изменение характеристик водосбора в условиях изменения

климата и при антропогенных вмешательствах. Принимая во внимание требования к исходным данным, необходимость создания комплексных моделей большинства природных и антропогенных процессов, развитие и внедрение цифровых двойников в гидрологии представляет собой сложную задачу, которая в настоящее время решается для отдельных речных бассейнов при интеграции данных различных ведомств [16, 18].

Для обобщения опыта цифровой трансформации в области гидрометеорологии, его использования в глобальной инфраструктуре ВМО, а также для выработки рекомендаций в области искусственного интеллекта (ИИ) для национальных гидрометеорологических служб (НГМС), ВМО утвердила План действий по искусственному интеллекту, а также приняла ряд других решений, нацеленных на ускоренную цифровую трансформацию.

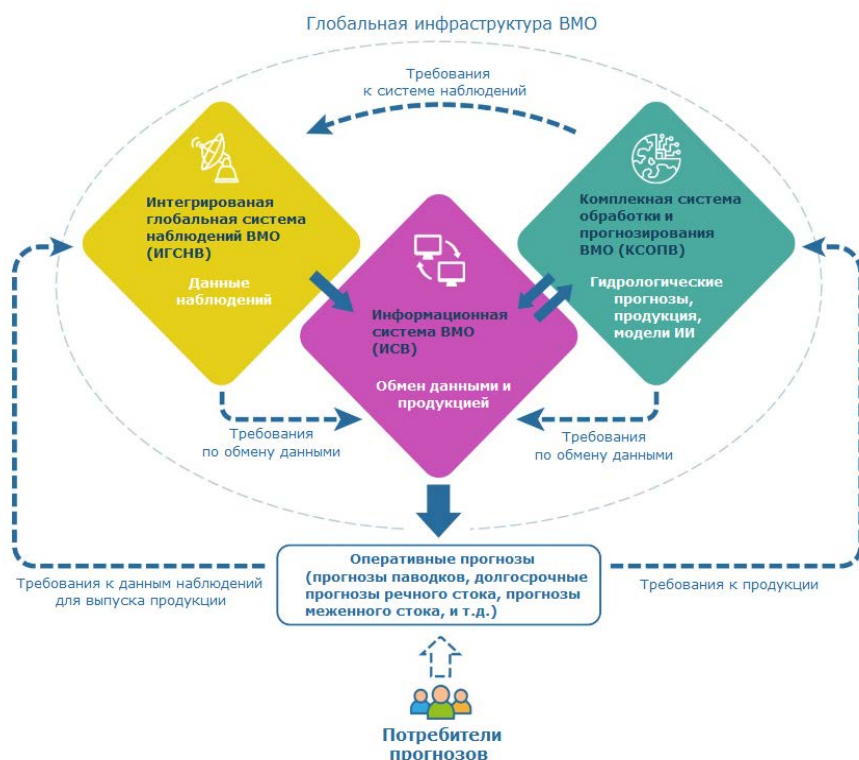
### **Деятельность ВМО по цифровой трансформации**

В 2025 году на 79-й сессии Исполнительного совета ВМО и внеочередной сессии Всемирного метеорологического конгресса был принят ряд решений, определяющих ускоренную цифровую трансформацию деятельности ВМО в ближайшие годы. В частности, Исполнительный совет ВМО утвердил План действий по искусственному интеллекту для использования современных возможностей для цифровой трансформации оперативной гидрометеорологии. План действий предусматривает сотрудничество ВМО с государственным, частным и академическим секторами в области применения технологий ИИ, включая машинное обучение, для повышения эффективности процесса создания гидрометеорологической продукции – от мониторинга до выпуска прогнозов и предупреждений. В Плате действий признается революционный потенциал использования ИИ в гидрометеорологии и растущая роль частного сектора в этом процессе. При этом подчеркивается необходимость сохранения ведущей роли НГМС по выпуску предупреждений об опасных гидрологических и метеорологических явлениях. Также отмечается необходимость наращивания потенциала НГМС, в том числе развивающихся и наименее развитых стран-членов ВМО, при помощи создания образовательных программ в региональных учебных центрах ВМО в области применения методов ИИ в задачах оперативной гидрологии.

Создана совместная консультативная группа ВМО по искусственному интеллекту, основной целью которой является информирование ВМО о деятельности, связанной с разработкой и использованием технологий ИИ в метеорологии и гидрологии. Работа консультативной группы будет способствовать ускорению интеграции ИИ в инфраструктуру, предоставление обслуживания и исследовательскую деятельность организации. В состав совместной консультативной группы по ИИ войдут эксперты из государственного, частного и академического секторов.

Всемирный метеорологический конгресс принял новую стратегию Комплексной системы обработки и прогнозирования ВМО (КСОПВ),

которая включает применение ИИ. В стратегии указываются основные этапы разработки технических руководящих принципов по использованию технологий прогнозирования системы Земля на основе искусственного интеллекта в КСОПВ (рис. 1). КСОПВ объединяет оперативные центры, управляемые странами-членами ВМО, предоставляющими прогнозы и гидрометеорологическую продукцию [3].



**Рис. 1.** Функционирование Комплексной системы обработки и прогнозирования ВМО в глобальной инфраструктуре ВМО (рисунок разработан с использованием материалов ВМО).

**Fig. 1.** Operation of the WMO Integrated Processing and Prediction System within the WMO global infrastructure (Figure developed using WMO materials).

В новой стратегии КСОПВ отмечен существенный потенциал ИИ для расширения возможностей действующих оперативных центров. Также указано, что возможности систем ИИ по поддержке прогнозов и предупреждений об опасных метеорологических явлениях в локальном масштабе и опасных гидрологических явлениях со значительными последствиями остаются недостаточными. В ней подчеркивается необходимость оказания поддержки НМГС по всему миру в определении своих возможностей и проблем, связанных с новыми технологиями, получением доступа к инновациям и их оптимальным использованием. В рамках новой стратегии

КСОПВ предполагается организовать сотрудничество с государственным, частным и академическим секторами в применении технологий ИИ, включая машинное обучение, для укрепления потенциала для цифровой трансформации в области метеорологии, гидрологии и климата. На первом этапе интеграции ИИ в КСОПВ будут реализованы пилотные проекты, в ходе которых должно быть изучено, как новые технологии ИИ могут дополнить существующие возможности прогнозирования, особенно в тех областях, где потенциал ограничен.

В области оперативной гидрологии ВМО реализует пилотный проект по выпуску глобальной продукции прогнозирования паводков, основанный на использовании моделей ИИ и так называемых нетрадиционных источников, то есть оперативных центров, не относящихся к НГМС. В пилотном проекте участвуют центры выпуска гидрологических прогнозов Google, Европейский центр по среднесрочным прогнозам погоды, НАСА и другие. Пилотный проект предполагает выпуск прогнозов паводков с заблаговременностью до десяти суток на выбранных речных бассейнах и гидрологических постах, данные по которым представлены НГМС. Указанные центры выпускают гидрологические прогнозы либо полностью, либо частично на основе методов и моделей ИИ [15, 17]. В качестве базовых требований к центрам прогностической продукции, участвующим в пилотном проекте, указывается необходимость ежедневного выпуска прогноза гидрографа расхода воды с заблаговременностью десять суток для указанных странами-участниками проекта гидрологических постов, выпуск прогноза не реже одного раза в сутки, производство сопутствующей информационно-аналитической продукции, включая характеристики снежного покрова, влажности почв и т. д.

В результате выполнения пилотного проекта будет получено представление о возможностях прогнозирования паводков с использованием ИИ и нетрадиционных источников, в том числе о характеристиках точности и надежности гидрологических прогнозов, необходимой исходной информации для их выпуска и о возможности выпуска прогнозов с глобальным охватом. Выводы пилотного проекта будут использованы для актуализации требований к потенциальным центрам выпуска среднесрочных прогнозов паводков в Наставлении [5]. В результате реализации проекта ожидается разработка рекомендации по интеграции центров выпуска среднесрочных прогнозов паводков на основе ИИ в КСОПВ для предоставления членам ВМО прогностической продукции.

Информационной основой для глобальной прогностической инфраструктуры ВМО и национальных систем прогнозирования являются системы наблюдений и информационного обмена ВМО, развивающиеся в парадигме цифровой трансформации. Интегрированная глобальная система наблюдений ВМО [7] обеспечивает данные наблюдений НГМС для оперативных центров прогнозирования КСОПВ, выпускающих в том числе гидрологические прогнозы. Обмен данными гидрологических наблюдений, информационной и прогностической продукцией будет развиваться

посредством новой версии Информационной системы ВМО – ИСВ 2.0 [4, 6]. Основные принципы организации системы включают использование «интернета вещей», веб-технологий и облачных решений для повышения доступности, оперативности и масштабируемости данных. Система объединяет традиционные наблюдательные станции и посты, а также новые экономически эффективные датчики с использованием модели «публикация – подписка» для эффективного и простого обмена данными между НГМС и другими пользователями.

Признавая необходимость объединения усилий для использования ИИ, ВМО на внеочередной сессии Всемирного метеорологического конгресса призвала все заинтересованные стороны в государственном, частном и академическом секторах применять технологии ИИ, включая машинное обучение, для укрепления всего цикла выпуска гидрометеорологической продукции. ВМО полагает, что международное и многосекторное взаимодействие послужит драйвером использования ИИ, включая машинное обучение, для удовлетворения растущих потребностей пользователей в гидрометеорологической продукции.

### **Заключение**

Всемирная метеорологическая организация внедряет ИИ и другие элементы цифровой трансформации в свою деятельность. Принят План действий ВМО по искусственному интеллекту, создана объединенная консультативная группа по искусственному интеллекту, а также рабочая группа по цифровой трансформации в области гидрологии и водных ресурсов. ВМО обобщает опыт использования ИИ в области гидрометеорологии, призывая к сотрудничеству академический сектор, бизнес и другие организации.

Выполняется цифровая трансформация глобальной инфраструктуры ВМО, которая включает реализацию Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО, Информационной системы ВМО, а также Комплексной системы обработки и прогнозирования ВМО с использованием ИИ, включая модели машинного обучения, и «интернета вещей». Так, например, в стратегии КСОПВ указана возрастающая роль ИИ в моделировании системы Земля, рассмотрены шаги ускоренной интеграции оперативных центров, использующих ИИ для выпуска прогностической продукции, в том числе в области оперативной гидрологии, в КСОПВ.

Реализуется пилотный проект ВМО по глобальной продукции прогнозирования паводков с участием оперативных центров прогнозирования, использующих для выпуска прогнозов модели ИИ. По результатам реализации проекта планируется уточнить требования НГМС к продукции среднесрочного прогнозирования паводков. Будет предложен новый вид оперативных центров КСОПВ со специализацией в области среднесрочного прогноза паводков с использованием в т. ч. методов ИИ.

Действия ВМО в области цифровой трансформации оперативной гидрологии позволят предоставлять более качественную прогностическую продукцию членам ВМО, а также выработать рекомендации по цифровой трансформации национальных систем мониторинга, обработки данных, подготовки информационной и прогностической продукции для более эффективного гидрологического обслуживания потребителей.

### Список литературы

1. Борц С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Прогнозирование стока рек России. М.: Гидрометцентр России, 2023. 200 с.
2. Бузмаков С.В., Юхно А.В., Остахов А.А. Использование автоматизированных гидрологических комплексов для измерения уровня воды на государственной наблюдательной сети // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2025. Т. 52. С. 3-18
3. Дмитриева Т.М., Клепиков А.В., Гусев А.И. Комплексная система обработки и прогнозирования ВМО // Метеорология и гидрология. 2025. Вып. 8. С. 139-142
4. Дмитриева Т.М., Клепиков А.В., Корбулакова В.К., Цуканов В.В. Совершенствование информационной системы ВМО // Метеорология и гидрология. 2025. № 5. С. 141-143.
5. Наставление по Комплексной системе обработки и прогнозирования ВМО. Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО // ВМО-№ 485. Всемирная метеорологическая организация, 2024. 217 с.
6. Наставление по Информационной системе ВМО // ВМО-№1060. Всемирная метеорологическая организация, 2024. 94 с.
7. Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО Дополнение VIII к Техническому регламенту ВМО // ВМО-№1160. Всемирная метеорологическая организация, 2024. 161 с.
8. Романов А.В., Акмаев Э.Р., Червоненкис М.А. Глубокие нейронные сети архитектуры трансформер в задачах гидрологических прогнозов // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. №2 (388). С. 138-155.
9. Симонов Ю.А. Оперативная гидрология в деятельности Всемирной метеорологической организации // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2025. № 2 (396). С. 121-140
10. Симонов Ю.А., Христофоров А.В., Ковалев К.А., Малыгин Е.В., Осипцов А.А., Сотириади Н.С. Анализ результатов прогнозирования весеннего половодья 2025 года с помощью модели искусственного интеллекта // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2026. № 1 (399). С. 140-158.
11. Шевченко А.И., Готовченкова И.Л., Белоус С.В. Современные автоматизированные средства сбора и обработки гидрологической информацией по рекам и каналам наблюдательной сети Росгидромета и перспективы их развития с применением машинного обучения // Труды VII Всероссийской научно-практической конференции «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», Иркутск, 19–21 марта 2025 г. С. 49-59. DOI: 10.26516/978-5-9624-2438-5.2025.1-355
12. Ansari S.A., Vidyarthi V.K. Use of Internet of Things in water resources applications: challenges and future directions: a critical review // Discover Internet Things. 2025. Vol. 5. Article no. 96.
13. Baruah A., Zarrabi R., Cohen S. et al. Interpretable machine learning for predicting rating curve parameters using channel geometry and hydrological attributes across the United States // Sci. Rep. 2025. Vol. 55. Article no. 44164.
14. Duan Y., Akula S., Kumar S., Lee W., Khajehei S. A Hybrid Physics–AI Model to Improve Hydrological Forecasts // Artif. Intell. Earth Syst. 2023. Vol. 2. e220023.
15. Huynh N.N.T., Garambois P.-A., Renard B., Colleoni F., Monnier J., Roux H. A distributed hybrid physics–AI framework for learning corrections of internal hydrological fluxes and enhancing high-resolution regionalized flood modeling // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2025. Vol. 29. P. 3589-3613. <https://doi.org/10.5194/hess-29-3589-2025>

16. Morlot M., Rigon R., Formetta G. Hydrological digital twin model of a large anthropized Italian alpine catchment: The Adige river basin // Journal of Hydrology. 2024. Vol. 629. P. 130587.
17. Nearing G., Cohen D., Dube V. et al. Global prediction of extreme floods in ungauged watersheds // Nature. 2024. Vol. 627. P. 559-563.
18. Wang X, Wu B, Zhou G, Wang T, Meng F, Zhou L, Cao H, Tang Z. How a vast digital twin of the Yangtze River could prevent flooding in China // Nature. 2025. Vol. 639 (8054). P. 303-305.
19. Zanella A., Zubez S., Bennis M., Capuzzo M., Tarolli P. Internet of Things for Hydrology: Potential and Challenges // 18th Wireless On-Demand Network Systems and Services Conference (WONS), Madonna di Campiglio, Italy, 2023. P. 114-121.

## References

1. Borsch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V. Prognozirovanie stoka rek Rossii [Streamflow forecasting in Russia]. Moscow, Izd-vo FGBU «Gidrometcentr Rossii», 2023, 200 p. [in Russ.].
2. Buzmakov S. V., Iukhno A. V., Ostashov A. A. The Use of Automated Hydrological Complexes for Stage Measurement on the Russian Monitoring Network. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle»* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2025, vol. 52, pp. 3-18. DOI: 10.26516/2073-3402.2025.52.3 [in Russ.].
3. Dmitrieva T.M., Klepikov A.V., Gusev A.I. WMO Integrated Processing and Prediction System. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2025, no. 8, pp. 139-142 [in Russ.].
4. Dmitrieva T.M., Klepikov A.V., Korbulakova V.K., Tsukanov V.V. Improvement of the WMO Information System. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russ. Meteorol. Hydrol.], 2025, no. 5, pp. 141-143 [in Russ.].
5. Nastavlenie po Kompleksnoy sisteme obrabotki i prognozirovaniya VMO. Dopolnenie IV k Tekhnicheskomu reglamentu WMO. *WMO-№ 485*. Vsemirnaya meteorologicheskaya organizatsiya, 2024, 217 p. [in Russ.].
6. Nastavlenie po Informacionnoy sisteme WMO. *WMO-№1060*. Vsemirnaya meteorologicheskaya organizatsiya, 2024, 94 p. [in Russ.].
7. Nastavlenie po Integrirovannoy global'noy sisteme nablyudeniya VMO Dopolnenie VIII k Tekhnicheskomu reglamentu WMO. *WMO-№1160*, Vsemirnaya meteorologicheskaya organizatsiya, 2024, 161 p. [in Russ.].
8. Romanov A.V., Akmaev E.R., Chervonenkis M.A. Deep neural networks of transformer architecture in problems of hydrological forecasts. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Research and Forecasting], 2023, vol. 388, no. 2, pp. 138-155 [in Russ.].
9. Simonov Yu.A. Activities of the World Meteorological Organization in the field of operational hydrology. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Research and Forecasting], 2025, vol. 396, no. 2, pp. 121-140 [in Russ.].
10. Simonov Yu.A., Khristoforov A.V., Koliy V.M., Kovalev K.A., Malygin E.V., Osiptsov A.A., Sotiriadi N.S. Analysis of the spring flood of 2025 forecasting using an artificial intelligence model. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Research and Forecasting], 2026, vol. 399, no. 1, pp. 140-158 [in Russ.].
11. Shevchenko A.I., Gotovchenkova I.L., Belous S.V. Sovremennyye avtomatizirovannyye sredstva sbora i obrabotki gidrologicheskoy informatsii po rekam i kanalnym nablyudatel'noy seti Rosgidrometa i perspektivy ih razvitiya s primeneniem mashinogo obucheniya. *Trudy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennyye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii»*, Irkutsk, 19–21 marta 2025 g., pp. 49-59 [in Russ.].
12. Ansari S.A., Vidyarthi V.K. Use of Internet of Things in water resources applications: challenges and future directions: a critical review. *Discover Internet Things*, 2025, vol. 5, article no. 96.
13. Baruah A., Zarrabi R., Cohen S. et al. Interpretable machine learning for predicting rating curve parameters using channel geometry and hydrological attributes across the United States. *Sci. Rep.*, 2025, vol. 55, article no. 44164.

14. Duan Y., Akula S., Kumar S., Lee W., Khajehi S. A Hybrid Physics–AI Model to Improve Hydrological Forecasts. *Artif. Intell. Earth Syst.*, 2023, vol. 2, e220023.
15. Huynh N.N.T., Garambois P.-A., Renard B., Colleoni F., Monnier J., Roux H. A distributed hybrid physics–AI framework for learning corrections of internal hydrological fluxes and enhancing high-resolution regionalized flood modeling. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2025, vol. 29, pp. 3589-3613. <https://doi.org/10.5194/hess-29-3589-2025>
16. Morlot M., Rigon R., Formetta G. Hydrological digital twin model of a large anthropized Italian alpine catchment: The Adige river basin. *Journal of Hydrology*, 2024, vol. 629, pp. 130587.
17. Nearing G., Cohen D., Dube V. et al. Global prediction of extreme floods in ungauged watersheds. *Nature*, 2024, vol. 627, pp. 559-563.18.
18. Wang X, Wu B, Zhou G, Wang T, Meng F, Zhou L, Cao H, Tang Z. How a vast digital twin of the Yangtze River could prevent flooding in China. *Nature*, 2025, vol. 639 (8054), pp. 303-305.
19. Zanella A., Zubezu S., Bennis M., Capuzzo M., Tarolli P. Internet of Things for Hydrology: Potential and Challenges. *18th Wireless On-Demand Network Systems and Services Conference (WONS)*, Madonna di Campiglio, Italy, 2023, pp. 114-121.

Поступила 06.02.2026; принята в печать 26.05.2026.  
Submitted 06.02.2026; accepted for publication 26.05.2026.