

ОТЗЫВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

**на диссертационную работу Четтыкбаева Руслана Кайратовича на тему
«Информационно-аналитическая система прогнозирования затопления
территорий при сезонных паводках», представленную на соискание
степени доктора философии (PhD) по специальности 8D06101
«Информационные системы (по отраслям)»**

Паводки остаются одним из наиболее разрушительных природных явлений на территории Восточного Казахстана, ежегодно приводя к значительному экономическому ущербу, нарушению функционирования инфраструктуры и угрозе безопасности населения. Особенности региона — горный рельеф, высокая сезонность стока, интенсивное снеготаяние, изменчивость метеорологических условий — усложняют прогнозирование паводковых процессов и требуют применения современных инструментов анализа. Традиционные подходы, основанные на локальных гидропостах и статистических зависимостях, уже недостаточны в условиях изменения климата, увеличения экстремальности погодных явлений и необходимости оперативного принятия решений.

Современные вызовы обусловили потребность в научно обоснованных системах, способных интегрировать большие объёмы пространственных, гидрологических и метеорологических данных, обеспечивать моделирование паводковой динамики в реальном времени и формировать прогнозы высокой точности. Развитие дистанционного зондирования, ГИС-технологий, методов математического моделирования и искусственного интеллекта открывает новые возможности для комплексного анализа природных процессов и построения интеллектуальных систем предупреждения ЧС.

В этих условиях разработка интегрированной информационно-аналитической системы прогнозирования затоплений, основанной на современных алгоритмах обработки данных, является актуальной научной задачей, имеющей высокую значимость для устойчивого развития региона, повышения безопасности населения и совершенствования систем управления природными рисками.

В работе применён широкий спектр современных инструментов гидродинамики, геоинформатики и искусственного интеллекта: методы гидрологического и гидродинамического моделирования; уравнения Сен-Венана; модели неустойчивых течений для расчёта волны паводка.

Численные методы решения дифференциальных уравнений: явно- неявные схемы решения гидродинамических систем; схемы Рунге–Кутты для расчёта динамики уровня воды.

Методы искусственного интеллекта и машинного обучения: Decision Tree и Random Forest — для оценки влияния факторов и заполнения пропусков в наблюдениях; LSTM-нейросети — для прогнозирования уровней воды на временных рядах с высокой неустойчивостью, алгоритмы мультифакторной

регрессии и обучения с учителем для корректировки гидродинамических моделей.

ГИС-технологии и инструменты пространственного анализа: NextGIS, QGIS, Leaflet; Copernicus DEM и данные NASA SRTM для построения высокоточных цифровых моделей рельефа; анализ пространственных слоёв по данным спутников Copernicus/Sentinel, Landsat; программный комплекс MIKE 11 для расчёта гидравлических режимов и моделирования затоплений.

Эта совокупность методов обеспечивает комплексность подхода, высокую степень автоматизации и возможность анализа паводков в реальном времени.

Диссертационная работа Четтыкбаева Руслана Кайратовича посвящена созданию информационно-аналитической системе прогнозирования затопления территорий при сезонных паводках, что позволит обеспечить мониторинг и прогноз чрезвычайных ситуаций.

Диссертация выполнена с соблюдением принципов самостоятельности, достоверности полученных результатов, внутреннее единство работы имеется.

В первом разделе диссертационной работы выполнен анализ природно-географических и социально-экономических факторов паводковой опасности, а также современным подходам к прогнозированию и моделированию паводков. Рассматриваются существующие системы мониторинга, методы интеграции данных дистанционного зондирования и гидрологических наблюдений. Сформулирована концепция информационно-аналитической системы и определены требования к её архитектуре и функциональным модулям.

Во втором разделе диссертационной работы изложены основы математического моделирования гидрологических процессов, приведена физическая и математическая постановка задачи на основе уравнений Сен-Венана. Рассмотрены методы численного решения, алгоритмы реализации моделей и адаптация программных комплексов HEC-RAS и MIKE 11. Выполнено моделирование паводков на примере речных систем Восточного Казахстана, проведена верификация и анализ точности расчётов.

В третьем разделе диссертационной работы представлена структура и архитектура системы, включающая модули сбора данных, моделирования, прогнозирования и визуализации. Описаны принципы функционирования, взаимодействие модулей, применяемые технологии (Python, PostgreSQL/NextGIS, FastAPI, QGIS). Рассмотрены вопросы информационной безопасности, надёжности и интерфейса пользователя.

В четвертом разделе диссертационной работы представлены результаты экспериментальных расчётов и апробации системы на пилотных территориях (реки Курчум, Бухтарма, Иртыш). Выполнено сравнение расчётных и фактических зон затопления, проведена оценка точности и эффективности системы. Показана возможность интеграции разработанного решения в региональные системы мониторинга ЧС и перспективы масштабирования для других бассейнов Казахстана.

Научная новизна данного исследования заключается в разработке, интегрированной концепции прогнозирования паводковой опасности для условий Восточного Казахстана, объединяющая данные дистанционного зондирования, гидрологических постов, метеорологических наблюдений и цифровых моделей рельефа в единую систему анализа.

Автором диссертации проанализирован большой объем современной научной литературы- 122 источника. На основе анализа современных методов и подходов при прогнозировании, была обоснована необходимость разработки информационно-аналитической системы прогнозирования затопления территорий при сезонных паводках.

При этом обоснование теоретических положений и практических рекомендаций диссертации опирается на использование: современных инструментов гидродинамики, геоинформатики и искусственного интеллекта.

Таким образом, каждое научное положение является обоснованным и достоверным, достоверность положений, выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации, подтверждается практическим применением разработанных схем и алгоритмов, а также результатами компьютерного моделирования и вычислений, их согласованностью с экспериментальными данными.

В диссертационной работе получены следующие обладающие научной новизной результаты исследования:

- 1) Впервые предложена интегрированная концепция прогнозирования паводковой опасности для условий Восточного Казахстана, объединяющая данные дистанционного зондирования, гидрологических постов, метеорологических наблюдений и цифровых моделей рельефа в единую систему анализа.
- 2) Разработана математическая модель паводкового процесса, основанная на адаптированных к условиям горных рек региона уравнениях Сен-Венана и новых численных алгоритмах расчёта неустановившихся течений, что позволило повысить точность моделирования динамики паводковой волны.
- 3) Предложены и реализованы алгоритмы интеграции разнородных пространственных данных, обеспечивающие согласование спутниковых изображений, DEM, гидрологических и метеорологических рядов во времени и пространстве, что повышает достоверность входных параметров моделей.
- 4) Разработаны алгоритмы оценки влияния гидрометеорологических факторов (осадки, температурный фон, высота снежного покрова, температурный градиент, промерзание почвы) на точность прогнозов, позволяющие формировать устойчивые предикторы и выявлять ключевые параметры паводкового процесса.
- 5) Создана архитектура информационно-аналитической системы нового типа, обеспечивающая автоматизированный сбор, обработку, прогнозирование и визуализацию зон затопления в режиме, приближенном к реальному времени.

- 6) Впервые показана эффективность применения LSTM-сетей и ансамблевых методов машинного обучения для условий дефицита наблюдений, характерных для горных регионов Восточного Казахстана.
- 7) Разработан механизм интеграции результатов гидродинамического моделирования с пространственными данными, позволяющий формировать точные карты затопления и снижать неопределённость прогнозов.

Содержание работы свидетельствует о стремлении автора к обоснованию, аргументированности выдвигаемых научных положений, выводов и заключения.

Научная значимость результатов – не вызывает сомнения. Значимость результатов исследования подтверждается тремя публикациями на тему диссертации в международных рецензируемых журналах *Cybernetics and Systems Analysis* (процентиль CiteScore в Scopus более 50%).

- 1) Denissova N., Chettykbayev R., Dyomina I., Petrova O., Saparkhojayev N. Integration of Space and Hydrological Data into System of Monitoring Natural Emergencies (Flood Hazards) // *Appl. Sci.* 2025, 15(14), 8050. DOI: 10.3390/app15148050. – процентиль 69.
- 2) Yevgeniy Fedkin, Natalya Denissova, Gulzhan Daumova, Ruslan Chettykbayev, Saule Rakhmetullina Avalanche Hazard Prediction in East Kazakhstan Using Ensemble Machine Learning Algorithms // *Algorithms* 2025, 18(8), 505; DOI: 10.3390/a18080505. – процентиль 72.
- 3) Denissova Natalya, Nurakynov Serik, Petrova Olga, Daumova Gulzhan, Chepashev Daniker, Alpysbay Marua, Chettykbayev Ruslan Dependence of Avalanche Risk on Slope Insolation Level and Albedo // *Atmosphere*. DOI: 10.3390/atmos16050556. – процентиль 69.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что предложенное решение подтверждено авторским свидетельством. Исследование проводится в рамках ПЦФ проекта BR21882022 «Исследование лавинной активности в Восточно-Казахстанской области для разработки систем мониторинга и научного обоснования их размещения» 2023-2025 гг.

В целом диссертация Четтыкбаева Руслана Кайратовича является завершённой самостоятельной научной работой, отвечающей всем требованиям Комитета по контролю в сфере образования и науки МНВО РК, предъявляемым к работам, представленным на соискание степени доктора философии (PhD).

**Отечественный научный
консультант, к.ф.-м.н.,
ассоциированный профессор**



Н. Денисова