



Обзорная статья

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ПАВОДКОВ

Жанат З. Толеубекова^{ID} к.т.н., ассоциированный профессор, Забида Н. Курмангалиева*^{ID},
Тамерлан Курмангалиев^{ID}

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина», Астана, Казахстан;
jtoleubekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), tzer_95@mail.ru (ТК)

*Автор корреспонденции: Забида Н. Курмангалиева, zabida_98@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

весеннее половодье;
снежный покров;
влажность почв;
современные
технологии;
спутниковый
мониторинг; ДЗЗ; ИИ-
модуль; имитационная
модель.

АБСТРАКТ

В условиях усиливающегося влияния климатических изменений и учащения экстремальных гидрометеорологических явлений задача повышения эффективности мониторинга паводков становится одной из ключевых для обеспечения безопасности территорий. Настоящее исследование направлено на проведение комплексного обзора современных методов наблюдения за паводковой активностью и возможности их интеграции в рамках единой комплексной системы. В статье рассматриваются ключевые факторы возникновения весенних половодий, современные технологии для мониторинга паводков, использование спутниковых продуктов дистанционного зондирования Земли, применение гидрометеорологических данных РГП «Казгидромет», данные международных платформ и департамента ЧС, а также возможность разработки ИИ-модуля и имитационной модели в ходе дальнейших исследований.

Важными условиями повышения эффективности мониторинга являются модернизация технической инфраструктуры, развитие цифровых платформ для обмена данными, а также укрепление междисциплинарного взаимодействия между научными и административными структурами.

Проведённый обзор показал, что наличие разнородных наблюдательных данных, включая данные РГП «Казгидромет», материалы паспортов безопасности, спутниковые продукты дистанционного зондирования земли и данные международных платформ, создаёт основу для комплексной интеграции в рамках единой автоматизированной системы мониторинга паводков.

По статье:

Получено: 13.12.2025

Пересмотрено: 03.03.2026

Принято: 20.03.2026

Опубликовано: 01.04.2026

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на территории Казахстана наблюдаются изменения климатических условий, проявляющиеся в росте среднегодовых температур и увеличении пространственно-временной неравномерности осадков. По данным ежегодного бюллетеня РГП «Казгидромет», 2023 год стал самым тёплым за весь период инструментальных наблюдений с 1941 года. Среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму, при этом на станции Каратобе был зафиксирован абсолютный максимум температуры +46,0 °С. Распределение осадков характеризовалось высокой неравномерностью: весенний период отличался дефицитом осадков (53...56 % нормы), тогда как осенью наблюдалось их избыточное количество (до 149 % нормы). Такая изменчивость климатических условий способствует увеличению частоты экстремальных гидрометеорологических явлений, включая засухи и паводки, что повышает требования к системам мониторинга водных ресурсов и прогнозирования паводковой обстановки [1].

Для цитирования:

Толубекова Ж.,
Курмангалиева З.,
Курмангалиев Т.
Комплексный подход к
мониторингу паводков //
Гидрометеорология и
экология, 121 (1), 2026,
176-191.

Для территории Северного Казахстана ключевое значение в формировании весеннего половодья имеют характеристики снежного покрова и состояние почвенного слоя. Объём талых вод и интенсивность поверхностного стока напрямую зависят от снегозапасов, глубины промерзания почв и условий инфильтрации [2]. Дополнительное влияние оказывают географические условия и антропогенная деятельность, включая изменения в землепользовании и застройке территорий [3...4].

Многофакторная природа формирования паводков и рост связанных с ними рисков создают серьёзную угрозу для безопасности населения, устойчивости инфраструктуры и экономической стабильности страны [5], чем определяют необходимость интеграции разнородных данных для получения достоверной оценки паводковой обстановки.

Целью данной статьи является проведение комплексного обзора существующих методов мониторинга весеннего половодья с использованием современных инструментов дистанционного зондирования Земли, гидрометеорологических наблюдений и методов пространственного анализа применительно к условиям Республики Казахстан. Особое внимание уделено анализу роли снежного покрова, водного эквивалента снега, глубины промерзания почв и их инфильтрационной способности как ключевых факторов формирования весеннего стока и паводковой активности.

В статье рассматриваются возможности применения современных спутниковых и спутниково-модельных продуктов мониторинга снежного покрова, включая специализированный инструмент обработки спутниковой информации MODSNOW-Tool и портал FEWS NET, предоставляющий сведения о глубине снежного покрова, водном эквиваленте снега и их аномалиях. Дополнительно используются официальные гидрометеорологические бюллетени РГП «Казгидромет», архивные материалы наблюдений и применение данных Паспортов безопасности департамента по ЧС.

В работе анализируются перспективы создания ИИ-модуля и имитационной модели развития паводков на основе комплексного использования спутниковых, гидрометеорологических и геопространственных данных, что предполагает формирование единой базы многолетних наблюдений и интеграцию различных пространственных источников информации.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ключевые факторы паводковой активности

В рамках данного исследования под паводками понимаются кратковременные повышения уровня воды в водотоках, возникающие в результате интенсивного снеготаяния, выпадения обильных осадков или их сочетания. Следует отметить, что паводки дождевого генезиса по определяющим факторам формирования существенно отличаются от весенних половодий, которые носят сезонный характер и обусловлены преимущественно процессами таяния снежного покрова. Для северных регионов Республики наибольшую опасность представляют весенние половодья. Объём весеннего паводка в степной зоне Казахстана формируется под влиянием двух ключевых факторов: водного эквивалента твёрдых осадков, накопленных в зимний период, и инфильтрационной способности почвогрунтов в период активного снеготаяния [2].

Согласно исследованиям [6], объём весеннего половодья на реках казахстанского типа в значительной степени определяется впитывающей способностью почв. В Северном Казахстане наименьшая полевая влагоёмкость почвенного слоя 0...100 см составляет в среднем 160...240 мм, что сопоставимо с половиной годовой суммы осадков. Однако инфильтрация талых вод существенно ограничивается зимним промерзанием почв, глубина которого в холодные зимы может достигать 2 м. В период весеннего снеготаяния избыточная вода, не удерживается почвой и снежным покровом, в следствие чего формирует

поверхностный сток и определяет объём весеннего половодья, который зависит от погодных условий таяния снега и впитывания талой воды почвой.

Наряду с инфильтрационными свойствами почв, важнейшим фактором формирования весеннего половодья является объём накопленных за зимний период снежных запасов, количественно характеризуемый параметрами высоты снежного покрова и его водного эквивалента, которые в свою очередь оказывают непосредственное влияние на масштабы паводка: увеличение объёма, накопленного за зимний период снега, приводит к росту объёма талых вод, поступающих в речную сеть в период интенсивного снеготаяния. В горных районах сочетание снеготаяния и выпадения осадков может вызывать быстрый подъём уровня воды в реках, тогда как в равнинных условиях паводки, как правило, развиваются медленнее, но охватывают значительные территории. Измерение характеристик снежного покрова может осуществляться с использованием снегомерных реек для определения высоты снега и весовых снегомеров для оценки плотности снежного слоя, а в труднодоступных районах применяются специализированные транспортные средства [7].

Основными факторами формирования экстремально высокого паводка в сезоне 2023...2024 гг. стали аномально высокая осенняя влажность почв перед установлением снежного покрова (близкая к многолетним максимальным значениям на ряде территорий), повторяющиеся оттепели в течение зимнего периода и мощное арктическое вторжение в конце зимы, сопровождавшееся экстремально низкими температурами воздуха. Указанные условия способствовали формированию глубокого промерзания водонасыщенных почв. В результате глубоко промёрзший почвенный слой практически утрачивает инфильтрационную способность, что приводит к увеличению поверхностного стока и ускоренному поступлению талых вод в речную сеть [8].

Гидрометеорологические данные РГП «Казгидромет»

Практический и технический уровень мониторинга снежного покрова в РГП «Казгидромет» является достаточно высоким и включает комплекс наземных инструментальных наблюдений, регулярных маршрутных снегомерных съёмок и использования современных методов обработки гидрометеорологических данных. Система наблюдений основана на сети метеорологических станций, на которых выполняются регулярные измерения высоты снежного покрова, плотности снега, расчёт водного эквивалента снежного покрова и др.

В таблице 1 приведены средние значения высоты снежного покрова по областям Республики Казахстан за февраль 2024 года, полученные из Метеорологической базы РГП «Казгидромет» [9].

Таблица 1

Наивысшие показатели высоты снежного покрова по Казахстану за февраль 2024 года

	Область	Станция	Средние значения за февраль месяц (см)
Северный Казахстан	Акмолинская область	Коргалжын	116
		Атбасар	92
		Балкашино	71
	Северо-Казахстанская область	Кышкенеколь	102
		Тимирязево	100
		Петропавловск	46

	Область	Станция	Средние значения за февраль месяц (см)
Центральный Казахстан	Карагандинская область	Кзылтау	53
		Актогай	49
		Бектауата	37
	Область Ұлытау	Кзылжар	24
		Жана-Арка	18
Западный Казахстан	Актюбинская область	Родниковка	82
		Кос-Истек	51
		Карабутак	42
	Западно-Казахстанская область	Каратюба	36
		Джамбейты	30
Южный Казахстан	Алматинская область	Большое Алматинское озеро	70
		Шымбулак	66
		Мынжилки	45
	Туркестанская область	Шуылдак	79
		Шымкент	18
Восточный Казахстан	Восточно-Казахстанская область	Заповедник Маркаколь	138
		Зыряновск	117
		Теректы	92
	Область Абай	Кокпекты	59
		Уржар	59

Согласно данных Бюллетени «Снежный покров Казахстана» РГП «Казгидромет», проведённых исследований, в зимнем сезоне 2025...2026 гг. формирование снежного покрова на территории Казахстана до 10 января происходило в условиях выраженного малоснежья. Наблюдаемое в последние годы потепление климата может сопровождаться изменением характеристик Сибирского антициклона в начальный период зимы, что приводит к снижению высоты снежного покрова на территории Республики. Анализ наблюдений за последние девять лет показывает отсутствие зимних сезонов с устойчивым формированием значительных снеготпасов в начале зимнего периода, что позволяет рассматривать малоснежье декабря–января как формирующуюся многолетнюю климатическую особенность. Исключение составляет восточная часть Республики, где многолетняя изменчивость высоты снежного покрова не демонстрирует устойчивой тенденции к учащению малоснежных сезонов (рисунок 1) [8].

В период с 1 по 10 января 2026 года наблюдались незначительные твёрдые осадки, что существенно не повлияло на параметры снежного покрова, включая его высоту и водный эквивалент (рисунок 2). Средняя высота снежного покрова по территории Республики составляла около 15 см, что соответствует условиям малоснежного зимнего режима [8].

По состоянию на 10 января 2026 года снежный покров характеризуется широкой территориальной распространённостью при относительно небольшой высоте снежного слоя. Положительные аномалии водного эквивалента снежного покрова отмечаются в Во-

сточно-Казахстанской области и в предгорных районах Джунгарского Алатау на территории Жетысуской области. При этом высокогорные зоны формирования стока крупнейших рек Центральной Азии (Сырдарья, Чу, Иле, Талас и др.) характеризуются дефицитом снежных запасов вследствие недостаточного количества осадков (рисунок 3) [8].

Картографические материалы в рамках Бюллетени «Снежный покров Казахстана» были сформированы на основе портала данных FEWS NET [8...10].

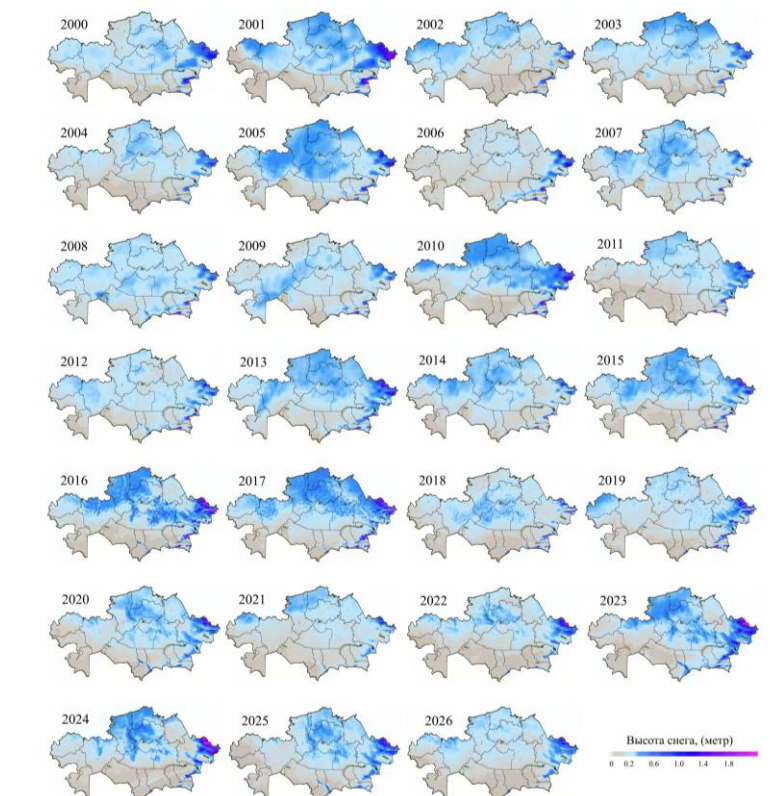


Рисунок 1. Результаты мониторинга состояния снежного покрова (высота снега) Казахстана на 10 января в период 2000...2026 гг. по данным FEWS USGS [8]

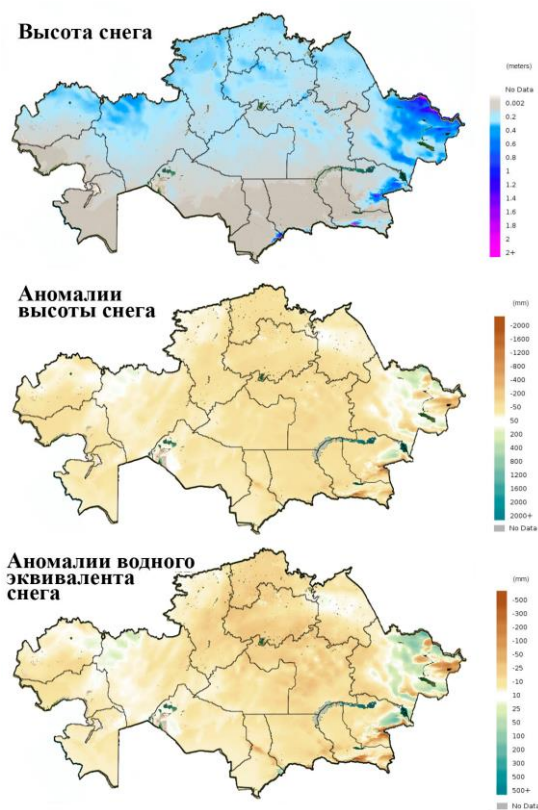


Рисунок 2. Основные характеристики снежного покрова (высота, аномалия высоты, аномалия водного эквивалента) на территории Казахстана на 10 января 2026 г. (карты FEWS NET) [8]

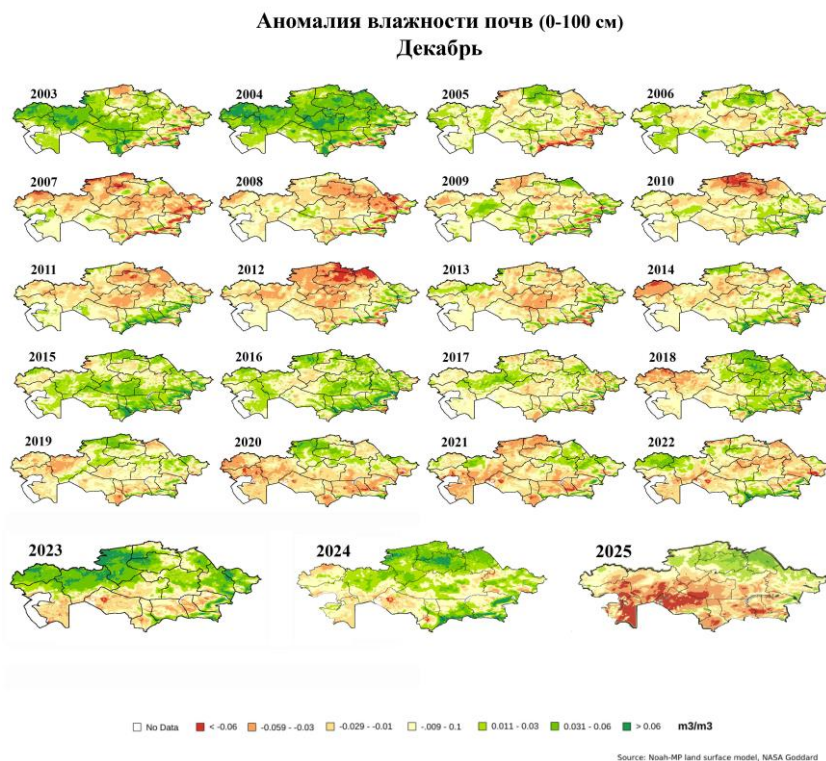


Рисунок 3. Мониторинг аномалий влажности почвенного слоя 0...100 см на первую декаду декабря (период перед установлением устойчивого снежного покрова) для территории Казахстана в период 2003...2025 гг. Результат обработки данных SD FEWS NET [8]

Современные технологии для мониторинга паводков

Современный уровень развития дистанционного зондирования Земли предполагает использование специализированных автоматизированных продуктов мониторинга снежного покрова, поскольку анализ отдельных спутниковых снимков не обеспечивает необходимой полноты и сопоставимости данных. В настоящее время снежный покров описывается широким спектром специализированных продуктов, часть из которых применяется на практике в Казахстане.

Для анализа характеристик снежного покрова применяется, в том числе портал данных FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network), который предоставляет доступ к геопространственным данным, производным наборам данных и спутниковым продуктам дистанционного зондирования, включая глубину снежного покрова (Snow Depth), аномалии глубины снежного покрова (Snow Depth Anomaly), водный эквивалент снега (Snow Water Equivalent) и аномалии водного эквивалента снега (Snow Water Equivalent Anomaly). Данный портал поддерживается проектом USGS FEWS NET, который входит в направление раннего предупреждения Центра наблюдения и науки о ресурсах Земли (Earth Resources Observation and Science, EROS) Геологической службы США (USGS) [10].

Данные о снежном покрове имеют важное значение для оценки водных запасов, прогнозирования сезонной водообеспеченности и анализа опасных явлений (например, усиленное снеготаяние). В частности, разработаны операционные инструменты ежедневного мониторинга снежного покрова на основе данных MODIS, например, MODSNOW-Tool [11]. MODSNOW-Tool использует пошаговый алгоритм устранения облачности и формирует безоблачные карты снежного покрова с расчетом статистических характеристик площади снежного покрова. Валидация результатов показала среднюю точность около 94 % на основе анализа 84 дней с минимальной облачностью в бассейне реки Карадарья (Центральная Азия). Инструмент может работать как в автоматическом режиме с ежедневным обновлением данных, так и в режиме обработки архивных временных рядов. В настоящее время MODSNOW-Tool используется национальными гидрометеорологическими службами стран Центральной Азии, включая Казахстан, для задач прогнозирования сезонной водообеспеченности [12].

Для регионов с преимущественно снеговым питанием рек, включая Северный Казахстан, параметры снежного покрова выступают определяющим фактором формирования весеннего половодья и требуют обязательного учета в комплексных системах мониторинга и прогнозирования паводков.

Реализация комплексного мониторинга паводков предполагает не только анализ факторов их формирования, но и картографирование фактических зон затопления на основе спутниковых наблюдений. Спутниковые снимки эпизодов весеннего половодья 2024 г. на примере города Петропавловск представлены на рисунках 4 и 5. Снимки взяты из системы Google Earth и сцен Sentinel-2, Landsat 8.

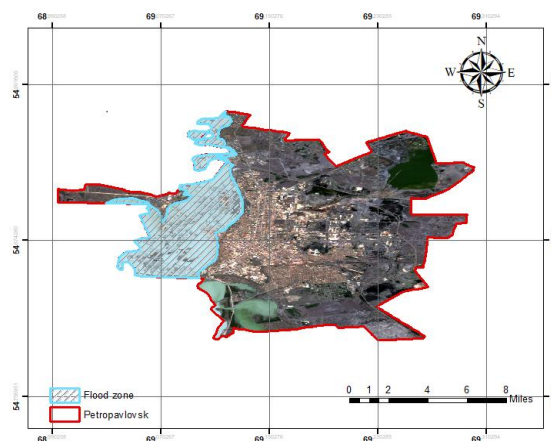


Рисунок 4. Зона затопления в городе Петропавловск

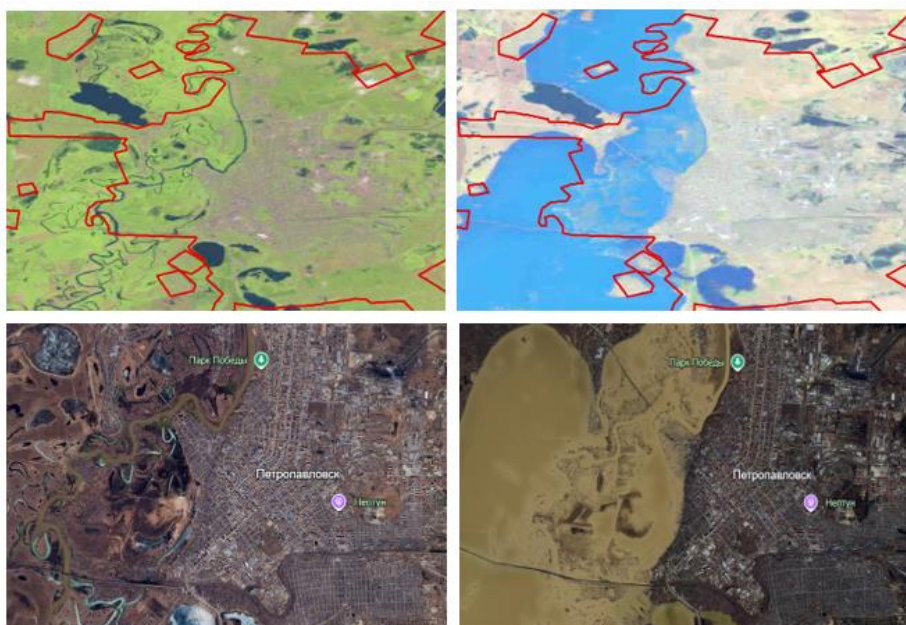


Рисунок 5. До и после весеннего половодья 2024 года в городе Петропавловск

Использование технологий дистанционного зондирования Земли существенно улучшает точность и оперативность определения зон затопления. Спутниковые системы охватывают обширные территории, включая труднодоступные районы, что невозможно обеспечить исключительно наземными методами. Анализ архивных спутниковых снимков предоставляет возможность выявления долгосрочных тенденций паводков и планирования превентивных мероприятий [13].

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), или дроны, всё чаще используются для мониторинга паводков, особенно в удалённых и труднодоступных районах. Оснащённые различными сенсорами, включая тепловизоры и камеры высокого разрешения, дроны способны осуществлять наблюдение как днём, так и ночью. Основные их преимущества — это быстрота реагирования, мобильность, а также возможность проведения детального анализа разрушений и оценки состояния инфраструктурных объектов. Они эффективно применяются для обследования территорий, пострадавших от затоплений, определения границ паводков, расчёта ущерба, а также мониторинга состояния защитных сооружений, таких как дамбы и насыпи [14].

Использование искусственного интеллекта (ИИ) позволяет анализировать большие объемы данных и делать более точные прогнозы. Преимуществами является возможность прогнозирования паводков, включая различные сценарии развития ситуации, интеграция данных с различных источников [15].

Исторический анализ паводков в Казахстане

Казахстан часто сталкивается с разрушительными наводнениями и селевыми потоками, которые оказывают значительное влияние на социальные проблемы и на экономику страны. Эти природные явления становятся причиной крупных разрушений, человеческих жертв и значительных материальных ущербов [16].

В 2010 году в Алматинской области прорыв дамбы Кызылагашского водохранилища стал крупнейшей техногенной катастрофой с жертвами и огромными разрушениями. В 2012 году интенсивные дожди и таяние снега вызвали наводнения в Южно-Казахстанской области, затопившие 25 населённых пунктов и требующие значительных затрат на ликвидацию последствий. В 2014 году в Карагандинской области произошло масштабное наводнение: из-за прорыва плотины Кокпектинского водохранилища вода затопила около сотни домов, в связи с чем, погибло пять человек, многие пострадавшие были госпитализированы с переохлаждением. В 2017 году таяние снега и разрушение дамбы в нескольких областях вызвали масштабные затопления. В 2018 году Восточный Казахстан пережил сильные наводнения с разрушениями в Усть-Каменогорске и окрестных сёлах. В 2023 году паводковые воды затопили несколько районов Казахстана, включая Актюбинскую, Костанайскую и Туркестанскую области, вызвав эвакуацию жителей и ущерб [17].

Паводок 2024 года в Казахстане стал самым масштабным за последние восемь десятилетий, охватив значительную часть территории страны и продолжавшись почти два месяца (рисунок 6). Сведения об основных событиях произошедших в данных областях, представлены в таблице 2.

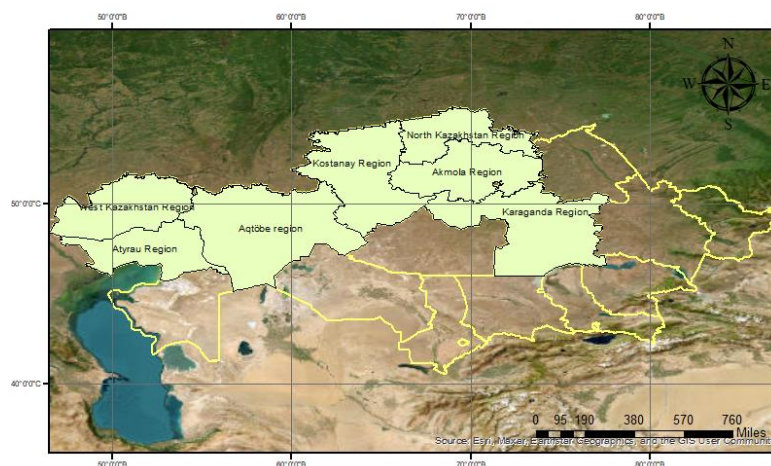


Рисунок 6. Области Республики Казахстан подвергшиеся затоплениям в 2024 году.

Таблица 2

Сведения об основных событиях произошедших в регионах в 2024 году

Регион	Затоплено домов	Эвакуировано людей	Основные события
Актюбинская область	1 400	11 600	Прорыв плотин, разрушения, сель
Атырауская область	2 800	36 000	Разлив реки Жем в Кульсары
Костанайская область		9 000	Повышение уровня воды в реке Тобол
Западно-Казахстанская область	1 500	14 000	Подъема уровня воды, размыв дорог
Северо-Казахстанская область	3 800	14 000	Талые воды, угроза в Петропавловске
Карагандинская область	60		Подтопления в Шетском районе
Акмолинская область	837	2 800	ЧС природного характера были объявлены в городе Кокшетау и пяти районах

Власти Республики Казахстан приняли комплексные меры по ликвидации последствий паводков и поддержке пострадавших граждан. Пострадавшим выплатили единовременные пособия, компенсации за утраченное имущество, ремонт жилья и павший скот. Семьи, лишившиеся жилья, получили новые квартиры или дома, в ряде регионов началось массовое строительство индивидуального жилья. Параллельно проводилась масштабная оценка ущерба и техническое обследование пострадавших домов. Были задействованы мобильные группы, которые обходили дома, консультировали жителей и помогали с оформлением выплат. Поступала гуманитарная помощь – продукты, вода, одежда и другие необходимые вещи. Работали консультационные центры, куда жители могли обращаться по всем вопросам, связанным с восстановлением. Инфраструктура активно восстанавливалась: откачивали воду, расчищали завалы, ремонтировали дороги, восстанавливали насосные станции и возводили временные дамбы. Детей из пострадавших семей отправили в оздоровительные лагеря, а эвакуированные постепенно возвращаются в свои дома [18].

Данные Паспортов безопасности департамента по ЧС

Для комплексного мониторинга паводков важен не только инструментальный дистанционного зондирования, но и достоверная описание самой территории. Министерство по чрезвычайным ситуациям сформировало и регулярно обновляет уникальный банк данных о характерных для Казахстана чрезвычайных ситуациях, основанный на паспортах безопасности всех административно-территориальных единиц страны. Подготовка таких паспортов для областей, городов республиканского значения, столицы и районов является частью мероприятий гражданской защиты, направленных на предупреждение ЧС.

Паспорта безопасности территорий Республики Казахстан содержат структурированные данные о рисках чрезвычайных ситуаций природного характера, гидрологических опасных явлениях, паводкоопасных территориях и населённых пунктах, зонах возможного затопления, участках транспортной инфраструктуры, подверженных подтоплению, и пунктах эвакуации населения, что позволяет использовать их в качестве одного из немаловажных источников данных при интеграции в цифровые системы мониторинга и прогнозирования паводковой обстановки [19].

Паспорта безопасности используются как инструмент для оценки и прогнозирования природных и техногенных рисков, определения возможных последствий, разработки мер по снижению опасности и смягчению ущерба, а также для установления потенциальных зон распространения чрезвычайных ситуаций.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рекомендации к управлению паводковой активностью

Для эффективной борьбы с паводками необходимо комплексное внедрение мер, включая строительство и эксплуатацию водозаборных и противопаводковых сооружений, создание водохранилищ для управления избыточными водами, улучшение систем дренажа и водоотведения в населенных пунктах, а также регулярное обслуживание водоотводных систем [20...21], также важно разработать планы эвакуации и аварийных мероприятий, провести обучение населения мерам предотвращения наводнений.

Использование талой воды в сельскохозяйственных целях может быть связано с концепцией накопительных систем для паводков, что является важным элементом эффективного управления водными ресурсами в регионах, подверженных паводковым рискам. В условиях, когда снежный покров сохраняется до шести месяцев в году, накопительные резервуары могут служить не только для регулирования водных потоков в период паводков, но и для сбора и хранения талой воды [22], [7]. Данные резервуары позволяют задерживать избыточные паводковые воды в период весеннего таяния снега и высоких дождевых осадков, минимизируя угрозу затоплений, а также обеспечивая возможность использования накопленной воды для орошения в периоды дефицита осадков.

Рекомендации к разработке ИИ-модуля и имитационной модели

Наличие значительного объёма разнородных наблюдательных данных, включая данные РГП «Казгидромет», материалы паспортов безопасности территорий Республики Казахстан, спутниковые продукты дистанционного зондирования Земли и данные международных информационных платформ, создаёт предпосылки для создания единой автоматизированной системы на основе комплексной интеграции всех этих данных.

В рамках дальнейших исследований рассматривается возможность разработки ИИ-модуля и имитационной модели развития паводковых процессов. Планируемая разработка ИИ-модуля сегментации затопленных территорий будет ориентироваться на анализ многовременных спутниковых изображений, полученных до и после паводковых событий. В составе ИИ-модуля рассматривается возможность реализации нейросетевой архитектуры сегментационного типа, разработанной с учётом особенностей задачи выявления зон затопления по данным дистанционного зондирования. Модель будет выполнять пиксельную классификацию территории с формированием бинарных масок затопления на основе анализа пространственных и временных изменений спектральных характеристик подстилающей поверхности.

Входными данными модели будут являться многоканальные спутниковые изображения Sentinel-2, включающие каналы видимого и ближнего инфракрасного диапазонов, а также данные аэросъёмки, полученные с беспилотных летательных аппаратов, используемые для повышения пространственного разрешения и уточнения границ зон затопления. На этапе предварительной обработки выполняется радиометрическая нормализация изображений, пространственное совмещение сцен, а также формирование дополнительного признакового пространства на основе расчёта водных спектральных индексов, в частности нормализованного дифференциального водного индекса NDWI.

Формирование обучающей выборки будет осуществляться с использованием полуавтоматической генерации масок затопления на основе спектрального анализа водных поверхностей с последующей экспертной корректировкой результатов в геоинформационной среде.

Алгоритм функционирования ИИ-модуля будет включать последовательные этапы загрузки и предварительной обработки спутниковых данных, формирования многомерного признакового пространства, обучения нейросетевой модели сегментации, автоматической генерации масок затопления, постобработки результатов сегментации с применением морфологических фильтров и автоматической подготовки данных для использования в геоинформационных системах и средах пространственного моделирования.

Отличительной особенностью данного подхода будет являться возможность прямого использования результатов нейросетевой обработки в системах трёхмерного геопространственного моделирования. ИИ-модуль будет интегрирован в среду трёхмерного моделирования на базе Unreal Engine 5, что обеспечивает автоматическое формирование цифровых моделей затопления на основе результатов сегментации. Полученные маски затопления планируется использовать для генерации динамических водных поверхностей и последующего имитационного моделирования распространения паводковых вод с использованием специализированных гидродинамических модулей симуляции.

Система будет обеспечивать возможность динамического изменения параметров моделирования, включая изменение уровня воды, характеристик рельефа, параметров поверхностного стока, параметров городской инфраструктуры и сценариев развития паводковой ситуации. Предполагается, что высокая степень модульности программной архитектуры обеспечит гибкость системы и возможность её адаптации под различные территории, гидрологические условия и сценарии развития чрезвычайных ситуаций.

Оценку точности работы метода планируется выполнять с использованием стандартных метрик качества сегментации изображений, включая коэффициент пересечения объединения (Intersection over Union, IoU), F1-меру, а также сравнительный анализ площадей затопления с эталонными картами паводков и архивными данными наблюдений.

Научная новизна работы заключается в реализации технологии прямой интеграции результатов нейросетевого анализа в среду трёхмерного пространственного моделирования с возможностью последующего имитационного моделирования распространения паводковых вод в цифровой модели территории.

На рисунках 7 и 8 изображены предварительные модели 3D симуляции в г.Петропавловск во время весеннего половодья и после.



Рисунок 7. Начальная модель 3D симуляции в г.Петропавловск во время затопления

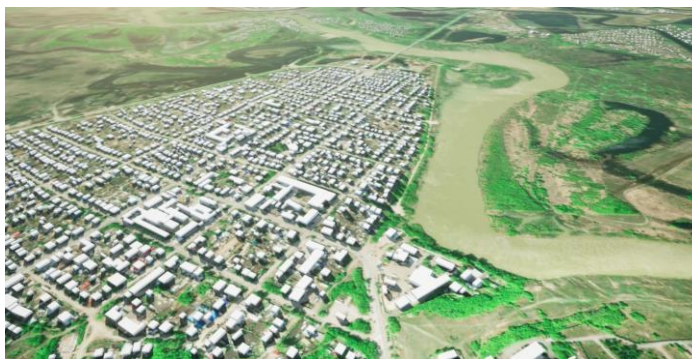


Рисунок 8. Начальная модель 3D симуляции в г.Петропавловск после затопления.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый обзор показал, что ключевую роль в формировании весеннего половодья играют параметры снежного покрова, состояние почвенного слоя и гидрометеорологические условия, что определяет необходимость их комплексного учёта при мониторинге паводковой обстановки.

Рассмотренные современные технологии мониторинга, включая спутниковые продукты дистанционного зондирования Земли, данные международных информационных платформ, гидрометеорологические наблюдения РГП «Казгидромет», а также сведения паспортов безопасности территорий, позволяют формировать базу разнородных наблюдательных данных. Проведённый обзор подтвердил возможность их комплексной интеграции в рамках единой автоматизированной системы мониторинга паводков.

Практическая значимость исследования заключается в обосновании подходов к формированию единой цифровой среды анализа паводковых процессов, которая может использоваться при мониторинге, оценке рисков и прогнозировании паводковой обстановки.

В ходе дальнейших исследований рассматривается возможность разработки ИИ-модуля прогнозирования паводковой обстановки и имитационной модели развития паводков на основе интеграции спутниковых, гидрометеорологических и геопространственных данных, что позволит повысить точность прогнозирования и оперативность принятия решений в условиях изменяющегося климата.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - ЖЗТ, ЗНК; управление данными – ЗНК, ТК; формальный анализ - ЗНК; методология - ЖЗТ, ЗНК, ТК; программное обеспечение – ЗНК, ТК; отслеживание - ЗНК; Визуализация – ЗНК, ТК; написание исходного проекта – ЗНК, ТК; написание и редактирование обзора – ЖЗТ, ЗНК, ТК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РГП «Казгидромет». Обзор об особенностях климата на территории Казахстана. – [Электрон. ресурс]. – <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/obzor-ob-osobennostyah-klimata-na-territorii-kazahstana>, дата обращения: 16.11.2025.
2. Терехов А. Г., Абаев Н. Н., Тиллякарим Т. А., Серикбай Н. Т. О взаимосвязи между количеством снега и объёмом весеннего половодья в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. –Т. 20. № 1. –С. 323–328. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-1-323-328>.
3. Laiskhanov S., Sharapkhanova Z., Myrzakhmetov A., Levin E., Taukebayev O., Nurmagambetuly Z., Kaster S. (2025). Geo-Ecological Analysis of the Causes and Consequences of Flooding in the Western Region of Kazakhstan, Urban Science. <https://doi.org/10.3390/urbansci9010020>
4. Alborzi A., Zhao Y., Nazemi A., Mirchi A., Mallakpour I., Moftakhari H., Ashraf S., Izad R., Aghakouchak A. (2022). The tale of three floods: From extreme events and cascades of highs to anthropogenic floods, Weather and Climate Extremes. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100495>

5. Aitzhanova M., Zhaparova S. (2023). Environmental Risk Assessment of Spring Floods in the Akmola Region of Kazakhstan, *International Journal of Sustainable Development and Planning*. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181033>
6. Терехов А.Г., Саиров С.Б., Абаев Н.Н., Сагатдинова Г.Н., Амиргалиев Е.Н. О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2024. – Т. 21. №3. – С. 331–338. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338>
7. Teleubay Z., Yermekov F., Tokbergenov I., Toleubekova Z., Assylkhanova A., Balgabayev N., Kovács, Z. (2023). Identification of Potential Farm Pond Sites for Spring Surface Runoff Harvesting Using an Integrated Analytical Hierarchy Process in a GIS Environment in Northern Kazakhstan, *Water*. <https://doi.org/10.3390/w15122258>
8. РГП «Казгидромет». Бюллетень «Снежный покров Казахстана» 2026.
9. Метеорологическая база РГП «Казгидромет». – [Электрон. ресурс]. – http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/, дата обращения: 25.11.2025.
10. Famine Early Warning Systems Network. – [Электрон. ресурс]. – <https://fews.net/>, дата обращения: 09.02.2026.
11. Gafurov, A., Lüdtke, S., Unger-Shayesteh, K. et al. (2016). MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data, *Environ Earth Sci* 75, 1078. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5869-x>
12. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 19, EGU2017-15884, 2017. EGU General Assembly 2017. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-15884.pdf>
13. Zou S., Abuduwaii J., Ding J., Duan W., Maeyer P., Voorde T. (2020). Description and Attribution Analysis of the 2017 Spring Anomalous High Temperature Causing Floods in Kazakhstan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. P. 1353-1368. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-070>
14. Munawar H., Ullah F., Qayyum S., Khan S., Mojtahedi M. (2021). UAVs in Disaster Management: Application of Integrated Aerial Imagery and Convolutional Neural Network for Flood Detection. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU13147547>
15. Saravi S., Kalawsky R., Joannou D., Casado M., Fu G., Meng F. (2019). Use of Artificial Intelligence to Improve Resilience and Preparedness Against Adverse Flood Events. *Water*. <https://doi.org/10.3390/W11050973>
16. Spivak L., Arkhipkin O., Pankratov V., Vitkovskaya I., Sagatdinova G. (2004). Space monitoring of floods in Kazakhstan. 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. P. 4582-4584. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2004.06.018>
17. Sputnik Kazakhstan [Электрон. ресурс]. – <https://ru.sputnik.kz/20240409/pavodki-v-kazahstane-samyekrupnye-navodneniya-v-istorii-strany-43561178.html> (дата обращения: 19.11.2025).
18. Kazinform [Электрон. ресурс]. – <https://www.inform.kz/ru/hroniki-navodneniya-kak-regioni-kazahstana-perezhlili-nebivaliy-pavodok-949756> (дата обращения: 20.11.2025).
19. Департамент по чрезвычайным ситуациям Северо-Казахстанской области. – [Электрон. ресурс]. – <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer-sko?lang=ru>, дата обращения: 22.11.2025
20. Ward P., Ruiter M., Mård J., Schröter K., Loon A., Veldkamp T., Uexkull N., Wanders N., Aghakouchak A., Arnbjerg-Nielsen K., Capewell L., Llasat M., Day R., Dewals B., Baldassarre G., Huning L., Kreibich H., Mazzoleni M., Savelli E., Teutschbein C., Berg H., Heijden A., Vincken J., Waterloo M., Wens, M. (2020). The need to integrate flood and drought disaster risk reduction strategies, *Water Security*. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100070>
21. Li F., Yan X., Duan H. (2019). Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems by Implementing Detention Tank and LID Measures for Flooding Risk Control and Water Quality Management, *Water Resources Management*. P. 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02300-0>
22. Nordmark A. (2002). Overview on survey of water installations underground: underground water-conveyance and storage facilities, *Tunnelling and Underground Space Technology*. P. 163-178. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(02\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(02)00012-3)

REFERENCES

1. Kazhydromet RSE. Overview of climate features across Kazakhstan. Available at: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/obzor-ob-osobennostyah-klimata-na-territorii-kazahstana> (Accessed: 16 November 2025).
2. Terekhov, A.G., Abaev, N.N., Tillyakarim, T.A., Serikbai, N.T. (2023). O vzaimosvyazi mezhdru kolichestvom snega i obyomom vesennego polovodya v Severnom Kazahstane [On the relationship between snow amount and spring flood volume in Northern Kazakhstan]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 20(1), pp. 323–328. [in Russian]
3. Laiskhanov, S., Sharapkhanova, Z., Myrzakhmetov, A., Levin, E., Taukebayev, O., Nurmagambetuly, Z., Kaster, S. (2025). Geo-Ecological Analysis of the Causes and Consequences of Flooding in the Western Region of Kazakhstan. *Urban Science*. <https://doi.org/10.3390/urbansci9010020>
4. Alborzi, A., Zhao, Y., Nazemi, A., Mirchi, A., Mallakpour, I., Moftakhari, H., Ashraf, S., Izad, R., Aghakouchak, A. (2022). The tale of three floods: From extreme events and cascades of highs to anthropogenic floods. *Weather and Climate Extremes*. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100495>
5. Aitzhanova, M., Zhaparova, S. (2023). Environmental Risk Assessment of Spring Floods in the Akmola Region of Kazakhstan. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181033>
6. Terekhov, A.G., Sairov, S.B., Abaev, N.N., Sagatdinova, G.N., Amirgaliev, E.N. (2024). O vozmozhnykh prichinakh iskluchitelno bolshikh vesennikh pavodkov 2024 goda v Kazahstane [On possible causes of extremely large spring floods

- in Kazakhstan in 2024]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 21(3), pp. 331–338. [in Russian]
7. Teleubay, Z., Yermekov, F., Tokbergenov, I., Toleubekova, Z., Assylkhanova, A., Balgabayev, N., Kovács, Z. (2023). Identification of Potential Farm Pond Sites for Spring Surface Runoff Harvesting Using an Integrated Analytical Hierarchy Process in a GIS Environment in Northern Kazakhstan. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w15122258>
 8. Kazhydromet RSE. Snow Cover of Kazakhstan Bulletin (2026).
 9. Kazhydromet Meteorological Database. Available at: http://ecodata.kz:3838/dm_climat_ru/ (Accessed: 25 November 2025).
 10. Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET). Available at: <https://fewsn.net/> (Accessed: 9 December 2025).
 11. Gafurov, A., Lüdtke, S., Unger-Shayesteh, K., et al. (2016). MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1078. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5869-x>
 12. Gafurov, A., et al. (2017). MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. *Geophysical Research Abstracts*, 19, EGU2017-15884.
 13. Zou, S., Abuduwaili, J., Ding, J., Duan, W., Maeyer, P., Voorde, T. (2020). Description and Attribution Analysis of the 2017 Spring Anomalous High Temperature Causing Floods in Kazakhstan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-070>
 14. Munawar, H., Ullah, F., Qayyum, S., Khan, S., Mojtahedi, M. (2021). UAVs in Disaster Management: Application of Integrated Aerial Imagery and Convolutional Neural Network for Flood Detection. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU13147547>
 15. Saravi, S., Kalawsky, R., Joannou, D., Casado, M., Fu, G., Meng, F. (2019). Use of Artificial Intelligence to Improve Resilience and Preparedness Against Adverse Flood Events. *Water*. <https://doi.org/10.3390/W11050973>
 16. Spivak, L., Arkhipkin, O., Pankratov, V., Vitkovskaya, I., Sagatdinova, G. (2007). Space monitoring of floods in Kazakhstan. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
 17. Sputnik Kazakhstan. Major floods in Kazakhstan history. Available at: <https://ru.sputnik.kz/20240409/pavodki-v-kazahstane-samye-krupnye-navodneniya-v-istorii-strany-43561178.html> (Accessed: 19 November 2025).
 18. Kazinform. Chronicle of floods in Kazakhstan regions. Available at: <https://www.inform.kz/ru/hroniki-navodneniya-kak-regioni-kazahstana-perezhlili-nebivaliy-pavodok-949756> (Accessed: 20 November 2025).
 19. Department of Emergency Situations of North Kazakhstan Region. Available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer-sko?lang=ru> (Accessed: 22 November 2025).
 20. Ward, P., Ruiter, M., Mård, J., et al. (2020). The need to integrate flood and drought disaster risk reduction strategies. *Water Security*. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100070>
 21. Li, F., Yan, X., Duan, H. (2019). Sustainable Design of Urban Stormwater Drainage Systems. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02300-0>
 22. Nordmark, A. (2002). Overview on survey of water installations underground. *Tunnelling and Underground Space Technology*. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(02\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(02)00012-3)

СУ ТАСҚЫНЫНА МОНИТОРИНГ ЖАСАУДЫҢ КЕШЕНДІ ТӘСІЛІ

Жанат З. Толеубекова, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Забида Н. Курманғалиева*, Тамерлан Курманғалиев

«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан; jtoleubekova@mail.ru (ЖЗТ), zabida_98@mail.ru (ЗНК), tzer_95@mail.ru (ТК)

*Автор корреспондент: Забида Н. Курманғалиева, zabida_98@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

көктемгі су тасқыны; қар жамылғысы; топырақ ылғалдылығы; заманауи технологиялар; спутниктік мониторинг; ЖҚЗ деректері; жасанды интеллект модулі; имитациялық модель.

АБСТРАКТ

Климаттық өзгерістердің күшеюі және экстремалды гидрометеорологиялық құбылыстардың жиілеуі жағдайында су тасқынын мониторингтеу тиімділігін арттыру аумақтардың қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі міндеттерінің біріне айналуға. Осы зерттеу су тасқыны белсенділігін бақылаудың заманауи әдістеріне кешенді шолу жасауға және оларды бірыңғай интеграцияланған жүйе шеңберінде біріктіру мүмкіндіктерін бағалауға бағытталған. Мақалада көктемгі су тасқындарының қалыптасу факторлары, су тасқынын мониторингтеудің заманауи технологиялары, Жерді қашықтан зондтау спутниктік өнімдерін қолдану, «Қазгидромет» РМҚ гидрометеорологиялық деректері, халықаралық деректер платформалары мен төтенше жағдайлар қызметтерінің деректері,

Мақала жайында:

Алынды: 13.12.2025

Қайта қаралды: 03.03.2026
 Қабылданды: 20.03.2026
 Жарияланды: 01.04.2026

сондай-ақ болашақ зерттеулер аясында жасанды интеллект модулі мен имитациялық модельді әзірлеу мүмкіндіктері қарастырылған. Мониторинг тиімділігін арттырудың маңызды шарттарына техникалық инфрақұрылымды жаңғырту, деректер алмасуға арналған цифрлық платформаларды дамыту және ғылыми және әкімшілік құрылымдар арасындағы пәнаралық өзара іс-қимылды күшейту жатады. Жүргізілген шолу «Қазгидромет» РМК деректерін, аумақтардың қауіпсіздік паспорттары материалдарын, ЖҚЗ спутниктік өнімдерін және халықаралық ақпараттық платформалардың деректерін қамтитын әртүрлі бақылау деректерінің болуы су тасқынын мониторингтеудің бірыңғай автоматтандырылған жүйесі шеңберінде кешенді интеграция жүргізуге мүмкіндік беретінін көрсетті.

A COMPREHENSIVE APPROACH TO FLOOD MONITORING

Zhanat Toleubekova candidate of technical sciences, Associate Professor, Zabida Kurmangalieva*, Tamerlan Kurmangaliyev

Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan; jtoleubekova@mail.ru, zabida_98@mail.ru, tzer_95@mail.ru

*Corresponding author: Zabida Kurmangalieva, zabida_98@mail.ru

KEY WORDS

spring flood; snow cover; soil moisture; advanced technologies; satellite monitoring; remote sensing data; AI module; simulation model

About article:

Received: 13.12.2025

Revised: 03.03.2026

Accepted: 20.03.2026

Published: 01.04.2026

ABSTRACT

Under the growing influence of climate change and the increasing frequency of extreme hydrometeorological events, improving the efficiency of flood monitoring has become a key task for ensuring territorial safety. This study is aimed at providing a comprehensive review of modern flood monitoring approaches and assessing their integration potential within a unified monitoring system. The paper examines the key factors driving spring flood formation, modern flood monitoring technologies, the use of satellite remote sensing products, hydrometeorological data from RSE "Kazhydromet", data from international information platforms and emergency management agencies, as well as the potential development of an AI-based module and a simulation model in future research.

Improving monitoring efficiency requires modernization of technical infrastructure, development of digital data exchange platforms, and strengthening interdisciplinary cooperation between scientific and administrative institutions.

The review demonstrates that the availability of diverse observational datasets, including Kazhydromet data, territorial safety passport materials, remote sensing satellite products, and international platform data, provides a foundation for comprehensive integration within a unified automated flood monitoring system.

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).