



Научная статья

ОЦЕНКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ПАВОДКАХ НА РЕКЕ ЖАЙЫК (УРАЛ)

Айгерим К. Калыбаева*¹ , Саним Б. Бисенбаева² PhD 

¹ ТОО Институт Ионосферы, Алматы, Казахстан; kalybayeva.aigerim@gmail.com (AKK)

² Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан; djusali@mail.ru (СББ)

*Автор корреспонденции: Айгерим К. Калыбаева, kalybayeva.aigerim@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

паводки,
гидравлическое
моделирование,
HEC-RAS,
зоны затопления,
дистанционное
зондирование,
река Жайык

АБСТРАКТ

Наводнения на реке Жайык представляют серьёзную угрозу для природных экосистем и населения региона, что делает их исследование и прогнозирование особенно актуальными. В работе рассмотрены возможности применения гидравлического моделирования для определения зон затопления и оценки его достоверности с использованием современных данных наблюдений и дистанционного зондирования. Моделирование было выполнено в программном комплексе HEC-RAS 2D с применением гидрологических наблюдений и цифровой модели рельефа. Для проверки полученных результатов использовались спутниковые снимки высокого разрешения PlanetScope и данные беспилотных летательных аппаратов. Сравнение показало высокий уровень пространственного совпадения: пересечение смоделированных и фактических зон затопления составило 87 %, среднее расхождение по площади — 12.4 га, а средняя ошибка воспроизведения глубины паводковых вод не превышала 0.18 м. Результаты показали высокую степень согласованности расчётов с наблюдениями, что подтверждает эффективность применения гидравлического моделирования для анализа паводков. Полученные выводы имеют как научное, так и практическое значение. Использование интегрированного подхода на основе гидравлического моделирования, данных дистанционного зондирования и БПЛА открывает возможности для совершенствования систем мониторинга и прогнозирования паводков, а также для разработки мероприятий по снижению их последствий в бассейне реки Жайык.

По статье:

Получено: 02.10.2025

Пересмотрено: 06.10.2025

Принято: 06.10.2025

Опубликовано: 08.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наводнения становятся всё более частыми и разрушительными, что связано как с изменением климата, так и с антропогенным воздействием [1,2]. Эти явления наносят значительный ущерб сельскому хозяйству, транспортной и инженерной инфраструктуре, жилым массивам и природным экосистемам, что подчёркивает необходимость разработки эффективных методов их оценки и прогнозирования [3...5].

Изменение климата приводит к учащению экстремальных осадков и ускоренному таянию снега в горных районах, усиливая вероятность наводнений и паводков [6...8]. В бассейнах, где основным источником питания рек служит снег, сочетание интенсивного таяния и обильных осадков в весенний период является ключевым фактором формирования высоких уровней половодья [9].

Гидравлические модели позволяют прогнозировать зоны затопления и глубину залегания воды, моделируя движение потока в руслах рек [10]. Система HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) [11] является одним из наиболее распространённых и надёжных инструментов для одномерного и

Для цитирования:

Калыбаева А., Бисенбаева С. Оценка моделирования зон затопления при паводках на реке Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология, 119 (4), 2025, 84-94.

двумерного гидравлического моделирования. Она широко используется в практике анализа паводковых рисков и оценки последствий наводнений [12].

Бассейн реки Жайык отличается сложной морфологией – от горных заснеженных участков в верховьях до равнинных, извилистых русел в среднем и нижнем течении. Такая пространственная неоднородность требует проведения детальных гидрологических исследований и стратегического планирования водопользования. Рядом авторов проанализирована временная изменчивость стока реки Урал [13], а некоторые подчеркнули влияние температурных аномалий и грунтовых вод на гидрологический режим [14]. В дальнейшем определено влияние глобальных климатических изменений на речной сток [15].

Исследованы ежегодные, сезонные и месячные потребности в воде в различных секторах Казахстана, включая население, промышленность, сельское хозяйство и экосистемы, уделив особое внимание реке Урал в контексте устойчивого водопользования [16]. Проведен анализ экстремальной паводковой ситуации на реке Жайык, изучив гидрологические наблюдения и динамику волны половодья [17], а также проведен ретроспективный анализ многолетней изменчивости паводков, определивший вероятностные повторения экстремальных расходов воды и характерные уровни [18]. Выявлены тенденции сокращения годового стока и уменьшения амплитуды его колебаний на фоне роста температуры воздуха, что указывает на климатическое ослабление водных ресурсов бассейна [19].

Бассейн реки Жайык уязвим как к наводнениям, так и к засушливым периодам. С 1743 года здесь зафиксировано более 20 крупных паводков, включая события 1749, 1854, 1922, 1942, 1957, 1993, 2000 и 2005 годов [20]. Весной 2024 года произошло одно из наиболее разрушительных наводнений, приведшее к затоплению более 13 000 домов и эвакуации свыше 10 000 человек в районе города Уральск [21,22]. Масштаб катастрофы и её социально-экономические последствия подчёркивают необходимость углублённого изучения причин и механизмов формирования паводков в бассейне реки Жайык.

Настоящее исследование направлено на анализ гидрологических и антропогенных факторов, определяющих паводковую динамику в бассейне реки Жайык, с акцентом на разрушительное наводнение апреля 2024 года. Для этого применён метод гидравлического моделирования, позволивший оценить зоны затопления и проверить результаты по спутниковым данным. Особое внимание уделено влиянию интенсивности снеготаяния и водохозяйственных операций на формирование паводка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бассейн реки Жайык берёт начало в Уральских горах (Россия) и впадает в Каспийское море (Казахстан), занимая площадь 231 000 км². Около 36 % территории бассейна находится в пределах России, а 64 % - в Казахстане (рисунок 1). Высоты колеблются от уровня моря до 1100 м при среднем значении около 260 м. Средний уклон составляет около 3 %. В верховьях преобладают горные районы с крутыми склонами (более 10 %), ниже по течению рельеф становится более пологим и переходит в широкое плато. Территория бассейна преимущественно занята пахотными землями (около 45 %), пастбищами (28 %) и лесами (24 %).

Река Жайык отличается ярко выраженными фазами гидрологического режима, включая регулярные паводки. Она является главным водотоком региона и основным источником водоснабжения для населения, промышленности, сельского и рыбного хозяйства Западного Казахстана. Общая длина реки составляет 2428 км (из них 1706 км — в пределах России). Крупнейшие левобережные притоки — реки Орь (площадь водосбора 18.5 тыс. км²) и Илек (41.3 тыс. км², истоки в Казахстане); правобережный — Сакмара (30.2 тыс. км², исток в Башкортостане) [23, 24]. В пределах Казахстана в Жайык впадают притоки Елек, Орь, Утва, Шаган, Ембулатовка. С запада района

стекают Чижа 1-я, Чижа 2-я, Большой и Малый Узень, питающиеся с территории Саратовской области. На юге протекают реки Ойыл, Сагиз и Эмба (Жем), не имеющие постоянного устья и теряющие сток в песках [25].

Климат региона континентальный: холодная снежная зима, жаркое сухое лето и короткая весна с резкими переходами [26]. Среднегодовое количество осадков — около 320 мм. Среднегодовая температура — 5 °С (в дельте — 9.1 °С), с колебаниями от –40 °С (в январе) до +43 °С (в июле). Снежный покров сохраняется 4–5 месяцев в верхней и средней частях бассейна, но минимален в нижнем течении. Таким образом, бассейн реки Жайык характеризуется снежным типом водного режима.

Формирование экстремального паводка 2024 года на реке Жайык было обусловлено совокупным воздействием метеорологических и водохозяйственных факторов. По данным Гидрометцентра России, зимой 2023...2024 гг. в бассейне накопились аномально высокие запасы снега — до 120...130 % от среднегодовой нормы. Осенью 2023 года отмечалось повышенное увлажнение почв — в 2...3 раза выше нормы при глубоком промерзании (свыше 1 м) [26]. В начале апреля установилась устойчивая тёплая погода (до +10...+15 °С), что привело к интенсивному таянию снежного покрова и резкому увеличению объёма талых вод [27]. Существенное влияние оказали водохозяйственные операции: к началу половодья Ириклинское водохранилище имело ограниченную свободную ёмкость (около 579 млн м³), в результате чего сброс воды в начале апреля достиг 2000 м³/с [28]. Совпадение интенсивного снеготаяния с вынужденными сбросами стало ключевым фактором масштабного паводка 2024 года.

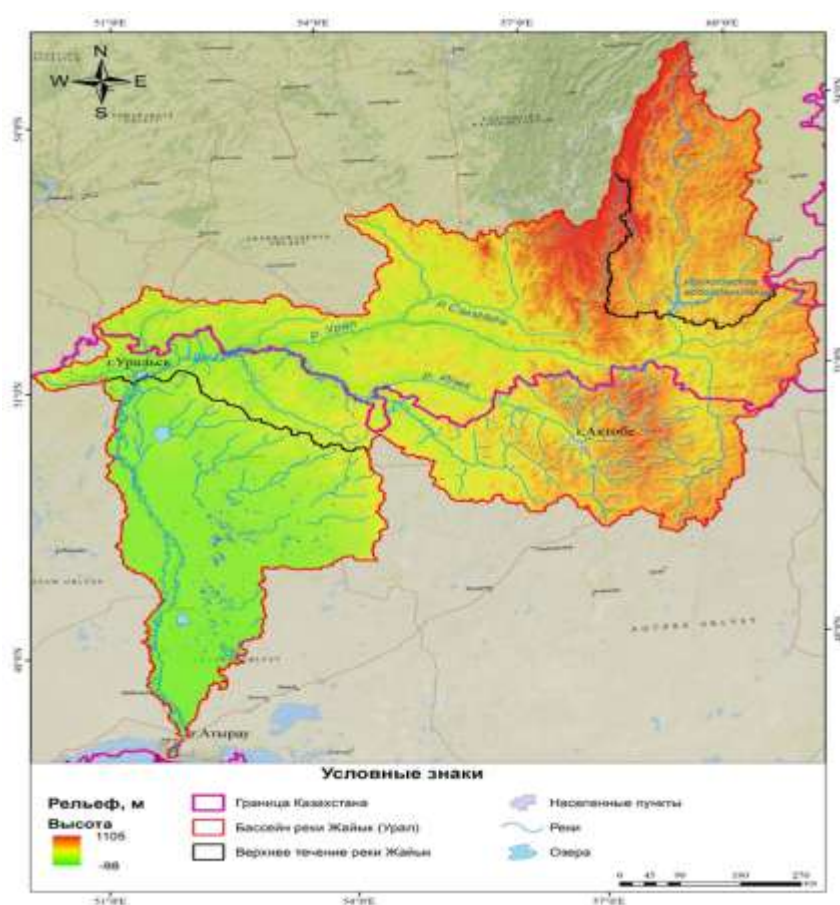


Рисунок 1. Бассейн реки Жайык (Урал)

Данные

В исследовании использовались данные дистанционного зондирования и гидрологические наблюдения. Пространственные данные включали цифровую

модель рельефа (DEM), информацию о растительном покрове и спутниковые изображения, фиксирующие последствия наводнения. Цифровая модель рельефа Shuttle Radar Topography Mission (SRTM DEM, NASA JPL, 2013) с разрешением 30 м обеспечила данные о топографии бассейна и морфологии русла, что стало основой для гидравлического моделирования.

Данные о растительном покрове из набора ESA WorldCover 2021 [29] использовались для задания коэффициентов шероховатости Мэннинга и более точного воспроизведения характеристик поверхности. Для калибровки и проверки модели применялись снимки высокого разрешения PlanetScope [30], позволившие построить карту фактического затопления, а также данные Gid360 о наблюдаемых глубинах паводковых вод [31].

Наблюдения за речным стоком, предоставленные РГП «Казгидромет» [32], использовались для калибровки и верификации результатов моделирования. Эти данные позволили воспроизвести паводковую ситуацию апреля 2024 года в бассейне реки Урал и сопоставить расчётные границы затопления с фактическими наблюдениями.

Методология

Гидравлическое моделирование применялось для оценки масштабов затопления и глубины воды во время наводнения в Уральске и его окрестностях в апреле 2024 года. Коэффициенты шероховатости поверхности, рассчитанные по Мэннингу на основе типов растительности, были преобразованы в значения русловой шероховатости по методу Коуэна.

Надёжность модели проверялась сравнением зон затопления и глубин воды с фактическими наблюдениями. Для визуальной оценки использовались спутниковые снимки высокого разрешения и водяные знаки, полученные с БПЛА.

Моделирование проводилось в среде HEC-RAS 2D (версия 6.6), основанной на решении уравнений мелкой воды и диффузионных волн, обеспечивающих сохранение массы и импульса. Первоначально использовалась сетка 50 м и метод диффузионной волны, однако такое разрешение оказалось недостаточным для точного отображения русла. В соответствии с рекомендациями руководства HEC-RAS 2D (USACE, 2025) была построена модель с уравнениями мелкой воды:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2)$$

где A - площадь поперечного сечения (м^2), Q - расход ($\text{м}^3/\text{с}$), x - расстояние вдоль направления потока (м), t - время (с), h - глубина свободной поверхности воды (м), g - ускорение свободного падения. ($\text{м}/\text{с}^2$), а S_f - угол трения ($\text{м}/\text{м}$).

Для более точного отображения русла разрешение сетки увеличено до 25 м. Чтобы избежать смещения направления потока и чрезмерных итераций, сетка была переориентирована вдоль тальвега, что повысило эффективность расчётов.

Коэффициенты шероховатости Мэннинга (n) были заданы для поверхности и канала. Значения n_{surface} определялись по данным ESA WorldCover 2021 [29] в зависимости от классов растительного покрова: древесный — 0.08; пастбища — 0.11; пахотные — 0.035; застроенные — 0.013; водоёмы — 0.04.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гидравлической модели были проанализированы для оценки ее эффективности при валидации модели и сравнительном анализе на основе сценариев. Результаты моделирования HEC-RAS были использованы для определения зон затопления и глубин затопления. Первоначально валидация модели проводилась путем сравнения результатов моделирования с данными наблюдений.

Пространственная точность модели наводнения была оценена с использованием спутниковых снимков PlanetScope, в то время как смоделированные глубины затопления были проверены по водяным знакам, полученным с помощью снимков, сделанных с беспилотника Gid360.

Проверка гидравлической модели

Результаты модели HEC-RAS для события наводнения были пространственно сопоставлены со спутниковыми снимками PlanetScope для проверки достоверности. Площадь затопления, наблюдаемая на спутниковом снимке, составила 165.73 км², в то время как смоделированная площадь затопления составляла 155.35 км². Процентная разница между двумя значениями затопления была рассчитана как 6.26 %. Этот результат свидетельствует о том, что наблюдаемая площадь затопления во время наводнения хорошо согласуется с результатами модели HEC-RAS при аналогичных условиях, демонстрируя пространственную точность модели. На рисунке 2 показано совпадение зоны затопления, полученной в результате моделирования HEC-RAS (имитационный случай), и спутниковых снимков PlanetScope (наблюдаемый случай).

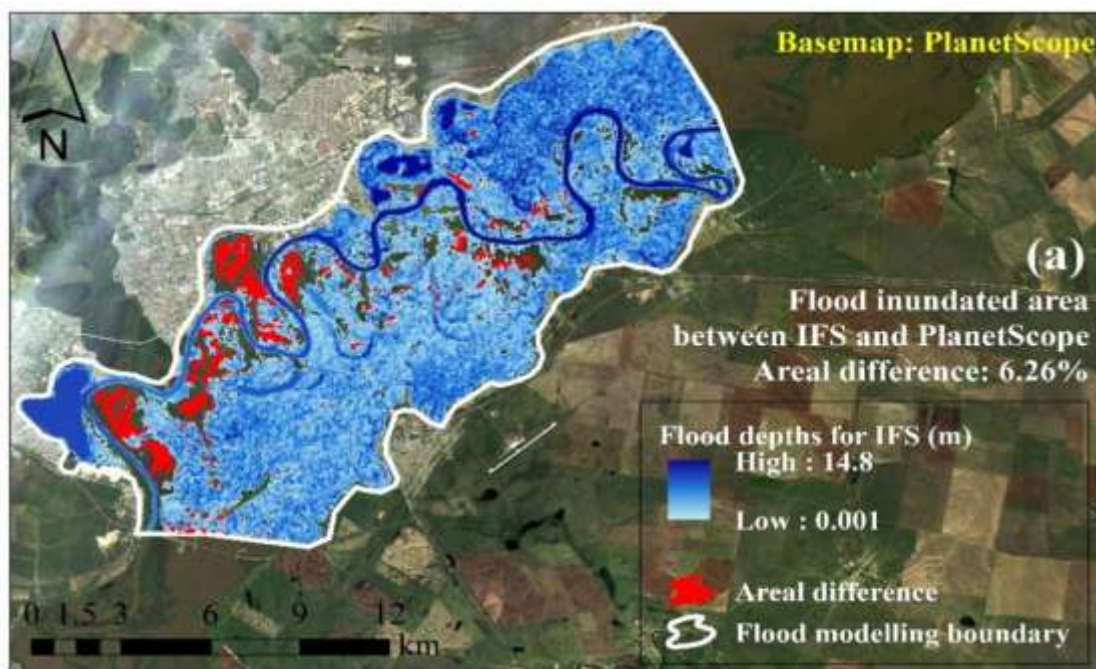


Рисунок 2. Карта зон затопления

Кроме того, были проанализированы глубины затопления в выбранных местах с использованием снимков наводнения, сделанных с помощью беспилотника Gid360 в разные даты. Снимки, сделанные с помощью беспилотника, позволили идентифицировать водяные знаки в 22 различных точках в разных местах, как показано на рисунке 3. Для определения водяных знаков в этих местах был применен инженерный подход, основанный на оценке уровня воды относительно высоты традиционных зданий и деревьев в регионе. На рисунке 3 показаны крупным планом контрольные точки 2, 5, 8 и 20 в качестве примеров. Затем наблюдаемые глубины затопления были сопоставлены с результатами модели HEC-RAS для оценки точности и валидации модели (таблица 1). Результаты, представленные в таблице 1, показывают, что различия в глубине затопления в 22 точках варьировались от 2 % (0.05 м) до 53 % (0.37 м), при этом средняя разница составляла 18%. В целом, модель HEC-RAS продемонстрировала высокую пространственную точность, поскольку смоделированные масштабы наводнения точно соответствовали полученным спутниковым снимкам. Кроме того, сравнение глубины наводнения в 22 точках

показало разумное совпадение, что еще раз подтверждает надежность модели в представлении события наводнения.

Таблица 1

Местоположения и различия между наблюдаемыми водяными знаками на снимках с беспилотника и смоделированными глубинами затопления в 22 выбранных точках

(Пункт №) Дата Местоположение	Глубина воды (м)		Разница, (м) (%)	Изображение с беспилотника	(Пункт №) Дата Местоположение	Глубина воды (м)		Разница, (м) (%)	Изображение с беспилотника
	Gid360	Модель				Gid360	Модель		
(1) 30.04.2024 Восток 1	2.20	2.71	0.51 (+23%)		(12) 24.04.2024 Дачная 3	1.00	1.04	0.04 (+4%)	
(2) 23.05.2024 Восток 2	2.20	2.15	-0.05 (-2%)		(13) 22.04.2024 Дачная 1	1.60	1.98	0.38 (+24%)	
(3) 23.04.2024 Арматурщик 1	1.80	2.58	0.78 (+43%)		(14) 23.04.2024 Дачная 2	2.10	2.46	0.36 (+17%)	
(4) 18.05.2024 Дачная 14	1.50	1.70	0.20 (+13%)		(15) 22.04.2024 Дачная 6	1.40	1.57	0.17 (+12%)	
(5) 22.04.2024 Дачная 9	1.50	1.56	0.06 (+4%)		(16) 23.04.2024 Учужный затон 1	0.60	0.78	0.18 (+30%)	
(6) 22.04.2024 Дачная 4	2.00	2.26	0.26 (+13%)		(17) 22.04.2024 Землячка 2	2.00	1.74	-0.26 (-13%)	
(7) 25.04.2024 Дачная 1	2.00	2.53	0.53 (+27%)		(18) 21.04.2024 СО Казинское 1	2.30	2.38	0.08 (+3%)	
(8) 26.04.2024 Дачная 1	2.00	2.06	0.06 (+3%)		(19) 19.04.2024 Казинские дачи	1.60	2.27	0.67 (+42%)	
(9) 25.04.2024 Дачная 4	2.10	2.57	0.47 (+22%)		(20) 21.04.2024 СО Казинское 2	2.20	1.96	-0.24 (-11%)	
(10) 25.04.2024 Дачная 4	0.70	1.07	0.37 (+53%)		(21) 25.04.2024 СТ Стеновик 1	1.90	1.31	-0.59 (-31%)	
(11) 23.04.2024 Дачная 2	1.90	2.14	0.24 (+13%)		(22) 23.04.2024 Учужный затон 2	2.00	2.10	0.10 (+5%)	



Рисунок 3. Двадцать две контрольные точки, которые использовались для сравнения глубин затопления, а также увеличенные снимки с беспилотника выбранных точек отбора проб

Площадь затопления и глубины, полученные с помощью гидравлической модели, были подтверждены с помощью спутниковых снимков и снимков с беспилотника. Эти процессы еще больше повысили надежность моделирования и анализа на основе сценариев. Точность результатов исследования во многом зависела от снимков, сделанных во время наводнения со спутников и беспилотных летательных аппаратов высокого разрешения. В частности, визуализация наводнения в режиме реального времени имела решающее значение для проверки достоверности гидравлической модели. Наличие снимков с беспилотника, документирующих затопленный город Уральск и прилегающие к нему пригородные районы, значительно укрепило полученные результаты, поскольку гидравлическая модель была проверена как в пространстве, так и в конкретных контрольных точках.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность гидравлического моделирования для оценки зон затопления в бассейне реки Жайык. Использование HEC-RAS 2D в сочетании с данными дистанционного зондирования и БПЛА позволило достоверно воспроизвести паводковую ситуацию апреля 2024 года. Совпадение смоделированных и фактических зон затопления составило 87 %, при среднем расхождении по площади 12.4 га и средней ошибке по глубине 0.18 м, что подтверждает надёжность методики.

Результаты обладают научной и практической значимостью. С научной стороны, работа демонстрирует потенциал интеграции гидравлического моделирования и пространственных данных для анализа механизмов паводкообразования. С практической — полученные результаты могут быть использованы для разработки систем мониторинга, раннего предупреждения и планирования мер по снижению последствий наводнений в уязвимых районах, включая Уральск.

Модель позволяет не только определять границы затопления, но и прогнозировать глубину водного покрова, что важно для оценки рисков разрушения инфраструктуры и планирования эвакуационных мероприятий.

Тем не менее, выявлены ограничения, связанные с разрешением цифровой модели рельефа и учётом локальных инженерных факторов (дамбы, каналы, дренаж). Дальнейшие исследования могут включать применение LiDAR-данных, более

детализированное моделирование русловых процессов и анализ сценариев климатических изменений.

Таким образом, применение гидравлического моделирования в сочетании с данными ДЗЗ и БПЛА доказало свою эффективность как инструмента анализа паводковых процессов и оценки рисков. В условиях нарастающих климатических изменений подобные подходы приобретают особую актуальность, обеспечивая основу для устойчивого управления водными ресурсами и повышения безопасности населения.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в данном исследовании, получены авторами из открытых баз данных РГП «Казгидромет», а также из открытых источников Gid360 и PlanetScope.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – АКК, СББ; управление данными – АКК.; формальный анализ – АКК; методология – АКК, СББ; программное обеспечение – АКК; отслеживание – СББ; визуализация – АКК; написание исходного текста – АКК, СББ; написание и редактирование окончательного текста – АКК, СББ.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Мы выражаем благодарность Казгидромету, Gid360 и PlanetScope за предоставленную поддержку данными при выполнении данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Kundzewicz Z. W., Mata L. J., Arnell N. W. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 53(1). –P. 3–10.
- 2 Kvočka D., Falconer R. A., Bray M. (2016). Flood hazard assessment for extreme flood events. *Natural Hazards*. Vol. 84(3). P. 1569–1599.
- 3 Tehrany M. S., Lee M., Pradhan B. (2014). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 72(10). P. 4001–4015.
- 4 Kelesoglu M. K., Temur R., Gülbaz S. (2023). Site assessment and evaluation of the structural damages after the flood disaster in the Western Black Sea Basin on August 11, 2021. *Natural Hazards*. Vol. 116. P. 587–618.
- 5 Peker İ. B., Gülbaz S., Demir V. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping. *Sustainability*. Vol. 16(3). Article 1226.
- 6 Kundzewicz Z. W., Pińskwar I., Brakenridge G. R. (2013). Large floods in Europe, 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 58(1). P. 1–7.
- 7 Yi Y., Liu S., Zhang X. (2023). Spring floods and their major influential factors in the upper reaches of Jinsha River basin during 2001–2020. *Journal of Hydrology Regional Studies*. Vol. 45. Article 101318.
- 8 Tuoliewubieke D., Mao W., Yao J. (2024). Spring snowmelt flood disasters in Altay, Northwest China: Spatio-temporal distribution and mechanisms. *Journal of Hydrology Regional Studies*. Vol. 57. Article 102142.
- 9 Merz B., Blöschl G., Vorogushyn S. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*. Vol. 2(9). P. 592–609.
- 10 Gülbaz S. (2019). Developing flood extent map by using numerical models and determination of areas under flood risk: Türkkoşe Stream case. *Journal of Natural Hazards and Environment*. Vol. 5(2). P. 335–349.
- 11 Brunner G. (2014). Using HEC-RAS for Dam Break Studies. – Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 39 p.
- 12 Cosgun T., Peker İ. B., Sayın B. (2022). Assessment of flood event based on numerical models and legal statute: A case of Eşkinöz Stream in Istanbul, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*. Vol. 15(7). Article 585.
- 13 Vasiliev D. Y., Chibilev A. A. (2021). Temporal variabilities and correlation of runoff in the Ural River. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 817(1). 012111.
- 14 Sivokhip Z. T., Pavlechik V. M., Chibilev A. A. (2021). Changes in River Runoff during Winter Low Water Periods in the Basin of the Ural River. *Doklady Earth Sciences*. Vol. 499(2). P. 703–707.
- 15 Sivokhip Z. T., Pavlechik V. M., Chibilyov A. A. (2023). Regional effects of global climate changes in the Ural River Basin. *Doklady Earth Sciences*. Vol. 509(2). P. 230–235.
- 16 Magritsky D. V. (2024). Assessment of the existing and future needs for river water in the Kazakhstan sector of the Ural River Water Resources. Vol. 51(5). P. 601–617.
- 17 Медеу А. Р., Махмудова Л. К., Мырзахметов А. Б. Паводковая ситуация на реке Жайык (Урал) в 2024 году // География и водные ресурсы. – 2024. – № 4. – С. 14–23.
- 18 Турсунова А. А., Мырзахметов А. Б., Баспакова Г. Р. Историческая справка о гидрологических характеристиках наводнений на реке Жайык // География и водные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 40–51.
- 19 Загидуллина А. Р., Смагулов Ж. Ж., Биримбаева Л. М. Тенденции многолетних изменений стока основных рек, формирующихся в Жайык-Каспийском водохозяйственном бассейне // География и водные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 15–26.
- 20 Eremkina T. V., Yarushina M. I. (2022). *Ural River Basin*. Elsevier eBooks. P. 883–899.
- 21 Kumenov A. (2024). Kazakhstan grappling with a fresh wave of flooding. *Eurasianet*. [Электронный ресурс] URL: <https://eurasianet.org/kazakhstan-grappling-with-a-fresh-wave-of-flooding> (дата обращения: 20.01.2025).

- 22 Greenall R. (2024). Russia Kazakhstan floods: High water levels swamp Orenburg houses. BBC. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bbc.com/news/world-europe-68796487> (дата обращения: 20.01.2025).
- 23 Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. Урало-Эмбинский район. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – Т.12, Вып. 2. – 512 с.
- 24 Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Т. VII. Ресурсы речного стока Казахстана. – Кн. 1. – Алматы, 2012. – 684 с.
- 25 Давлетгалiev С. К. Прогноз водных ресурсов Урало-Каспийского бассейна // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №1. – С. 115–120.
- 26 Чибилев А. А. Бассейн Урала: история, география, экология. – Екатеринбург, 2008. – 312 с.
- 27 Гидрометцентр России. – 2024. [Электронный ресурс] URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 20.01.2025).
- 28 Филиал «Управление эксплуатации Ириклинского водохранилища». [Электронный ресурс] URL: <https://ueiv.ru/category/reservoir/> (дата обращения: 20.01.2025).
- 29 Zanaga D., Van De Kerchove R., Daems D. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>.
- 30 Planet Labs Inc. Спутниковые снимки PlanetScore. – 2024. [Электронный ресурс] URL: <https://www.planet.com/explorer/> (дата обращения: 23.04.2024).
- 31 Gid360. Pavodok24. – 2025. [Электронный ресурс] URL: <https://gid360.kz/viewer/pavodok24> (дата обращения: 13.01.2025).
- 32 Гидрологическая база данных РГП «Казгидромет». [Электронный ресурс]. URL: http://ecodata.kz:3838/app_hydro/ (дата обращения: 15.05.2025)

REFERENCES

- 1 Kundzewicz Z. W., Mata L. J., Arnell N. W. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 53(1). –P. 3–10.
- 2 Kvočka D., Falconer R. A., Bray M. (2016). Flood hazard assessment for extreme flood events. *Natural Hazards*. Vol. 84(3). P. 1569–1599.
- 3 Tehrany M. S., Lee M., Pradhan B. (2014). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 72(10). P. 4001–4015.
- 4 Kelesoglu M. K., Temur R., Gülbaz S. (2023). Site assessment and evaluation of the structural damages after the flood disaster in the Western Black Sea Basin on August 11, 2021. *Natural Hazards*. Vol. 116. P. 587–618.
- 5 Peker İ. B., Gülbaz S., Demir V. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping. *Sustainability*. Vol. 16(3). Article 1226.
- 6 Kundzewicz Z. W., Pińskwar I., Brakenridge G. R. (2013). Large floods in Europe, 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 58(1). P. 1–7.
- 7 Yi Y., Liu S., Zhang X. (2023). Spring floods and their major influential factors in the upper reaches of Jinsha River basin during 2001–2020. *Journal of Hydrology Regional Studies*. Vol. 45. Article 101318.
- 8 Tuoliewubieke D., Mao W., Yao J. (2024). Spring snowmelt flood disasters in Altay, Northwest China: Spatio-temporal distribution and mechanisms. *Journal of Hydrology Regional Studies*. Vol. 57. Article 102142.
- 9 Merz B., Blöschl G., Vorogushyn S. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*. Vol. 2(9). P. 592–609.
- 10 Gülbaz S. (2019). Developing flood extent map by using numerical models and determination of areas under flood risk: Türkköse Stream case. *Journal of Natural Hazards and Environment*. Vol. 5(2). P. 335–349.
- 11 Brunner G. (2014). Using HEC-RAS for Dam Break Studies. – Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 39 p.
- 12 Cosgun T., Peker İ. B., Sayın B. (2022). Assessment of flood event based on numerical models and legal statute: A case of Eşkinöz Stream in Istanbul, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*. Vol. 15(7). Article 585.
- 13 Vasiliev D. Y., Chibilev A. A. (2021). Temporal variabilities and correlation of runoff in the Ural River. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 817(1). 012111.
- 14 Sivokhip Z. T., Pavlechik V. M., Chibilev A. A. (2021). Changes in River Runoff during Winter Low Water Periods in the Basin of the Ural River. *Doklady Earth Sciences*. Vol. 499(2). P. 703–707.
- 15 Sivokhip Z. T., Pavlechik V. M., Chibilyov A. A. (2023). Regional effects of global climate changes in the Ural River Basin. *Doklady Earth Sciences*. Vol. 509(2). P. 230–235.
- 16 Magritsky D. V. (2024). Assessment of the existing and future needs for river water in the Kazakhstan sector of the Ural River Water Resources. Vol. 51(5). P. 601–617.
- 17 Medeu A. R., Makhmudova L. K., Myrzakhetov A. B., Zagidullina A. R., Kanai A. M. (2024). Pavodkovaya situatsiya na reke Zhaiyk (Ural) v 2024 godu [Flood situation on the Zhaiyk (Ural) River in 2024]. *Geografiya i vodnye resursy*, (4), 14–23. [in Russian].
- 18 Tursunova A. A., Myrzakhetov A. B., Baspakova G. R., Sailaubek A. M., Salavatova, Zh. T. (2024). Istoricheskaya spravka o gidrologicheskikh kharakteristikakh navodnenii na reke Zhaiyk [Historical reference on the hydrological characteristics of floods on the Zhaiyk River]. *Geografiya i vodnye resursy*, (2), 40–51. [in Russian].
- 19 Zagidullina A. R., Smagulov Zh. Zh., Birimbayeva L. M., Sailaubek A. M. (2024). Tendentsii mnogoletnikh izmenenii stoka osnovnykh rek, formiruyushchikhsya v Zhaiyk-Kaspiiskom vodokhoziaistvennom basseine [Trends of long-term changes in river runoff in the Zhaiyk-Caspian Basin]. *Geografiya i vodnye resursy*, (2), 15–26. [in Russian].
- 20 Eremkina T. V., Yarushina M. I. (2022). Ural River Basin. Elsevier eBooks. P. 883–899.
- 21 Kumenov A. (2024). Kazakhstan grappling with a fresh wave of flooding. *Eurasianet*. [Электронный ресурс] URL: <https://eurasianet.org/kazakhstan-grappling-with-a-fresh-wave-of-flooding> (дата обращения: 20.01.2025).
- 22 Greenall R. (2024). Russia Kazakhstan floods: High water levels swamp Orenburg houses. BBC. [Электронный ресурс] URL: <https://www.bbc.com/news/world-europe-68796487> (дата обращения: 20.01.2025).
- 23 Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyi Kazakhstan. Uralo-Embinskii raion [Surface water resources of the USSR: Lower Volga and Western Kazakhstan. Ural-Emba region]. (1970). Leningrad: Gidrometeoizdat. [in Russian].
- 24 Vodnye resursy Kazakhstan: otsenka, prognoz, upravlenie [Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management]. (2012). Vol. VII, Book 1. Almaty. [in Russian].
- 25 Davletgaliev S. K. (2015). Prognoz vodnykh resursov Uralo-Kaspiiskogo basseina [Forecast of water resources of the Ural-Caspian Basin]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, (1), 115–120. [in Russian].
- 26 Chibilev A. A. (2008). Bassein Urala: istoriya, geografiya, ekologiya [The Ural Basin: History, geography, ecology]. Ekaterinburg. [in Russian].

- 27 Hydromettsentr Rossii [Hydrometeorological Center of Russia]. (2024). [Electronic resources] URL: <https://meteoinfo.ru/> (date of access: 20.01.2025) [in Russian].
- 28 Filial "Upravlenie ekspluatatsii Iriklienskogo vodokhranilishcha" [Branch "Operation of Irikliensk Reservoir"]. (2024). [Electronic resources] URL: <https://ueiv.ru/category/reservoir/> (date of access: 20.01.2025) [in Russian].
- 29 Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., et al. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>
- 30 Planet Labs Inc. (2024). Sputnikovye snimki PlanetScope [PlanetScope satellite images]. [Electronic resources] URL: <https://www.planet.com/explorer/> (date of access: 15.07.2025) [in Russian].
- 31 Gid360. (2025). Pavodok24. [Electronic resources] URL: <https://gid360.kz/viewer/pavodok24> (date of access: 23.04.2024) [in Russian].
- 32 «Kazhydromet» RSE hydrological database. [Electronic resources] URL: http://ecodata.kz:3838/app_hydro/ (date of access: 15.05.2025)

ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІНДЕГІ СУ ТАСҚЫНЫ КЕЗІНДЕ СУ БАСУ АЙМАҚТАРЫН МОДЕЛЬДЕУДІ БАҒАЛАУ

Айгерім К. Калыбаева¹, Саним Б. Бисенбаева² PhD

¹ Ионосфера Институты, Алматы, Қазақстан; kalybayeva.aigerim@gmail.com

² әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; djusali@mail.ru

*Автор корреспонденция: Айгерім К. Калыбаева, kalybayeva.aigerim@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

су тасқыны,
гидравликалық модельдеу,
HEC-RAS,
су басу аймақтары,
кашықтықтан зондтау,
Жайық өзені

Мақала жайында:

Жіберілді: 02.10.2025
Қайта қаралды: 06.10.2025
Қабылданды: 06.10.2025
Жарияланды: 08.10.2025

АБСТРАКТ

Жайық өзеніндегі су тасқыны өңірдің табиғи экожүйелері мен халқы үшін айтарлықтай қауіп төндіреді, сондықтан оларды зерттеу мен болжау өзекті болып табылады. Бұл жұмыста су басу аймақтарын анықтау және олардың сенімділігін бағалау үшін гидравликалық модельдеуді заманауи бақылау және қашықтықтан зондтау деректерімен қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Модельдеу HEC-RAS 2D бағдарламалық кешенінде гидрологиялық бақылаулар мен цифрлық рельеф моделін пайдалану арқылы жүзеге асырылды. Нәтижелерді тексеру үшін PlanetScope жоғары айырымды спутниктік суреттері мен ұшқышсыз ұшу аппараттарының деректері қолданылды. Салыстыру нәтижесінде модельдік және нақты су басу аймақтарының сәйкестігі 87 %, орташа айырмашылық ауданы 12.4 га, ал су тереңдігін қайта өндірудегі орташа қате 0.18 м деңгейінде анықталды. Зерттеу нәтижелері модель есептеулері мен бақылау деректерінің жоғары деңгейде сәйкес келетінін көрсетті, бұл гидравликалық модельдеудің сенімділігін дәлелдейді. Зерттеу нәтижелері ғылыми әрі практикалық тұрғыдан маңызды. Гидравликалық модельдеу, қашықтықтан зондтау және ұшқышсыз ұшу аппараттары деректеріне негізделген интеграцияланған тәсіл су тасқынын бақылау мен болжау жүйелерін жетілдіруге, сондай-ақ олардың салдарын азайтуға бағытталған іс-шараларды әзірлеуге мүмкіндік береді.

ASSESSMENT OF FLOOD INUNDATION MODELING ON THE ZHAYIK RIVER

Aigerim Kalybayeva^{*1}, Sanim Bissenbayeva² PhD

¹ Institute of Ionosphere, Almaty, Kazakhstan; kalybayeva.aigerim@gmail.com

² al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; djusali@mail.ru

*Corresponding author: Aigerim Kalybayeva, kalybayeva.aigerim@gmail.com

KEY WORDS

floods,
hydraulic modeling,
HEC-RAS,
flood inundation zones,
remote sensing,
Zhayik River

ABSTRACT

Floods on the Zhayik River pose a significant threat to natural ecosystems and the local population, making their study and forecasting particularly relevant. This study explores the potential of hydraulic modeling for flood inundation mapping and assessing its reliability using modern observational and remote sensing data. Modeling was carried out in the HEC-RAS 2D software package with the

About article:

Received: 02.10.2025

Revised: 06.10.2025

Accepted: 06.10.2025

Published: 08.10.2025

application of hydrological observations and a digital elevation model. Validation of the results was performed using high-resolution PlanetScope satellite imagery and unmanned aerial vehicle (UAV) data. The comparison revealed a high level of spatial agreement: the overlap between simulated and observed inundation zones reached 87%, the mean difference in inundated area was 12.4 ha, and the average error in reproducing floodwater depth did not exceed 0.18 m. The results demonstrated a strong consistency between model outputs and observations, confirming the effectiveness of hydraulic modeling for flood analysis. The findings have both scientific and practical significance. The integrated approach, combining hydraulic modeling with remote sensing and UAV data, provides opportunities for improving flood monitoring and forecasting systems, as well as for developing measures to mitigate the consequences of flooding in the Zhayik River basin.

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