



Научная статья

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЕРТИС

Айсулу А. Турсунова¹  к.г.н., ассоц.проф., Жанат Т. Салаватова^{1,2*} , Нурила Ж. Турсын¹ 

¹ Институт географии и водной безопасности, г. Алматы, Казахстан; ais.tursun@bk.ru (ААТ), salavatova.07@gmail.com (ЖТС), Nurila_t@bk.ru (НЖТ)

² Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; salavatova.07@gmail.com (ЖТС)

*Автор корреспонденции: Жанат Т. Салаватова, salavatova.07@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

река Ертис,
максимальный сток,
максимальные уровни,
наводнение, половодье

АБСТРАКТ

В работе на основе многолетних гидрологических наблюдений представлен комплексный анализ параметров экстремального стока и характеристик гидрологической опасности наводнений рек Ертисского водохозяйственного бассейна. Она относится к трансграничным рекам и интенсивно используется двумя соседними государствами – Китайской Народной Республикой и Российской Федерацией. Целью работы является комплексная оценка статистических характеристик максимальных расходов воды (Q_{max}) и наивысших уровней (H_{max}), проверка однородности гидрологических рядов, определение расчетных значений расходов и уровней различной обеспеченности (1 %, 3 %, 5 %), а также их сопоставление с отметками выравнивания поймы и историческими наводнениями в регионе для обоснования границ затопления.

На первом этапе проведена обработка данных, восстановление отсутствующих данных наблюдений и анализ однородности рядов максимальных расходов воды. Для проверки статистической однородности использованы критерии Фишера, Стьюдента и Вилкоксона, а также критерии Манна–Кендалла, Петтитта и Бушанда, что позволило оценить устойчивость, отсутствие системных сдвигов и сопоставимость гидрологических наблюдений на различных гидрологических постах бассейна.

На основе проверенных рядов выполнен статистический анализ максимальных расходов воды с определением основных параметров распределения, включая коэффициент вариации (C_v) и коэффициент асимметрии (C_s), а для водосборов с высокой изменчивостью применены усеченные функции распределения Крицкого–Менкеля. Полученные статистические характеристики использованы для расчета максимальных расходов и уровней воды различной обеспеченности (1 %, 3 %, 5 %). Проведен сравнительный анализ многолетней динамики максимальных расходов воды на гидрологических постах бассейна.

Проведена комплексная обработка многолетних данных, включающая восстановление пропущенных значений максимальных уровней воды и анализ их многолетней динамики. На основе сопоставления фактических уровней с отметками выхода воды на пойму установлены конкретные годы затопления пойменных территорий, и рассчитаны параметры максимальных уровней различной вероятности превышения (1 %, 3 % и 5 %).

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на глобальный технический прогресс в области гидротехнического строительства, наводнения остаются одним из наиболее непредсказуемых и разрушительных природных вызовов современности. Мировая статистика последних лет подтверждает, что даже высокоразвитая инфраструктура не гарантирует полной защиты от экстремальных гидрологических явлений. Для аридных и семиаридных регионов, к которым относится значительная часть территории Казахстана, характерна экстремальная неравномерность стока. По данным международных отчетов [1], порядка 75 % территории республики подвержено рискам стихийных бедствий, где наводнения занимают ведущее место по масштабам социально-экономического ущерба. Среднегодовые потери от затоплений в Казахстане оцениваются в сотни миллионов долларов [2], что диктует необходимость постоянной актуализации гидрологических расчетов.

В гидрологическом режиме рек максимальные расходы и уровни воды представляют собой предмет первоочередных исследований, так как превышение их критических значений может иметь катастрофические последствия в виде затопления территорий, тогда как при недостаточном наполнении русла, возникает опасность к деградации и иссушению речных экосистем [3, 4].

Целью настоящего исследования является комплексная оценка параметров экстремального стока ($Q_{\max}$, $H_{\max}$) и характеристик гидрологической опасности наводнений в Ертисском водохозяйственном бассейне. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: верификация и продление многолетних рядов наблюдений (до 2023 г.); статистический анализ однородности и трендов; определение расчётных максимумов редкой обеспеченности ($P = 1 \%, 3 \%, 5 \%$); сопоставление критических отметок выхода воды на пойму с историческими катастрофическими затоплениями в регионе.

Методический и практический результат проведенного исследования заключается в получении обновленных оценок максимальных расходов ($Q_{\max}$) и наивысших уровней воды ($H_{\max}$) редкой обеспеченности ($P = 1 \%, 3 \%, 5 \%$) по данным наблюдений до 2023 года, а также определены условия и критические пороги выхода воды на пойму. Расчеты выполнены с применением трехпараметрического гамма-распределения Крицкого–Менкеля (включая усеченные функции для малых водосборов с $C_v \geq 0,60$), что обеспечило высокую точность подбора кривых в зоне редких максимумов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Водохозяйственные бассейны Казахстана представляют собой фундаментальные гидрографические единицы, организованные по бассейновому принципу для эффективного управления, охраны и распределения водных ресурсов в условиях природного дефицита. Территория республики разделена на восемь ключевых водохозяйственных бассейнов, особое место в этой системе занимает Ертисский водохозяйственный бассейн, который признан самым многоводным и стратегически значимым регионом страны.

Река Ертис – одна из главных водных артерий Казахстана, берет начало на склонах Монгольского Алтая в Китайской Народной Республике, где под названием Кара Ертис течет в Казахстан и впадает в проточное озеро Жайсан (Зайсан), и далее проходит через каскад ГЭС, в Российскую Федерацию, впадает в р. Обь. Длина р. Ертис составляет 4280 км (618 км на территории КНР, 1698 км на территории РК и 1964 км на территории РФ) [5...7], это самая длинная река-приток в мире. В верховьях, до выхода на равнину, Ертис принимает ряд притоков, из которых наиболее многоводны реки Курчум, Нарым, Бухтарма, Ульба, Уба и др. [8] (рис. 1).

По статье:

Получено: 28.04.2026

Пересмотрено: 11.09.2026

Принято: 11.09.2026

Опубликовано: 01.10.2026

Для цитирования:

Турсунова А., Салаватова

Ж., Турсын Н.,

Гидрологические

характеристики

наводнений в бассейне

реки Ертис // Гидрометеорология и экология, 123

(3), 2026, 25–44.

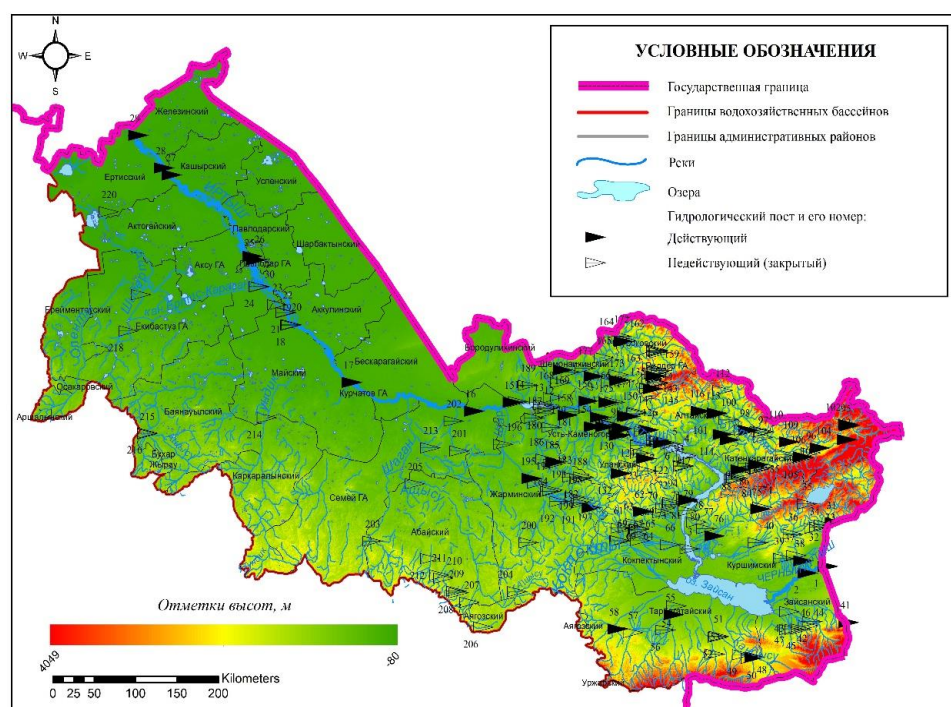


Рисунок 1. Схема расположения гидрологических постов в Ертисском водохозяйственном бассейне

Наводнения в бассейне реки Ертис и её притоков представляют собой одно из наиболее распространённых и опасных гидрологических явлений региона.

По своему генезису они подразделяются на три основных типа:

- снеговые, формирующиеся в период весеннего половодья при дружном снеготаянии в горной и предгорной зонах, в весенний период (апрель-май). Характеризуется значительным объемом стока и продолжительным стоянием высоких уровней воды;
- дождевые (смешанные), возникающие при наложении обильных осадков на тающие высокогорные снега, наблюдается в летне-осенний период и характеризуются резким («взрывным») подъемом уровней и высокими пиковыми расходами;
- заторно-зажорные, обусловленные стеснением русла шугой и льдом в периоды осеннего замерзания и весеннего вскрытия горных водотоков, наблюдаются в период промерзания (ноябрь-декабрь) и вскрытия рек (апрель).

Сочетание этих факторов нередко приводит к формированию высоких паводков взрывного характера, быстрому подъёму уровней воды и затоплению пойменных территорий. Наиболее уязвимыми оказываются населённые пункты и хозяйственные объекты, расположенные в поймах и прибрежных зонах, где паводковые воды способны вызывать значительные социально-экономические последствия и нарушать функционирование инфраструктуры [9, 10]. В связи с этим, точность определения расчетных максимумов расходов и уровней критически важна для территорий с высокой плотностью населения и развитой промышленной инфраструктурой Восточного Казахстана.

В качестве исходной базы данных использованы гидрометрические наблюдения РГП «Казгидромет» по максимальным расходам и уровням воды 9 гидрологических постов за общий период с 1931 по 2023 гг. В зависимости от поста продолжительность рядов наблюдений составляет от 59 до 92 лет.

Для значительной части малых и средних рек изучаемого бассейна имеющиеся ряды наблюдений либо отсутствуют, либо являются прерывистыми и краткими, что не позволяет сформировать статистически достоверные выборки для прямого расчета

параметров распределения. В таких условиях данные не позволяют сформировать полные выборки, необходимые для прямого расчета параметров распределения (среднегогодового стока, коэффициентов вариации и асимметрии).

Ввиду отсутствия или репрезентативной недостаточности данных гидрометрических наблюдений (максимальные расходы, максимальные уровни) определение расчетных характеристик выполнено с применением метода гидрологической аналогии. Данный подход регламентирован нормативными документами СНиПа 2.01.14 – 83 [11] и является достоверным способом восстановления максимальных расходов и уровней воды для неизученных или слабоизученных водотоков. Восстановление рядов в Ертысском водохозяйственном бассейне является важным этапом гидрологического анализа, связывает историю наблюдений с прогнозными моделями будущего.

Для получения качественного анализа была проведена работа по восстановлению данных о максимальных уровнях. Восполнение пропусков, возникших из-за отсутствия наблюдений, позволило оценить многолетний ход уровней и сформировать надежную базу для дальнейших исследований.

Для верификации восстановленных рядов следует проводить проверку гипотезы об их однородности, для дальнейших гидрологических расчетов. Проверка однородности гидрологических временных рядов обеспечивает достоверность статистического анализа и является необходимым условием для корректного гидрологического моделирования. Однородность ряда означает постоянство статистических свойств (среднего и дисперсии) во времени, то есть стационарность процесса [12, 13]. Для решения этой задачи в мировой практике наиболее часто используется сочетание параметрических и непараметрических тестов. Оценка статистической значимости различий между эмпирическими выборками осуществляется с помощью комплекса параметрических и непараметрических критериев: критерия Фишера [14] для проверки равенства дисперсий, критерия Стьюдента [15] для оценки стабильности средних значений и критерия Вилкоксона [16], позволяющего выявить сдвиги в распределении данных без привязки к закону нормального распределения.

Для углубленной оценки стационарности и структуры процессов дополнительно применяются непараметрические тесты Манна–Кендалла [17] с оценкой наклона Сена [18] (выявление и оценка скорости монотонных трендов), а также критерии Петтитта [19] и Буишанда (обнаружение точек излома и сдвигов в среднем) [20]. Совместное использование данных методов обеспечивает высокую верификацию того, что восстановленные максимальные расходы могут быть использованы для определения расчетных характеристик стока.

Подтверждение однородности рядов позволяет перейти к следующему этапу анализа - аналитической оценке кривых обеспеченности и определению расчетных максимальных расходов и уровней воды различной вероятности превышения ($P = 1 \%, 5 \%, 10 \%$) согласно нормативным методикам.

Расчетные значения $Q_{\max}$ и $H_{\max}$ обеспеченностью $P = 1 \%, 3 \%, 5 \%$ определялись путем аналитической подбора трехпараметрического гамма-распределения (Крицкого–Менкеля) к эмпирическим точкам. Для постов с высокой изменчивостью стока $C_v > 0.60$ применялись усеченные аналитические функции, позволившие исключить влияние нулевых и минимальных значений и повысить точность расчетов в зоне редкой обеспеченности $P \leq 5 \%$.

В проведенных ранее исследованиях [4], авторы подчеркивают необходимость тестирования данных перед расчетами, используют критерии Фишера и Стьюдента для проверки однородности дисперсий и средних значений. Авторы Павленко А.В. [21] и другие провели подробный анализ рек Ертысского водохозяйственного бассейна в пределах Восточно-Казахстанской области на несколько групп, провели сбор,

структуризацию данных с гидрологических постов наблюдений. Исследования наводнений и максимального стока в Казахстане охватывают широкий спектр направлений: от классического статистического анализа до современного цифрового моделирования. П.А. Плеханов [22] классифицировал более 30 типов гидрологических рисков в республике, отметив, что за последние десятилетия на равнинных реках частота высоких половодий снизилась, в то время как на горных реках участились паводки и сели из-за климатических изменений. Работы М.А. Бейсембаевой [4] и соавторов на р. Ертис показали существенное снижение средних максимумов в 1,5 раза и падение уровней (на 1,11 м у Павлодара для 1 % обеспеченности) вследствие зарегулирования стока водохранилищами и нарушению генетической однородности рядов из-за появления зимних максимумов. Аналогичное снижение после зарегулирования р. Есиль отметили Р.И. Гальперин и А. Авезова, предложив использовать метод усеченных распределений для корректных расчетов [23].

Б.И. Гартсман [24] обосновал методологическое преимущество стохастических подходов (метод L-моментов, распределения GLO/GEV) над устаревшими нормативами для оценки редких экстремумов в условиях нестационарности. Современный этап, представленный исследованиями М.А. Алагуджаевой, С.Р. Садвакасовой и М.С. Оспанова [25...28], базируется на интеграции ГИС, высокодетальных данных ДЗЗ (Sentinel, Planet) и гидродинамического моделирования в HEC-RAS для предиктивного картирования зон затопления. Анализ катастрофических паводков 2024 года на р. Жайык авторами Турсунова А.А. и др. [3] подтверждает критическую важность расчетов времени добегания волны для оперативного управления рисками. Авторами С.Р. Садвакасова и др. было описано затопление жилых районов [26, 27].

Таким образом, использованный комплекс методов обеспечивает надежность и достоверность полученных результатов. Проверка рядов с помощью параметрических и непараметрических критериев (Фишера, Стьюдента, Вилкоксона, Манна–Кендалла, Петтитта и Буишанда) подтвердила их однородность. Восстановление данных по рекам-аналогам и применение усеченных функций Крицкого–Менкеля позволили снизить погрешности и получить точные расчетные значения максимальных расходов ($Q_{\max}$) и наивысших уровней воды ($H_{\max}$) редкой обеспеченности ($P = 1 \%, 3 \%, 5 \%$).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнена оценка максимального стока и максимальных уровней на основе данных наблюдений за период от начала функционирования выбранных гидрологических постов до 2023 г. Проведён анализ полноты и качества рядов наблюдений. В исследование включены 9 гидрологических постов региона, расположенных на основных реках Ертисского водохозяйственного бассейна и находящихся в ведении РГП «Казгидромет».

Анализ представленных гидрологических данных свидетельствует о высокой степени репрезентативности выборки: длительность рядов наблюдений варьируется в широком диапазоне от 36 до 90 лет. При восстановлении пропущенных периодов использовался метод гидрологической аналогии, где значения коэффициента корреляции (r) составили от 0,71 до 0,81. Согласно нормативным требованиям, такие показатели оцениваются как хорошие, поскольку значения $r > 0,70$ подтверждают тесную стохастическую связь между исследуемыми объектами и реками-аналогами.

Для верификации восстановленных рядов в Ертисском бассейне была проведена проверка гипотезы об их однородности, что является обязательным условием для дальнейших гидрологических расчетов. Применение данных методов в совокупности обеспечивает высокую надежность подтверждения того, что восстановленные максимальные расходы могут быть использованы для определения расчетных характеристик стока (таб. 1).

Таблица 1

Основные статистические характеристики исследуемых гидрологических постов

№ п/п	Река - створ	Период наблюдений	Критерий Фишера	Критерий Стьюдента	Критерий Вилькоксона	Коэффициент корреляции r	Основные статистические характеристики			
							Кол-во лет	Q _{ср}	C _v	C _s
1	р. Кара Ертис - с. Боран	1938...2023	+ F = 1,42 Fa = 1,924	+ t = 1,641 ta = 1,993	+ U = 1097 U1 = 697,569 U2 = 1151,431	0.71	85	1407	0,29	0,16
2	р. Бухтарма - с. Печи (выше устья р. Соколовки (с. Барлык)	1940...2023	+ F = 1,156 Fa = 1,944	+ t = 0,435 ta = 1,994	+ U = 803 U1 = 662,909 U2 = 1101,091	0.74	83	662	0,30	1,15
3	р. Бухтарма - с. Берель	1958...2023	+ F = 1,107 Fa = 2,116	+ t = 0,934 ta = 2,003	+ U = 467 U1 = 391,667 U2 = 697,333	0.79	65	257	0,28	0,53
4	р. Левая Бе- резовка - с. Средигорное р. Ульба - с. Ульба Пере- валочная (в 300 м, ниже устья р. Ма- лой Ульбы)	1948...2023	+ F = 1,469 Fa = 2,02	+ t = 1,11 ta = 1,998	+ U = 807 U1 = 533,334 U2 = 910,666	0.92	75	9,98	0,60	0,99
5	р. Уба - г. Шемонаиха	1931...2023	+ F = 1,308 Fa = 1,848	+ t = 1,358 ta = 1,988	+ U = 870 U1 = 825,931 U2 = 1336,069	0.81	92	932	0,41	1,41
6	р. Курчум - с. Вознесенское (Вознесенка)	1954...2021	+ F = 1,782 Fa = 2,078	- t = 2,07 ta = 2,001	+ U = 762 U1 = 445,636 U2 = 779,364	0.79	59	1736	0,28	0,73
7	р. Улкен Бо- кен - с. Джумба (Ма- лороссийка)	1935...2023	+ F = 1,138 Fa = 1,924	+ t = 0,577 ta = 1,993	+ U = 871 U1 = 697,569 U2 = 1151,431	0.74	88	480	0,4	0,65
8	р. Тургусун - с. Кутиха	1957...2023	+ F = 2,081 Fa = 2,097	+ t = 0,481 ta = 2,002	+ U = 559 U1 = 404,715 U2 = 717,285	0.79	66	121	0,69	1,56
9		1949...2023	+ F = 1,61 Fa = 2,001	- t = 2,193 ta = 1,997	+ U = 882 U1 = 517,177 U2 = 886,823	0.79	74	378	0,37	0,57

Проведённый анализ показывает, что для большинства рассматриваемых гидрологических постов гипотеза об однородности многолетних рядов максимального стока статистически подтверждается. Восстановление и приведение рядов Q_{max} к единому периоду выполнялось методом гидрологической аналогии с использованием

парных регрессионных зависимостей, высокая надежность которых подтверждается коэффициентами корреляции 0,71...0,92 (таб. 1).

В ходе анализа установленных характеристик была выявлена значительная пространственная дифференциация условий формирования максимального стока в Ертисском бассейне. Коэффициент вариации C_v варьируется в пределах от 0,28 до 0,69, при этом наименьшая изменчивость характерна для наиболее крупных и полноводных рек, таких как Бухтарма и Уба, в то время как максимальные значения вариации (свыше 0,60) фиксируются на малых водотоках (р. Улкен Бокен, р. Левая Березовка). Это объясняется малыми площадями их водосборов и их высокой чувствительностью локальным осадкам, оттепелям и весеннему снеготаянию, тогда как крупные реки за счет больших площадей усредняют и сглаживают такие экстремумы [11, 29, 30].

Согласно критерию Фишера, расчетные значения F во всех створах не превышают критических величин F_{α} при 5 % уровне значимости, что указывает на стабильность дисперсий и отсутствие значимых расхождений. Проверка по критерию Стьюдента показывает отсутствие существенных сдвигов в средних значениях для большинства постов ($t < t_{\alpha}$). Исключение составляют створы р. Уба - г. Шемонаиха и р. Тургусун - с. Кутиха, где расчетные значения t (2,07 и 2,193 соответственно) незначительно превышают критические t_{α} . Данное отклонение может быть обусловлено как естественной многолетней цикличностью стока, так и локальными особенностями формирования экстремальных максимумов в данных бассейнах. Тем не менее, проверка по непараметрическому критерию Вилкоксона показала положительный результат для всех без исключения постов, включая вышеуказанные створы. Это подтверждает, что ряды принадлежат к одной и той же генеральной совокупности.

Однако традиционной проверки статистической однородности выборок по параметрическим и непараметрическим критериям (Фишера, Стьюдента, Вилкоксона) не всегда достаточно для полной оценки структуры гидрологических рядов в условиях меняющегося климата. Для более глубокого анализа возможной климатической или антропогенной направленности процессов, а также для проверки требований к стационарности рядов при построении кривых обеспеченности, был выполнен комплексный непараметрический анализ. С помощью критерия Манна–Кендалла с оценкой наклона Сена, а также тестов Петтитта и Буишанда была проведена проверка наличия монотонных трендов и возможных точек излома (структурных сдвигов) во временных рядах $Q_{\max}$. Полученные результаты статистического тестирования на стационарность приведены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка стационарности и непараметрический анализ трендов исследуемых гидрологических постов

№ п/п	Река – гидрологический пост	Период наблюдений	n (лет)	Критерий Манна–Кендалла (Mann–Kendall)			Критерий Петтитта (Pettitt)	Критерий Буишанда (Buishand)
				Статистика Z	Уровень знач. (Sig- nif.)	Наклон Сена Q (м³/с в год)	Точка излома, год	
1	р. Кара Ертис – с. Боран	1938...2023	86	-1.46	NS	-2.53	однороден	однороден
2	р. Бухтарма – с. Печи	1940...2023	84	-0.11	NS	-0.1	однороден	однороден
3	р. Бухтарма – с. Берель	1958...2023	59	-0.35	NS	-0.22	однороден	однороден

4	р. Левая Березовка – с. Средигорное	1948...2023	78	2,68	**	1,03	1953	Не однороден
5	р. Ульба – с. Перевалочная	1931...2023	70	-1,93	+	-3,42	2004	однороден
6	р. Уба – с. Шемо- наиха	1954...2023	70	-2,25	*	-6,36	2017 год при $\alpha = 0.05$	Однороден при 1 %
7	р. Курчум – с. Воз- несенское	1938...2023	86	2,75	**	0,56	1959	однороден
8	р. Улкен Бокен- с. Джумба	1957...2023	67	-0,09	NS	-0,03	однороден	однороден
9	р. Тургусын – с. Ку- тиха	1949...2023	74	-2,44	*	-1,95	1998 год при $\alpha = 0.05$	Однороден

Примечание: Уровень значимости тренда по критерию Манна–Кендалла: NS — тренд статистически незначим ($p > 0.10$); + — слабый тренд ($0.05 < p < 0.10$); * — значимый тренд на уровне $\alpha = 0.05$ ($0.01 < p < 0.05$); *** ** — сильный тренд ($\alpha = 0.01$).

Результаты тестов Петтитта и Буишанда продемонстрировали высокую степень сходимости между собой. Для большинства постов оба критерия подтверждают отсутствие статистически значимых структурных сдвигов ($p > 0.05$). На створах, где тестом Петтитта зафиксированы локальные вероятные точки излома (например, р. Тургусын и р. Уба), критерий Буишанда подтверждает однородность выборок. При этом анализируемые ряды сохраняют однородность на более строгом 1 %-ном уровне значимости ($\alpha = 0.01$), что характеризует их как условно стационарными рядами. Выраженная неоднородность по обоим критериям зафиксирована лишь на отдельных малых водосборах (р. Левая Березовка и р. Курчум), что объясняется локальными физико-географическими условиями формирования паводков.

Подтвержденная однородность и репрезентативность многолетних рядов позволяют перейти к детальному анализу циклической изменчивости и определению расчетных характеристик экстремальной водности. На основе полученных параметров распределения была исследована многолетняя динамика не только максимальных расходов, но и соответствующих им уровней воды, что позволило выявить фазы повышенной водности и установить расчетные величины различной обеспеченности. Данные показатели характеризуют экстремальные значения стока и высотные отметки уровней, вероятность превышения которых возможна в среднем один раз в 10, 50 или 100 лет ($P = 10 \%, 5 \%, 2 \%, 1 \%$). Установленные вероятностные характеристики служат необходимой базой для последующего определенного описания русловых процессов и корректного определения зон возможного затопления в Ертисском бассейне.

Динамика максимальных расходов воды

Для оценки циклической изменчивости гидрологического режима были проанализированы многолетние ходы максимальных расходов воды по опорным створам (рис. 2, 3). Хронологический анализ динамики стока позволяет наглядно проследить чередование многоводных и маловодных периодов, а также оценить репрезентативность восстановленных данных в контексте исторических экстремумов.

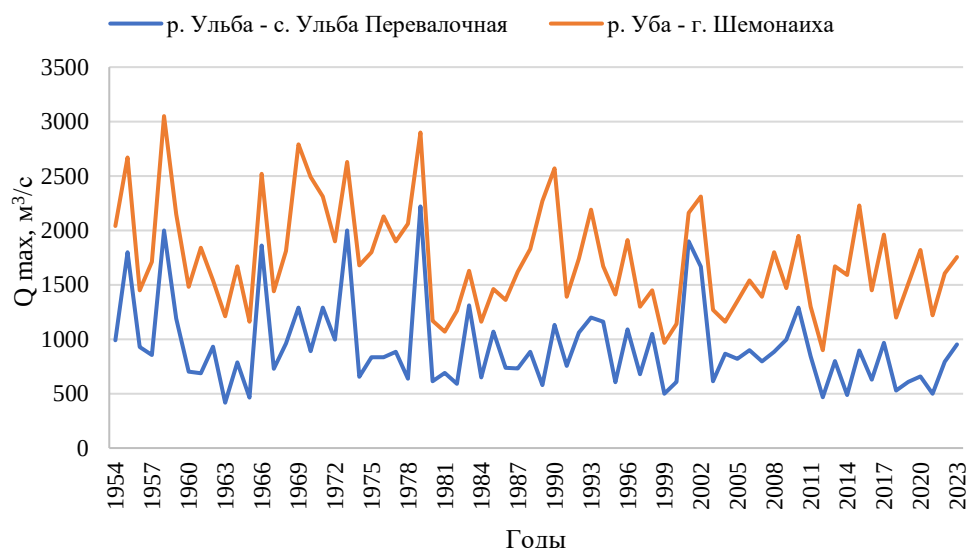


Рисунок 2. Динамика максимальных расходов воды на реках Ульба – с. Ульба Перевалочная и Уба – с. Шемонаиха

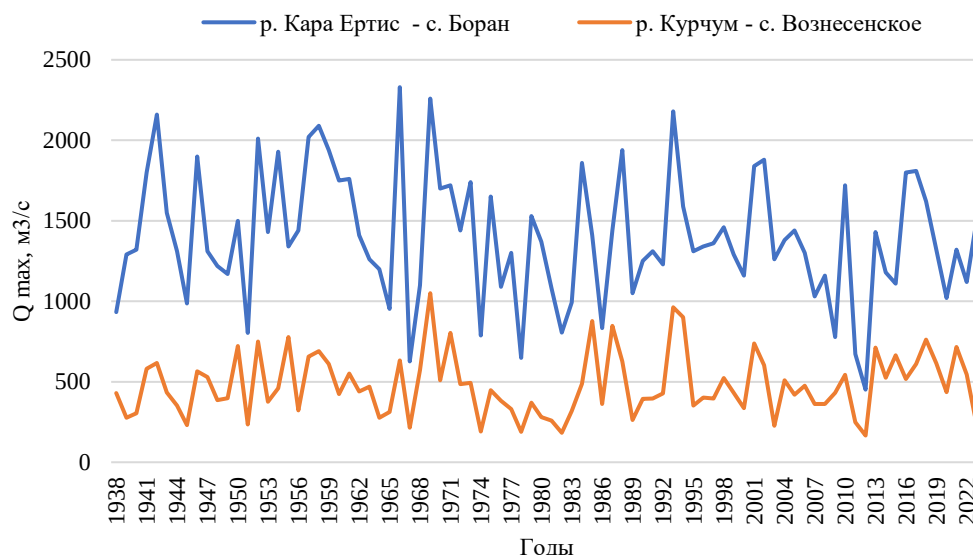


Рисунок 3. Динамика максимальных расходов воды на реках Кара Ертис – с. Боран и Курчум – с. Вознесенское

Анализ графиков многолетнего хода максимальных расходов воды подтверждает высокую пространственно-временную связность гидрологических процессов в регионе. Для большинства рек характерна выраженная цикличность с четким чередованием многоводных и маловодных фаз.

На реках правобережной части бассейна (р. Уба -г. Шемонаиха и р. Ульба - с. Ульба Перевалочная) абсолютные максимумы за весь период наблюдений фиксировались в 1958 и 1979 годах, когда максимальные расходы воды на р. Уба достигали 3100 м³/с, а на р. Ульба превышали 2200 м³/с. Также выраженными пиками стока характеризуются 1969, 1990 и 2001...2002 годы (расходы на р. Уба превышали 2300...2600 м³/с). Маловодные фазы с понижением Q_{max} до 1200...1400 м³/с на р. Уба и 450...600 м³/с на р. Ульба отмечались в середине 1960-х, начале 1980-х и в 2011...2012 годах. На реках южной и юго-восточной части (р. Кара Ертис - с. Боран и р. Курчум – с. Вознесенское) исторические пики экстремумов с расходами свыше 2300 м³/с (р. Кара Ертис) и 1000 м³/с (р. Курчум) наблюдались в 1966, 1969 и 1993 годах. Маловодные

периоды со снижением пиковых расходов $Q_{\max}$ фиксировались в 1974...1978 гг. и в конце 1990-х годов. В целом за весь период наблюдений (с середины XX века по 2023 год) хронологические ряды демонстрируют слабую тенденцию к снижению максимальных расходов воды. Начиная с 2010-х годов, динамика $Q_{\max}$ вошла в фазу относительной стабилизации с умеренной амплитудой межгодовых колебаний, за исключением локального повышения стока в 2016...2017 гг.

Определение расходов различной обеспеченности

Выполнен расчет расходов воды заданной вероятности превышения (обеспеченности) для оценки экстремальной водности. Определение расходов различной обеспеченности устанавливает количественные параметры максимального стока, которые могут быть достигнуты или превышены один раз в 10, 50 или 100 лет ($P = 10 \%, 3 \%, 2 \%, 1 \%$). Данный этап анализа базируется на ранее подтвержденной однородности рядов и использовании аналитических кривых распределения, что обеспечивает необходимую точность при определении расчетных гидрологических характеристик.

В расчетах применялись как полные кривые распределения, так и усеченные кривые обеспеченности. По каждому створу определены значения максимальных расходов обеспеченностью 1 %, 3 % и 5 %. Применение двух вариантов построения кривых обеспечило сопоставимость результатов и позволило оценить влияние экстремальных наблюдений на параметры распределения максимального стока (таб. 3).

Таблица 3

Расчет максимальных расходов воды различной обеспеченности

Река - створ	F, км ²	Нср, м	Расходы различной обеспеченности					
			1 %		3 %		5 %	
			Q, м ³ /с	Исторические годы	Q, м ³ /с	Исторические годы	Q, м ³ /с	Исторические годы
р. Кара Ертис - с. Бо- ран	55900	1290	2495	—	2242	1966, 1969	2114	1942, 1966, 1969, 1993
Улкен Бокен - с. Джумба	758	1150	388	2010, 2015	314	2010, 2015	278	2010, 2013, 2015
р. Бухтарма - с. Печи	6860	1850	1363	—	1166	1961, 1969, 1993, 2014	1054	1961, 1969, 1993, 2014
р. Бухтарма - с. Берель	1850	2200	469	—	420.4	1961, 1969	395.8	1961, 1969, 2006, 2007
р. Левая Березовка - с. Средигорное	251	850	29.7	—	24.4	1968, 2014	21.8	1968, 1970, 2014, 2021
р. Ульба - с. Ульба Пе- ревалочная	4900	960	2383	—	1910	1958, 1973, 1979	1697	1937, 1955, 1958, 1966, 1973, 1979, 2001
р. Тургусун - с. Кутиха	1200	1470	792	—	692	1955, 1958, 1971	643	1955, 1958, 1971
р. Уба - г. Шемонаиха	8470	900	3177	—	2798	1958, 1979	2624.83	1955, 1958, 1969, 1973, 1979
р. Курчум - с. Вознесенское	5840	1350	1052	—	911	1969, 1993	842.98	1969, 1985, 1987, 1993, 1994

Сравнительный анализ фактических данных и расчетных характеристик (таб. 2) позволил выделить ключевые периоды экстремальной водности в Ертисском бассейне.

Наиболее масштабным по охвату признан 1969 год, когда расходы воды на 6 из 9 гидропостов превысили порог 5 % обеспеченности. Основной причиной такого масштабного паводка послужило аномальное накопление снеготазов зимой 1969 года, значительно превысившее климатическую норму [31]. Также значительные паводки 3 % и 5 % обеспеченности наблюдались в 1958, 1961 и 1993 годах, преимущественно на крупных притоках. В XXI веке фаза экстремальности проявилась в 2014...2015 годах. В 2014 году превышение 3 % и 5 % обеспеченности отмечено на р. Бухтарма и р. Левая Березовка. Отдельно выделяется 2015 год, когда на реке Большая Буконь отмечен редкий максимум, соответствующий 1 % обеспеченности (388 м³/с). Для большинства створов фактические исторические значения не достигли расчетного уровня 1 % обеспеченности.

Анализ и расчет максимальных уровней воды

Анализ максимальных уровней воды имеет решающее значение для понимания физического воздействия водного потока на территорию. В отличие от расходов, уровни напрямую определяют глубину затопления пойменных участков, прилегающих к руслу рек. Именно уровень режим фиксирует фактическую границу соприкосновения воды с сушей, что необходимо для точного картирования зон затопления населенных пунктов.

Изучение хода максимальных уровней за многолетний период дает возможность выявить экстремальные отметки, которые когда-либо достигались в регионе (рис. 4, 5).



Рисунок 4. Динамика максимальных уровней воды на реках Ульба и Уба

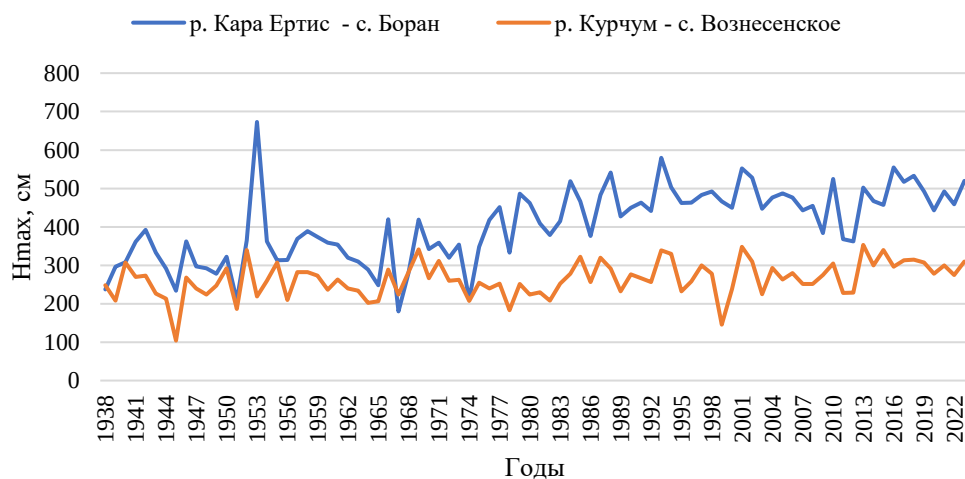


Рисунок 5. Динамика максимальных расходов воды на реках Кара Ерчис и Курчум

Анализ многолетних рядов максимальных уровней воды выявил характерные особенности водного режима региона. В отличие от расходов воды, динамика уровней характеризуется меньшей изменчивостью: в отдельные маловодные периоды их отметки сохраняются на относительно высоких значениях. Это объясняется морфометрическими особенностями пойменных участков, а также проявлением заторных явлений и гидравлического подпора, удерживающих уровень воды. На графиках четко прослеживается цикличность экстремальных подъемов.

Река Кара Ертис характеризуется более высокими амплитудами подъема уровня, с абсолютным историческим максимумом, зафиксированным в 1953 году (673 см). Наблюдается постепенный рост многолетнего фона максимальных уровней воды, начавшийся с середины 1970-х годов. В то же время анализ последних десятилетий (с начала 2000-х годов по настоящее время) свидетельствует о наступлении фазы относительной стабилизации высших уровней воды, которая характеризуется снижением амплитуды их межгодовой изменчивости. Для р. Курчум уровенный режим более стабилен и сосредоточен в диапазоне 200...300 см, однако и здесь в последние 20 лет (период 2000...2023 гг.) частота выходов уровней за пределы 300 см стала выше, чем в середине прошлого века.

Общая картина многолетнего хода свидетельствует о том, что уровенный режим рек Ертисского бассейна находится в фазе относительной стабилизации с регулярными всплесками экстремальной активности. Современные максимумы (2010...2018 гг.) наглядно показывают, что опасность значительных подъемов воды не снижается, что требует постоянного контроля и актуализации данных о критических отметках для защиты населенных пунктов.

Для оценки рисков затопления территорий решающее значение имеет сопоставление расчетных уровней с отметками выхода воды на пойму, при которых начинается подтопление хозяйственных объектов и населенных пунктов.

Ниже представлены графики уровней воды, наглядно демонстрирующие динамику превышения критических отметок и повторяемость гидрологических ситуаций, связанных с выходом реки из основного русла (рис. 6).

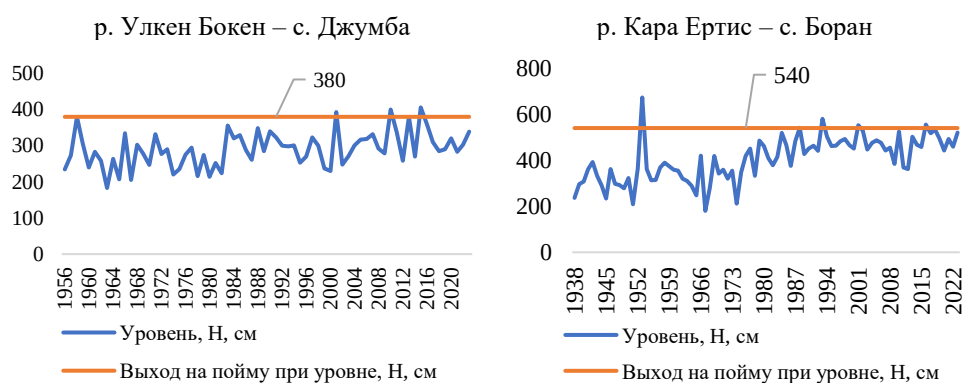


Рисунок 6. Динамика максимальных уровней воды с указанием отметки выхода на пойму

Анализ графиков уровенного режима на постах р. Улкен Бокен – с. Джумба и р. Кара Ертис – с. Боран наглядно подтверждает высокую паводковую опасность региона, обусловленную регулярным достижением и превышением критических отметок выхода воды на пойму. Исторически река Улкен Бокен характеризуется относительной стабильностью, однако с 2000-х годов наблюдается учащение пиков, достигающих или кратковременно превышающих отметку выхода на пойму (около 380 см) [32], что коррелирует с общей тенденцией роста экстремальности стока. Створ реки Кара Ертис демонстрирует высокую динамичность. Отметка выхода на пойму (около 550 см) [32]

регулярно достигалась в 1950-е, 1990-е и 2010-е годы. Тот факт, что в последние десятилетия уровни стабильно приближаются к критической черте, подтверждает необходимость использования восстановленных максимумов для уточнения зон гидрологического риска.

На основе многолетних рядов наблюдений и анализа кривых распределения были определены расчетные значения максимальных уровней воды по основным гидрологическим постам Ертисского ВХБ.

В следующей таблице представлены расчетные максимальные уровни воды для различных сценариев обеспеченности. Данные значения характеризуют предельно возможные подъемы воды: от ежегодных паводков (10 %) до катастрофических уровней, вероятных один раз в сто лет (1 %). Эти показатели являются итоговым результатом гидрологического анализа и служат базой для зонирования территорий по степени паводковой опасности.

В процессе анализа применялись как полные, так и усеченные кривые обеспеченности. Использование усеченных кривых позволило исключить влияние аномальных статистических выбросов и более точно определить расчетные точки в области высокой и средней обеспеченности (таб. 4).

Таблица 4

Уровни различной обеспеченности Ертисского ВХБ

Река - створ	F, км ²	H _{ср} , м	Уровни различной обеспеченности					
			1 %		3 %		5 %	
			Уровень	Исторические годы	Уровень	Исторические годы	Уровень	Исторические годы
р. Кара Ертис - с. Боран	55900	1290	653	1953	598	1953	570	1953, 1993
р. Улкен Бокен - с. Джумба	758	1150	423	—	393	2010, 2015	378	1958, 2001, 2010, 2013, 2015
р. Бухтарма - с. Печи	6860	1850	436	1995	385	1995	360	1990, 1995, 2011, 2016
р. Бухтарма - с. Берель	1850	2200	323	—	306	1998, 2014	297	1961, 1998, 2014
р. Ульба - с. Ульба Перевалочная	4900	960	453	—	420	1958, 2001	404	1958, 1973, 1977, 1979, 2001
р. Тургусун - с. Кутиха	1200	1470	527	—	477	2001	451	1998, 2001, 2004
Уба - г. Шемонаиха	8470	900	512	—	485	2001, 2015	471	2001, 2015
р. Курчум - с. Вознесенское	5840	1350	370	—	348	2001, 2013	336	1952, 1969, 1993, 2001, 2013, 2015
р. Левая Березовка - с. Средигорное	251	850	308	2018	273	1996, 2018	256	1996, 2018

Наиболее критические подъемы уровней, соответствующие и превышающие порог 3 % и 5 % обеспеченности, на крупных артериях (реки Кара Ертис, Уба, Ульба) зафиксированы в большинстве случаев в середине XX века (1953, 1958 гг.). В современном периоде (2001...2018 гг.) наблюдается смещение экстремальных отметок на средние и малые реки, такие как Улкен Бокен, Тургусун и Левая Березовка, где уровни воды неоднократно достигали расчетных значений высокой повторяемости.

Особый интерес представляют редкие случаи достижения уровня 1 % обеспеченности, зафиксированные на реке Левая Березовка в 2018 г. и реке Бухтарма в 1995 г., которые являются единственными примерами событий столетней вероятности в исследуемом регионе. Полученное увеличение пиковых уровней 3 % и 5 % обеспеченности на малых водосборах в последние два десятилетия указывает на изменение гидрологического режима региона и возрастающую амплитуду колебаний уровней в современных климатических условиях.

Сопоставление расчетных параметров с данными гидрометрических наблюдений показало, что полученные значения уровней редкой обеспеченности ($P = 1\%$, 3% , 5%) тесно связаны с отметками реальных исторических экстремумов в Ертисском водохозяйственном бассейне. На графиках многолетнего хода уровней отчетливо прослеживается регулярность превышения критических порогов выхода воды на пойму (540 см для р. Кара-Ертис – с. Боран и 380 см для р. Улкен-Бокен – с. Джумба). При этом расчетный максимальный уровень 1 % обеспеченности на р. Кара-Ертис (653 см) прямо соответствует значению исторического максимума снегового половодья 1953 года [33, 34], а уровни 3 % и 5 % обеспеченности на реках Бухтарма, Ульба, Уба, Тургусун и Курчум (диапазон 33...485 см) находят свое отражение в зафиксированных катастрофических пиках 1969, 1993, 2014 и 2015 годов [35...38].

Историко-генетические условия наводнений и оценка расчетных пиковых уровней на уязвимых участках бассейна

Пространственно-временной анализ проявления опасных гидрологических явлений на территории Ертисского водохозяйственного бассейна подтверждает высокую частоту затопления прибрежных населенных пунктов (таб. 5).

Таблица 5

Ключевые участки проявления наводнений и их повторяемость на территории Ертисского водохозяйственного бассейна

№ п/п	Бассейн реки	Населенный пункт	Годы проявления наводнений	Повторяемость наводнений
1	р.Ертис	г. Семей, п. Восточный, с. Семиярское Комсомол с. Богатырево ВКО, Малеевка,	2010; 2011; 2014 2008; 2015; 2022 2004; 2007	6
2	р.Бухтырма	Зубовка, Парыгино, Снегирёво; Комсомол, Соловьев- ский, Зыряновск, Катон-Карагайский район, село Сенное, верховья р. Бухтарма	2009; 2010; 2011; 2015	6
3	Куршим	ВКО	2015	1
4	р. Ульба	г. Усть-Каменогорск	2010; 2011; 2015	3
5	р. Уба	с. Красный Яр Бородулихинского района	2010; 2015	2
6	р. Улкен Бокен	Восточно-Казахстанская область	2011	1
7	р. Глубочанка	Восточно-Казахстанская область	2011; 2015	2

Оценка частоты наводнений проведена по систематизированным данным обзоров опасных гидрометеорологических явлений, опубликованным в научно-техническом журнале «Гидрометеорология и экология» за период 1993...2025 гг. [39]. На основе обобщения данных систематических наблюдений можно выделить ключевые участки с наибольшей повторяемостью катастрофических наводнений:

– Река Ертис (г. Семей, с. Семиярское). За рассматриваемый период зафиксировано не менее 6 крупных наводнений (2008, 2010, 2011, 2014, 2015, 2022 гг.),

сопровождаясь выходом воды на пойму, подтоплением жилых массивов и нарушением работы инфраструктуры;

– Река Бухтарма (с. Богатырево, Малеевка, Зубовка, Парыгино, г. Зыряновск/Алтай). Является одним из наиболее уязвимых притоков. Отмечено 6 выраженных паводковых периодов (2004, 2007, 2009, 2010, 2011, 2015 гг.), характеризующихся регулярным превышением критических отметок за счет сочетания интенсивного снеготаяния и дождевых осадков в горной части бассейна;

– Река Ульба (г. Усть-Каменогорск). Характеризуется высокой паводковой активностью (наводнения 2010, 2011, 2015 гг.). Из-за высокогорных уклонов и «взрывного» характера снеготаяния подъем уровней воды в черте города и прилегающих поселках происходит в крайне сжатые сроки;

– Реки Уба и Глубочанка (с. Красный Яр, Глубоковский район). Повторяемость наводнений составляет от 2 до 3 раз за наблюдаемый период (в частности, паводки 2010 и 2015 гг.), что обусловлено заторными явлениями и высокой изменчивостью максимального стока.

Сопоставление расчетных параметров с данными наблюдений показало, что полученные уровни редкой обеспеченности ($P = 1 \%, 3 \%, 5 \%$) соответствуют отметкам реальных исторических экстремумов в Ертисском бассейне. На графиках многолетнего хода хорошо видно регулярное превышение критических порогов выхода воды на пойму (540 см для р. Кара-Ертис – с. Боран и 380 см для р. Улкен-Бокен – с. Джумба), причем максимальный уровень 1 % обеспеченности на р. Кара-Ертис (653 см) сопоставим с абсолютным пиком 1953 года, а уровни 3 % и 5 % обеспеченности отражают исторические максимумы 1993, 2010 и 2015 годов на реках Улкен-Бокен, Ульба, Бухтарма и Уба. Сравнительный анализ подтверждает высокую частоту затопления прибрежных населенных пунктов. Таким образом, данные таблицы 4 наглядно иллюстрируют, что расчетные значения $Q_{\max}$ и $H_{\max}$ редкой обеспеченности ($P = 1 \%, 3 \%, 5 \%$) применимы к конкретным участкам риска и служат основой для картирования зон затопления.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнен комплексный статистический анализ максимальных расходов и максимальных уровней воды рек Ертисского водохозяйственного бассейна на основе длительных рядов гидрологических наблюдений. Проведенная проверка однородности исходных данных с использованием критериев Фишера, Стьюдента и Вилкоксона подтвердила их статистическую сопоставимость и надежность для последующих расчетов.

Определены основные параметры распределения максимальных расходов и уровней воды, включая коэффициенты вариации и асимметрии, что позволило выполнить расчет значений различной обеспеченности (1 %, 3 %, 5 %). Учет как расходов, так и уровней обеспечил более полное представление о гидрологическом режиме и экстремальных проявлениях стока в бассейне.

Дополнительно построены графики многолетней динамики максимальных расходов и графики максимальных уровней воды, анализ которых выявил выраженную пространственно-временную согласованность гидрологических процессов. Для большинства рек характерна цикличность с чередованием многоводных и маловодных фаз, при этом крупнейшие пики стока (1966, 1979, 1993 гг.) проявляются синхронно как на главных реках, так и на их притоках. На фоне общей устойчивости рядов прослеживается тенденция к некоторому снижению максимальных расходов за весь период наблюдений.

Экстремальные подъемы носят циклический характер, а исторические максимумы середины XX века сопоставимы с современными значениями. Для отдельных гидропостов выявлена высокая паводковая опасность, обусловленная

регулярным достижением и превышением критических отметок выхода воды на пойму. Отмечено учащение экстремальных уровней в последние десятилетия, а также тенденции к росту амплитуды колебаний и повышению базисных значений на отдельных реках.

Проведённые в настоящем исследовании расчёты сопоставимы сработами опубликованными ранее: в монографии «Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление» [30], «Ресурсах поверхностных вод» [33], авторами Чигринец Л.Ю и Байсакова М.К. [40]. Небольшие расхождения объясняются значительным удлинением рядов наблюдений и применением усеченных кривых обеспеченности максимальных расходов воды. Полученные результаты подтверждаются корректностью применённого методического подхода и проведенного расчета и свидетельствует о достоверности полученных оценок максимальных расходов и уровней воды.

Полученные и проанализированные ряды наблюдений, характеристики максимального стока и уровней, расчетные значения обеспеченностей послужат основой для более детальных исследований на основе моделирования, построения карт затоплений, получения прогноза и экспертных оценок.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

Данные, использованные в этом исследовании получены авторами из открытых источников РГП «Казгидромет».

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ААТ; Управление данными – ЖТС и НЖТ; Формальный анализ – ЖТС и НЖТ; Методология – ААТ; Программное обеспечение – НЖТ; Отслеживание – ААТ; Визуализация – ЖТС и НЖТ; Написание исходного проекта – ЖТС; Написание и редактирование обзора – ААТ.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (программно-целевое финансирование по научным, научно-техническим программам №BR28713279 «Научно-прикладные основы управления рисками наводнений на равнинной и мелкоопочной территории Казахстана в условиях современных климатических изменений»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Bank, 2024, Устойчивость к бедствиям. ЮНИСЕФ. Казахстан. [Электрон. ресурс]. – URL: <https://www.unicef.org/kazakhstan/> (дата обращения: 20.04.2026).
2. Азиатский банк развития. Профиль страновых рисков: Казахстан. — Март 2022. — 24 с. — URL: https://carecprogram.org/uploads/Country_Risk_Profiles_Kazakhstan_RU.pdf (дата обращения: 20.04.2026)
3. Турсунова, А. А. Историческая справка о гидрологических характеристиках наводнений на реке Жайык / А. А. Турсунова [и др.] // География и водные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 40–51. – DOI: 10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.
4. Бейсембаева М. А., Дубровская Л. И., Земцов В. А. Антропогенные изменения водных ресурсов и максимальных уровней реки Иртыш в равнинной части бассейна в Республике Казахстан //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – №. 3. – С. 6-15
5. Отчет о деятельности Ертисской бассейновой инспекции по регулированию использования и охране водных ресурсов КВР МСХ РК за 1999–2016 гг.
6. Винокуров Ю. И., Пузанов А. В., Безматерных Д. М. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейнов Оби и Иртыша. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с. – ISBN 978-5-7692-1293-2.
7. Baspakova G. R., Alimkulov S. K., Sarkynov E. S., Tursunova A. A., Zagidullina A. R., Saparova A. A., Kulebayev K. M. Impact of climate change and anthropogenic factors on the runoff of the Ertis River // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2022. – No. 5 (455). – P. 6–22. – DOI: 10.32014/2518-170X_2022_5_455_6-22.
8. Болдырев В.И. Реки восточного Казахстана // Природные условия и естественные ресурсы Восточного Казахстана. – АлмаАта: Наука, 1978. – С. 106–120.
9. Тореханова Н. С., Алдиярова А. Е., Зулпыхаров Б. А. Особенности формирования гидрологического режима реки Ертис на территории Казахстана в условиях антропогенной деятельности //Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий. – 2019. – Т. 2. – С. 218.
10. Малковский И. М. Территориальное перераспределение водных ресурсов Казахстана: возможность и целесообразность. – Алматы, 2012. – 414 с.
11. СНиП 2.01.14–83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М. : Стройиздат, 1985
12. Dahmen E. R., Hall M. J. Screening of hydrological data: tests for stationarity and relative consistency. – Wageningen : ILRI, 1990. – Publ. No. 49.

13. СП 33–101–2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.
14. Фролова Н. Л., и др. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 3. – С. 243–255.
15. Mengistu T. D., Chung I. M., Talpur Z., Alemayehu E. Quantifying regional low flows under data-scarce conditions // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, № 7. – Art. e28728. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28728.
16. Tan Kesgin R. İ. Revisiting trend stability using Mann–Kendall and Wilcoxon signed-rank tests through innovative method comparisons // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, № 23. – Art. 10454.
17. Memarian H., Balasundram S. K. Hydrological trend analysis integrated with landscape analysis at the watershed scale (case study: Langat basin, Malaysia) // Landscape Ecology-The Influences of Land Use and Anthropogenic Impacts of Landscape Creation. – IntechOpen, 2016.
18. Sen P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau // Journal of the American Statistical Association. — 1968. — Vol. 63, No. 324. — P. 1379–1389.
19. Pettitt A. N. A non-parametric approach to the change-point problem // Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics). — 1979. — Vol. 28, No. 2. — P. 126–135.
20. Buishand T. A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records // Journal of Hydrology. — 1982. — Vol. 58, No. 1-2. — P. 11–27.
21. Павленко А. В., Мансурова А. К., Кызырканов А., Черных Д. В. Система мониторинга и обеспеченность данными прогноза наводнений Восточно-Казахстанской области // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». – 2024. – Т. 29, № 4 (116). – С. 183–196. – DOI: 10.31489/2024BMG4/183-196.
22. Plekhanov P.A. Natural hydrological risks and their prevention in Kazakhstan / P.A. Plekhanov // Cent Asian J Water Res (CAJWR). — 2017. — Vol. 3, No 1. — P. 2084. <https://doi.org/10.15406/ijh.2019.03.00154>
23. Гальперин Р. И., Авезова А. Максимальные расходы воды на казахстанском участке р. Есиль // География и водные ресурсы. – 2012. – № 1. – С. 40–44
24. Gartsman B. I. et al. Methodological Approaches To Calculating Maximum River Discharge In The Upper Irtysh Basin // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. – 2025.
25. Алагуджаева М. А. и др. Условия формирования наводнений на территории Центрального Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2023. – № 4 (111). – С. 61–73. – DOI: 10.54668/2789-6323-2023-111-4-61-73.
26. Алагуджаева М. А., Садвакасова С. Р., Елбасиева Б. Б., Аимбетов А. А. Гидрологическое цифровое прогнозное моделирование зон затопления территории Северного Казахстана на основе высокодетальной цифровой модели рельефа // Гидрометеорология и экология. – 2023. – № 4 (111). – С. 74–84. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84>
27. Садвакасова С. Р., Шыныбек А. Ұ., Мусина Т. С. Анализ затопления территории Восточно-Казахстанской области // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 4 (107). – С. 36–44
28. Оспанова М. С. Есіл өзені алабының су басу қаупін бағалау және басқару : дис. ... д-ра философии (PhD) : 6D061000. – Алматы, 2023. – 136 с
29. Рождественский, А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. — Л. : Гидрометеоздат, 1974. — 324 с.
30. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление : монография / под ред. Н.Н. Пальговой. — Алматы : Институт географии, 2012. — Т. 1. — 600 с.
31. Гидрологический ежегодник. 1969. Т. 6 : Бассейн Карского моря (западная часть). Вып. 4–6, 8, 9 : Бассейн рек Иртыша (без бассейна р. Тобола), Оби ниже устья р. Иртыша и рек Обской губы к западу до границы с Баренцевым морем.
32. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши за 2000 год. Выпуск 1. Бассейн реки Ертис / РГП «Казгидромет». — Алматы : Казгидромет, 2001.
33. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15. Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 1. Подбассейн Верхний Иртыш / Под ред. В. А. Семенова. — Л.: Гидрометеоздат, 1969. — 504 с.
34. Многолетние данные о режиме и ресурсах суши. Том 1. Выпуск 22. Бассейн р. Иртыш (в пределах Казахской ССР). — Алма-Ата: Казгидромет, 1987. — 380 с.
35. Гальперин, Р. И. Структура и динамика экстремального стока рек Казахстанского Алтая / Р. И. Гальперин, М. А. Бейсембаева // Водные ресурсы и водопользование. — 2008. — № 4. — С. 15–22.
36. Сборник научно-прикладных работ по гидрометеорологии и экологии. Выпуск 2. Опасные гидрометеорологические явления в Республике Казахстан. — Алматы: РГП «Казгидромет», 1995. — С. 45–58.
37. Плеханов, П. А. Классификация и оценка рисков гидрологических чрезвычайных ситуаций в Восточно-Казахстанской области / П. А. Плеханов, Е. М. Стародубцев // Гидрометеорология и экология. — 2016. — № 2 (81). — С. 73–85.
38. Обзоры опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на территории Казахстана за 2014–2015 гг. — Алматы: РГП «Казгидромет», 2016. — 112 с.
39. Гидрометеорология и экология : научно-технический журнал / РГП «Казгидромет». — Алматы. — URL: <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro> (дата обращения: 28.07.2026).
40. Чигринец Л.Ю., Байсакова М.К. Исследование и расчёт максимального стока воды рек Казахстанского Алтая // Гидрометеорология и экология. 2014. № 3.

REFERENCES

1. World Bank. (2024). Disaster resilience. UNICEF Kazakhstan. <https://www.unicef.org/kazakhstan/>
2. CAREC Program. (n.d.). Country risk profile: Kazakhstan. https://www.carecprogram.org/uploads/Country_Risk_Profiles_Kazakhstan_RU.pdf
3. Tursunova, A. A., Alimkulov, S. K., & Saparova, A. A. (2024). Istoricheskaya spravka o gidrologicheskikh harakteristikah navodnenij na reke Zhajyk [Historical overview of the hydrological characteristics of floods on the Zhayik River]. Geografiya i Vodnye Resursy, (2), 40–51. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-2-40-51>
4. Bejsembaeva, M. A., Dubrovskaya, L. I., & Zemcov, V. A. (2018). Antropogennye izmeneniya vodnyh resursov i maksimal'nyh urovnej reki Irtysh v ravninnoj chasti bassejna v Respublike Kazakhstan [Anthropogenic changes to water resources and maximum water levels of the Irtysh River in the lowland part of the basin in the Republic of Kazakhstan]. Izvestiya Tomskogo Politehnicheskogo Universiteta. Inzhiniring Georesursov, 329(3), 6–15.
5. Irtysh Basin Inspection for Water Resources Regulation and Protection. (2016). Otchet o deyatelnosti Ertisskoj bassejnovoj inspekcii po regulirovaniyu ispol'zovaniya i ohrane vodnyh resursov KVR MSKH RK za 1999–2016 gg. [Report on activities of

- the Irtysh Basin Inspection for Regulation of Use and Protection of Water Resources of the Committee for Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for 1999–2016].
6. Vinokurov, Y. I., Puzanov, A. V., & Bezmaternykh, D. M. (2012). Sovremennoe sostoyaniye vodnykh resursov i funkcionirovaniye vodohozyajstvennogo kompleksa bassejnov Obi i Irtysha [The current state of water resources and the functioning of the water management system in the Ob and Irtysh basins]. Izd-vo SO RAN.
 7. Baspakova, G. R., Alimkulov, S. K., Sarkynov, E. S., Tursunova, A. A., Zagidullina, A. R., Saparova, A. A., & Kulebayev, K. M. (2022). Impact of climate change and anthropogenic factors on the runoff of the Ertis River. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, (5), 6–22. https://doi.org/10.32014/2518-170X_2022_5_455_6-22
 8. Boldyrev, V. I. (1978). Reki vostochnogo Kazakhstana [Rivers of Eastern Kazakhstan]. In Prirodnye usloviya i estestvennyye resursy Vostochnogo Kazakhstana (pp. 106–120). Nauka.
 9. Torekhanova, N. S., Aldiyarova, A. E., & Zulpysarov, B. A. (2019). Osobennosti formirovaniya gidrologicheskogo rezhima reki Ertis na territorii Kazakhstana v usloviyakh antropogennoy deyatel'nosti [Features of the formation of the hydrological regime of the Ertis River in Kazakhstan under conditions of human activity]. Problemy Razvitiya Sel'skohozyajstvennykh Melioracij i Vodohozyajstvennogo Kompleksa na Baze Cifrovyykh Tekhnologiy, 2, 218.
 10. Malkovskiy, I. M. (2012). Territorial'noe pereraspredeleniye vodnykh resursov Kazakhstana: Vozmozhnost' i celesoobraznost' [Territorial redistribution of Kazakhstan's water resources: Feasibility and expediency]. Institute of Geography.
 11. Gosstroy SSSR. (1985). Opredeleniye raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik [Determination of design hydrological characteristics] (SNiP 2.01.14–83). Stroyizdat.
 12. Dahmen, E. R., & Hall, M. J. (1990). Screening of hydrological data: Tests for stationarity and relative consistency (Publication No. 49). International Institute for Land Reclamation and Improvement.
 13. Gosstroy Rossii. (2004). Opredeleniye osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik [Determination of the main design hydrological characteristics] (SP 33–101–2003).
 14. Frolova, N. L., Magritsky, D. V., Kireeva, M. B., & Sazonov, A. A. (2017). Mnogoletnie kolebaniya stoka rek v bassejne Selengi [Long-term fluctuations of river runoff in the Selenga basin]. Vodnye Resursy, 44(3), 243–255.
 15. Mengistu, T. D., Chung, I. M., Talpur, Z., & Alemayehu, E. (2024). Quantifying regional low flows under data-scarce conditions. Heliyon, 10(7), Article e28728. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28728>
 16. Tan Kesgin, R. İ. (2025). Revisiting trend stability using Mann–Kendall and Wilcoxon signed-rank tests through innovative method comparisons. Sustainability, 17(23), Article 10454.
 17. Memarian, H., & Balasundram, S. K. (2016). Hydrological trend analysis integrated with landscape analysis at the watershed scale (case study: Langat basin, Malaysia). In Landscape Ecology - The Influences of Land Use and Anthropogenic Impacts of Landscape Creation. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/62209>
 18. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379–1389.
 19. Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28(2), 126–135.
 20. Buishand, T. A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology, 58(1–2), 11–27.
 21. Pavlenko, A. V., Mansurova, A. K., Kyzirkanov, A., & Chernykh, D. V. (2024). Sistema monitoringa i obespechennost' dannymi prognoza navodnenij Vostochno-Kazhastanskoy oblasti [Monitoring system and data availability for flood forecasting in the East Kazakhstan region]. Vestnik Karagandinskogo Universiteta. Seriya «Biologiya. Medicina. Geografiya», 29(4), 183–196. <https://doi.org/10.31489/2024BMG4/183-196>
 22. Plekhanov, P. A. (2017). Natural hydrological risks and their prevention in Kazakhstan. Central Asian Journal of Water Research, 3(1), 22–31. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2017-RI.v3-1/22-31.eng>
 23. Gal'perin, R. I., & Avezova, A. (2012). Maksimal'nye rashody vody na kazhastanskom uchastke r. Esil [Maximum water discharge on the Kazakh section of the Esil River]. Geografiya i Vodnye Resursy, (1), 40–44.
 24. Gartsman, B. I., Shamov, V. V., & Gubareva, T. S. (2025). Methodological approaches to calculating maximum river discharge in the Upper Irtysh basin. Geography, Environment, Sustainability, 18(1), 45–56.
 25. Alagudzhaeva, M. A., Sadvakasova, S. R., & Elbasieva, B. B. (2023). Usloviya formirovaniya navodnenij na territorii Central'nogo Kazakhstana [Conditions for the formation of floods in the territory of Central Kazakhstan]. Gidrometeorologiya i Ekologiya, (4), 61–73. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-61-73>
 26. Alagudzhaeva, M. A., Sadvakasova, S. R., Elbasieva, B. B., & Aimbetov, A. A. (2023). Gidrologicheskoe cifrovoe prognoznnoe modelirovaniye zon zatopeniya territorii Severnogo Kazakhstana na osnove vysokodetal'noj cifrovoj modeli rel'efa [Hydrological digital predictive modeling of flood zones in Northern Kazakhstan based on a high-detail digital elevation model]. Gidrometeorologiya i Ekologiya, (4), 74–84. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-74-84>
 27. Sadvakasova, S. R., Shynybek, A. U., & Musina, T. S. (2022). Analiz zatopeniya territorii Vostochno-Kazhastanskoy oblasti [Analysis of flooding in the territory of the East Kazakhstan region]. Gidrometeorologiya i Ekologiya, (4), 36–44.
 28. Ospanova, M. S. (2023). Esil özeni alabynyñ su basu qaupin baǵalau jáne basqaru [Assessment and management of flood risk in the Esil River basin] (Doctoral dissertation, Al-Farabi Kazakh National University).
 29. Rozhdestvensky, A. V., & Chebotarev, A. I. (1974). Statisticheskie metody v gidrologii [Statistical methods in hydrology]. Gidrometeoizdat.
 30. Pal'gov, N. N. (Ed.). (2012). Vodnye resursy Kazakhstana: Ocenka, prognoz, upravlenie [Water resources of Kazakhstan: Assessment, forecast, management] (Vol. 1). Institut Geografii.
 31. Gidrometeoizdat. (1969). Gidrologicheskij ezhegodnik. T. 6: Bassejn Karskogo morya (zapadnaya chast') [Hydrological yearbook. Vol. 6: Kara Sea basin (western part)]. Gidrometeoizdat.
 32. RSE "Kazhydromet". (2001). Gosudarstvennyi vodnyi kadastr Respubliki Kazakhstan. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi za 2000 god. Vypusk 1. Bassein reki Ertis [State Water Cadastre of the Republic of Kazakhstan. Annual data on the regime and resources of land surface waters for 2000. Issue 1. Ertis River Basin]. Kazhydromet.
 33. Semenov, V. A. (Ed.). (1969). Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 15. Vyp. 1. Podbassejn Verhnij Irtysh [Surface water resources of the USSR, Vol. 15. Issue 1. Upper Irtysh sub-basin]. Gidrometeoizdat.
 34. Kazhydromet. (1987). Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh sushi. Tom 1. Vypusk 22. Basseyn r. Irtysh (v predelakh Kazhastanskoy SSR) [Long-term data on the regime and resources of land. Vol. 1. Issue 22. The Irtysh River basin (within the Kazakh SSR)]. Kazhydromet.
 35. Galperin, R. I., & Beisembayeva, M. A. (2008). Struktura i dinamika ekstremal'nogo stoka rek Kazhastanskogo Altaya [Structure and dynamics of extreme river runoff of the Kazakh Altai]. Vodnye Resursy i Vodopol'zovaniye, (4), 15–22.

36. Kazhydromet. (1995). Opasnyye gidrometeorologicheskiye yavleniya v Respublike Kazakhstan [Hazardous hydrometeorological phenomena in the Republic of Kazakhstan]. In Sbornik nauchno-prikladnykh rabot po gidrometeorologii i ekologii (Issue 2, pp. 45–58). RSE "Kazhydromet".
37. Plekhanov, P. A., & Starodubtsev, E. M. (2016). Klassifikatsiya i otsenka riskov gidrologicheskikh chrezvychaynykh situatsiy v Vostochno-Kazakhstanskoy oblasti [Classification and risk assessment of hydrological emergencies in East Kazakhstan Region]. Gidrometeorologiya i Ekologiya, (2), 73–85.
38. Kazhydromet. (2016). Obzory opasnykh i stikhiynykh gidrometeorologicheskikh yavleniy na territorii Kazakhstana za 2014–2015 gg. [Reviews of hazardous and natural hydrometeorological phenomena in the territory of Kazakhstan for 2014–2015]. RSE "Kazhydromet".
39. RSE "Kazhydromet". (n.d.). Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]. Retrieved September 15, 2026, from <https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro>
40. Chigrinec, L. Y., & Bajsakova, M. K. (2014). Issledovanie i raschyot maksimal'nogo stoka vody rek Kazakhstanskogo Altaya [Investigation and calculation of maximum water runoff of the rivers of the Kazakh Altai]. Gidrometeorologiya i Ekologiya, (3), 45–52.

ЕРТІС ӨЗЕНІ АЛАБЫНДАҒЫ СУ ТАСҚЫНДАРЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Айсулу А. Турсунова¹ – г.ғ.к., қауымдастырылған проф., Жанат Т.Салаватова^{1,2*}, Нурила Ж. Турсын¹

¹ География және су қауіпсіздігі институты, Алматы қ., Қазақстан; ais.tursun@bk.ru (AAT), salavatova.07@gmail.com (ЖТС), Nurila_t@bk.ru (НЖТ)

² Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан; salavatova.07@gmail.com (ЖТС)

*Корреспондент-автор: Жанат Т. Салаватова, salavatova.07@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Ертіс өзені, максималды ағын, максималды деңгейлер, су тасқыны, көктемгі су жайылуы

Мақала жайында:

Алынды: 24.12.2025

Қайта қаралды: 13.04.2026

Қабылданды: 16.09.2026

Жарияланды: 01.10.2026

АБСТРАКТ

Жұмыста көпжылдық гидрологиялық бақылаулар негізінде, басты өзені Ертіс Қазақстанның негізгі су артерияларының бірі болып табылатын Ертіс су шаруашылығы бассейні өзендеріндегі су тасқынының гидрологиялық қауіптілік сипаттамалары мен экстремалды ағынды параметрлеріне кешенді талдау ұсынылған. Ол трансшекаралық өзендерге жатады және оны екі көршілес мемлекет – Қытай Халық Республикасы мен Ресей Федерациясы қарқынды түрде пайдаланады. Жұмыстың мақсаты – судың максималды шығындары ($Q_{\max}$) мен ең жоғары деңгейлерінің ($H_{\max}$) статистикалық сипаттамаларын кешенді бағалау, гидрологиялық қатарлардың біртектілігін тексеру, әртүрлі қамтамасыз етілудегі (1 %, 3 %, 5 %) шығындар мен деңгейлердің есептік мәндерін анықтау, сондай-ақ аумақтарды су басу қаупін бағалау мақсатында су басу шекараларын негіздеу және әрі қарайғы гидродинамикалық модельдеу үшін оларды жайылманың тегістелу белгілерімен және аймақтағы тарихи су тасқындарымен салыстыру.

Брінші кезеңде бастапқы деректерді өңдеу, бақылаулардың жоқ деректерін қалпына келтіру және судың максималды шығындары қатарларының біртектілігін талдау жүргізілді. Статистикалық біртектілікті тексеру үшін Фишер, Стьюдент және Вилкоксон критерийлері, сондай-ақ Манн–Кендалл, Петтит және Буишанд критерийлері пайдаланылды, бұл бассейнінің әртүрлі гидрологиялық бекеттеріндегі гидрологиялық бақылаулардың орнықтылығын, жүйелік ауытқулардың жоқтығын және салыстырмалылығын бағалауға мүмкіндік берді.

Тексерілген қатарлар негізінде судың максималды шығындарына статистикалық талдау жасалып, үлестірімнің негізгі параметрлері, соның ішінде вариация коэффициенті (C_v) мен асимметрия коэффициенті (C_s) анықталды, ал құбылмалылығы жоғары су жинау бөгеттері (ауартегиялары) үшін Крицкий–Менкельдің қиылған үлестірім функциялары қолданылды. Алынған статистикалық сипаттамалар экстремалды гидрологиялық құбылыстардың орын алу ықтималдығын көрсететін әртүрлі қамтамасыз етілудегі (1 %, 3 %, 5 %) судың максималды шығындары мен деңгейлерін есептеу үшін пайдаланылды. Зерттелетін бассейнінің әртүрлі гидрологиялық бекеттеріндегі судың максималды шығындарының көпжылдық динамикасына салыстырмалы талдау жүргізілді, бұл экстремалды ағынды қалыптасуының кеңістіктік ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Сондай-ақ, судың максималды деңгейлерінің жіберіп алған мәндерін қалпына келтіруді және олардың көпжылдық динамикасын талдауды қамтитын көпжылдық деректерге кешенді өңдеу жүргізілді. Нақты деңгейлерді судың жайылмаға шығу белгілерімен салыстыру негізінде жайылмалы аумақтардың су астында қалуының нақты жылдары белгіленді, сондай-ақ асып кету ықтималдығы әртүрлі (1 %, 3 % және 5 %) максималды деңгейлердің параметрлері есептелді.

HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF FLOODS IN THE ERTIS RIVER BASIN

Aisulu A. Tursunova¹ – Cand. Geogr. Sc., Assoc. Prof., Zhanat T. Salavatova^{1,2*}, Nurila Zh. Tursyn¹.

¹ Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan; ais.tursun@bk.ru (AAT), salavatova.07@gmail.com (ZhTS), Nurila_t@bk.ru (NZhT)

² Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; salavatova.07@gmail.com (ZhTS)

*Corresponding Author: Zhanat T. Salavatova, salavatova.07@gmail.com

KEY WORDS

Ertis River, maximum runoff, maximum levels, flood, spring flood

About article:

Received: 24.12.2025

Revised: 13.04.2026

Accepted: 16.09.2026

Published: 01.10.2026

ABSTRACT

This study presents a comprehensive analysis of extreme flow parameters and hydrological flood hazard characteristics in the Irtysh Water Management Basin based on long-term hydrological observations. The main river, the Irtysh, is one of the primary waterways of Kazakhstan. It is a transboundary river heavily utilized by two neighboring nations—the People's Republic of China and the Russian Federation. The objective of this work is to provide a comprehensive assessment of the statistical characteristics of maximum water discharges (Q_{max}) and peak water levels (H_{max}), test the homogeneity of hydrological series, and determine the calculated values of discharges and levels for various exceedance probabilities (1 %, 3 %, 5 %). Furthermore, these values are compared with floodplain alignment elevations and historical floods in the region to substantiate inundation boundaries for subsequent hydrodynamic modeling aimed at assessing flood risk.

In the first stage, initial data processing was performed, including the restoration of missing observational data and the evaluation of series homogeneity for maximum water discharges. Fisher, Student, and Wilcoxon tests, along with Mann–Kendall, Pettitt, and Buishand tests, were applied to verify statistical homogeneity. This enabled the assessment of stability, absence of systemic shifts, and comparability of hydrological observations across various streamflow gaging stations in the basin.

Based on the verified series, a statistical analysis of maximum water discharges was conducted to determine the primary distribution parameters, including the coefficient of variation (C_v) and the coefficient of asymmetry (C_s). For catchments exhibiting high variability, truncated Kritsky–Menkel distribution functions were applied. The resulting statistical characteristics were used to calculate maximum water discharges and levels for specified exceedance probabilities (1 %, 3 %, 5 %), reflecting the likelihood of extreme hydrological events. A comparative analysis of long-term maximum discharge dynamics across various gaging stations revealed the spatial patterns governing extreme runoff formation.

Additionally, comprehensive processing of long-term data was carried out, incorporating the restoration of missing peak water level values and the analysis of their multi-year dynamics. By comparing recorded water levels with floodplain inundation thresholds, specific years of floodplain flooding were identified, and parameters for maximum water levels of various exceedance probabilities (1 %, 3 %, and 5 %) were calculated.

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