

Анализ статистических характеристик рядов расходов воды на реках бассейна Японского моря

Сергей Юрьевич ЛУПАКОВ
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник
rbir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5804-2604>

Андрей Николаевич БУГАЕЦ
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
andreybugaets@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2437-6155>

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. Для 15 водосборов, расположенных в прибрежной зоне Японского моря, выполнена оценка изменения статистических характеристик рядов средних и максимальных годовых расходов воды для базового (1960–1990 гг.) и современного (1991–2023 гг.) периодов. Анализ характеристик эмпирических кривых показал, что в течение последние 60 лет наблюдается увеличение среднегодовых и максимальных годовых расходов в среднем на 20–25 %. Диапазон изменения значений коэффициентов вариации базового и современного периодов составляет 5–10 %. Значения коэффициента асимметрии в среднем увеличились на 40 %. Для аппроксимации эмпирических кривых использованы логнормальное, функционально-нормальное СЗ и распределение Пирсона III типа. Для оценки сходимости использованы три критерия, основанные на численных характеристиках аналитических и эмпирических кривых. Показано, что для аппроксимации рядов среднегодовых расходов воды могут быть использованы все три аналитические кривые. Для рядов максимальных годовых расходов предпочтительными являются логнормальная и кривая СЗ. По сравнению с базовым периодом значения среднегодовых и максимальных за год расходов воды 1 %-ной обеспеченности, в целом возросли на 15 % и 20 % соответственно. Изменения статистических характеристик стока за последние 30 лет указывают на общее повышение водности (среднегодового стока) и увеличение максимальных значений паводковых расходов воды, т.е. изменения гидрологического режима. На основе полученных результатов сделан вывод о необходимости их учета в практике регионального использования нормативной базы по определению основных расчетных гидрологических характеристик.

Ключевые слова: кривые обеспеченности, статистические характеристики, расходы воды, паводки

Для цитирования: Лупаков С.Ю., Бугаец А.Н. Анализ статистических характеристик рядов расходов воды на реках бассейна Японского моря // Тихоокеанская география. 2026. № 3. С. 91–100. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_8

Analysis of statistical characteristics of rivers discharge series, the Sea of Japan tributaries case

Sergei Yu. LUPAKOV

Candidate of Geographical Sciences, Leading research associate
rbir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5804-2604>

Andrey N. BUGAETS

Candidate of Geographical Sciences, Leading research associate
andreybugaets@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2437-6155>

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. According to the current Russian legislation, likelihood of specific flow rates, which is crucial for infrastructure design, flood insurance, and environmental management are calculated based on flow duration curves and specific event magnitudes, such as 100-year flood. In conditions of climate stationarity solution of this task generally does not cause difficulties and basically limited by quality and length of observed river discharge series. Climate changes impact complicates obtaining reliable estimates of runoff statistical characteristics and erroneously shifts the shape of flow duration curves. Especially, it is the case of the Pacific Russia region, which is well-known for its high spatio-temporal variability of the main hydrological processes and occurrence of flash floods. For filling gaps in a regional hydrology, we assessed changes in the statistic characteristics (mean, variation coefficient and skewness) of average and maximum annual water discharge series for the base period before significant climate changes (1960–1990) and during modern warming (1991–2023). Study objects are 15 catchments located in the coastal zone of the Sea of Japan. Empirical flow duration curves were constructed for average and maximum annual water discharge series. Runoff observations data fitting was performed using traditional in hydrology Pearson type III distribution, as well as the lognormal and version if functionally normal C3 distributions. An analysis of the empirical curves showed an increase in average and maximum annual discharges by an average of 20–25% over the past 60 years. The variation coefficient for series from different hydrological stations as a rule varies in the range of 5–10%, and the change in skewness, depending on the catchment, ranges from an 80% decrease to an increase of 2–4 times. Using three goodness-of-fit criteria, it was demonstrated that the Pearson type III curve can be used to fit average annual discharge curves. For water discharge series with severe rainfall floods, the lognormal and C3 curves are preferable. Empirical curves following the logistic law (S-shaped distribution) are less amenable to fit by the applied distributions. An analysis of calculated water discharge of certain probability confirmed regional conception of the hydrological regime instability. Most catchments recorded increases in mean annual and maximum annual water discharge with a probability of occurrence of 1%, 15% and 20%, respectively. Based on the obtained results, a conclusion was made about the need to consider regional manifestations of climate changes to get reliable values of discharges with varying probability for the few decades in advance and to reduce the risks to the sustainable development of Primorsky Krai and Pacific Russia as a whole.

Keywords: flow duration curve, statistical characteristics, water discharge, rainfall flood

For citation: Lupakov S.Yu., Bugaets A.N. Analysis of statistical characteristics of rivers discharge series, the Sea of Japan tributaries case. *Pacific Geography*. 2026;(3):91–100. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2026_27_8

Введение

Данные гидрологических наблюдений, их анализ и обобщение представляют собой основу нормативной базы для проектирования инженерных объектов и территории-

ально-экономического планирования в целом [1–3]. Методическая база, необходимая для прогноза функционирования гидрологических систем в условиях нестационарного климата и антропогенного преобразования ландшафтов, на настоящий момент находится в стадии разработки [1].

Интенсивное глобальное потепление, наблюдающееся последние 30–50 лет, коснулось территории России в значительно большей степени, чем других регионов [4]. Согласно оценкам Росгидромета [5] на территории Дальнего Востока России потепление климата происходит примерно в 2 раза интенсивнее, чем в среднем по земному шару [2, 3]. Несмотря на имеющиеся исследования, в частности о скорости потепления акватории Японского моря [6], увеличении водности рек в месяцы холодного периода и перераспределении стока весеннего половодья [7], появления крайне редких гидрологических событий в осенние месяцы [8], а также изменения долей генетических компонентов стока за исторический период [9], полной и надежной оценки влияния климатических изменений на водные объекты в Приморском крае пока не существует. Относительно согласованы выводы только о нелинейном отклике речных бассейнов на потенциальные изменения в режиме увлажнения территории [10, 11].

Согласно действующему нормативу в области гидрологических расчетов (СП 529.1325800.2023¹), методической базой определения расчетных характеристик (норма, коэффициенты вариации и асимметрии) и обеспеченных значений расходов воды, определяющих устойчивость работы существующих или проектируемых гидротехнических сооружений, являются аналитические кривые обеспеченности Пирсона III типа, Крицкого-Менкеля и логнормальная. В ряде исследований показано, что для рек Приморского края применение логнормального и функционально-нормального распределения С3 может обеспечить надежные статистические оценки максимального стока [12, 13].

В данном исследовании для проверки гипотезы о происходящем изменении гидрологического режима под влиянием региональных проявлений глобального изменения климата выполнено сравнение показателей изменчивости характеристик стока за базовый (1960–1990 гг.) и современный (1991–2023 гг.) периоды. Выполнена оценка изменений значений параметров эмпирических и аналитических кривых распределения.

Материалы и методы

Объектами исследования являются 15 речных бассейнов, расположенных в Приморском крае, относящихся к рекам побережья Японского моря (рис. 1). Площадь водосборов составляет 157–894 км², рельеф преимущественно среднегорный (табл. 1).

Особенности климатических условий определяются муссонным характером циркуляции атмосферы, которая развивается на границе контакта Азиатского материка и Тихого океана. Динамика увлажнения и гидрологический режим рек связаны с климатическими условиями и особенностями орографии исследуемой территории. За год в среднем выпадает 700–800 мм осадков (в отдельные годы до 1200–1400 мм), большая часть которых приурочена к теплему периоду года. Суточные максимумы дождей составляют 150–250 мм. Гидрологический режим территории относится к дальневосточному типу. Основной фазой гидрологического режима являются летне-осенние дождевые паводки.

Для целей исследования использованы данные суточных наблюдений на гидрологических постах сети мониторинга Приморского УГМС (рис. 1). Длина рядов расходов воды варьируется от 60 до 86 лет (табл. 1). Из рядов наблюдений формировались выборки средних и максимальных годовых значений, для которых строились эмпирические и ана-

¹ СП 529.1325800.2023 Определение основных гидрологических характеристик: Свод правил. Издание официальное: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 11 сентября 2023 г. № 654/пр: введен в действие 12 октября 2023 г., Москва, 2023. 103 с.

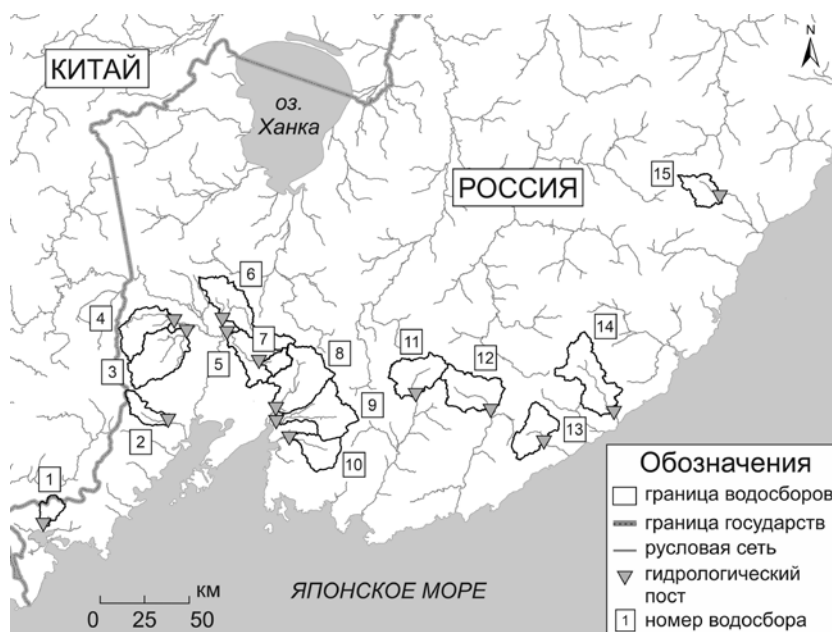


Рис. 1. Картограмма исследуемого района. Номерам соответствуют водосборы из табл. 1
Fig. 1. Basemap of the research area. Numbers correspond to the catchments from Table 1

литические кривые распределения. Общий период наличия данных (1960–2023 гг.) был разбит на базовый (1960–1990) и современный (1991–2023 гг.) периоды. Граница раздела соответствует оценкам начала интенсивного потепления в бассейне р. Амур в конце 1980-х–начале 1990-х гг. [14, 15]. При этом удовлетворяются требования о необходимой длине ряда для построения кривых обеспеченности (СП 529.1325800.2023) и величине климатической нормы ВМО [16] в 30 лет.

Таблица 1

Основные сведения об объектах исследования
Table 1. The main information about catchments

№	Река–пост	Период наличия данных (количество лет)	S, км ²	H, м
1	Цукановка–Краскино	1951–1956, 1958–1961, 1963–2023 (71)	170	188
2	Амба–Занадворовка	1961–1998, 2000–2023 (62)	242	312
3	Борисовка–Корсаковка	1959–2023 (65)	756	315
4	Казачка–Пуциловка	1951–2023 (72)	519	299
5	Комаровка–Сахарный Завод	1940–1942, 1948–1949, 1951–1954, 1956–1958, 1961–2023 (75)	616	222
6	Раковка–Опытный	1956–1957, 1959–2023 (67)	755	128
7	Комаровка–Центральный	1954–1955, 1957–2023 (69)	157	317
8	Артемовка–Штыково	1936–1939, 1941–1980, 1982–2023 (86)	894	328
9	Шкотовка–Шкотово	1934, 1937–1943, 1945, 1949–2023 (84)	706	454
10	Суходол–Романовка	1958–2023 (66)	443	366
11	Партизанская–Молчановка	1954–1992, 1996–2023 (67)	549	672
12	Лазовка–Лазо	1958–1961, 1963–1988, 1990–1992, 1997–2023 (60)	671	700
13	Черная–Черноручье	1960–2004, 2008–2023 (61)	475	388
14	Маргаритовка–Маргаритово	1951–1952, 1956–2019, 2021–2023 (69)	763	458
15	Рудная–Дальнегорск	1947–2023 (76)	293	604

Примечание. S – площадь водосбора, H – средняя высота водосбора

Оценка эмпирической вероятности расходов воды выполнена с помощью формулы $P = m/(n+1)$ [17]. Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых использовано три вида распределений – Пирсона III типа [17], логнормальное и функционально-нормальное распределение СЗ [13]. Распределение Пирсона III типа представляет собой дискретное биномиальное распределение непрерывных случайных величин с тремя параметрами [17]. Логнормальное распределение представляет собой непрерывное распределение случайной величины, логарифм которой подчиняется нормальному распределению. Трехпараметрическое СЗ распределение предполагает преобразование исходной величины (x) с помощью нормализующей функции $z = 0.5 (x^n + 1) \ln x$ [13].

Для оценки соответствия эмпирических и аналитических кривых использовались три критерия согласия: надежность (w), точность (s) и прочность (d) [18]. Под надежностью w понимается величина суммарного относительного расхождения эмпирической и аналитической кривой по вероятности

$$w = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|p^* - p^{**}|}{p_b^* - p_a^*} \right)_i, \tag{1}$$

где $p^* = m/n$ – эмпирическая вероятность, p^{**} – аналитическая вероятность членов ряда, m и n – ранг i -го значения и общий объем выборки, p_a^* и p_b^* – границы доверительного интервала для вероятности p^* при заданном уровне значимости. Точность (s) – это мера сходимости по абсолютной величине, описывается среднеквадратическим отклонением равнообеспеченных квантилей распределений эмпирической (k_p^*) и аналитической (k_p^{**}) кривых

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_p^* - k_p^{**})_i^2}. \tag{2}$$

Мера прочности d равна отношению 1%-ного расчетного расхода воды к максимальному значению в ряду измеренных [18] и характеризует «запас прочности инженерного решения» [19].

Параметры кривой Пирсона III типа оценивались с помощью методов моментов [17], логнормальной и СЗ – подгонкой аналитических кривых к эмпирическим точкам на основе минимизации критериев w и s [19].

На основе рекомендаций СП 529.1325800.2023 выполнена оценка статистической однородности рядов расходов с помощью критериев Фишера и Стьюдента. Сравнивались выборочные дисперсии и средние значения рядов расходов воды за базовый (1960–1990) и современный (1991–2023 гг.) периоды с 5 %-ным уровнем значимости.

Результаты и их обсуждение

Согласно критериям Фишера или Стьюдента (табл. 2), для 80 % исследуемых водосборов выявлена неоднородность в рядах расходов воды. Использование только од-

Таблица 2

Результаты оценки однородности рядов средних (Q_{avg}) и максимальных (Q_{max}) годовых расходов воды

Table 2. Determination of the significance of the difference in series of annual average (Q_{avg}) and maximal discharges (Q_{max})

Характеристика	Пост														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Q_{avg}	t	t	t				t		t, f	t, f		t		t	
Q_{max}		t, f	t, f		f	f	f	t	t, f	t, f	f	f		f	

Примечание. t – наличие тренда по критерию Стьюдента, f – по критерию Фишера, пропуск – отсутствие тренда, номерам постов соответствуют водосборы из табл. 1.

ного критерия недостаточно для объективной оценки наличия однородности в ряду – наличие тренда, определенного с помощью критерия Стьюдента, необязательно подтверждается критерием Фишера и наоборот.

Полученные значения критериев согласия эмпирических и аналитических кривых представлены на рис. 2. Общепринятой классификации для значений критериев согласия на данный момент не предложено. Считается, что аналитическая кривая наилучшим образом аппроксимирует точки наблюдений при минимальных значениях критериев w , s и максимальных d .

В целом аналитические кривые хорошо описывают эмпирические распределения среднегодовых расходов. Диапазон значений критерия прочности d составляет 104–162 %, различия в его значениях между аналитическими кривыми небольшие (в среднем 10–15 %). В большинстве случаев значения критериев надежности w и точности s минимальны для кривых среднегодовых величин при использовании кривой Пирсона III типа.

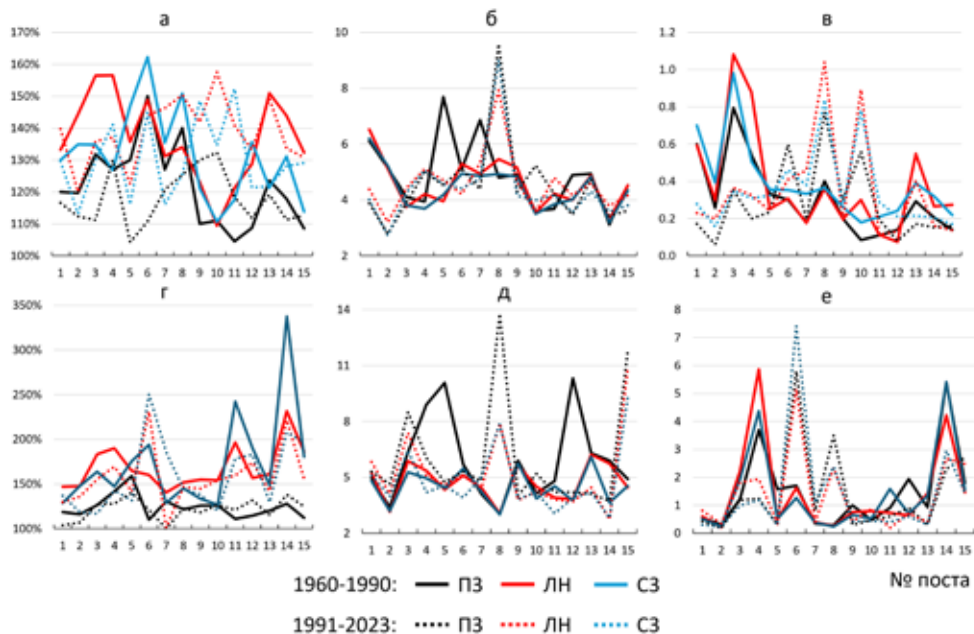


Рис. 2. Значения критериев прочности (а, г), надежности (б, д), точности (в, е), полученные при сравнении аналитических и эмпирических кривых среднегодовых (а, б, в) и максимальных годовых (г, д, е) расходов воды за базовый и современный периоды при использовании кривых: ПЗ – Пирсона III типа, ЛН – логнормальной, СЗ – распределения СЗ. Номерам постов соответствуют водосборы из табл. 1

Fig. 2. Compliance criteria values of annual average (а, б, в) and maximal (г, д, е) discharges for base and modern periods applying ПЗ – Pearson III type, ЛН – lognormal, СЗ – C3 distribution. Numbers correspond to the catchments from Table 1

При аппроксимации годовых максимумов расходов воды минимальные значения критериев w и s , соответствующие наименьшему расхождению по вероятности и абсолютной величине, получены преимущественно для логнормального распределения и СЗ. При использовании кривой Пирсона III типа получены менее надежные результаты по сравнению с альтернативными методами. Наличие характерных «ступенек» на эмпирических кривых (см. рис. 2, б) указывает на неполноту эмпирических данных особенно в области редкой повторяемости, что приводит к увеличению значений критериев w и s . Подобное поведение на графиках эмпирической обеспеченности объясняется неравноценностью информации об эмпирических точках на концах распределения [20], а также сменой доминирующего способа формирования стока [21].

В сравнении с 1960–1990 гг. средние и годовые максимумы расходов воды за период 1991–2023 гг. повысились на 25 % (рис. 3, а, б). Изменения значений коэффициента вариации C_v в среднем составляют 5–10 % (рис. 3, в, г), коэффициента асимметрии C_s – в среднем 40 % (рис. 3, д, е). Это позволяет сделать вывод, что трансформация гидрологического режима связана как общим повышением водности, так и увеличением частоты и пиковых значений гидрографов паводков [22] с соответствующим сдвигом распределения величин расходов влево. По правилу двух сигм статистически значимые различия оценок среднего наблюдаются на 47 % исследуемых водосборов, C_v – на 10 %.

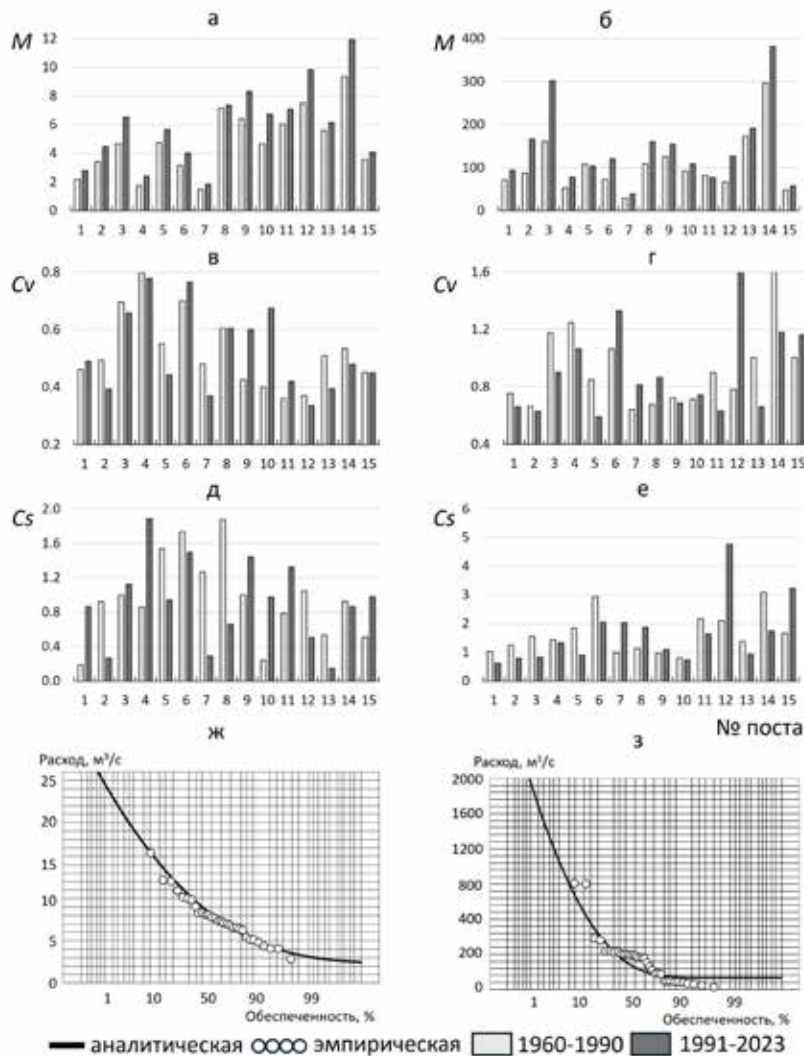


Рис. 3. Среднее (M), коэффициенты вариации (C_v) и асимметрии (C_s) рядов среднегодовых (а, в, д) и максимальных годовых расходов воды (б, г, е), а также эмпирические и кривые Пирсона III типа для среднегодовых расходов воды р. Лазовка за период 1960–1990 гг. (ж) и максимальных годовых расходов р. Артемовка – с. Штыково за период 1991–2023 гг. (е) соответственно. Номерам постов соответствуют водосборы из табл. 1

Fig. 3. Mean (M), variation coefficient (C_v) and skewness (C_s) of average annual (а, в, д) and maximal annual (б, г, е) discharges, empirical and Pearson III type probability curves of average annual discharges of Lazovka River for 1960–1990 гг. (ж) and maximal annual discharges of Artemovka River for 1991–2023 гг. (е). Numbers correspond to the catchments from Table 1

Расчетные значения среднегодовых расходов воды 1 %-ной обеспеченности за период 1991–2023 гг. по отношению к 1960–1990 гг. увеличились практически на всех исследуемых реках в среднем на 15 %, небольшое снижение в диапазоне 10–20 % относится к рекам Комаровка, Артемовка и Черная. Расчетные расходы 50 %-ной обеспеченности увеличились на всех водосборах на 5–35 %, в среднем повышение составило 20 %. Схожий результат получен при анализе максимальных годовых значений. Расчетные значения 1 %-ной обеспеченности за период 1991–2023 гг. по отношению к 1960–1990 гг. увеличились в среднем на 20 %, за исключением рек Комаровка, Партизанская, Черная (№ 7, 11, 13 табл. 1, рис. 1), для которых выявлено снижение на ~70 %. Расчетные максимальные годовые расходы 50 %-ной обеспеченности увеличились на всех реках на 4–33 %.

На основе полученных результатов для объектов исследования рекомендуется использовать кривую Пирсона III типа для аппроксимации распределения среднегодовых расходов воды (рис. 3, ж). Логнормальная кривая и распределение С3 лучше подходят для описания паводкового стока исследуемых рек благодаря возможности воспроизведения резкого увеличения расходов в зоне обеспеченности ниже 10 %.

Формирование катастрофических паводков редкой повторяемости на реках Приморья, как правило, происходит при сочетании условий выпадения кратковременных ливневых осадков 150–200 мм и переувлажнения водосборов муссонными дождями [23, 24]. Подобные редкие события на эмпирических кривых могут проявляться в виде резких скачков в зоне редкой повторяемости (рис. 3, е), которые лучше описываются логнормальным и С3 распределением, что объясняется их характерными свойствами – отличной от нуля модой в зоне обеспеченности средних паводков и относительно медленным снижением вероятности наиболее экстремальных событий [25].

Заключение и выводы

Полученные результаты свидетельствуют о существенном изменении в современном режиме формирования стока на водосборах бассейна Японского моря. За последние 30 лет по сравнению с базовым периодом (1960–1990 гг.) выявлено увеличение значений средних и годовых максимумов расходов воды примерно на 20 %, при этом коэффициенты вариации изменились незначительно, а коэффициенты асимметрии в среднем на 40 %. Расчетные значения максимальных годовых расходов воды 1 %-ной обеспеченности увеличились на 20 %, максимальные годовые расходы 50 %-ной обеспеченности увеличились на всех водосборах на 4–33 % по сравнению с базовым периодом.

Значения расходов воды редкой повторяемости, определенные разными методами, существенно отличаются. Кривая Пирсона III типа хорошо аппроксимирует эмпирическую кривую обеспеченности среднегодовых расходов. Максимальные годовые расходы более эффективно аппроксимируются логнормальной и С3 кривыми. Полученные результаты следует учитывать в региональной практике по определению основных расчетных гидрологических характеристик и корректировке нормативной базы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ТИГ ДВО РАН FWMW-2025–0004 «Условия и механизмы формирования экстремальных дождевых паводков на реках юга Дальнего Востока России».

Acknowledgments. The study was supported by the RF Ministry of Science and Education under State Assignment to the Pacific Geographical Institute FEB RAS, FWMW-2025-0004 «Conditions and generation mechanisms of extreme rain floods on the southern Russian Far East rivers».

Литература

1. Болгов М.В., Лобанова А.Г. Инженерно-гидрологические расчеты и климатические изменения: как развивать новые подходы? // Метеорология и гидрология. 2025. № 4. С. 25–36.

2. Балонишникова Ж.А., Еремеева А.О. Водобеспеченность Российской Федерации в условиях изменения климата // *Метеорология и гидрология*. 2025. № 4. С. 87–97.
3. Журавлев С.А., Бузмаков С.В., Юхно А.В., Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Мещерин В.А. Гидрологические особенности и причины наводнения 2024 года на реке Урал в Оренбургской области // *Метеорология и гидрология*. 2025. № 4. С. 98–108.
4. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021; 2391 p.
5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. 676 с.
6. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. Проявления глобальных климатических изменений в прибрежных водах северной части Японского моря // *Вестник ДВО РАН*. 2016. № 5. С. 100–112.
7. Gartsman B.I., Lupakov S.Yu. Changes in the maximum runoff regime in the Ussuri River basin: the methodological aspects of forecasting based on dynamic-stochastic simulation // *Water resources*. 2018. Vol. 45, Suppl. 1. P. S79–S89.
8. Гарцман Б.И., Мезенцева Л.И., Меновщикова Т.С., Попова Н.Ю., Соколов О.В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 г. // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 4. С. 77–92.
9. Макагонова М.А. Влагооборот в малых речных бассейнах юга Дальнего Востока: региональная оценка на основе динамического моделирования: дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2009. 182 с.
10. Гарцман Б.И., Лупаков С.Ю. Оценка изменений режима паводкового стока реки Усури с учетом современных климатических проекций до конца XXI века // *Гидросфера. Опасные процессы и явления*. 2019. № 1. С. 52–70.
11. Гельфан А.Н., Калутин А.С., Мотовилов Ю.Г. Оценка изменений водного режима реки Амур в XXI веке при двух способах задания климатических проекций в модели формирования речного стока // *Водные ресурсы*. 2018. Т. 45. № 3. С. 223–234.
12. Губарева Т.С. Пространственные закономерности распределения паводков рек умеренного пояса Северного полушария // *Известия РАН. Серия географическая*. 2011. № 2. С. 65–77.
13. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 365 с.
14. Мещенина Л.А., Новороцкий П.В., Пономарев В.И. Климатические изменения и колебания стока Амура // *Вестник ДВО РАН*. 2007. № 4. С. 44–54.
15. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской Автономной области. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука, 2000. 174 с.
16. Руководство по климатологической практике. Женева: ВМО, 2018. № 100, 169 с.
17. Шелутко В.А. Техника статистических вычислений в гидрологии Л.: ЛПИ, 1977. 175 с.
18. Гарцман Б.И., Степанова М.В. Особенности гидрологических расчетов максимального стока на Дальнем Востоке // *География и природные ресурсы*. 1996. № 4. С. 103–110.
19. Губарева Т.С. Максимальный сток рек в бассейне Амура: закономерности формирования и методы расчетов: дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2004. 143 с.
20. Сотникова Л.Ф. Опыт применения усеченного гамма-распределения к расчету максимального стока рек // *Проблемы регулирования и использования водных ресурсов*. М.: Наука, 1973. С. 56–85.
21. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценки риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.
22. Гарцман Б.И., Лупаков С.Ю. Влияние изменений климата на максимальный сток в бассейне Амура: оценка на основе динамико-стохастического моделирования // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44, № 5. С. 1–11.
23. Gartsman B.I. A FCM runoff model for small rivers with rainfall recharge. 1. The concept and algorithms // *Water resources*. 2023. Vol. 50. N 4. P. 491–502.
24. Bugaets A.N., Gartsman B.I., Gonchukov L.V., Lupakov S.Y., Shamov V.V., Pshenichnikova N.F., Tereshkina A.A. Modeling the hydrological regime of small testbed catchments based on field observations: a case study of the Pravaya Sokolovka River, the Upper Ussuri River basin // *Water Resources*. 2019. Vol. 46, N S2. P. S8–S16.
25. Губарева Т.С. Типы распределений при оценке экстремальных паводков // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2010. № 5. С. 446–457.

References

1. Bolgov, M.V.; Lobanova A.G. Engineering and hydrological calculations and climate change: how to develop new approaches? *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025;(4):25–36. (In Russian).
2. Balonishnikova, Zh.A.; Eremeeva A.O. Water availability in the Russian Federation in a changing climate. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025;(4):317–325. (In Russian).
3. Zhuravlev, S.A.; Buzmakov, S.V.; Yukhno, A.V.; Georgievskii, V.Yu.; Grek, E.A.; Meshcherin, V.A. Hydrological features and causes of the 2024 Ural River flood in the Orenburg oblast. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2025;(4):98–108. (In Russian).

4. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021; 2391 p.
5. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. High Technology, St-Petersburg, Russia, 2022; 676 p. (In Russian).
6. Rostov, I.D.; Rudykh, N.I.; Rostov, V.I.; Vorontsov, A.A. Expressions of global climatic changes in coastal waters of the northern part of the Sea of Japan. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2016;(5):100–112. (In Russian).
7. Gartsman, B.I.; Lupakov, S.Yu. Changes in the maximum runoff regime in the Ussuri River basin: the methodological aspects of forecasting based on dynamic-stochastic simulation. *Water Resources*. 2018; 45(1):S79–S89.
8. Gartsman, B.I.; Mezentseva, L.I.; Popova, N.Y.; Sokolov, O.V.; Menovshchikova, T.S. Conditions of generation of extremely high-water content of Primorye rivers in autumn-winter 2012. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2014;(4):260–270. (In Russian).
9. Makagonova, M.A. Water cycle in small river basins of the southern Far East: a regional assessment based on dynamic modeling. PhD thesis, Irkutsk, Russia, 2009; 182 p. (In Russian).
10. Gartsman, B.I.; Lupakov, S.Yu. Assessment of the Ussuri River flood regime changes regarding to climate projections to the end of the XXI century. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*. 2019;(1):52–70. (In Russian).
11. Gelfan, A.N.; Kalugin, A.S.; Motovilov, Yu.G. Assessing Amur water regime variations in the XXI century with two methods used to specify climate projections in river runoff formation model. *Water Resources*. 2018;(3):307–317. (In Russian).
12. Gubareva, T.S. Spatial patterns of flood distribution on rivers in temperate zone of the north hemisphere. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2011;(2):65–77. (In Russian).
13. Vinogradov, Yu.B. Mathematical modeling of runoff formation processes. Gidrometeoizdat: Leningrad, USSR, 1988; 365 p. (In Russian).
14. Meshchenina, L.A.; Novorotsky P.V.; Ponomarev, V.I. Climatic changes and fluctuations of the Amur runoff. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2007;(4):44–54. (In Russian).
15. Petrov, E.S.; Novorotsky, P.V.; Lenshin, V.T. Climate of Khabarovsk territory and Jewish Autonomous region. Dalnauka: Vladivostok-Khabarovsk, Russia, 2000; 174 p. (In Russian).
16. Guide to Climatological Practices. WMO: Geneva, Switzerland, 2018; 139 p.
17. Shelutko, V.A. Statistical computational technique in hydrology. LPI: Leningrad, USSR. 1977; 175 p. (In Russian).
18. Gartsman, B.I.; Stepanova, M.V. Hydrological calculations peculiarities of maximum runoff in the Far East. *Geography and natural resources*. 1996;(4):103–110. (In Russian).
19. Gubareva, T.S. Maximum River flow in the Amur basin: patterns of formation and calculation methods. Dissertation of a candidate of geographical sciences. Irkutsk, 2004; 143 p. (In Russian).
20. Sotnikova, L.F. Experience of applying a truncated gamma distribution to the calculation of maximum river flow. In *Problems of regulation and use of water resources*. Nauka, Moscow, 1973:56–85. (In Russian).
21. Gartsman, B.I. Rain floods on rivers in the southern Far East: methods of calculation, forecasting, and risk assessment. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2008; 223 p. (In Russian).
22. Gartsman, B.I.; Lupakov, S.Yu. Effect of climate changes on the maximal runoff in the Amur basin: estimation based on dynamic-stochastic simulation. *Water Resources*. 2017;(5):1–11.
23. Gartsman, B.I. A FCM runoff model for small rivers with rainfall recharge. 1. The concept and algorithms. *Water Resources*. 2023;(4):491–502.
24. Bugaets, A.N.; Gartsman, B.I.; Gonchukov, L.V.; Lupakov, S.Y.; Shamov, V.V.; Pshenichnikova, N.F.; Tereshkina, A.A. Modeling the hydrological regime of small testbed catchments based on field observations: a case study of the Pravaya Sokolovka River, the Upper Ussuri River basin. *Water Resources*. 2019;(46):S2, S8–S16.
25. Gubareva, T.S. Types of probability distribution for extreme flood estimation. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2010;(5):446–457. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 17.02.2026; одобрена после рецензирования 17.03.2026; принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 17.02.2026; approved after reviewing 17.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

