

УДК 556.535.2

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА НАВОДНЕНИЙ НА РЕКАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

С.Ю. Самойлова, Д.Е. Кузнецова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: bastet@iwep.ru, dianochka.kuzneczova.2018@mail.ru

Выполнен анализ частоты и вероятности наводнений на реках Алтайского края за период с 1960 по 2020 гг. Проанализирована динамика максимальных уровней воды на гидрологических постах. По результатам анализа линейных трендов выявлены существенные различия в динамике максимальных уровней воды на реках Алтайского края. На ряде горных рек наблюдается статистически значимый рост максимальных уровней воды (Катунь, Песчаная, Ануй), связанный с общим увеличением водности этих рек, что повышает вероятность наводнений. На реках Обь, Бия и Чумыш наблюдается снижение максимальных уровней и их дисперсии, что связано с увеличением естественной зарегулированности стока в результате роста зимних температур. Построены кривые обеспеченности максимальных уровней, по ним рассчитана вероятность превышения опасных отметок в соответствующих пунктах наблюдений. По результатам расчетов построена карта-схема вероятности наводнений на реках Алтайского края. Результаты работы могут быть использованы для оценки рисков наводнений и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: Алтайский край; наводнение; максимальный уровень; обеспеченность; линейный тренд.

DOI: 10.24412/2410-1192-2025-17803

Дата поступления: 14.07.2025. Принята к печати: 2.08.2025

В последние десятилетия в мире увеличилась частота наводнений, особенно в Северном полушарии. По числу жертв и причиняемым ущербам наводнения занимают одно из первых мест в мире среди стихийных бедствий [Добровольский, Истомина, 2006]. В России в целом и на территории Алтайского края в частности отмечается рост ущербов от опасных явлений гидрологического происхождения [Пузанов и др., 2018; Третий..., 2022]. Основными факторами этого роста является интенсивное, зачастую бесконтрольное хозяйственное использование пойм и русел рек, а также увеличение повторяемости экстремальных метеорологических событий, связанное с климатическими изменениями [Пузанов и др., 2018; Georgievskii et al., 2019]. По прогнозам, наводнения будут происходить чаще по мере дальнейшего потепления климата [Alifu, 2022].

Для Алтайского края проблема на-

воднений в последние годы приобретает все большую актуальность. Так, в 2014 г. в бассейне Верхней Оби имела место чрезвычайная гидрологическая ситуация, обусловленная экстремальным, сложно прогнозируемым паводком. На многих реках бассейна Верхней Оби наблюдались максимальные расходы за весь период наблюдений. На р. Бия у г. Бийска, а также на реках Урсул и Ануй обеспеченность расходов паводка 2014 г. составила 0.8–1% [Georgievskii et al., 2019]. На р. Обь у г. Барнаула обеспеченность максимального расхода и уровня была около 3%. Сумма ущерба для Алтайского края составила около 5 млрд. руб. [Пузанов и др., 2018]. В марте 2018 г., в основном по долинам притоков р. Оби снова прошел паводок редкой повторяемости, сформировавшийся из-за положительной температурной аномалии и интенсивных осадков в виде дождя и снега. Наводнения 2014 и 2018 гг. клас-

сифицировались как природные чрезвычайные ситуации федерального характера [Пузанов и др., 2018].

По данным администрации Алтайского края, на территории региона риску затоплений подвержено 48 муниципальных образований, 204 населенных пункта с населением более 42 тыс. человек, более 15 тыс. домов. В зону негативного воздействия во время прохождения половодья попадает 89 объектов социальной сферы и инфраструктуры. Половодья, паводки и связанное с ними вредное воздействие вод наиболее характерно для р. Обь в черте г. Барнаула (п. Затон, п. Ильича) и на участке от г. Барнаула до с. Шелаболиха, на территории г. Бийска, а также на р. Чумыш, р. Чарыш и р. Катунь [Алтайский край..., 2025].

Под *наводнением*, в соответствии с терминологией МЧС, понимается стихийное бедствие, связанное с затоплением территории водой. Наводнение может происходить в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки, а также при прорыве гидротехнических сооружений [МЧС..., 2025].

Основным показателем, характеризующим наводнения, являются максимальные уровни воды [Доброумов, Тумановская, 2002], а именно вероятность и величина превышения «опасной» отметки, при достижении которой начинается затопление селитебных территорий. Обеспеченность (или вероятность превышения) максимальных уровней воды лежит в основе классификации наводнений по степени опасности, разработанной Б.М. Доброумовым и С.М. Тумановской в соответствии с классификацией МЧС [Доброумов, Тумановская, 2002; МЧС..., 2025].

Большая часть наводнений на территории Алтайского края происходит во время половодий и формируются в основном за счет талых вод [Кичигина, 2021] (рис. 1). Несколько меньшее количество, 27%, связаны с дождевыми паводками. В обоих случаях многолетняя динамика наводнений связана преимущественно с из-

менчивостью максимального талого и дождевого стока, которая, в свою очередь, в значительной степени зависит от климатических изменений. Для заторных и зажорных наводнений, которых меньшинство (менее 15%), связь не всегда однозначна.

В работе [Georgievskii et al., 2019] приводится обзор исследований и анализ многолетней динамики максимального стока рек России. Установлено, что реакция максимального стока на климатические изменения неоднозначна, имеются районы, характеризующиеся как положительными, так и отрицательными тенденциями. При этом положительный тренд характерен только для ограниченного числа рек, в том числе, предгорных районов Западной Сибири. Для большинства рек России и Западной Сибири, в частности, наоборот, наблюдается снижение максимального стока и связанных с этим рисков опасных явлений, зачастую на фоне роста годового стока [Гельфан и др., 2021]. Там же [Гельфан и др., 2021] указывается, что начиная с 1990 г. у крупнейших рек Алтайской горной области – Бии и Катуни наблюдается положительный тренд максимального стока. В качестве причин назван рост весенних температур, способствующих быстрому и интенсивному снеготаянию в разных высотных поясах, а также увеличение количества жидких осадков. Все вышесказанное несколько расходится с выводами Оценочного доклада [Третий..., 2022] и общепринятыми представлениями о росте рисков опасных гидрологических явлений. Даже для одной и той же территории существующие оценки динамики максимального стока могут быть весьма противоречивы [Гельфан и др., 2021], как и прогнозы, основанные на этих данных. Это связано как с различиями временных границ оцениваемых периодов, так и в методических подходах.

В результате комплексного статистического анализа нами были получены данные о динамике годового и сезонного стока рек Алтайского края с 1960-х гг. [Самойлова и др., 2024]. Как в боль-

шинстве регионов России с устойчивым снежным покровом и значительной долей снегового питания, для рек Алтайского края характерно увеличение стока зимней межени в годовом стоке, связанное с потеплением климата. Тренды значимы, в большинстве случаев, на 1% уровне. В период половодья и летне-осенней межени тенденции разнонаправленные, причем зачастую могут иметь противоположный знак даже у двух соседних водосборов. Так, на р. Бия с 1960-х гг. наблюдается снижение половодья и годового стока, что для других рек Алтайской горной области (Катуни, Чарыша, Ануя и Песчаной) не характерно. На р. Чумыш снижение стока, как талого, так и общего годового, еще более выражено. А на р. Обь наблюдается снижение объема половодья и максимального стока на фоне общего увеличения водности [Самойлова и др., 2024; Самойлова, Казанцева, 2025].

Многообразие реакции стока рек Алтайского края на климатические и антропогенные изменения требует дифференцированного подхода к исследованию наводнений на разных водных объектах, а в последующем – обновления мето-

дик прогнозирования с учётом меняющейся сезонности стока и роста роли экстремальных осадков.

С другой стороны, риск наводнений в значительной степени зависит от особенностей землепользования и характера застройки прибрежных территорий. Комплексное исследование многолетней динамики водных режимов и анализ вероятности превышения критических отметок уровня воды, основанные на данных многолетних наблюдений, позволяют идентифицировать наиболее уязвимые участки. Это, в свою очередь, создаёт основу для разработки мер по минимизации рисков и защите населения.

Таким образом, целью данного исследования является оценка многолетней динамики и вероятности наводнений на территории Алтайского края. Для этого:

1) Проанализирована динамика максимальных уровней воды по данным наблюдений на гидропостах с 1960 по 2020 гг.;

2) Построены кривые обеспеченности максимальных уровней, на основании которых определена вероятность превышения опасных отметок в соответствующих населенных пунктах.

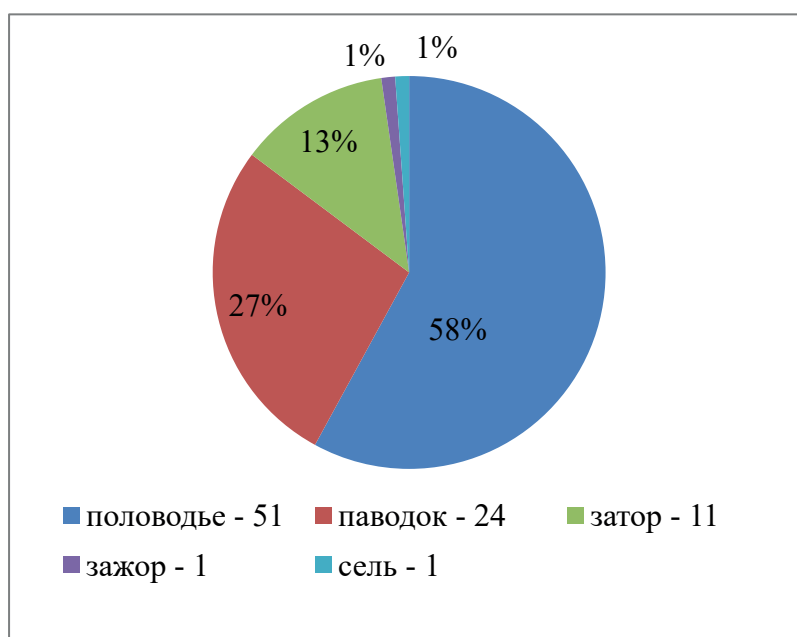


Рис. 1. Причины и общее число наводнений, нанесших материальный ущерб экономике Алтайского края за 1991–2019 гг. Составлено по материалам [Кичигина, 2021]

Fig. 1. Causes and total number of floods responsible for material damage to the economy of Altai Krai in 1991–2019. Compiled from [Kichigina, 2021]

Материалы и методы

Объект исследования. В качестве объекта исследования выступают реки, протекающие на территории Алтайского края, обеспеченные многолетними наблюдениями за уровнями воды (рис. 2). В гидрографическом отношении Алтайский край делится на две части: бассейн верхнего участка Оби, занимающий 70% территории и бессточную область Обь-Иртышского междуречья. Река Бурла относится к бессточной области. Остальные реки являются притоками р. Оби I порядка, за исключением р. Тогул (приток II порядка).

Уровенный режим рек определяется размером водосбора, его высотным положением и источником питания реки [Ресурсы..., 1962]. На реках равнинной части и в низкогорьях весенний подъем уровня начинается в конце марта-начале апреля, за 5–7 дней до вскрытия. Максимальные уровни обычно наблюдаются во второй-третьей декаде апреля (табл. 1). В период летне-осенней межени уровни низкие, за исключением редких дождевых паводков. Для рек предгорных районов северо-восточной части края характерны более частые

и высокие колебания уровня вследствие прохождения паводков. Колебания уровня воды на крупных горных реках имеют более сложный характер. Так, на р. Катунь повышение уровня и его спад носят постепенный, ступенчатый характер из-за поступления сначала талых снеговых, а затем ледниковых вод. В нижнем течении Катуни обычно четко прослеживается 2–3 волны половодья. Существенное снижение уровня воды на реке наблюдается только в осенний период. Зимой ход уровня нарушается заторно-зажорными явлениями, которые приводят к повышению уровня. Наивысшие уровни р. Бии в ее нижнем течении также часто обусловлены заторами.

Высота подъема уровня на реках значительно меняется в зависимости от водности года. На средних реках северного макросклона Алтая наивысшие уровни половодья в многоводные годы в 1.5–2.5 раза превышают уровни воды в годы с низким половодьем. На левобережных притоках Оби (реки Чарыш, Ануй, Песчаная), в их среднем и нижнем течении подпорные уровни воды, обусловленные заторами, превосходят высшие уровни маловодных лет в 3–3.5 раза и более [Ресурсы..., 1962].

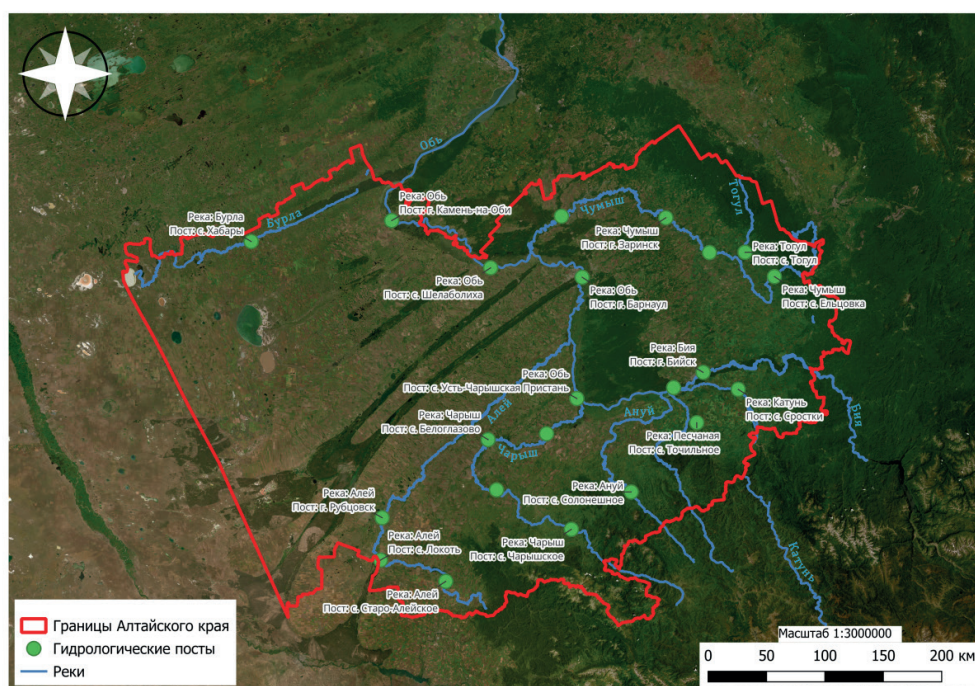


Рис. 2. Схема Расположения гидропостов на исследуемых реках
Fig. 2. Layout of gauging stations

Таблица 1

Средние, высшие и низшие максимальные уровни воды и отметки начала затопления
Составлено по данным [Государственный..., 1984; АИС ГМВО, 2025]

Table 1

Average, highest, and lowest maximum water levels and flood onset marks.
Compiled from [State Water Cadastre..., 1984; AIS GMVO..., 2025]

Река	Пост	Максимальный уровень, см над нулем водомерного поста			Средняя дата наступления	Опасная отметка*
		Высший (дата)	Средний*	Низший		
Бия	г. Бийск	713 (1.06.2014)	448	328	09.05	500
Катунь	с. Сростки	671 (1.06.2014)	425	341	02.06	570
Песчаная	с. Точильное	510 (27.03.2018)	241	119	28.04	450
Ануй	с. Солонешное	371 (26.03.2018)	300	208	22.04	300
Чарыш	с. Чарышское	283 (29.05.2014)	185	104	02.06.	180
	с. Карпово-2	541 (17.05.1958)	366	281	10.05	375
	с. Белоглазово	640 (10.04.1929)	500	325	29.04	520
	свх. Чарышский	691 (18.04.1958)	479	302	29.04	530
Алей	с. Староалейское	371 (8.05.1966; 25.03.2018)	340	184	13.04	340
	с. Локоть	684 (14.04.1958)	515	256	15.04	515
	г. Рубцовск	590 (3.04.1989)	560	368	21.04	560
Чарыш	с. Чарышское	283 (29.05.2014)	185	104	02.06	180
	с. Белоглазово	640 (10.04.1929)	500	325	29.04	520
	с. Карпово-2	541 (17.05.1958)	366	281	10.05	375
	свх. Чарышский	691 (18.04.1958)	479	302	29.04	530
Чумыш	с. Ельцовка	595 (11.04.1961)	421	274	24.04	320
	с. Кытманово	745 (09.05.1966)	586	488	29.04	680
	г. Заринск	893 (16.05.1937)	650	472	26.04	650
	пгт Тальменка	1118 (15.04.1985)	916	837	26.04	1050
Тогул	с. Тогул	1037 (25.04.2015)	819	656	19.04	840
Обь	с. Фоминское	552 (02.06.2014)	307	193	15.05	450
	с. Усть-Чарышская Пристань	690 (04.06.2014)	550	456	19.05	580
	г. Барнаул	763 (16.05.1937)	576	416	20.05	560
	с. Шелаболиха	849 (10.04.1997)	648	401	09.05	725
	г. Камень-на-Оби	825 (28.04.1958)	698	552	24.04	700
Бурла	с. Хабары	531 (19.01.1993)	346	223	18.04	397

Примечание - * информация взята с официального сайта правительства Алтайского края [Алтайский край..., 2025]

На территории Алтайского края наиболее масштабные наводнения произошли в 1928, 1929, 1937, 1969 и 2014 годах. Основными причинами возникновения наводнений в 1928, 1929, 1937 и 1969 годах послужила снежная зима и активное снеготаяние. В 2014 году причиной наводнения стали дождевые паводки, произошедшие на спаде половодья, вызванные ливневыми осадками в горной части бассейна.

Исходные данные и методы исследования. Для анализа наводнений использовались уровенные ряды, т.к., во-первых, уровень воды характеризует величину превышения опасной отметки, площадь и глубину затопления, а во-вторых, формирование наводнений в ряде случаев не связано с максимальными расходами, например, при формировании заторов и зажоров.

Были проанализированы данные наблюдений за максимальными уровнями воды в период 1960–2020 гг. по 22 гидропостам в населенный пунктах, где с той или иной периодичностью наблюдаются затопления селитебных территорий (табл. 1, рис.1). В качестве исходных материалов использовались «Гидрологические ежегодники», справочные издания Государственного водного кадастра [Государственный..., 1984], а также данные из открытых интернет-источников Росводресурсов [АИС ГМВО..., 2025].

Для анализа временной динамики максимальных уровней воды использованы линейные тренды. Значимость линейных трендов оценивалась в соответствии с рекомендациями ГГИ по соотношению коэффициента корреляции и его ошибке [Рождественский, Лобанова, 2010]:

$$\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{(n - 1)}, \quad (1)$$

где σ – средняя квадратичная ошибка коэффициента корреляции линейного тренда; r – коэффициент корреляции; n – количество значений в ряду, или число лет наблюдений за рассматриваемой характеристикой.

Если при расчёте средней квадратичной ошибки значение $r/\sigma_r > 2$, тренд значим при уровне значимости 5%; при $r/\sigma_r > 3$ тренд значим при уровне значимости 1%.

Однородность рядов оценивалась по критериям Стьюдента (2) и Фишера (3) [Рождественский, Лобанова, 2010].

$$t = \frac{y_{cpl} - y_{cplI}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (2)$$

где y_{cpl} , y_{cplI} , σ_1^2 , σ_2^2 – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок, n_1 и n_2 – объёмы выборок.

$$F = \frac{\sigma_j^2}{\sigma_{j+1}^2}, \quad (3)$$

где σ_j^2 дисперсии двух следующих друг за другом частей выборок (j и $j+1$) объёмом n_1 и n_2 .

Исходные ряды разбивались на две равные части, по которым производилась оценка однородности выборочных средних и дисперсий.

Для оценки вероятности наводнений был выполнен расчет и построение кривой обеспеченности (P , %) максимальных уровней воды в программном комплексе *Gidrostatistica 2.1.*, в соответствии с [СП 529.1325800.2023, 2023]. Кривые построены по методу моментов. Сглаживание и экстраполяция эмпирических кривых выполнено с использованием трехпараметрического распределения Крицкого–Менкеля. Для неоднородных рядов были построены составные кривые обеспеченности. Параметры составных кривых (для двух генетически однородных элементов) рассчитывались по формуле 5.21 [СП 529.1325800.2023, 2023]:

$$P_{\%} = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2}{n_1 + n_2}, \quad (4)$$

где P_1 , P_2 – значений соответствующие заданной обеспеченности, а n_1 , n_2 – длины каждой из однородных выборок.

Затем по полученным кривым была выполнена оценка вероятности превышения (обеспеченность) опасных отметок для каждого гидропоста.

Результаты и обсуждение

Анализ линейных трендов (табл. 2, рис. 3) выявил как положительные, так и отрицательные тенденции в динамике максимальных уровней воды, причем в ряде случаев на разных участках одной реки (например, на р. Обь, Чарыш) тренды могут быть разнонаправленные (и в этом случае статистически незначимые). Важно отметить то, что в данной работе нами не учитывалось происхождение максимальных уровней на том или ином участке реки (в частности, наличие заторов), русловые процессы, а также антропогенное влияние – дноуглубительные работы, строительство гидротехнических сооружений, регулирование стока. Тем не менее, общая тенденция такова, что статистически значимый рост максимальных уровней (как следствие, вероятности наводнений) характерен для рек, на которых, по результатам наших исследований [Самойлова и др., 2024], на-

блюдается увеличение водности, в том числе, в период половодья (Катунь, Песчаная, Ануй). Как следствие, в последние десятилетия в населенных пунктах, расположенных на берегах этих рек увеличилась частота наводнений, зачастую наблюдаются превышения опасной отметки даже на участках ранее не затапливаемых (рис. 3). В значительной степени тренд обусловлен тем, что в последнее десятилетие произошло наводнение менее 1% обеспеченности в 2014 г., а на реках Ануй и Песчаная максимальный уровень 2018 г. превысил катастрофический паводок 2014 г.

И наоборот, снижение максимальных уровней характерно для рек, на которых наблюдается уменьшение водности, в т. ч. в период половодья (Бия, Чумыш и его приток Тогул, Бурла).

Для рек Ануй, Бия и Чумыш тренд значим на 5% уровне, для Алея, Песчаной и Катунь – на 1%.

Проверка рядов на однородность по среднему значению (критерий Стьюдента) соответствует результатам анализа линейных трендов – ряды, характеризующиеся значимыми трендами неоднородны по критерию Стьюдента (см. табл. 2).

Таблица 2

Параметры линейных трендов и результаты анализа на однородность максимальных уровней воды (период 1960–2020 гг.)

Table 2

Parameters of linear trends and results of homogeneity analysis of maximum water levels (1960–2020)

Река	Пост	t	F	Уравнение регрессии	R ²	r	σ _r	r/σ _r
Бия	г. Бийск	<i>1.84</i>	1.42	$y = -1.3791x + 464.26$	0.07	0.26	0.12	<i>2.13</i>
Катунь	с. Сростки	<i>4.61</i>	<i>1.85</i>	$y = 1.7809x + 387.19$	0.24	0.49	0.10	<i>4.93</i>
Песчаная	с. Точильное	<i>3.08</i>	<i>2.76</i>	$y = 2.0065x + 184.47$	0.18	0.42	0.11	<i>3.97</i>
Ануй	с. Солонешное	<i>2.39</i>	<i>7.32</i>	$y = 0.6282x + 218.21$	0.10	0.32	0.12	<i>2.69</i>
Чарыш	с. Чарышское	2.29	0.41	$y = -0.7143x + 185.44$	0.06	0.25	0.12	<i>2.08</i>
	с. Белоглазово	0.83	1.31	$y = -0.2776x + 498.34$	0.01	0.09	0.13	0.71
	с. Карпово-2	1.41	1.38	$y = 0.5445x + 336.68$	0.03	0.18	0.13	1.42
	свх. Чарышский	0.46	1.39	$y = -0.3607x + 455.44$	0.01	0.09	0.13	0.70
Алей	с. Староалейское	0.86	1.57	$y = 0.0818x + 266.55$	0.00	0.03	0.13	0.22
	с. Локоть	<i>4.06</i>	1.24	$y = -1.9456x + 473.97$	0.15	0.39	0.11	<i>3.56</i>
	г. Рубцовск	<i>2.60</i>	1.00	$y = 1.6291x + 460.11$	0.32	0.56	0.09	<i>6.31</i>
Чумыш	с. Ельцовка	1.50	<i>1.85</i>	$y = -1.063x + 394.71$	0.05	0.22	0.12	1.80
	с. Кытманово*	2.32	1.58	$y = -1.4423x + 564.14$	0.07	0.27	0.12	2.25
	г. Заринск	<i>2.16</i>	1.48	$y = -1.7121x + 630.01$	0.07	0.27	0.12	<i>2.24</i>
	пгт Тальменка	<i>2.19</i>	1.61	$y = -1.0045x + 917.8$	0.05	0.23	0.12	1.87
Тогул	с. Тогул	1.69	1.23	$y = -1.362x + 801.06$	0.03	0.19	0.13	1.48
Обь	с. Фоминское	0.01	1.50	$y = -0.3932x + 301.35$	0.01	0.10	0.13	0.78
	с. Усть-Чарышская Пристань	1.27	1.66	$y = 0.3223x + 527.88$	0.01	0.11	0.13	0.82
	г. Барнаул	0.35	1.64	$y = -0.0991x + 540.14$	0.00	0.02	0.13	0.19
	с. Шелаболиха	0.85	1.46	$y = 0.1437x + 639.43$	0.00	0.04	0.13	0.30
	г. Камень-на-Оби	1.10	1.73	$y = -0.806x + 691.85$	0.03	0.18	0.13	1.39
Бурла	с. Хабары	1.19	<i>1.88</i>	$y = -0.7419x + 367.24$	0.02	0.15	0.13	1.16

Примечание: статистически значимые критерии выделены курсивом. $t_{крит}=2$, $F_{крит}=1.8$; * наблюдения с 1964 г.

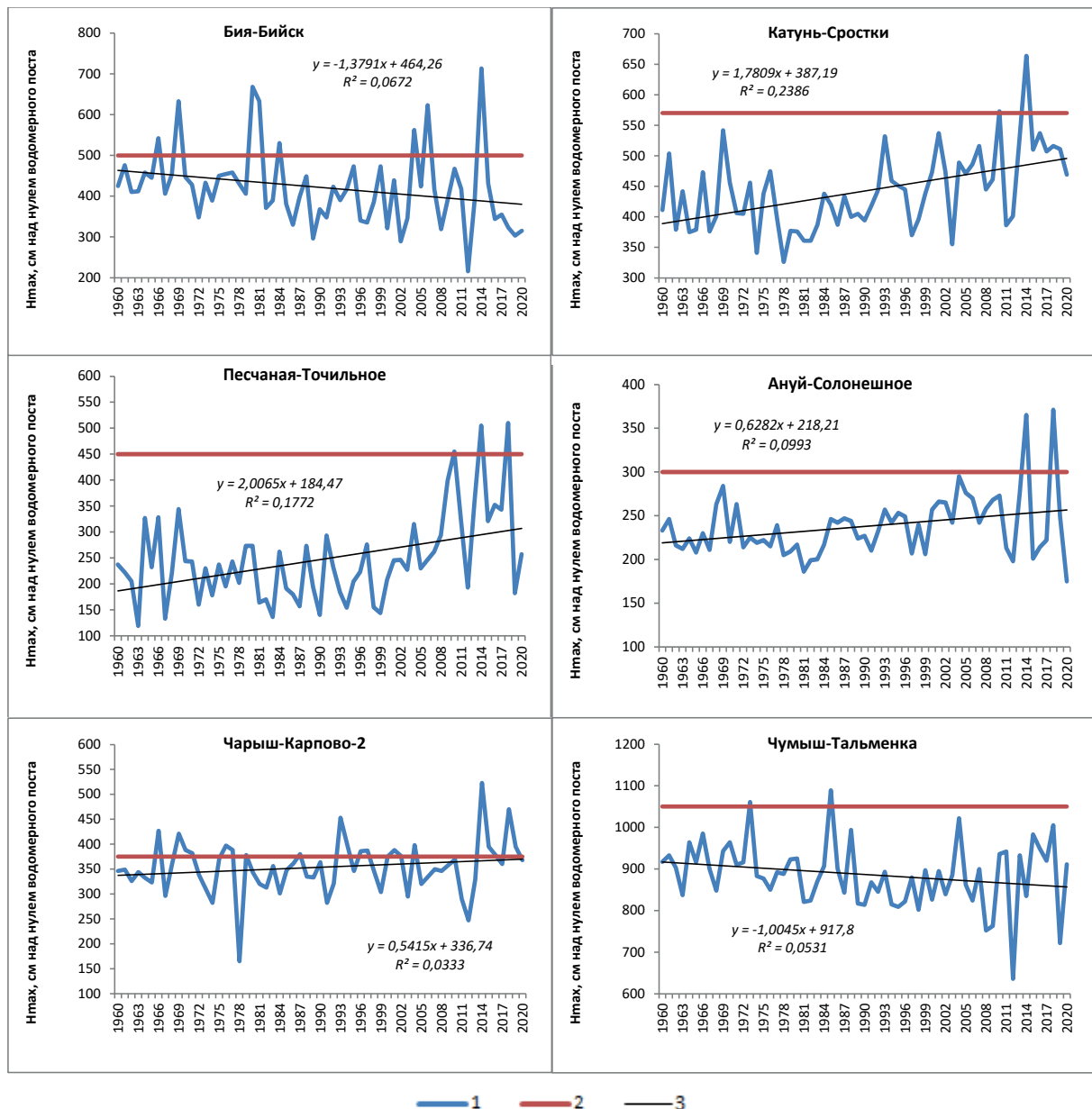


Рис. 3. Максимальные уровни воды: 1 – максимальные уровни воды, см. над нулем водомерного поста;
 2 – опасная отметка; 3 – линейный тренд

Fig. 3. Maximum water levels: 1 – maximum water levels, cm above zero of gauge;
 2 – danger mark; 3 – linear trend

На реках Катунь, Ануй и Песчаная отмечается статистически значимый рост дисперсии максимальных уровней (ряды неоднородны по критерию Фишера). Вероятно, это следствие общего роста увлажненности территории и сокращения периода снеготаяния (что отмечено в работе [Georgievskii et al., 2019]). Увеличение повторяемости ливней при высоких коэффициентах дождевого стока в горных районах вызывает рост количества дождевых паводков. При сохранении существующих тенденций климатических изменений веро-

ятен дальнейший рост рисков наводнений на этих реках. Интересно, что на соседних водотоках – Чарыш, Бия, а также Алей тенденции противоположные, что требует дальнейшего исследования.

Для рек Обь, Чумыш, Бурла характерно снижение дисперсии (на г/п Ельцовка и Хабары статистически значимое). Снижение максимальных уровней воды и их дисперсии связано с увеличением естественной зарегулированности стока – ростом грунтовой и снижением талой составляющей в стоке половодья и годовом стоке в целом.

Этот процесс напрямую связан с потеплением климата: ростом зимних температур, увеличением числа оттепелей, уменьшением глубины промерзания грунтов и сокращением продолжительности залегания снежного покрова. Частота и величина превышений опасной отметки за период наблюдений на большинстве гидропостов Оби и Чумыша снизились (табл. 2, рис. 2).

Затем по кривым обеспеченности была определена вероятность превышений (обеспеченность) опасной отметки и оценено общее число превышений (табл. 3).

По результатам расчетов составлена карта-схема вероятности наводнений для территории Алтайского края (рис. 4). В качестве основного критерия наводнения принята вероятность превышения (обеспеченность) уровня, соответствующего отметке начала затопления. Наименьшая

вероятность превышения опасной отметки в 3%, отмечается на гидропостах: Песчаная – с. Точильное, Обь – с. Фоминское, Чумыш – с. Кытманово, а наибольшая – Обь – г. Барнаул (50%), Чарыш – с. Чарышское (38%) и Чумыш – с. Ельцовка (60%).

Выводы

В результате исследования выявлены существенные различия в динамике максимальных уровней воды в реках Алтайского края, связанные с многообразием водного режима и особенностями реакции отдельных бассейнов на климатические и антропогенные изменения максимального стока. В подавляющем большинстве случаев на реках Алтайского края за исследуемый период с 1960 по 2020 гг. наблюдается снижение максимальных уровней воды. Положительные тенденции выявлены на отдельных горных реках (Катунь, Песчаная, Ануй).

Таблица 3

Вероятность и частота превышений опасной отметки на реках Алтайского края

Table 3

Probability and frequency of a danger mark excess on rivers of Altai Krai

Река	Пост	Вероятность превышения опасной отметки (Р, %)	Число наводнений за период 1960–2020
Катунь	с. Сростки	5	2
Бия	г. Бийск	18	8
Песчаная	с. Точильное	3	3
Ануй	с. Солонешное	6	2
Чарыш	с. Чарышское	38	23
	с. Карпово-2	34	20
	с. Белоглазово	35	18
	свх. Чарышский	11	9
Алей	с. Старо-Алейское	7	4
	с. Локоть	11	8
	г. Рубцовск	13	12
Чумыш	с. Ельцовка	60	36
	с. Кытманово	3	4
	г. Заринск	25	14
	пгт Тальменка	4	2
Тогул	с. Тогул	20	13
Обь	с. Фоминское	3	2
	с. Усть-Чарышская Пристань	25	12
	г. Барнаул	50	20
	с. Шелаболиха	14	5
	г. Камень-на-Оби	30	20
Бурла	с. Хабары	25	12
всего			249

Здесь же отмечается рост дисперсии максимальных уровней. Рост уровней на этих реках связан с общим увеличением водности, в том числе, в период половодья (за счет сокращения периода снеготаяния в разных высотных зонах), а также участвовавшими дождевыми паводками. При сохранении современных тенденций на этих реках ожидается рост рисков наводнений в будущем.

На реках со значительной долей равнинных территорий в общей площади бассейна (бассейны рек Чумыш и Бурла) снижение уровней воды и их дисперсии (следовательно – рисков наводнений) наиболее выражено. Очевидно, это связано с ростом естественной зарегулированности стока под влиянием климатических изменений (таких как рост зимних температур, увеличение числа оттепелей, уменьшение глубины промерзания грунтов и сокращение продолжительности залегания снежного покрова). Такая реакция на потепление климата характерна для большинства рек

с преимущественно снеговым питанием. Рост естественной зарегулированности стока объясняет снижение максимальных уровней и вероятности наводнений и на р. Обь. Эта на первый взгляд благоприятная тенденция может способствовать формированию ложного чувства «безопасности», более интенсивному освоению прибрежных территорий, что, в свою очередь, приведет к росту рисков уже антропогенного характера.

Вероятность превышения опасной отметки (обеспеченность), помимо прочего, зависит от характера освоения прибрежных территорий: наименьшая – на гидропосту р. Песчаная – с. Точильное и ряде пунктов на р. Чумыш. Наибольшая – на р. Оби у г. Барнаула, р. Чарыш в с. Чарышском и р. Чумыш в с. Ельцовка.

Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования системы прогнозирования наводнений и разработки мер по снижению рисков затопления в Алтайском крае.

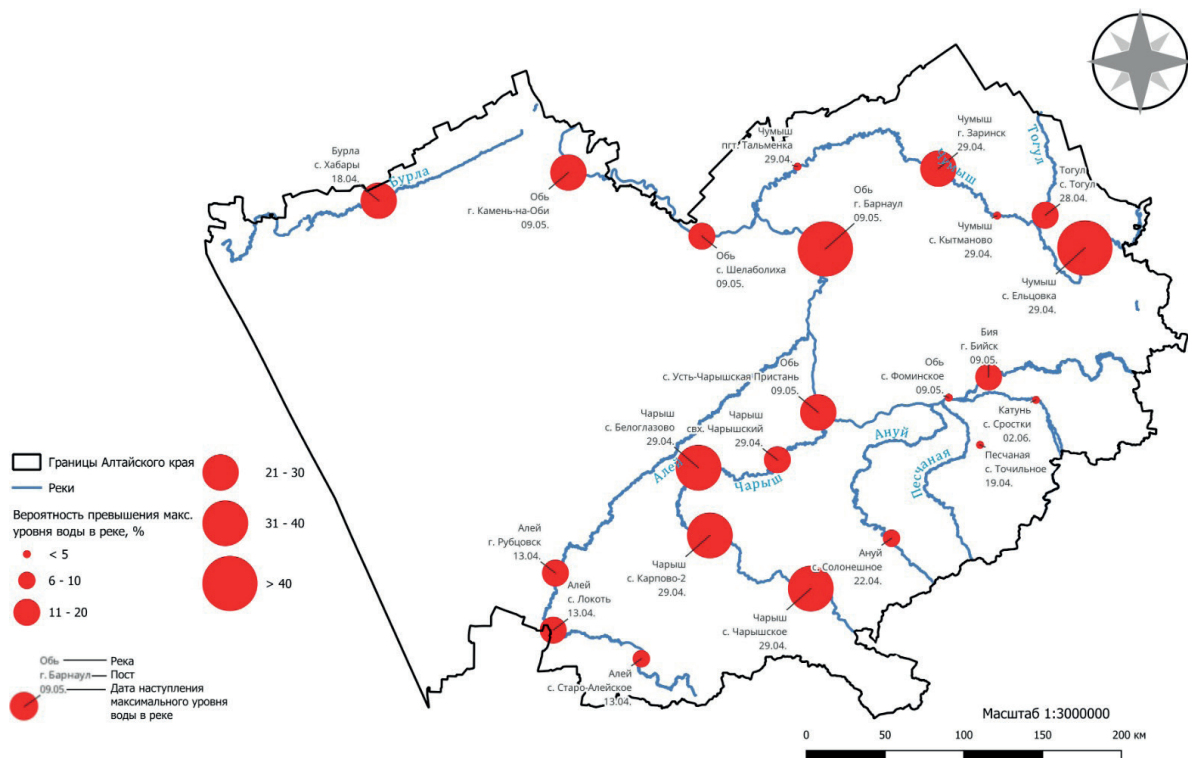


Рис. 4. Вероятность превышений опасной отметки (%) на гидрологических постах рек Алтайского края (1960–2020)

Fig. 4. Probability of a danger mark excess (%) at gauging stations on rivers of Altai Krai (1960–2020)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Исследование выполнено в рамках базового госбюджетного проекта ИВЭП СО РАН.

Список литературы

АИС ГМВО Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. Состояние водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=296> (дата обращения: 22.05.2025).

Алтайский край. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://altairegion22.ru/> (дата обращения: 22.05.2025).

Государственный водный кадастр. Характерные уровни воды рек, каналов, озер и водохранилищ (погодичные данные). Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1: РСФСР, Вып. 10: Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 256 с.

Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: оценка и прогноз // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, №. 1. С. 36–79.

Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 256 с.

Доброумов Б.М., Тумановская С.М. Наводнения на реках России: их формирование и районирование // Метеорология и гидрология. 2002. №. 12. С. 70–78.

Кичигина Н.В. Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66 (1). С. 41–60.

МЧС России. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://mchs.gov.ru/> (дата обращения: 22.05.2025).

Пузанов А.В., Зиновьев А.Т., Безматерных Д.М., Резников В.Ф., Трошкин Д.Н. Опасные гидрологические явления в бассейне Верхней Оби: современные тенденции и прогнозирование // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. №. 4. С. 69–77.

Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. VI. Равнинные районы Алтайского края и южная часть Новосибирской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 977 с.

Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. СПб: Нестор-История, 2010. 162 с.

Самойлова С.Ю., Казанцева В.А. Динамика наводнений на реке Оби в черте города Барнаула // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. №. 3. С. 35–49.

Самойлова С.Ю., Ловцкая О.В., Голубева А.Б. Оценка стационарности годового и сезонного стока рек бассейна Верхней Оби // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024. №. 5. С. 21–38.

СП 529.1325800.2023. Свод правил Российской Федерации. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. Москва: Стандартинформ, 2023. 110 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург, 2022. 676 с.

Alifu H., Hirabayashi Y., Imadam Y., Shiogama H. Enhancement of river flooding due to global warming // Scientific Reports. 2022. Т. 12, no. 1. P. 20687.

Georgievskii V.Y., Grek E.A., Grek E.N., Lobanova A.G., Molchanova T.G. Assessment of Modern Changes in Maximum River Flow in Russia // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. Vol. 44, no. 11. P. 739–745.

References

AIS GMVO Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnyh ob"ektov. Sostoyanie vodnyh ob"ektov [Automated information system for state monitoring of water bodies (AIS GMVO)]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (accessed: 22.05.2025).

Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Harakternye urovni vody rek, kanalov, ozer i vodohranilishch (pogodichnye dannye). Ch. 1: Reki i kanaly. [State Water Cadastre. Characteristic water levels of rivers, canals, lakes, and reservoirs (yearly data). Part 1: Rivers and canals]. Vol. 1, Is. 10. Leningrad, Gidrometoizdat, 1984, 256 p. (in Russian).

Altajskij kraj. Oficial'nyj sajt [Official website of Altai Krai]. URL: <https://altairegion22.ru/> (accessed: 22.05.2025).

Gelfan A.N., Frolova N.L., Magritsky D.V., Kireeva M.B., Grigoriev V.Yu., Motovilov Yu.G., Gusev E.M. Vliyanie izmeneniya klimata na godovoj i maksimal'nyj stok rek Rossii: ocenka i prognoz [The impact of climate change on the annual and maximum runoff of Russian rivers: assessment and forecast] // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 36–79. (in Russian).

Dobrovolsky S.G., Istomina M.N. Navodneniya mira [Floods of the world]. Moscow: GEOS, 2006. 256 p. (in Russian).

Dobroumov B.M., Tumanovskaya S.M. Navodneniya na rekah Rossii: ih formirovanie i rajonirovanie [Floods on Russian Rivers: Their Formation and Zoning] // Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]. 2002. No. 12. P. 70–78. (in Russian).

Kichigina N.V. Navodneniya Sibiri: geograficheskij i statisticheskij analiz za period klimaticheskikh izmenenij [Floods in Siberia: Geographical and Statistical Analysis over the Period of Climate Change] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. [Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences]. 2021. Vol. 66 (1). P. 41–60. (in Russian).

MChS Rossii. Oficial'nyj sajt. [Ministry of Emergency Situations of Russia. Official website]. URL: <https://mchs.gov.ru/> (accessed: 22.05.2025).

Puzanov A.V., Zinoviev A.T., Bezmaternykh D.M., Reznikov V.F., Troshkin D.N. Opasnye gidrologicheskie yavleniya v bassejne Verhnej Obi: sovremennye tendencii i prognozirovanie. [Dangerous hydrological phenomena in the Upper Ob basin: current trends and forecasting] // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water management of Russia: problems, technologies, management]. 2018. No. 4. P. 69–77. (in Russian).

Resursy poverhnostnyh vod rajonov osvoeniya celinnyh i zaleznyh zemel'. Vyp. VI. Ravninnye rajony Altajskogo kraja i yuzhnaya chast' Novosibirskoj oblasti. [Surface Water Resources in Virgin and Fallow Land Development Areas. Issue VI. Plain Areas of Altai Krai and the Southern Part of Novosibirsk Oblast]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1962. 977 p. (in Russian).

Rozhdestvensky A.V., Lobanova A.G. Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredeleniyu ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym [Methodological Recommendations for Assessing the Homogeneity of Hydrological Characteristics and Determining Their Estimated Values Based on Heterogeneous Data]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2010. 162 p. (in Russian).

Samoilova S.Y., Kazantseva V.A. Dinamika navodnenij na reke Obi v cherte goroda Barnaula [Flood Dynamics on the Ob River at the City of Barnaul] // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2025. No. 4. P. 35–49. (in Russian).

Samoilova S.Y., Lovtskaya O.V., Golubeva A.B. Ocenka stacionarnosti godovogo i sezonnogo stoka rek bassejna Verhnej Obi [Assessment of stationarity of annual and seasonal river flow in the Upper Ob basin]. Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management]. 2024. No. 5. P. 21–38. (in Russian).

SP 529.1325800.2023. Svod pravil Rossijskoj Federacii. Opređenje osnovnyh raschyotnyh gidrologicheskikh harakteristik. [SP 529.1325800.2023. Code of Practice of the Russian Federation. Definition of the Main Calculated Hydrological Characteristics]. Moscow: Standartinform, 2023. 110 p. (in Russian).

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. [Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation]. St. Petersburg, 2022. 676 p. (in Russian).

Alifu H., Hirabayashi Y., Imadam Y., Shiogama H. Enhancement of river flooding due to global warming // Scientific Reports. 2022. T. 12, no. 1. P. 20687.

Georgievskii V.Y., Grek E.A., Grek E.N., Lobanova A.G., Molchanova T.G. Assessment of Modern Changes in Maximum River Flow in Russia // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. Vol. 44, no. 11. P. 739–745.

LONG-TERM FLOOD DYNAMICS ON RIVERS OF ALTAI KRAI

S.Yu. Samoilova, D.E. Kuznetsova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: bastet@iwep.ru, dianochka.kuzneczova.2018@mail.ru

Frequency and probability of flood occurrence on rivers of Altai Krai (1960–2020), as well as dynamics of maximum water levels at gauging stations have been analyzed. A linear trend analysis reveals significant differences in the dynamics of maximum water levels on rivers in Altai Krai. Several mountain rivers (Katun, Peschanaya, and Anuy) demonstrate statistically significant increase in maximum water levels caused by high water content there that enhances the probability of flooding. A decrease in maximum water levels and their variance is observed on the rivers Ob, Biya, Chumysh and Burla due to growing natural flow regulation related with rising winter temperatures. From the constructed curves of maximum water level probability, we calculated the likelihood of alarm level excess at corresponding gauges. Based on calculation results, a flood probability map for the rivers of Altai Krai has been created. The obtained results can be applied in assessing flood risks and preventing emergency events.

Keywords: Altai Krai; flood; maximum water level; probability; linear trend.

Received July 14, 2025. Accepted: August 2, 2025

Сведения об авторах

Самойлова Светлана Юрьевна – кандидат географических наук, научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Кузнецова Диана Евгеньевна – бакалавр, практикант Института водных и экологических проблем СО РАН. г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: dianochka.kuzneczova.2018@mail.ru.

Information about the authors

Svetlana Yu. Samoilova – PhD in Geography, Researcher at the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-3365-0048. E-mail: bastet@iwep.ru.

Diana E. Kuznetsova – Bachelor's student, probationer at the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: dianochka.kuzneczova.2018@mail.ru