

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 911.9

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЙ НА РЕКАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА РОССИИ¹

© 2022 г. А. А. Мироненко^а, *, Е. П. Рец^б, Н. Л. Фролова^а

^аМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

^бИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

*e-mail: nastya-mir@list.ru

Поступила в редакцию 23.11.2020 г.

После доработки 12.05.2021 г.

Принята к публикации 24.05.2021 г.

Проведена оценка современной динамики максимальных уровней воды, выполнен анализ пространственной и временной изменчивости превышений уровней неблагоприятных и опасных явлений на реках Северного Кавказа. Исследование проведено на основе данных 59 гидрологических постов за период 1961–2017 гг. Зафиксирован повсеместный рост математического ожидания максимальных уровней воды от 1961–1990 к 1991–2017 гг., рост дисперсии – также преобладающий тренд для рек Северного Кавказа. Отметки уровней неблагоприятных и опасных явлений превышались максимальными уровнями воды в среднем соответственно в 19.3 и 10.6% случаев за рассматриваемый период. Для отдельных створов этот показатель достигал 93.2 и 88.6% соответственно. Отмечено увеличение числа превышений отметок неблагоприятных и опасных явлений в бассейне Кубани и на реках Черноморского побережья Кавказа от 1961–1990 к 1991–2017 гг. На реках бассейна Терека и Кумы увеличение и уменьшение числа превышений отметок неблагоприятных явлений зафиксировано на одинаковом числе постов, однако от 1961–1990 к 1991–2017 гг. преобладают посты с тенденцией к уменьшению числа превышений отметок опасных явлений.

Ключевые слова: Северный Кавказ, наводнения на реках, максимальные уровни воды, неблагоприятные и опасные явления.

DOI: 10.31857/S0321059622020110

ВВЕДЕНИЕ

Наводнения на реках – природные явления, несущие в себе разрушительную силу и зачастую причиняющие значительный экономический ущерб, – причина человеческих жертв. Анализу наводнений и оценке их динамики посвящено значительное количество исследований [25, 29, 30, 32, 33, 39, 42]. Не обходят стороной наводнения и Северный Кавказ, где горный рельеф и особые климатические условия являются предпосылками их возникновения [38]. Более того, данные исследований свидетельствуют об увеличении интенсивности наводнений [27] и увеличении их частоты [21] в регионе в последние десятилетия, наблюдается также и рост числа опасных гидрологических явлений, связанных с наводнениями [1, 11]. По данным [40], на частоту экстремальных явлений на территории Европейской ча-

сти России оказывает влияние климат. Влияние изменчивости климата на возникновение катастрофических ситуаций, связанных с опасными гидрологическими явлениями, также показано в исследовании [24]. По различным оценкам, территории Северного Кавказа свойственна самая высокая степень природной опасности наводнений по сравнению с другими регионами России [7], причем наибольшая опасность наводнений характерна для бассейна рек Кубани и Терек [2, 7, 14]. Описание мер в целях минимизации и смягчения негативных последствий наводнений на реках занимает особое место в научной литературе [24, 26, 30, 34].

В рамках оценки изменчивости экстремальных гидрологических характеристик при изучении речных наводнений принято в первую очередь оперировать значениями максимальных расходов воды. Так, например, для территории Северо-Западного Кавказа проведено исследование формирования максимального годового стока талых вод летне-осеннего периода в результате таяния ледников и многолетних снегов, а также максимального стока дождевых паводков [12, 13].

¹ Анализ трендов максимальных годовых уровней воды северокавказских рек выполнен при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-35-70024), исследование превышений уровней НЯ и ОЯ и выявление их географических закономерностей – РФФИ (проект 20-35-90120).

В [37] проведена оценка современной изменчивости максимальных мгновенных расходов воды, увеличение которых характерно для 30% участвующих в исследовании постов в бассейне Кубани; в бассейне Терека преобладает тенденция к уменьшению максимальных мгновенных расходов воды, зафиксированная на 38% постов. Анализ многолетней изменчивости максимальных срочных расходов воды северокавказских рек приведен в [36]. В рамках данного исследования рассмотрены ряды годовых максимальных срочных уровней воды на реках Северного Кавказа, проведен статистический анализ их современных тенденций, выполнено сопоставление максимальных срочных годовых уровней воды с отметками уровней неблагоприятных явлений (НЯ) и опасных явлений (ОЯ), выявлены наиболее опасные участки северокавказских рек, установлены некоторые географические закономерности динамики показателей опасности наводнений на реках исследуемого региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения статистического анализа рядов максимальных срочных уровней воды выбрано 59 гидрологических постов с наиболее полными рядами наблюдений за период 1961–2017 гг. на северокавказских реках следующих бассейнов: 30 постов – Кубани, Черного и Азовского морей; 15 – Терека, 14 – Каспийского моря (табл. 1). Расположение постов показано на рис. 1. Прежде чем подвергнуть ряды уровней воды статистическому анализу, была уточнена отметка нуля графика каждого поста. По возможности уровни до и после переноса поста приведены к единообразию посредством переходных значений, в этом случае ряд учитывался в ходе дальнейшего анализа. Другие посты не были приняты во внимание. Статистический анализ включал в себя исследование распределений гидрологических рядов, применение тестов Петтитта, Стьюдента и Фишера, а также оценку изменения средних значений, дисперсий и коэффициента вариации для разных периодов времени. Уровень значимости статистических критериев α принят равным 0.05; проверка гипотез проводилась путем сравнения вероятности ошибки при отклонении гипотезы p -уровня с уровнем значимости α . Гипотеза принималась, если $p > \alpha$, при $p \leq \alpha$ гипотеза отвергалась. Поскольку число постов с нарушением однородности по дисперсии составляет небольшую долю в общем числе исследуемых постов, для общей картины к рядам максимальных срочных годовых уровней воды был также применен критерий Стьюдента с некоторыми допущениями. На основе метеорологических данных [6, 16] и результатов применения Pettitt-теста [35] к исследуемым гидрологическим рядам для статистического

анализа ряды максимальных уровней разделены на два периода: 1961–1990 гг. (первый) и 1991–2017 гг. (второй).

Посредством применения статистических критериев согласия (Колмогорова–Смирнова и хи-квадрат Пирсона) ряды максимальных уровней воды проверены на подчинение тому или иному закону распределения вероятностей. Установлено, что исследуемые ряды с наиболее высокой степенью достоверности аппроксимации (p -уровень значимости по критерию Колмогорова–Смирнова составляет 0.70–0.99) можно описать смешанным гауссовским распределением, удачным оказывается и выбор распределения Джонсона семейства SB (0.60–0.99).

Для выявления частоты и числа случаев превышения уровней НЯ и ОЯ, свидетельствующих об угрозе затопления территории и степени ее масштаба, ряды максимальных срочных годовых уровней воды исследуемых гидрологических постов сопоставлены с уровнями НЯ и ОЯ за период 1961–2017 гг.

ОЯ способны нанести значительный материальный ущерб или представляют угрозу жизни и здоровью людей. НЯ не достигают степени ОЯ, но существенно затрудняют деятельность отдельных отраслей хозяйства и наносят ущерб населению и экономике [22].

Анализ превышений экстремальных уровней воды проведен по данным 44 гидрологических постов, для которых приведены уровни НЯ и ОЯ согласно Приказу № 22 Северо-Кавказского УГМС от 26.02.2016 г. [17]. Среди них – 27 постов в бассейне Кубани и на реках Черноморского побережья, 13 – в бассейне Терека, 4 – в бассейне Кумы. Для рек бассейнов Сулака и Самура такая информация не представлена, однако в [3, 18, 19] приведены факты, свидетельствующие о значительных паводках в 1997, 1999, 2000 гг. и о сопутствующем им ущербе.

Анализ превышений уровней НЯ и ОЯ проводился путем сопоставления рядов максимальных годовых уровней воды с соответствующими каждому посту уровнями НЯ и ОЯ. По результатам такого сопоставления определены количество и частота превышений отметок ОЯ и НЯ за различные периоды в долях (%) общего числа случаев, когда зафиксирован факт превышения, проведена оценка их временной и пространственной изменчивости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты статистического анализа рядов максимальных годовых уровней воды приведены в табл. 1. Критерием Стьюдента установлено, что статистически значимое нарушение однородности исследуемых рядов с точки зрения математи-

Таблица 1. Результаты статистического анализа рядов максимальных срочных годовых уровней воды рек Северного Кавказа России (m_1 и m_2 – значения математических ожиданий рядов максимальных срочных уровней воды периодов 1961–1990 и 1991–2017 гг. соответственно, см; D_1 и D_2 – значения дисперсий рядов максимальных срочных уровней воды периодов, см; Δm , ΔD и ΔC_v – изменение математического ожидания, дисперсии и коэффициента вариации от первого ко второму периоду, %; t – значение Стьюдента; p – значение Фишера; жирный шрифт – значения критериев, превышающие заданный p -уровень значимости; подчеркнутый шрифт – характеристики, которым свойственно их статистически значимое изменение)

№	Река	Пост	Площадь водосбора, км ²	m_1	m_2	t	D_1	D_2	p	Δm , %	ΔD , %	ΔC_v , %
1	Балка Амга Бургуста	пгт Советский (с. Кетченеры)	99.2	151.9	169.6	-0.95	2799.2	3381.9	0.73	<u>10.40</u>	17.23	-1.54
2	Кума	ст. Александровская	3630	574.2	596.5	-0.60	10241.4	17918.6	0.24	<u>3.73*</u>	42.85	21.47
3		г. Зеленокумск	9960	377.0	297.0	2.85	8283.9	7129.7	0.73	-26.94	-16.19	15.08
4		г. Буденновск	15000	670.1	677.8	-0.22	12713.4	11540.4	0.80	<u>1.13*</u>	-10.16	-6.16
5	Золка	х. Михайловский	717	216.3	191.4	2.64	967.9	778.6	0.61	-13.00	-24.31	1.33
6	Сулак	пгт Сулак	16600	238.6	302.9	-6.11	807.7	1235.3	0.40	<u>21.24</u>	34.61	-2.68
7	Андийское Койсу	с. Чиркота	4604	212.4	206.0	0.38	2576.4	2957.2	0.79	-3.06	12.88	9.44
8	Аварское Койсу	с. Гологль	2960	271.9	240.4	2.35	2355.2	1288.7	0.19	-13.10	-82.76	-19.53
9	Квазикумухское Койсу	с. Гергебиль	1860	311.3	267.7	3.32	2025.8	1410.3	0.42	-16.26	-43.64	-3.08
10	Самур	с. Лучек	926	203.7	184.1	1.76	1403.5	1227.2	0.75	-10.65	-14.37	3.35
11		с. Ахты	2210	375.9	360.3	1.20	3083.8	936.1	0.01	-4.32	<u>-229.44</u>	-73.98
12		с. Усуччай	3620	388.6	332.1	3.74	1967.5	2848.4	0.42	-17.03	30.93	28.98
13	Кара-Самур	с. Лучек	481	289.8	218.4	5.83	2425.0	1057.3	0.06	-32.65	-129.37	-14.18
14	Курахчай	с. Касумкент	1060	195.0	213.4	-1.38	1674.4	1571.8	0.87	<u>8.62</u>	-6.53	-12.95
15	Вулан	пос. Архипо-Осиповка	265	637.1	611.0	0.84	5772.7	20238.3	0.00	-4.26	<u>71.48</u>	48.78
16	Куапсе	с. Мамедова Щель	14.6	220.3	244.2	-2.77	506.5	1494.9	0.01	<u>9.80</u>	<u>66.12</u>	35.47
17	Белая	пос. Гузериппль	547	312.9	332.6	-1.59	1564.9	2818.2	0.13	<u>5.94</u>	44.47	20.78
18		пос. Каменномостский	1850	653.9	575.1	5.62	1802.7	3808.8	0.05	-13.69	52.67	39.49
19		г. Грозный	2310	388.6	458.0	-3.74	3011.7	6194.2	0.07	<u>15.16</u>	51.38	17.81
20	Дах	ст. Даховская	402	287.7	284.9	0.20	3086.6	1990.1	0.29	-0.98	-55.10	-23.33
21	Курджипс	ст. Нижегородская	263	328.2	313.3	1.39	1467.8	1767.6	0.63	-4.77	16.96	13.02
22	Лучка	х. Краснооктябрьский	59	501.9	506.0	-0.28	3313.5	2248.8	0.34	<u>0.81*</u>	-47.35	-22.38
23	Пшеха	с. Черниговское	641	293.8	260.2	2.12	2998.4	4081.1	0.42	-12.89	26.53	24.07
24	Пишиш	г. Халыженск	710	644.2	607.4	1.32	4943.0	17496.1	0.00	-6.06	<u>71.75</u>	49.88
25		ст. Бжедуховская	1480	993.5	955.0	1.04	11045.6	19551.4	0.19	-4.04	43.51	27.75
26	Афипс	ст. Смоленская	308	1019.4	1044.2	-1.08	3906.3	9901.0	0.02	<u>2.38*</u>	<u>60.55</u>	35.66
27	Убинка	ст. Северская	201	744.9	736.4	0.32	10901.6	7596.7	0.37	-1.15	-43.51	-18.43
28	Адегой	ст. Шапсугская	125	247.2	302.7	-1.88	7401.5	14114.1	0.12	<u>18.34</u>	47.56	11.32

Таблица 1. Окончание

№	Река	Пост	Площадь водосбора, км ²	m1	m2	t	D1	D2	p	Δm, %	ΔD, %	ΔCv, %
29	Адагум	г. Крымск	328	517.0	585.9	-2.02	7920.1	24507.8	0.00	11.76	67.68	35.58
30	Челбас	ст. Каневская	4080	263.9	290.2	-4.13	345.4	638.2	0.15	9.07	45.88	19.10
31	Кубань	с. Успенское	12800	308.2	297.4	0.62	1775.2	7183.8	0.00	-3.66	75.29	52.04
32		г. Армавир	16900	483.8	501.5	-1.11	1642.4	5739.3	0.00	3.52*	71.38	44.55
33		ст. Ладожская	19800	653.8	718.6	-5.16	1522.1	2976.6	0.08	9.02	48.86	21.40
34	Уруп	ст. Удобная	1370	377.6	390.2	-0.62	1959.2	8897.9	0.00	3.22*	77.98	51.52
35		х. Стеблицкий	3190	325.5	326.4	-0.04	4616.4	10615.8	0.03	0.28*	56.51	33.87
36	Лаба	х. Догужиев	12000	414.5	454.5	-2.96	1431.3	3848.3	0.01	8.80	62.81	33.13
37	Малая Лаба	с. Бурное	1090	371.7	329.7	3.41	2136.3	2001.9	0.88	-12.74	-6.72	8.37
38	Большая Лаба	Ниже Азиатского моста	1180	343.3	375.7	-2.94	1174.1	2304.8	0.08	8.64	49.06	21.87
39	Чамлык	ст. Вознесенская	554	358.5	411.0	-1.63	15485.8	12595.6	0.61	12.77	-22.95	-27.11
40	Фарс	ст. Дондуковская	1240	416.1	477.8	-2.52	6769.7	10207.7	0.29	12.91	33.68	6.49
41	Шахе	с. Солох-Аул	423	485.0	507.9	-2.22	900.9	1893.8	0.07	4.51*	52.43	27.77
42	Сочи	с. Пластунка	238	550.9	526.6	1.64	1476.2	4729.5	0.00	-4.61	68.79	46.59
43		г. Сочи	296	266.5	287.5	-1.43	2332.3	3267.4	0.41	7.32	28.62	8.84
44	Мзымга	пос. Казачий Брод	839	354.9	315.2	3.27	1381.8	2266.1	0.24	-12.62	39.02	30.66
45	Терек	г. Владикавказ	1490	133.8	153.8	-2.53	698.9	1032.0	0.32	13.02	32.28	5.38
46		ст. Котляревская	8920	263.1	327.1	-5.47	1797.9	2101.9	0.68	19.56	14.46	-14.97
47		г. Моздок	20600	320.8	368.1	-3.68	1931.4	2701.1	0.39	12.84	28.49	2.99
48		с. Степное (Хангаш-Юрт)	35400	304.0	326.8	-2.79	601.8	636.5	0.86	7.00	5.44	-4.56
49		Карагалинский гидроузел	37400	326.5	357.9	-2.81	1902.9	1149.1	0.23	8.77	-65.59	-41.05
50		с. Аликазан	39600	295.2	356.8	-4.53	1178.6	2699.4	0.07	17.25	56.34	20.15
51	Цея	пгт Бурон	100	649.2	655.0	-0.55	2238.7	575.7	0.00	0.89*	-288.84	-98.95
52	Фиагдон	с. Мичурино	474	200.1	155.9	3.46	1442.0	1643.4	0.81	-28.35	12.26	27.02
53	Белая	с. Кора-Урсдон	304	200.2	228.2	-1.79	822.1	6159.7	0.00	12.27	86.65	58.36
54	Урух	с. Хазндон	1150	257.2	296.6	-3.95	878.3	1430.8	0.26	13.28	38.61	9.65
55	Малка	с. Каменомостское	1540	81.1	108.5	-2.58	1840.8	1087.6	0.20	25.31	-69.25	-74.19
56	Малка	ст. Прохладная	9820	205.2	166.2	2.24	2422.0	5967.9	0.02	-23.47	59.42	48.40
57	Баксан	с. Заюково	2100	172.0	193.0	-1.93	1475.9	1712.3	0.70	10.86	13.81	-4.15
58	Чегем	с. Нижний Чегем	739	138.9	143.0	-0.48	1080.3	812.5	0.49	2.87*	-32.97	-18.71
59	Нальчик	с. Белая Речка	140	245.7	216.8	2.08	2222.1	2943.8	0.47	-13.37	24.51	23.36

* Посты, где зафиксировано статистически значимое нарушение однородности по математическому ожиданию ≤5%.

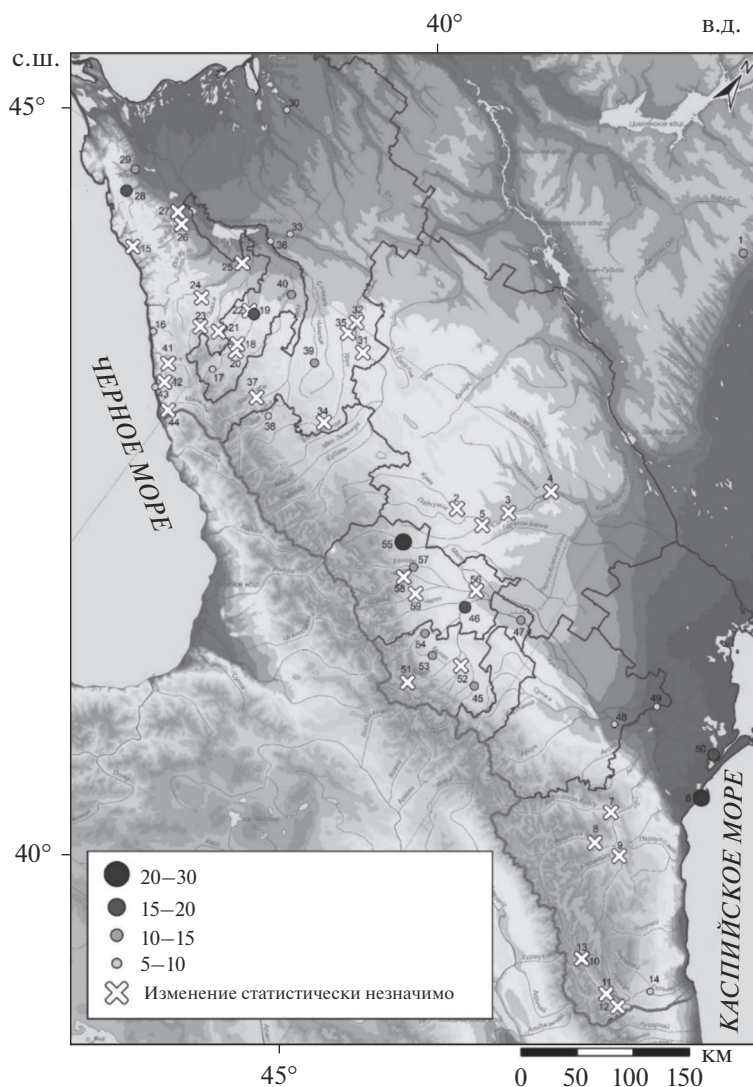


Рис. 1. Изменение (%) среднего значения рядов максимальных срочных годовых уровней воды рек Северного Кавказа России при сравнении 1961–1990 и 1991–2017 гг.

ческого ожидания характерно для 25 постов из 59, на каждом из которых наблюдается рост математического ожидания рядов максимальных срочных годовых уровней воды от 1961–1990 к 1991–2017 гг. (рис. 1). В целом для северокавказских рек увеличение средних отметок максимальных уровней воды во втором временном периоде относительно первого составило от 5.9% на р. Белой (пос. Гузерипись) до 25% на р. Малке (с. Каменноостское). Если для бассейна Кубани и Кумы, как и для рек Черноморского побережья Кавказа, характерен незначительный рост этой характеристики ($\leq 10\%$), то в бассейне Терека преобладают посты, на которых зафиксировано увеличение математического ожидания максимальных уровней воды ($\geq 15\%$). Значимое увеличение (21%) математического ожидания во втором периоде по сравнению с первым отмечено в устье

р. Сулак (пгт Сулак). Статистически значимое нарушение однородности рядов максимальных срочных годовых уровней воды не зафиксировано по данным постов, расположенных преимущественно в юго-восточной части Северного Кавказа, на реках Самур, Аварское и Андийское Койсу. Однородность рядов с точки зрения математического ожидания характерна и для левых притоков р. Кубани (реки Афипис, Белая, Пшеха, Малая Лаба, Лучка, Уруп), отдельных рек Черноморского побережья Кавказа, р. Кумы и притоков Терека.

Применение критерия Фишера к рядам максимальных срочных годовых уровней воды северокавказских рек выявило статистически значимое нарушение однородности с точки зрения дисперсий первого и второго периодов по данным 15 гидрологических постов, причем для 13

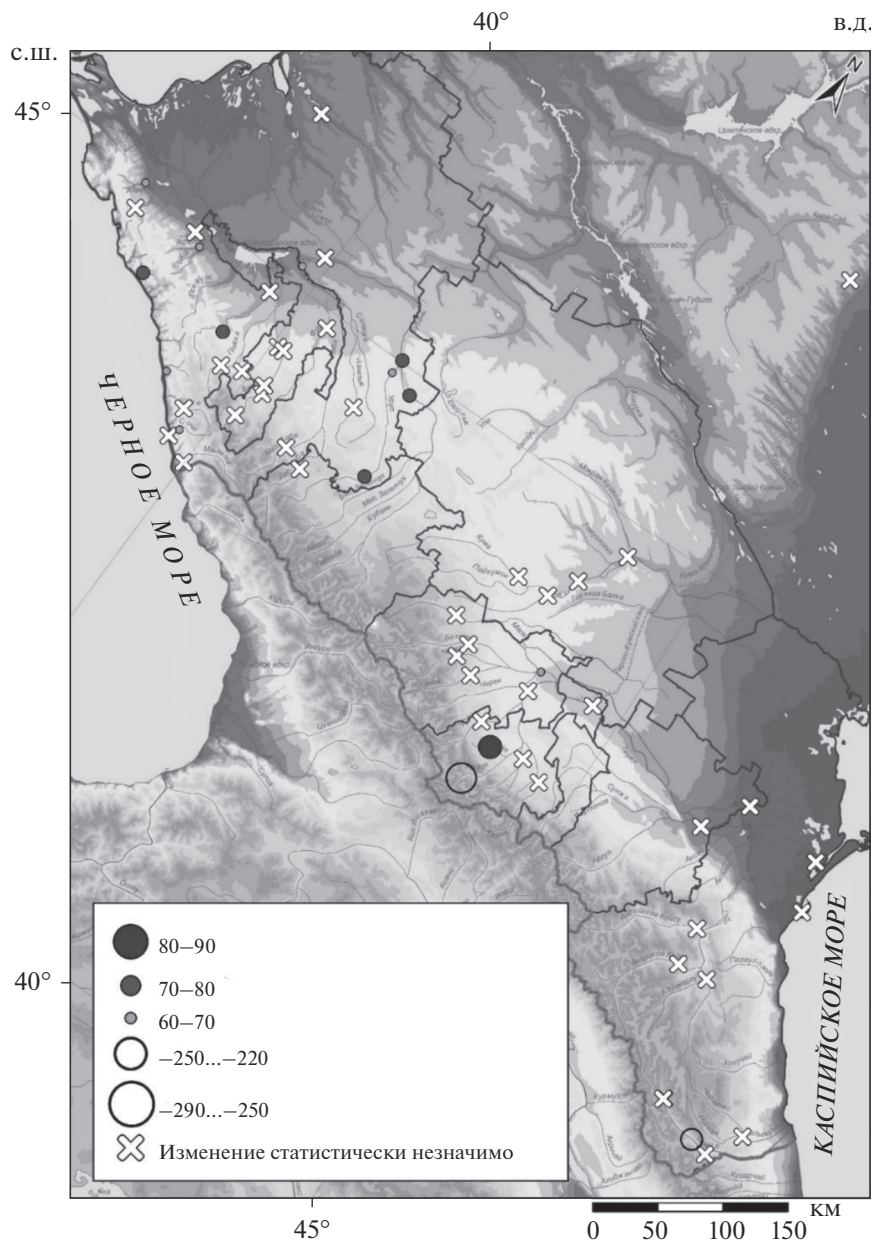


Рис. 2. Изменение (%) дисперсии рядов максимальных срочных годовых уровней воды рек Северного Кавказа России при сравнении 1961–1990 и 1991–2017 гг.

из них характерен рост дисперсии в последние десятилетия (рис. 2). Наибольшее (86.7%) увеличение дисперсии зафиксировано по данным по р. Белой вблизи с. Кора-Урсдон. Примечательно, что минимальный рост дисперсии рядов максимальных уровней воды северокавказских рек составляет 56.5% (р. Уруп – х. Стеблицкий). Статистически значимое уменьшение дисперсии зафиксировано на р. Цее близ пос. Бурон и на р. Самур вблизи с. Ахты – 289 и 229% соответственно.

Превышение отметок НЯ

Превышение отметок НЯ максимальными годовыми уровнями воды за исследуемый временной период зафиксировано на 42 гидрологических постах рек Северного Кавказа из 44: оно происходило от 1 (р. Кума – г. Зеленокумск и р. Чегем – с. Нижний Чегем) до 42 раз (бассейн Кубани, р. Убинка – ст. Северская). Таким образом, повторяемость превышения отметок НЯ колебалась в диапазоне от 1.9 до 93.2% за период 1961–2017 гг. (рис. 3а). Не зафиксированы превы-

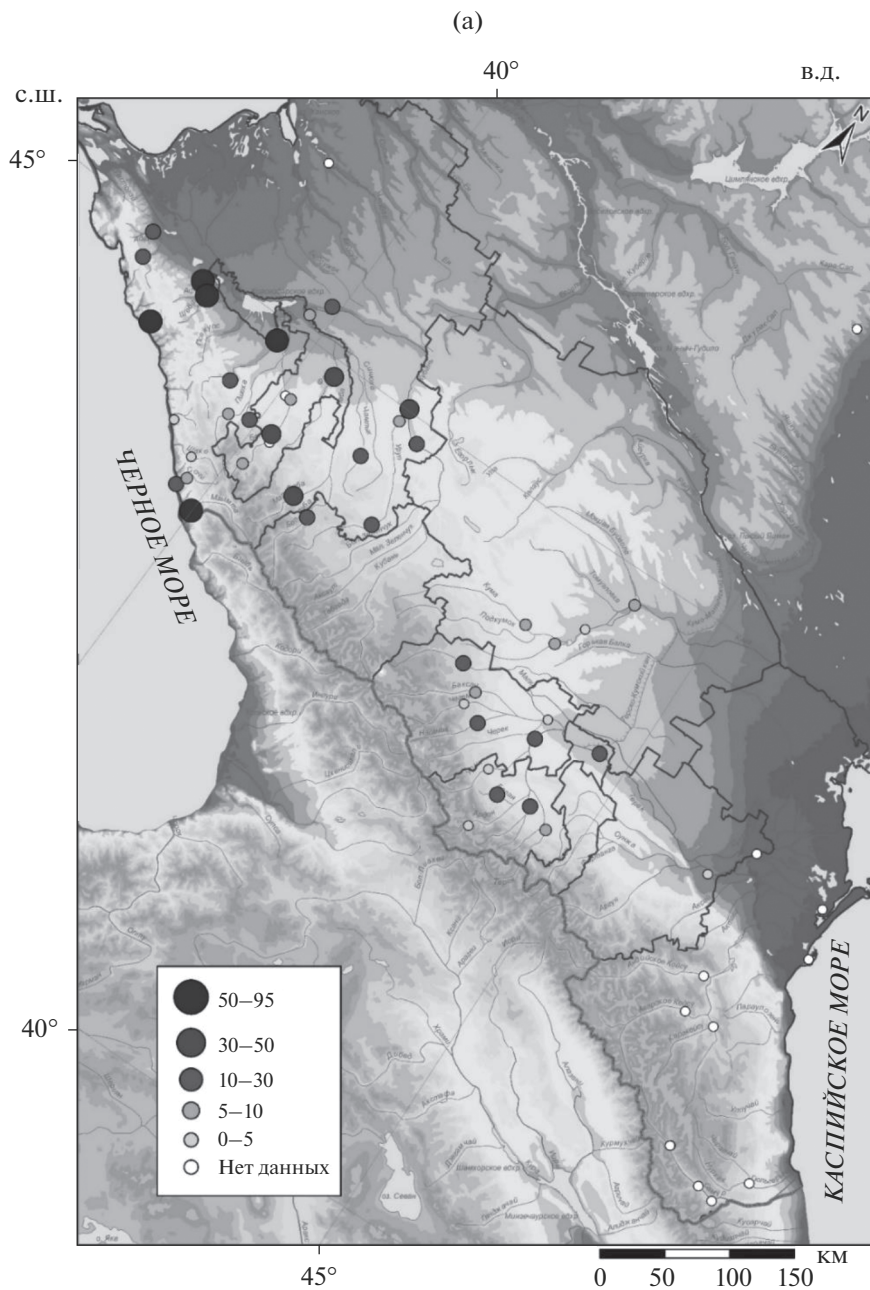


Рис. 3. Повторяемость (%) превышения отметок НЯ (а) и отметок ОЯ (б) максимальными срочными годовыми уровнями воды рек Северного Кавказа России за период 1961–2017 гг.

шения уровней НЯ за рассматриваемый период только на двух постах в бассейне Терека (с. Степное и с. Хазнидон).

В бассейне Кубани повторяемость превышения отметок НЯ составляла от 7.1% в бассейне р. Белой до 93.2% на р. Пшиш, или от 4 до 42 случаев за период 1961–2017 гг. Превышение отметок НЯ в 5–10% случаев характерно для пяти гидрологических постов на реках Белой, Уруп, Пшехе и Лабе, в 10–30% случаев – для девяти постов на реках Чамлык, Кубани, Уруп, Курджипис, Большая

Лаба, Пшиш, Адегой и Адагум, в 30–50% случаев – для четырех постов на реках Фарс, Малая Лаба, Белой и Кубани, в >50% случаев – для трех постов на реках Афипис, Убинке и Пшиш.

Для рек Черноморского побережья повторяемость превышения отметок НЯ меняется в диапазоне от 3.8 до 54.7%, или от 2 (реки Куапсе и Шахе) до 29 раз (р. Вулан) за рассматриваемый период. В ≤5% случаев превышение данной характеристики происходило на двух постах (реки Куапсе и Шахе), в 5–10% случаев – на р. Сочи вблизи

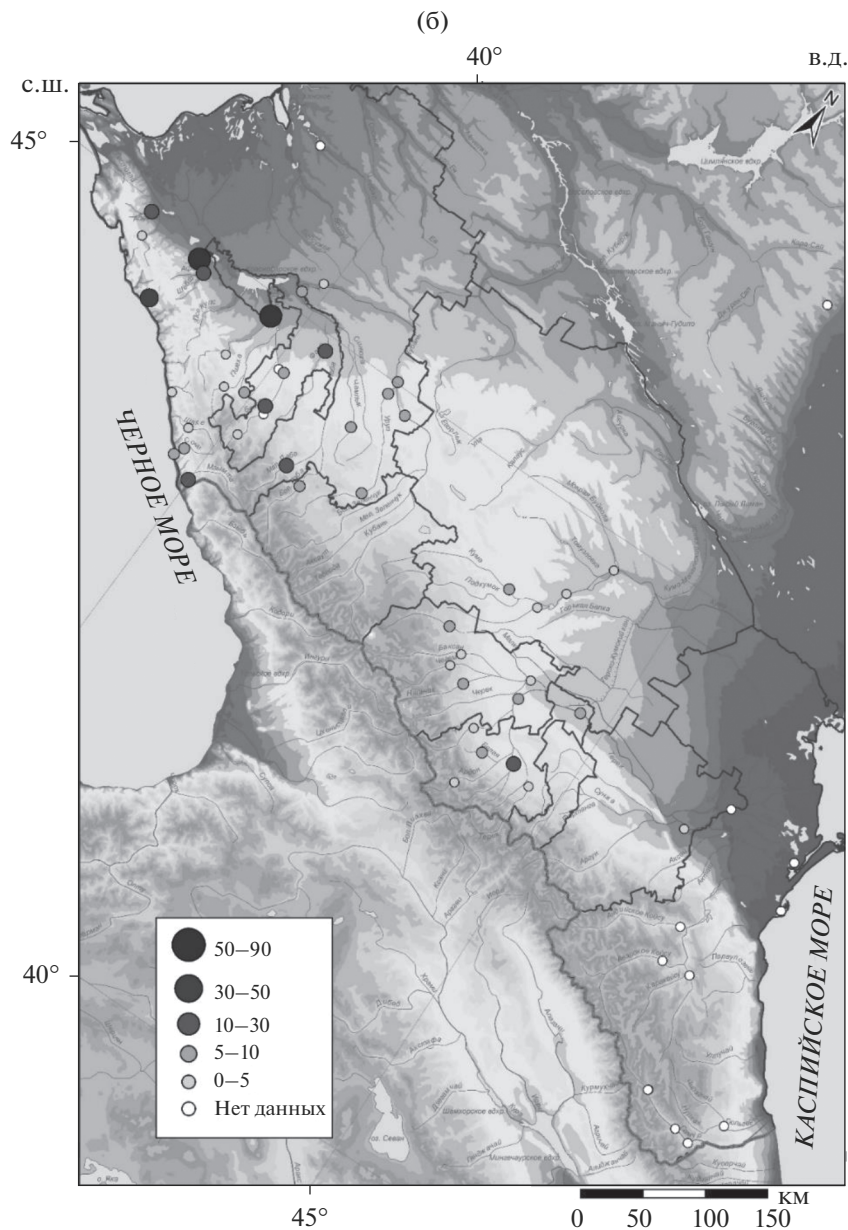


Рис. 3. Окончание

с. Пластунка, в 10–30% – на р. Сочи в г. Сочи. В >50% случаев максимальные уровни воды превышали отметку НЯ на реках побережья Черного моря – Мзымте (54.0%) и Вулан (54.7%).

В бассейне Кумы повторяемость превышения отметок НЯ не превышает 10% случаев, т. е. ≤4 случаев за период 1961–2017 гг. Повторяемость превышения отметок НЯ, равная 2.5%, зафиксирована на р. Куме в г. Зеленокумске, 7.3% – на р. Золке близ с. Михайловского, 9.1 и 9.3% – на р. Куме в створе ст. Александрийской и г. Буденновска соответственно.

Диапазон колебаний числа превышений отметок НЯ в бассейне Терека значительно шире, чем в бассейне Кумы: от 1 до 13 случаев за период 1961–2017 гг. Уровни НЯ ни разу не были превышены на реках Терек близ с. Степного и Урух у с. Хазнидон. В бассейне Терека изменение повторяемости превышения отметок НЯ происходит в основном на уровне 10% случаев (5 постов), не считая гидрологических постов, где не зафиксировано ни одного случая превышения отметок НЯ. На остальных постах в бассейне Терека повторяемость превышения составляет от 10 (р. Терек) до 25% (р. Фиэгдон) случаев. Однократное превышение отметок НЯ за рассматриваемый период

зафиксировано на р. Чегем, двукратное – на реках Цей и Малке, трехкратное – на реках Терек и Баксан. 6 случаев превышения уровней НЯ за период зафиксировано на р. Терек вблизи г. Моздока и р. Нальчик у с. Белая речка, 7 – на р. Терек вблизи ст. Котляревской, 9 – на р. Белой близ с. Кора-Урсдон. Наибольшее число превышений уровней НЯ – 10 и 13 – характерно для р. Фиагдон у с. Мичурино и р. Малки у с. Каменноостского соответственно.

Установлена тесная связь между максимальной амплитудой колебания уровней воды как разностью минимальной и максимальной многолетних отметок уровней воды и площадью водосбора для рек Кумы, Самур и рек Каспия. Величина достоверности аппроксимации таких связей >0.8 . Превышение отметок ОЯ чаще, чем в 20% случаев, наблюдалось на постах, средняя высота водосбора которых ≤ 400 м. Повторяемость превышений отметок ОЯ уменьшается с увеличением средней высоты водосбора. Повторяемость $<2\%$ характерна для постов со средней высотой водосбора >2500 м. Для превышений отметок НЯ характерны схожие закономерности, однако менее выраженные.

Превышение отметок ОЯ

Превышение отметок ОЯ максимальными годовыми уровнями воды за период 1961–2017 гг. зафиксировано по данным 37 из 44 гидрологических постов на реках Северного Кавказа России (рис. 36).

Суммарное число случаев превышения опасных отметок на различных гидрологических постах составляет от 1 (бассейн Терека, Кубани, реки Черноморского побережья) до 40 (бассейн Кубани) за рассматриваемый период. Таким образом, повторяемость превышения уровней ОЯ колеблется в диапазоне от 1.8 до 88.6%. На семи постах, данные об экстремальных уровнях которых приведены в перечне и критериях опасных природных гидрометеорологических явлений Северо-Кавказского УГМС [17], не зафиксировано превышения отметок ОЯ.

На четырех постах в бассейне Кубани повторяемость превышения отметок ОЯ составляла $\leq 5\%$, на девяти постах – от 5 до 10%, на пяти постах – от 10 до 30% случаев. Число превышений отметок ОЯ составило от 1 до 40 случаев за период 1961–2017 гг. На р. Пшехе близ с. Черниговского и вообще не наблюдались превышения уровней ОЯ. Повторяемость превышения отметок ОЯ, равная 71.4 и 88.6% соответственно, зафиксирована на реках Убинке и Пшиш. Так, например, уровень воды р. Убинки в створе ст. Северной при отметке ОЯ, равной 700 см, превышал 800 см над нулем графика поста в 1974, 1975, 1981, 1983, 1985, 1988,

1995, 1996 и 2011 гг. [20]. Превышение отметки ОЯ на >2 м на р. Убинке наблюдалось в 1997 и 2000 гг. вследствие обильных ливневых осадков. В результате были затоплены жилые дома и значительная часть сельскохозяйственных угодий [3, 8, 20]. Наиболее выдающимся был 2002 г., в который превышение отметок ОЯ зафиксировано на 14 гидрологических постах из 21 в бассейне Кубани, оно составило 2.5 м на отдельных постах. Паводки, вызванные столкновением мощного арктического циклона с теплыми влажными южными воздушными массами, а также поздним таянием высокогорных ледников и снежников, оставили свой след и в бассейнах других северокавказских рек [15]. Паводки летом 2002 г. нанесли значительный ущерб объектам инфраструктуры и урон здоровью жителей прилегающих территорий, привели к человеческим жертвам [3, 4].

На реках Черноморского побережья Кавказа повторяемость превышения отметок ОЯ, составляющая $<5\%$ случаев за период, характерна для рек Куапсе и Шахе, 5–10% – р. Сочи близ с. Пластунка и г. Сочи, 16.0 и 34.0% – соответственно рек Мзымте и Вулан. Максимальное число превышений за рассматриваемый период достигло 18 случаев на р. Вулан. Превышение отметки ОЯ, равной 380 см, зафиксировано 25.10.2003 на р. Мзымте: уровень воды близ с. Казачий Брод составил 420 см над нулем графика поста. Подъем уровня воды обусловлен выпадением обильных ливневых осадков и снеготаянием. Паводок послужил причиной разрушения трубопровода и подвесных мостов в окрестностях сел Казачий Брод и Монастырь [10].

В бассейне Кумы отметки ОЯ не превышались на трех гидрологических постах (реки Кума и Золка). На р. Куме близ ст. Александрийской повторяемость превышений отметки ОЯ максимальными уровнями воды составила 9.1%, что эквивалентно четырем случаям за рассматриваемый период. Уровень воды р. Кумы в створе ст. Александрийской 22–23 июня 2002 г. составлял 899 см при отметке ОЯ, равной 860 см.

На трех гидрологических постах в бассейне Терека превышение уровней ОЯ за период 1961–2017 гг. не зафиксировано, число превышений на остальных постах составляет от 1 (реки Цей, Чегем, Малка) до 7 (р. Фиагдон), что в относительных показателях соответствует диапазону 2–18%.

В рамках анализа случаев превышения уровней НЯ и ОЯ максимальными срочными годовыми уровнями воды проведена оценка и их временной изменчивости. Установлено, что от периода 1961–1990 гг. к периоду 1991–2017 гг. на $>50\%$ исследуемых гидрологических постов с данными об уровнях НЯ и ОЯ произошел рост числа превышений таких отметок. Так, увеличение числа пре-

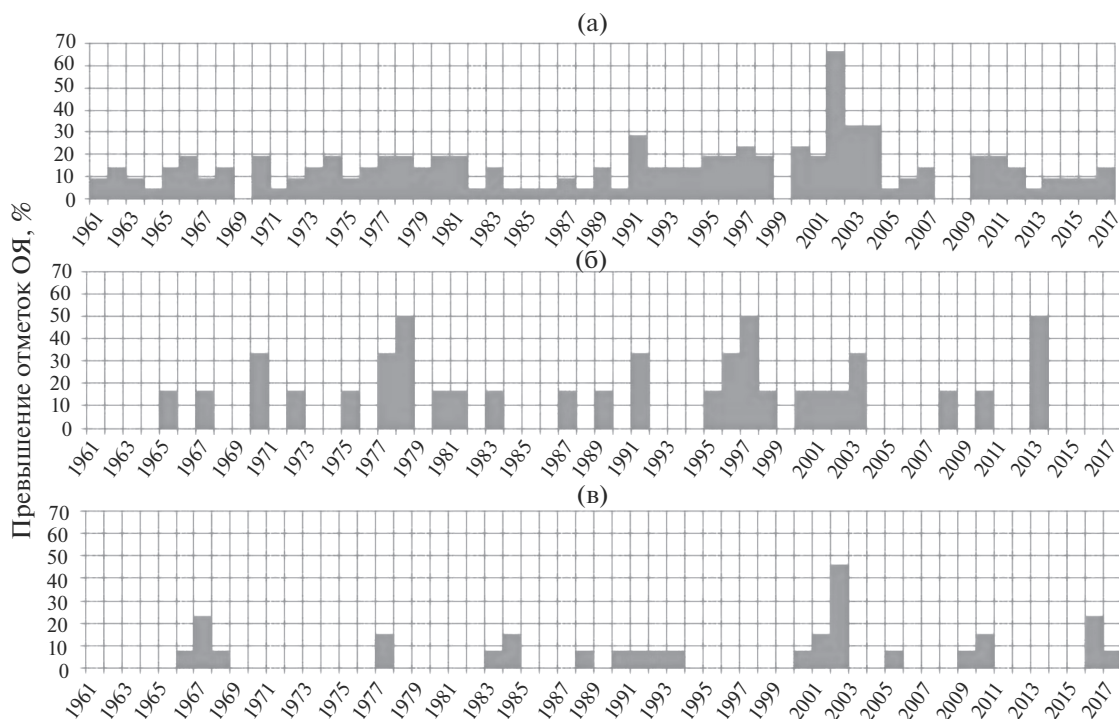


Рис. 4. Повторяемость (%) превышения отметок ОЯ максимальными срочными годовыми уровнями воды на реках бассейна Кубани (а), Черноморского побережья Кавказа (б) и бассейна Терека (в) за период 1961–2017 гг.

вышений уровней НЯ и ОЯ зафиксировано соответственно на 24 и 26 гидрологических постах из 44. Во второй период произошло на 1–9 больше случаев превышения отметок НЯ и на 1–6 больше случаев превышения отметок ОЯ. При этом от первого ко второму периоду повторяемость превышения отметок НЯ выросла на 1.0–37.5, ОЯ – на 1.4–32.1%. Уменьшение числа превышений отметок НЯ и ОЯ отмечено на 13 и 8 постах соответственно, что составляет 29.5 и 18.2% общего числа постов с информацией об отметках НЯ и ОЯ. Уменьшение числа превышений отметок НЯ колебалось в диапазоне 1–14 случаев, отметок ОЯ – 1–6 случаев. Повторяемость превышений отметок НЯ при этом снизилась на 1.7–56.4, ОЯ – на 1.7–22.9%. Число превышений уровней НЯ и ОЯ от первого ко второму периоду осталось неизменным на семи и десяти гидрологических постах соответственно. Для поста на р. Цее в створе пос. Бурон и поста на р. Адегой вблизи ст. Шапсугской характерно изменение повторяемости превышения НЯ и ОЯ на $\leq 1\%$ по модулю от первого ко второму периоду при отсутствии изменения числа случаев превышений.

Анализ пространственного распределения изменчивости числа и повторяемости превышений уровней НЯ и ОЯ показал, что в бассейне Кубани и на реках Черноморского побережья преобладают посты с тенденцией к увеличению числа превышений отметок НЯ и ОЯ от первого периода ко

второму. На реках бассейна Кумы и Терека число постов, где зафиксировано увеличение и уменьшение числа превышений отметок НЯ, одинаково. Однако при рассмотрении временной изменчивости превышений отметок ОЯ в пределах данных водосборов обнаружено значительное преобладание постов с уменьшением числа превышений отметок ОЯ от первого периода ко второму.

Исследование числа превышений отметок НЯ по речным бассейнам при сравнении двух периодов показало, что суммарное число превышений в бассейне Терека составило соответственно 21 и 41, в бассейне Кумы – 5 и 7, Кубани – 148 и 147, на реках Черноморского побережья Кавказа – 39 и 33 случая за период 1961–1990 и 1991–2017 гг. Отметки ОЯ в первом и втором периодах превышались соответственно 12 и 10 раз в бассейне Терека, 1 и 3 раз в бассейне Кумы, 72 и 96 раз в бассейне Кубани, 16 и 19 раз на реках Черноморского побережья Северного Кавказа (рис. 4). Данные цифры подтверждают увеличение повторяемости превышений экстремальных уровней воды на северокавказских реках. Всего на 44 гидрологических постах отметки НЯ превышались 441 раз (213 превышений в первом периоде и 228 во втором), отметки ОЯ – 239 раз (101 и 138 превышений соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты, свидетельствующие о статистически значимом увеличении как математического ожидания, так и дисперсии максимальных срочных годовых уровней воды северокавказских рек, могут быть обусловлены несколькими причинами.

Один из важнейших факторов, оказывающих влияние на колебание уровней воды в реках, — вариативность метеорологических параметров. На большинстве метеорологических станций Северного Кавказа, где критерием Стьюдента для периода 1966–2012 гг. зафиксировано статистически значимое нарушение однородности абсолютных величин экстремальных осадков (95-й процентиль аппроксимирующего гамма-распределения), наблюдается увеличение данных характеристик, особенно в летний период [9]. Причем экстремальные осадки на территории Северного Кавказа имеют преимущественно ливневой генезис [23].

Еще одна возможная причина увеличения опасности наводнений на Северном Кавказе — строительство жилых зданий в поймах рек, на участках, наиболее подверженных затоплениям в случае прохождения экстремальных расходов и уровней воды. Так, доля населения, живущего на потенциально затапливаемой территории, достигает 53%. Вероятность возникновения наводнений на Северном Кавказе при этом достигает 45% [27]. Таким образом, строительство в поймах рек увеличивает потенциальные ущербы от наводнений в случае превышения отметок НЯ и ОЯ.

Русловые деформации также могли послужить причиной направленных изменений максимальных уровней воды [27, 31, 38]. Территория Большого Кавказа характеризуется чрезвычайно активными тектоническими и седиментационными процессами [28]. Накопление русловых отложений за счет аккумуляции наносов приводит к уменьшению площади поперечного сечения русла и его переполнению в период прохождения максимальных расходов воды. Вертикальные русловые деформации — важный фактор, определяющий водопрпускную способность потока и формирование уровней воды [5]. Построение зависимостей вида $Q_{\max} = f(H_{\max})$ для первого и второго периодов показало наличие заметных вертикальных русловых деформаций на девяти гидрологических постах из 40. На реках бассейна Терека (р. Терек — г. Владикавказ, р. Малка — с. Каменноостское, р. Баксан — с. Заюково) наблюдается аккумуляция наносов. Аналогичная тенденция характерна для бассейна Кубани (р. Куапсе — с. Мамедова Щель, р. Кубань — ст. Ладожская, р. Уруп — ст. Удобная), за исключением р. Курджипс в створе ст. Нижегородской, где отмечен размыв русла. На двух постах в бас-

сейне Кумы обнаружены разнонаправленные вертикальные деформации: на р. Куме в створе ст. Александрийской наблюдается аккумуляция наносов, для р. Самур в створе с. Лучек характерен размыв русла.

ВЫВОДЫ

На гидрологических постах, где критерием Стьюдента зафиксировано статистически значимое нарушение однородности рядов максимальных срочных годовых уровней воды, повсеместно наблюдается рост математического ожидания максимальных срочных годовых уровней воды от 1961–1990 к 1991–2017 гг. Это подкрепляется результатами метеорологических исследований, свидетельствующими о росте количества экстремальных осадков. Дисперсия рассматриваемых рядов максимальных годовых срочных уровней воды по критерию Фишера имеет тенденцию к увеличению на большинстве постов на северокавказских реках.

Средняя повторяемость превышений уровней НЯ и ОЯ максимальными годовыми срочными уровнями воды на постах за период 1961–2017 гг. составляет 20 и 15% соответственно при наибольшей повторяемости в бассейне Кубани, достигающей 90% за рассматриваемый период. Результаты оценки частоты превышений отметок НЯ и ОЯ вызывают беспокойство по отношению к населению прилегающих районов и заставляют задуматься о качестве проводимых противопаводковых мероприятий как в бассейне Кубани, так и на реках всего Северного Кавказа. Более чем для 50% гидрологических постов характерна тенденция увеличения числа превышений максимальными годовыми срочными уровнями воды отметок НЯ и ОЯ от 1961–1990 к 1991–2017 гг. При детальном изучении бассейнов северокавказских рек обнаружено увеличение повторяемости превышений отметок НЯ и ОЯ от первого периода ко второму.

Показанные в ходе исследования тенденции, связанные с изменчивостью максимальных срочных годовых уровней воды и с их превышением отметок НЯ и ОЯ, свидетельствуют об увеличении опасности наводнений на реках Северного Кавказа. Этот факт требует внимания и разработки мер по предупреждению наводнений на реках региона, особенно на выявленных опасных участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Колтерманн П.К. и др. Наводнения на Черноморском побережье Краснодарского края // Вод. ресурсы. 2016. Т. 43. № 1. С. 3–17.
2. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Феде-

- рации / Под ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2010. 346 с.
3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного федерального округа России / Под ред. С.К. Шойгу. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2007. 386 с.
 4. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2003. 352 с.
 5. Воробьев А.Е., Орцухаева З.Ш., Алферова Н.Н. Формирование русловых деформаций в нижнем течении р. Терек // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. 2015. № 10. С. 337–340.
 6. Всемирная метеорологическая организация. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. Электрон. журн. ВМО № 1203. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168.
 7. Гладкевич Г.И., Терский П.Н., Фролова Н.Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 2. С. 29–46.
 8. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 256 с.
 9. Золина О.Г., Бульгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундамент. приклад. климатология. 2016. Т. 1. С. 84–103.
 10. Имеретинская низменность. Природно-геологические условия, проблемы освоения / Под ред. И.П. Балабанова. М.: Недра, 2011. 281 с.
 11. Магрицкий Д. В. Пространственно-временные характеристики наводнений на Черноморском побережье Российской Федерации // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5, География. 2014. № 6. С. 39–47.
 12. Мельникова Т.Н. Максимальный сток дождевых паводков рек Северо-Западного Кавказа // Вестн. Адыг. гос. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 3. С. 25.
 13. Мельникова Т.Н. Максимальный сток весеннего половодья рек Северо-Западного Кавказа // Вестн. Адыг. гос. ун-та. Сер. 4. Естеств.-матем. техн. науки. 2014. Т. 142. № 3. С. 158–164.
 14. Мироненко А.А., Рец Е.П., Фролова Н.Л. Оценка и картографирование опасности наводнений на Северном Кавказе: обзор и сопоставление существующих подходов // Геориск. 2018. Т. 12. № 2. С. 26–36.
 15. Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Иванов А.А. и др. Гидрология дельты и устьевое взморье Кубани. М.: ГЕОС, 2010. 728 с.
 16. Новый двухуровневый подход к “климатическим нормам” [Электронный ресурс]. <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-g> (дата обращения: 24.09.2020)
 17. Приложение 1 к “Положению об ОЯ”. Перечень опасных природных гидрометеорологических явлений (ОЯ) на территории ЮФО и СКФО. Ростов-на-Дону: Северо-Кавказское УГМС, 2016. Изменения от 18.03.2016 № 34, 17.05.2016 № 69, 22.06.2016 № 81, 10.08.2016 № 104, 15.02.2017 № 15, 17.05.2017 № 60, 30.05.2017 № 65, 11.07.2017 № 84, 26.03.2019 № 23, 30.04.2019 № 43, 30.04.2019 № 44, 21.06.2019 № 70, 20.02.2020 № 17. <https://yugme-teo.donpac.ru/export/sites/default/.galleries/docs/criteria.pdf>.
 18. Разумов В.В., Аджиев А.Х., Разумова Н.В. и др. Опасные природные процессы Северного Кавказа. М.: Феория, 2013. 319 с.
 19. Россия в борьбе с катастрофами. Кн. 2. XX век – начало XXI века / Под ред. С.К. Шойгу. М.: Деловой экспресс, 2007. 272 с.
 20. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2008. 432 с.
 21. Фалеев М.И., Черных Г.С., Старостин А.С. Оценка опасностей и угроз, обусловленных катастрофическими наводнениями, и предложения по защите населения и территорий от них // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. Т. 4. № 2. С. 18–32.
 22. Федеральный закон “О гидрометеорологической службе” от 19 июля 1998 г. № 113-ФЗ.
 23. Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Золина О.Г., Бульгина О.Н., Семёнов В.А. Климатология осадков разного генезиса в Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 5–18.
 24. Climate variability and change – hydrological impacts / Eds S. Demuth, A. Gustard, E. Planos, F. Scatena, E. Servat // IAHS Publ. 2006. V. 308. 708 p.
 25. Disaster and development: examining global issues and cases / Eds N. Kapucu, K.T. Liou // Environmental Hazards. Cham. N. Y.: Springer, 2014. 488 p.
 26. El-Masri S., Tripple G. Natural disaster, mitigation and sustainability: the case of developing countries // Int. Planning Studies. 2002. V. 7. Iss. 2. P. 157–175.
 27. Frolova N.L., Kireeva M. B., Magritskiy D.V., Bolgov M.B., Kopylov V.N., Hall J., Semenov V.A., Kosolapov A.E., Dorozhkin E.V., Korobkina E.A., Rets E.P., Akutina Y., Dzhamalov R.G., Efremova N.A., Sazonov A.A., Agafonova S.A., Belyakova P.A. Hydrological hazards in Russia: origin, classification, changes and risk assessment // Natural Hazards. 2016. V. 88. № 1. P. 103–131.
 28. Giovanni Vezzoli, Eduardo Garzanti, Mara Limonta, Giuditta Radef. Focused erosion at the core of the Greater Caucasus: Sediment generation and dispersal from Mt. Elbrus to the Caspian Sea // Earth-Sci. Rev. 2020. V. 200. 102987.
 29. Hall J., Arheimer B., Borga M., Brazdil R., Claps P., Kiss A., Kjeldsen T.R., Kriauciuniene J., Kundzewicz Z.W., Lang M., Llasat M.C., Macdonald N., McIntyre N., Mediero L., Merz B., Merz R., Molnar P., Montanari A., Neuhold C., Parajka J., Perdigao R.A.P., Plavcova L., Rogger M., Salinas J.L., Sauquet E., Schar C., Szolgay J., Viglione A., Bloschl G. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment // Hydrol. Earth System Sci. 2014. V. 18. Iss. 7. P. 2735–2772.
 30. Keskitalo E., Carina H. Climate change and flood risk management: adaptation and extreme events at the local level. Cheltenham: Edward Elgar publ., 2013. 328 p.
 31. Kotlyakov V.M., Koronkevich N.I., Desinov L.V., Dolgov S.V., Vishnevskaya I.A. Catastrophic flood in the Russian town Krymsk (North Caucasus, 6–7 July, 2012) – analysis of natural and anthropogenic causes //

- J. Contemporary Management. Acad. Res. Centre Canada. 2016. V. 5. № 4. P. 1–11.
32. *Lugeri N., Genovese E., Lavalle C., Roo A. D.* Flood risk in Europe: analysis of exposure in 13 Countries. Luxembourg: Office Official Publ. Eur. Communities, 2006. P. 35.
33. *Okada N., Kusaka T., Sassa K., Takayama T., Sakakibara H.* Water hazards caused by naturally occurring hydrologic extremes // *Hydrol. Cycle.* 2007. V. IV. P. 1–10.
34. *Paron P.* Natural hazards in developing countries / Ed. *P.T. Bobrowsky* // *Encyclopedia of Natural Hazards.* Dordrecht: Springer, 2012. P. 718–726.
35. *Pettitt A.N.* A Non-Parametric approach to the change-point problem // *J. Royal Statistical Society. Ser. C (Applied Statistics).* 1979. V. 28. № 2. P. 126–135.
36. *Rets E.P., Durmanov I.N., Kireeva M.B.* Peak Runoff in the North Caucasus: Recent Trends in Magnitude, Variation and Timing // *Water Resour.* 2019. V. 46. Suppl. 1. P. S56–S66.
37. *Rets E.P., Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Frolova N.L., Durmanov I.N., Telegina A.A., Telegina E.A., Grigoriev V.Y.* Recent trends of river runoff in the North Caucasus // *Geogr. Environ. Sustain.* 2018. V. 11. № 3. P. 61–70.
38. *Rets E., Kireeva M.* Hazardous hydrological processes in mountainous areas under the impact of recent climate change: case study of Terek River basin // *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources. Proc. Sixth World FRIEND Conf. Fez, Morocco: IAHS Publ., 2010. 340. P. 126–134.*
39. *Sarauskiene D., Kriauciuniene K., Reihan A., Klavins M.* Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries // *J. Environ. Engineering Landscape Management.* 2014. V. 23. Iss. 1. P. 28–38.
40. The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability / Eds *R.T. Watson, M.C. Zinyowera, R.H. Moss* // IPCC. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1997. P. 517.
41. *Vishnevskaya I.A., Desinov L.V., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Shaporenko S.I., Kireeva M.B., Frolova N.L., Rets E.P., Golubchikov S.N.* Geographic and hydrological assessment of floods in the Russian Black Sea region // *Izv. Russ. Acad. Sci. Geogr. series.* 2016. № 1. P. 131–146.
42. *Vojinovic Z., Abbott M.B.* Flood risk and social justice: from quantitative to qualitative flood risk assessment and mitigation. London: IWA Publ. Urban Hydroinformatics Ser., 2012. 600 p.L