

ВОДНЫЙ И ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕКИ МАЙМА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)*

В.В. Зуев, Е.М. Короткова, В.А. Уйманова

E-mail: vzuev@list.ru

*ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем
Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск, Россия*

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены изменения годового и сезонного стока, ледового режима р. Майма в связи с изменением климатических характеристик на водосборе в период 1940–2016 гг. В многолетнем ходе годовой и сезонной температуры воздуха выявлены значимые положительные тренды, особенно проявляющиеся в зимние месяцы; в ходе атмосферных осадков значимое снижение отмечается в холодный период года. Анализ гидрологических характеристик, выполненный за периоды 1940–1975 гг. (фоновый) и 1976–2016 гг. (период современного изменения климата), показал, что на фоне наблюдающихся климатических изменений годовой сток р. Майма проявляет тенденцию к снижению. Снижение годового стока является результатом снижения стока половодья. Так, при наблюдающемся потеплении зим и уменьшении количества твердых осадков средние максимальные расходы воды самого многоводного месяца (апреля) в период 1976–2016 гг. снизились на 35 % относительно фонового уровня 1940–1976 гг. Зимнее потепление способствует меньшему промерзанию почвы и пополнению запасов грунтовых вод в периоды зимних оттепелей и интенсивного снеготаяния, что приводит к увеличению стока в последние месяцы зимней и первые месяцы летне-осенней межени. Потепление зим проявилось и в ледовом режиме р. Майма: с начала периода современного изменения климата (1976 г.) наблюдается сокращение продолжительности ледостава, смещение дат замерзания реки на более поздние, а дат вскрытия – на более ранние.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: р. Майма, Горный Алтай, водный режим, ледовый режим, сезонный сток, изменения климата.

Современные изменения климата выражаются в росте глобальной температуры воздуха и региональном перераспределении количества осадков. Являясь продуктом климата, реки отвечают на изменение метеорологических параметров трансформациями гидрологического режима. Так,

* Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050038-7

© Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А., 2019

под воздействием климатических изменений в последние десятилетия в большинстве регионов России на реках отмечаются изменения сезонного и годового стока, увеличение повторяемости чрезвычайных ситуаций гидрологического характера, в числе которых экстремальные летние маловодья, катастрофические паводки и наводнения в период весеннего половодья [1, 2].

К концу 1990-х годов систематическое и неравномерное повышение температуры воздуха во всех регионах Сибири отличалось более высоким трендом, чем в целом по планете, а для территории Горного Алтая наибольшее потепление наблюдалось в зимний и весенний сезоны [3, 4]. С начала 2000-х годов отмечается замедление роста среднегодовой температуры воздуха, в Сибири этот процесс происходит за счет образования очагов похолодания в зимний период [3]. С 2010 г. область зимнего похолодания проявляется на юге Западной Сибири, охватывая Алтайский регион [1].

Реки Горного Алтая играют ключевую роль в формировании поверхностного стока в бассейне Верхней Оби, а на территории Республики Алтай ресурсы речных вод используются для обеспечения водой предприятий и населения, орошения, рекреации, рыболовства и гидроэнергетики [5]. Однако именно территория Алтайских гор относится к районам наибольшего увеличения повторяемости и продолжительности опасных наводнений и паводков вследствие наблюдаемых климатических изменений [6]. В таких условиях исследование закономерностей влияния климатических изменений на гидрологический режим рек Горного Алтая заслуживает особого внимания. В данной работе предлагается рассмотреть климатически обусловленные изменения водного и ледового режима р. Майма за период наблюдений с 1940 по 2016 гг.

Бассейн р. Майма, согласно Д.В. Золотову и др. [7], характеризуется единством условий формирования стока и является перспективным модельным объектом для ландшафтно-гидрологических исследований в условиях дефицита гидрометеорологической информации, репрезентативным для всего Алтая. Кроме того, бассейн р. Майма уже выступает модельным объектом для гидрометеорологических исследований Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН: на территории бассейна установлена система автономного мониторинга состояния окружающей среды, позволяющая оперативно и дистанционно получать гидрометеорологическую информацию [8]. Интерес к исследованию данного водного объекта обусловлен еще и тем, что р. Майма протекает через столицу Республики Алтай – г. Горно-Алтайск, которому был нанесен значительный ущерб в результате экстремального подъема уровня воды в мае 2014 г.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Майма – малая река на севере Республики Алтай, правый приток Катуня. Длина реки составляет 57 км, превышение истока над устьем – 800 м, средняя отметка водосбора – 670 м. Притоками р. Майма являются более 20 малых рек и ручьев протяженностью до 10–25 км. Бассейн реки площадью 780 км² приурочен к низко-среднегорной умеренно увлажненной и залесенной зоне Северного Алтая. По типу водного режима р. Майма относится к рекам с весенним половодьем и летними паводками. В бассейне реки имеется один гидропост в замыкающем створе с. Майма и одна длительно функционирующая метеостанция, расположенная в низовьях бассейна – с. Кызыл-Озёк.

Для анализа климатически обусловленных изменений сезонного и годового стока р. Майма были использованы данные вышеупомянутых гидропоста и метеостанции с 1940 по 2016 гг. Анализ изменчивости климатических характеристик проведен за теплый (апрель–октябрь) и холодный (ноябрь–март) периоды. Анализ изменчивости стока – за гидрологический год (апрель–март) с разделением на гидрологические сезоны: половодье (апрель–июнь), летне-осенняя межень (июль–октябрь), зимняя межень (ноябрь–март). Расчеты коэффициентов корреляции приведены для уровня значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха и осадки

Началом периода современного изменения климата принято считать 1976 г., с которого наблюдается наиболее интенсивный рост температуры воздуха, в т. ч. в Алтайском регионе [9]. В литературных источниках отмечается, что для территории Горного Алтая в целом характерно синхронное во всех высотных поясах повышение годовой температуры воздуха, уменьшение осадков в зимний период, увеличение в летний и рост их пространственной неоднородности [10, 11]. Учащение поздних и ранних заморозков, расширение диапазона максимальных и минимальных температур, а также увеличение засушливости свидетельствуют о нарастании экстремальности климата [10].

Данные наблюдений за температурой воздуха и осадками по метеостанции в с. Кызыл-Озёк доступны с 1940 по 2016 гг. [12]. В соответствии с имеющимися данными выявлено, что средняя многолетняя температура воздуха за период наблюдений положительна и составляет +2,1°C (табл. 1). Минимальные температуры наблюдаются в январе, максимальные – в июле. За рассматриваемый период величины линейных трендов во все месяцы являются положительными и практически во все месяцы значимыми. Максимальные скорости повышения температуры (коэффициенты линейного тренда до 0,66 °C/10 лет) характерны для холодного сезона за исключением

января, а также для апреля. Наибольшее количество осадков регистрируется с июня по август, наименьшее – в январе и феврале (табл. 1). Значимых трендов в распределении осадков в отдельные месяцы за период наблюдений 1940–2016 гг. не отмечено. При рассмотрении сумм осадков за теплый (апрель–октябрь) и холодный (ноябрь–март) периоды выявлено, что достоверное снижение количества осадков наблюдается только в холодный период, коэффициент линейного тренда составляет 6,9 мм/10 лет. На протяжении 77 лет наблюдений динамика годового количества осадков определялась преимущественно осадками теплого периода (коэффициент корреляции 0,9).

Таблица 1. Среднемноголетние значения температуры воздуха и количества осадков

Table 1. Average many-year values of air temperature and precipitation amount

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Температура, °С	-14,7	-13,7	-6,8	3,5	11,5	16,6	18,6	16,2	10,3	3,2	-6,5	-12,4	2,1
Коэффициент линейного тренда, °С/10 лет	0,18	0,57	0,66	0,48	0,14	0,10	0,12	0,17	0,14	0,18	0,52	0,45	0,31
Осадки, мм	24	24	32	57	80	99	111	100	73	65	51	38	755
Коэффициент линейного тренда, мм/10 лет	-0,68	-0,21	-1,21	1,6	2,15	-3,14	0,47	-1,34	-0,11	-1,78	-2,37	-2,22	-0,74

Примечание: коэффициенты линейных трендов, достоверных при уровне значимости 0,05, выделены жирным шрифтом.

Для анализа сезонной и годовой динамики температуры воздуха и осадков рассмотрены их аномалии относительно климатической нормы, рекомендованной Всемирной метеорологической организацией (ВМО), 1961–1990 гг. Очевидно, что для рядов температуры воздуха устойчивый переход 11-летнего скользящего среднего через ноль наблюдается с 1976 г. (рис. 1), что согласуется с началом периода современного изменения климата. В период с 1976 по 2016 гг. отрицательные среднегодовые температурные аномалии наблюдаются в середине 1980-х и конце 2000-х/начале 2010-х годов, они обусловлены падением температур как теплого, так и холодного периодов. Суммарные осадки, как за год, так и по сезонам, в среднем ниже климатической нормы 1961–1990 гг.

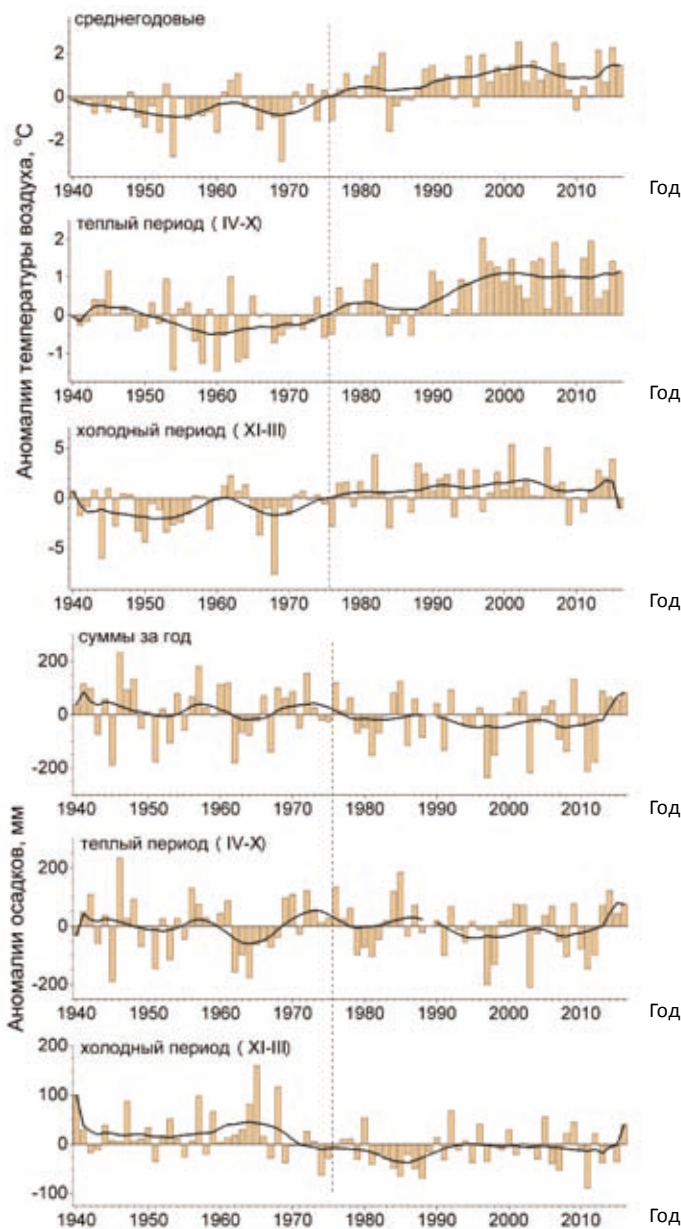


Рис. 1. Годовые и сезонные аномалии средней температуры и суммарных осадков относительно климатической нормы 1961–1990 гг., сглаженные 11-летним скользящим средним.
Fig. 1. Annual and seasonal anomalies of the average temperature and the total precipitates in respect of climate norm of 1961/1990, smoothed by 11-year moving average value.

Повышение температуры воздуха в холодный период может быть результатом не только общего потепления, но и наблюдающегося на юге Западной Сибири увеличения числа дней с оттепелями [13]. Наряду с потеплением холодного периода для территории Алтайских гор характерна тенденция к уменьшению продолжительности устойчивого морозного периода [13], что может отражаться на датах вскрытия и замерзания рек. Климатическая норма 1961–1990 гг. захватывает как часть фонового периода 1940–1975 гг., так и часть периода современного изменения климата с 1976 г., поэтому тенденции изменения метеопараметров относительно климатической нормы могут быть менее выраженными, чем относительно фонового периода. Например, повышение температуры воздуха в период 1976–2016 гг. относительно климатической нормы в среднем за год составляет 0,8 °С; в теплый период – 0,7 °С, в холодный – 1 °С, относительно фонового периода – 1,4 °С, 0,9 °С и 2,2 °С соответственно. Суммы осадков относительно климатической нормы за год снизились на 19,1 мм, в теплый период – на 4,9 мм, в холодный – на 10,9 мм, относительно фонового периода – на 37,2 мм, 6,2 мм и 32,2 мм соответственно.

Многолетние изменения годового и сезонного стока

На фоне повышения температуры воздуха и снижения количества осадков наблюдаются изменения годового (рис. 2а) и сезонного стока р. Майма (рис. 2б, рис. 3а, 3б). Так, динамика изменений среднегодового расхода воды за весь период наблюдений, хотя и не имеет значимого тренда, характеризуется тенденцией к уменьшению. Значимая корреляционная связь среднегодового расхода воды со среднегодовой температурой воздуха отмечается с 1976 г. ($r = -0,33$), а с температурой теплого периода с 1976 г. связь усиливается ($r = -0,42$) (табл. 2). Коэффициенты корреляции среднегодового расхода воды, как с суммарными осадками ($r = 0,62/0,6$; 1940–1975/1976–2016 гг.), так и с осадками теплого периода ($r = 0,71/0,68$) до и после 1976 г. близки по величине. С температурой воздуха и с суммарными осадками холодного периода значимой корреляционной связи не наблюдается до и после наступления периода современного изменения климата.

Значимый отрицательный тренд обнаруживается в динамике средних расходов воды в половодье (рис. 2б). Подавляющая часть объема половодья р. Майма формируется за счет таяния снега на водосборе [14]. Снижение количества осадков холодного периода, наблюдаемое с 1976 г., приводит к меньшему стоку талых вод в реку, однако на объеме половодья может сказываться и температурный фактор. Повышение температуры воздуха в холодный период года способствует уменьшению глубины промерзания почвы и ранней водоотдаче из снежного покрова. Это приводит к пополнению

Таблица 2. Коэффициенты корреляции средних расходов воды и метеопараметров, 1940–1975/1976–2016 гг.

Table 2. Correlation coefficients of average water flow rates and meteoroparameters, 1940–1975/1976–2016

Средний расход воды, м ³ /с	N	Средняя годовая температура, °С	Сумма осадков за год, мм	Температура холодного периода, °С	Осадки холодного периода, мм	Температура теплого периода, °С	Осадки теплого периода, мм
Год	25/40	-0,22/ -0,33	0,62/0,6	-0,15/-0,08	0,25/0,25	-0,33/-0,42	0,71/0,68
Половодье	30/40	–	–	-0,22/0,05	0,41/0,46	–	–
Летне-осенняя межень	30/40	–	–	–	–	-0,3/-0,53	0,9/0,74
Зимняя межень	25/40	–	–	0,07/0,26	0,15/0,37	–	–

Примечание: значения коэффициентов, достоверных при уровне значимости 0,05, выделены жирным шрифтом, N – количество лет, взятое для расчета коэффициентов корреляции, «–» – коэффициенты корреляции не рассчитывались.

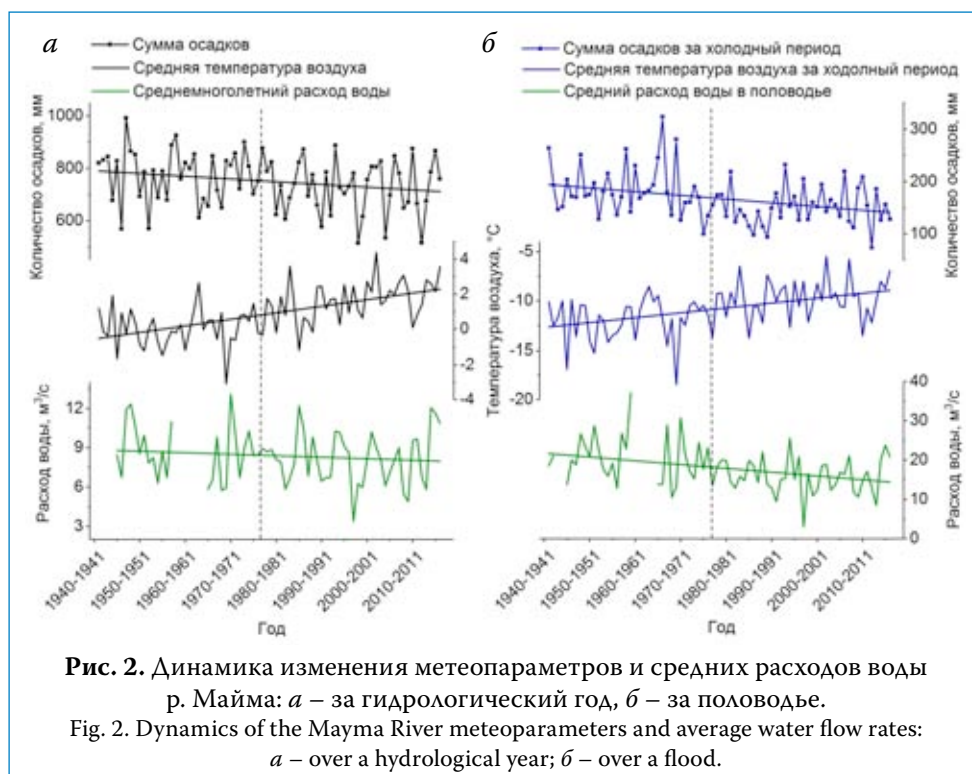


Рис. 2. Динамика изменения метеопараметров и средних расходов воды р. Майма: а – за гидрологический год, б – за половодье.

Fig. 2. Dynamics of the Mayma River meteoroparameters and average water flow rates: а – over a hydrological year; б – over a flood.

запасов грунтовых вод, расходующихся на формирование зимнего стока, в результате чего к началу весеннего снеготаяния влагозапасы снежного покрова уменьшаются. Таким образом, потепление зим, наряду с уменьшением количества осадков холодного периода, создает условия для снижения стока половодья. Несмотря на этот факт, значимой корреляционной связи между средним расходом воды в половодье и температурой воздуха холодного периода не обнаружено, а коэффициенты корреляции расхода воды с зимними осадками в 1940–1975 и 1976–2016 гг. близки по величине: $r = 0,41$ и $0,46$ соответственно (табл. 2).

Изменения стока летне-осенней межени за весь период наблюдений характеризуются близким к нулю трендом и высокой корреляционной связью с количеством осадков теплого периода ($r = 0,9/0,74$) (рис. 3а, табл. 2). При этом важно отметить, что при отсутствии значимых изменений стока с 1976 г. вклад температуры воздуха теплого периода в изменение среднего расхода воды летне-осенней межени возрастает, а вклад количества осадков теплого периода снижается.

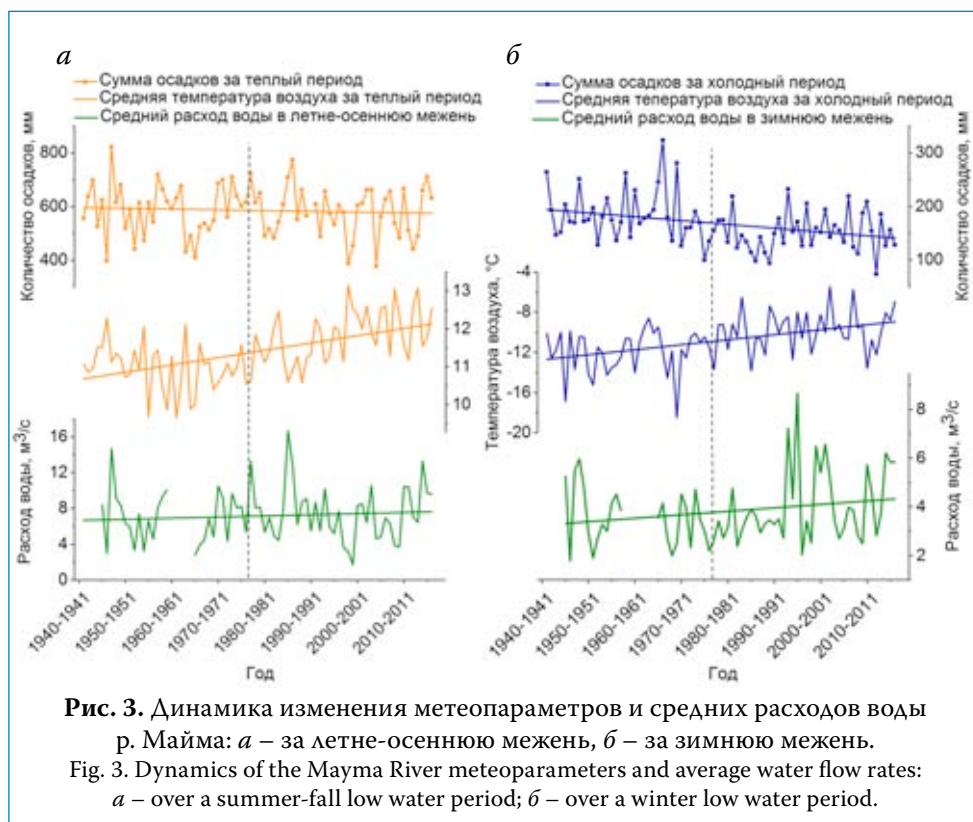


Рис. 3. Динамика изменения метеопараметров и средних расходов воды р. Майма: *а* – за летне-осеннюю межень, *б* – за зимнюю межень.
Fig. 3. Dynamics of the Mayma River meteorological parameters and average water flow rates: *а* – over a summer-fall low water period; *б* – over a winter low water period.

С начала 1990-х годов наблюдается увеличение стока зимней межени (рис. 3б). Слабая, но значимая корреляционная связь ($r = 0,37$) между зимним расходом воды и осадками холодного периода проявляется в 1976–2016 гг., это подтверждает описанный выше механизм увеличения зимнего стока в результате потепления зим. Тем не менее, с температурой холодного периода значимой связи не обнаруживается, хотя увеличение коэффициента корреляции в 1976–2016 гг. по сравнению с 1940–1975 гг. свидетельствует о возрастании вклада температурного фактора в формирование стока зимней межени ($r = 0,07/0,26$).

Для оценки сезонных изменений стока по данным о ежедневных расходах воды за периоды 1940–1975 и 1976–2016 гг. были определены среднемесячные и среднесезонные расходы воды, их доли в процентах от среднегодового, а также средние максимальные расходы воды в половодье и средние минимальные в летне-осеннюю и зимнюю межень (табл. 3). Расходы воды во все месяцы половодья в период современного изменения климата снижаются, особенно заметно снижение проявляется в апреле. Апрель для р. Майма является самым многоводным, в большинстве случаев пик половодья приходится именно на этот месяц. Средние максимальные расходы воды апреля в 1976–2016 гг. по сравнению с 1940–1975 гг. снизились с 91,2 до 59,3 м³/с, т. е. на 35 %, объем половодья в среднем уменьшился на 9 %.

Учитывая слабое изменение годового стока и уменьшение стока половодья, можно сделать вывод о перераспределении стока внутри года по сезонам. Так, доля стока летне-осенней и зимней межени в период 1976–2016 гг. увеличивается на 5,4 и 3,7 % соответственно (табл. 3). Наибольшее увеличение стока летне-осенней межени наблюдается в июле и августе, однако в эти месяцы положительных тенденций атмосферных осадков не прослеживается, что свидетельствует об увеличении доли грунтового питания в формировании стока. Месяцем с самой низкой водностью является февраль, тем не менее, именно в феврале проявляется наибольшее в период зимней межени увеличение стока, связанное, по-видимому, с повышением числа зимних оттепелей и высоким положительным трендом температуры воздуха в феврале (табл. 1).

Так, тенденция к снижению годового стока в период современного изменения климата формируется в результате снижения водности половодья, однако, наряду с этим, наблюдается перераспределение стока по сезонам года – при снижении водности половодья увеличивается водность летне-осенней и зимней межени.

Таблица 3. Изменения внутригодового распределения стока и средних максимальных расходов воды р. Майма – с. Майма в периоды 1940–1975 и 1976–2016 гг.

Table 3. Changes of the Mayma River within-year runoff and average maximal water flow rates distribution during the periods of 1940–1975 and 1976–2016.

Период, год	Половодье			Летне-осенняя межень				Зимняя межень				
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март
Средний расход воды, м ³ /с												
1940–1975	32,08	19,62	9,80	7,31	6,53	6,76	6,57	6,06	3,49	2,44	2,06	4,04
	20,5			6,8				3,6				
1976–2016	23,94	14,11	9,53	8,17	8,09	6,67	7,27	6,15	3,68	3,00	2,88	4,45
	15,9			7,6				4,0				
Средний расход воды, %												
1940–1975	30,0	18,4	9,18	6,85	6,12	6,34	6,15	5,68	3,27	2,28	1,93	3,78
	57,6			25,4				16,9				
1976–2016	24,4	14,4	9,73	8,34	8,26	6,81	7,43	6,28	3,76	3,06	2,95	4,55
	48,6			30,8				20,6				
Средние максимальные расходы воды в половодье, м ³ /с												
1940–1975	91,2	51,0	25,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	56,0			–				–				
1976–2016	59,2	37,2	22,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	39,7			–				–				

Ледовый режим

При потеплении климата ледовый режим является наиболее чувствительным элементом гидрологического режима водных объектов. Даты установления и разрушения ледового покрова, а также продолжительность ледостава зависят от температуры воздуха холодного и переходных периодов, продолжительности устойчивого морозного периода и теплозапаза водной массы. На р. Майма с зимы 1975–1976 гг. наблюдается значительное уменьшение продолжительности ледостава (рис. 4а) и рост количества дней с ледовыми явлениями: чаще отмечаются шугоходы различной интенсивности, сало, забереги и полынья; участились случаи неполного ледостава. В 1940–1975 гг. продолжительность ледостава изменялась в диапазоне от 117 до 164 дней и в среднем составляла 140 дней при средней температуре холодного периода –12 °С. По данным гидрологических ежегодников в этот

период отмечалось частичное промерзание реки и интенсивное шугообразование (1962–1963, 1965, 1967–1969, 1974–1975 гг.). В 1976–2015 гг. средняя продолжительность ледостава уменьшилась почти в 2,5 раза и составляла 58 дней. При этом в некоторые годы ледостав отсутствовал полностью либо имел продолжительность не более двух недель (1996–1997, 2003–2004, 2005–2007 гг.).

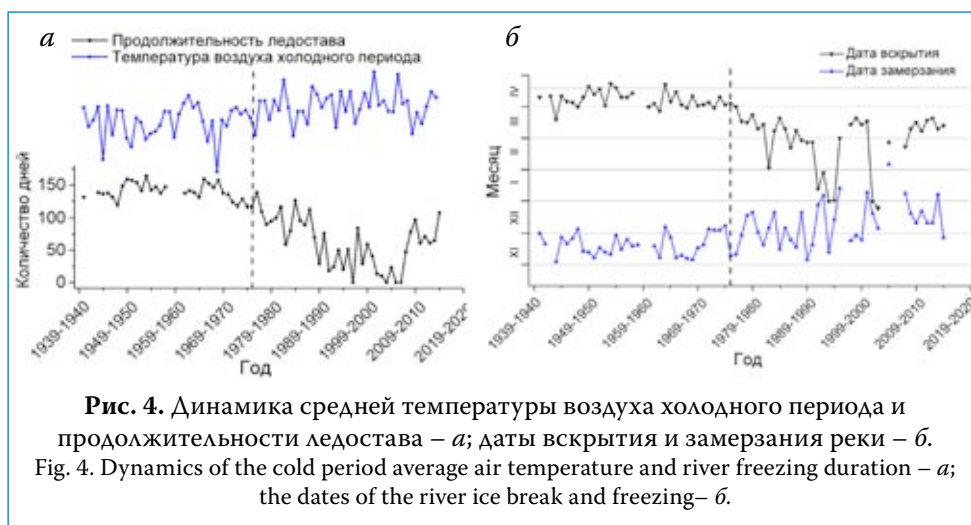


Рис. 4. Динамика средней температуры воздуха холодного периода и продолжительности ледостава – а; даты вскрытия и замерзания реки – б.
Fig. 4. Dynamics of the cold period average air temperature and river freezing duration – а; the dates of the river ice break and freezing – б.

Продолжительность ледостава в 1976–2015 гг. сокращалась как за счет более поздних дат замерзания, так и за счет более ранних дат вскрытия (рис. 4б). Смещению дат вскрытия и замерзания способствовали высокие положительные тренды температуры воздуха в ноябре-декабре и февралемарте (табл. 1). С 1976 г. значительно возросла изменчивость дат вскрытия и замерзания реки, что отразилось и на изменчивости продолжительности ледостава. Так, среднеквадратическое отклонение продолжительности ледостава в 1940–1975 гг. составило 11 дней, дат вскрытия 8 дней, замерзания – 13 дней, в 1976–2015 гг. – 19, 32 и 39 дней соответственно, т. е. изменчивость возросла в 2–3 раза. В период до 1976 г. ледостав на р. Майма устанавливался в ноябре или в первой декаде декабря – средняя дата замерзания 19 ноября. В период 1976–2015 гг. образование ледостава в среднем стало наблюдаться позже – средняя дата замерзания 10 декабря; в отдельные годы замерзание приходилось на первую декаду января, а в 2005 г. река покрылась льдом только 3 февраля. Вскрытие р. Майма до 1976 г. фиксировалось преимущественно в апреле и последней декаде марта – средняя дата вскрытия 6 апреля. После 1976 г. даты вскрытия сместились на февральмарт, а в отдельные годы – на январь и даже декабрь, средняя дата вскрытия

тия – 25 февраля. В условиях такого значительного разброса дат вскрытия и замерзания в последние 40 лет определение четких границ переходных сезонов не представляется возможным. Тем не менее, очевидна зависимость продолжительности ледостава от средней температуры холодного периода: коэффициент корреляции параметров за весь период наблюдений равен 0,61, что соответствует средней связи. Невысокую величину коэффициента корреляции можно объяснить ростом вклада в процесс замерзания реки фактора теплозапасов водной массы, увеличивающихся вследствие роста температур воздуха в период летне-осенней межени и поступления талой снеговой воды в реку в периоды зимних оттепелей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что ключевым фактором изменений водного режима р. Майма являются климатические изменения, наблюдаемые в холодный период года. Повышение температуры воздуха в зимние месяцы способствует уменьшению глубины промерзания почвы и пополнению запасов грунтовых вод в периоды оттепелей и снеготаяния. В результате за счет увеличения доли грунтового питания сток зимней межени возрастает, а интенсивность половодья снижается.

Наблюдаемое с 1976 г. снижение количества осадков холодного периода и расходование их на сток в период зимней межени выражается в меньшем объеме половодья. Так, средние максимальные расходы воды апреля в 1976–2016 гг. по сравнению с 1940–1975 гг. снизились на 35 %, объем половодья в среднем уменьшился на 9 %. При отсутствии значимого тренда стока в летне-осеннюю межень в 1940–2016 гг. в его внутригодовом распределении выявлено увеличение водности этого сезона в 1976–2016 гг. на 5,4 %, главным образом, в результате повышения водности июля и августа. Отсутствие положительных трендов атмосферных осадков в июле и августе свидетельствует об увеличении грунтового питания. Потепление зим проявилось и в ледовом режиме р. Майма: с начала периода современного изменения климата (1976 г.) наблюдается сокращение продолжительности ледостава, смещение дат замерзания реки – на более поздние, а дат вскрытия – на более ранние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2014. 1009 с.
2. Экстремальные гидрологические ситуации / отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанов, И.С. Зайцева. М.: ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. 464 с.
3. *Ипполитов И.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В., Морару Е.И.* Изменчивость климата азиатской территории России в 1975–2012 годах. // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 13–21.

4. Сухова М.Г., Модина Т.Д. Современные изменения температурного режима воздуха и режима увлажнения на Алтае как проявление регионального изменения климата // Мир науки, культуры, образования. 2007. № 2. С. 14–18.
5. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2016 году. Горно-Алтайск. 2017. Режим доступа: http://www.altai-republic.ru/society/doklad_nature_2016.pdf (дата обращения 12.2018).
6. Семенов В.А. Климатически обусловленные изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках России // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 74–83.
7. Золотов Д.В., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Ландшафтные факторы формирования стока в бассейне р. Майма (Северный и Северо-Восточный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 2. С. 360–369.
8. Зуев В.В., Кураков С.А., Уйманова В.А. Комплексный мониторинг погодноклиматического и гидрологического режима бассейна р. Майма (Горный Алтай): первые результаты // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 70–75.
9. Харламова Н.Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: Изд-во АлтГУ. 2013. 156 с.
10. География Сибири в начале XXI века: в 6 т. Т. 5. Западная Сибирь. // отв. ред. Ю.И. Винокуров, Б.А. Красноярова. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2016 г. 447 с.
11. Шмакин А.Б., Харламова Н.Ф., Яшина Т.В. и др. Климат Алтае-Саянского эко-региона, его современные и возможные в будущем изменения // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии: мат-лы межд. науч. конф. (Иркутск, 7–21 сент. 2012 г.). Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2012. Т. 1. С. 112–117.
12. Температура воздуха и количество осадков (ежедневные данные) // Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (дата обращения 01.2019).
13. Мирвис В.М., Гусева И.П. Изменения в режиме оттепелей на территории России // Труды ГГО. 2007. Вып. 556. С. 101–115.
14. Галахов В.П. Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне реки Майма) // Известия Алтайского отделения географического общества. Барнаул. 2015. № 3 (38). С. 35–40.

Для цитирования: Зуев В.В., Короткова Е.М., Уйманова В.А. Водный и ледовый режим реки Майма в условиях современных изменений климата (Горный Алтай) // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 25–39.

Сведения об авторах:

Зуев Владимир Владимирович, чл.-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: vzuev@list.ru

Короткова Екатерина Михайловна, научный сотрудник, канд. геогр. наук, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: katia_sova@mail.ru

Уйманова Валерия Александровна, инженер, ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук», Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3; e-mail: skvaleri91@mail.ru

WATER AND ICE REGIME OF THE MAYMA RIVER (THE ALTAI MOUNTAINS) IN THE CONTEXT OF THE CURRENT CLIMATE CHANGE

Vladimir V. Zuev, Ekaterina M. Korotkova, Valeria A. Uymanova

Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

Abstract: The paper considers changes in the annual and seasonal runoff, as well as the ice regime of the Mayma River in response to changing climatic conditions in the catchment area during the period of 1940–2016. Significant positive trends, especially occurring during the winter months, have been identified in the long-term course of annual and seasonal air temperatures. A significant decrease in precipitation rate is observed in the cold period of the year. According to the analysis of the hydrological characteristics for the periods of 1940–1975 (the background period) and of 1976–2016 (the period of contemporary climate change), the annual runoff for the Mayma River basin shows a downward trend against the background of the observed climatic changes. The decrease in annual flow is the result of a decrease in the flood flow. Thus, with the observed winter warming and a decrease in the amount of solid precipitation, the average maximum discharge for the wettest month (April) decreased by 35 % in the period of 1976–2016 with respect to the background level of the 1940–1976 period. Winter warming contributes to less soil freezing and replenishment of groundwater during periods of winter thaw and intensive snowmelt, which lead to an increase in runoff in the last winter months and the first months of summer-autumn low-flow periods. Winter warming manifested itself in the ice mode of the river Mayma. Since the beginning of the period of the current climate change (1976) there has been an observed decrease in the duration of ice freeze-up and a shift towards later freezing dates and earlier break-up dates.

Keywords: Mayma River, Altai Mountains, water regime, ice regime, seasonal runoff, climate change.

About the authors:

Vladimir V. Zuev, Corresponding Member of RAS, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Principal Researcher, RAS SB Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, pr. Akademicheskyy, 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: vzuev@list.ru

Ekaterina M. Korotkova, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, RAS SB Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, pr. Akademicheskyy., 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: katia_sova@mail.ru

Valeria A. Uymanova, Engineer, RAS SB Institute of monitoring of climatic and ecological systems, pr. Akademicheskyy., 10/3, Tomsk, 634055, Russia, e-mail: skvaleri91@mail.ru

For citation: Zuyev V.V., Korotkova E.M., Uymanova V.A. *Water and Ice Regime of the Mayma River (the Altay Mountains) in the Context of the Current Climate Change // Water Sector of Russia, No. 5., P. 25-39.*

REFERENCES

1. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniiakh klimata i ikh posledstviakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [The Rosgidromet second assessment report on the climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. М.: FGBU «IGKE Rosgidrometa i RAN», 2014. 1009 s.

2. Ekstremal'nye gidrologicheskie situatsii [Extreme hydrological situation]s/ otv. red. N.I. Koronkevich, E.A. Barabanova, I.S. Zaitseva. M.: OOO «Media-PRESS», 2010. 464 s.
3. Ippolitov I.I., Loginov S.V., Khariutkina E.V., Moraru E.I. Izmenchivost' klimata aziatskoi territorii Rossii v 1975–2012 godakh. [Climate variability of the Asian territory of Russia] // Geografiia i prirodnye resursy. 2014. № 4. S. 13–21.
4. *Sukhova M.G., Modina T.D.* Sovremennye izmeneniia temperaturnogo rezhima vozdukha i rezhima uvlazhneniia na Altae, kak proiavlennie regional'nogo izmeneniia klimata [Current changes of the temperature regime and moistening regime in Altay as consequences of the regional climate change] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniia. 2007. № 2. S. 14-18.
5. Doklad o sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredey Respubliki Altai v 2016 godu. [Report on the environment ataus and protection in the Republic of Altay in 2016] Gorno-Altaysk. 2017. Rezhim dostupa: http://www.altai-republic.ru/society/doklad_nature_2016.pdf (data obrashcheniia 12/2018).
6. *Semenov V.A.* Klimaticheski obuslovlennye izmeneniia opasnykh i neblagopriiatnykh gidrologicheskikh iavlenii na rekakh Rossii [Climate-caused changes of hazardous and unfavorable hydrological phenomena at the rivers of Russia] // Meteorologiya i gidrologiya. 2011. №2. S. 74-83.
7. *Zolotov D.V., Lubenets L.F., Chernykh D.V.* Landshaftnye faktory formirovaniia stoka v basseine r. Maima (Severnyi i Severo-Vostochnyi Altai) [The landscape factors of the runoff formation in the Mayma river] // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniia. 2012. №2. S. 360–369.
8. *Zuev V.V., Kurakov S.A., Uimanova V.A.* Kompleksnyi monitoring pogodno-klimaticheskogo i gidrologicheskogo rezhima basseina r. Maima (Gorni Altai): pervye rezul'taty [Comprehansive monitoring of the weather/climatic and hydrological regimes of the Mayma river basin (Gorni Altai); first results] // Polzunovskii vestnik. 2017. № 3. S. 70–75.
9. *Kharlamova N.F.* Otsenka i prognoz sovremennykh izmenenii klimata Altaiskogo regiona: monografiia [Assessment and forecast of the contemporary changes of the Altay region climate] // N. F. Kharlamova; AltGU. Barnaul: Izd-vo AltGU. 2013. 156 s.
10. Geografiia Sibiri v nachale XXI veka [Geography of Siberia in the early XXI century] : v 6 t. T. 5. Zapadnaia Sibir' // Otv. red. Iu.I. Vinokurov, B.A. Krasnoiarova – Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2016 g. – 447 s.
11. *Shmakina A.B., Kharlamova N.F., Iashina T.V. i dr.* Klimat Altae-Saianskogo eko regiona, ego sovremennye i vozmozhnye v budushchem izmeneniia [Climate of the Altay'Sayan eco/region, its current and potentially possible future changes] // Regional'nyi otklik okruzhaiushchei sredey na global'nye izmeneniia v Severo-Vostochnoi i Tsentral'noi Azii: Materialy Mezhdunar. nauch. konf. (Irkutsk, 7–21 sent. 2012 g.). – Irkutsk: Izd-vo IG SO RAN, 2012. – T. 1. – S. 112–117.
12. Temperatura vozdukha i kolichestvo osadkov (ezhednevnye dannye) [Air temperature and precipitation amount (daily data)] // Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut gidrometeorologicheskoi informatsii – Mirovoi tsentr dannykh. Rezhim dostupa: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation> (data obrashcheniia 01.2019).
13. *Mirvis V.M., Guseva I.P.* Izmeneniia v rezhime ottepelei na territorii Rossii [Changes in the thaw regime on the territory of Russia] // Tr. GGO. 2007. Vyp. 556. S. 101–115.
14. *Galakhov V.P.* Usloviia formirovaniia polovod'ia maloi gornoj reki (po issledovaniiam v basseine reki Mayma) [Conditions of a small mountain river flood formation (results of researchers in the Mayna River basin)] // Izvestiia Altaiskogo otdeleniia geograficheskogo obshchestva. Barnaul. 2015. № 3(38). S. 35-40.