

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.512

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА В БАССЕЙНАХ КРУПНЕЙШИХ ПРИТОКОВ БАЙКАЛА В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI вв.¹

© 2023 г. С. Р. Чалов^{a, *}, И. С. Денисова^{a, b, **}, В. Ю. Григорьев^{a, b, ***}

^aМГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет,
Москва, 119991 Россия

^bИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

*e-mail: hydroserg@mail.ru

**e-mail: ira.denisova@icloud.com

***e-mail: vadim308g@mail.ru

Поступила в редакцию 17.11.2022 г.

После доработки 20.02.2023 г.

Принята к публикации 01.06.2023 г.

Выполнен анализ многолетней изменчивости водного баланса бассейнов 20 крупнейших притоков Байкала. Величины речного стока получены по фактическим данным периода с 1976 по 2019 г., а испарения, осадков и испаряемости — по данным реанализа ERA5-Land с 1976 по 2020 г. Получены данные об увеличении испаряемости с 1976 по 2020 г. на территории всех анализируемых водосборных бассейнов — от 0.39 до 0.62%/год. Умеренное или статистически незначимое уменьшение характерно для осадков (0.25 до 0.59%/год) и расходов воды, главным образом за счет сокращения летнего стока со скоростью 5.6%/10 лет. Возможная роль в указанных процессах изменений растительного покрова исследована путем определения параметра NDVI в 2019 г. по сравнению с 2002 г. по материалам космической съемки MOD13A3 и MYD13A3 спектрорадиометра MODIS спутников Тегга и Aqua. Сделан вывод о важной роли осадков в уменьшении максимального стока в бассейне оз. Байкал.

Ключевые слова: речной сток, притоки Байкала, осадки, испарение, изменчивость растительного покрова, факторы изменений водного стока.

DOI: 10.31857/S0321059622600776, **EDN:** NWCYRM

ВВЕДЕНИЕ

Исследования изменений речного стока стали актуальными для бассейна Байкала с 1970-х гг. на фоне глобального изменения климатической системы [14, 16, 17]. Они проводились на основе анализа рядов наблюдений и численного моделирования речного стока [8, 9, 11, 15, 22]. Для значительной части бассейна Байкала отмечалось уменьшение стока. При этом область отрицательных аномалий годового стока не ограничивается бассейном Байкала, а простирается далее на восток, затрагивая также верховья Амура [12].

В большинстве цитируемых исследований рассматривают лишь несколько крупнейших притоков Байкала [7] либо ограничиваются годо-

вым стоком [4]. Цель настоящей статьи — исследование особенностей многолетней изменчивости составляющих водного баланса для 20 притоков Байкала и факторов, их определяющих.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выявления факторов многолетней изменчивости водного стока на 20 крупнейших реках — притоках Байкала за 1976–2019 гг. были выбраны 16 гидрологических постов (табл. 1) в нижнем течении рек. Для четырех притоков — Кичеры, Мантурихи, Сармы, Томпуды — данные измерений расходов воды отсутствуют. Для р. Кики (с. Хаим) данные для 2005–2019 гг. были восстановлены по данным расходов на р. Итанце (с. Турунтаево) с помощью уравнения линейной регрессии ($R_{\text{год}}^2 = 0.54$, $R_{\text{тепл}}^2 = 0.52$). Выбор 1976 г. связан с началом интенсивного роста температуры воздуха как в мире, так и в бассейне Байкала. Заключительные годы подбирались по наличию доступных данных на момент проведения исследова-

¹ Исследование выполнено в рамках программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”, по планам НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (проект 121051200166-4).

Таблица 1. Характеристики гидрометрических постов в бассейне Байкала

№ г/п	Река	Пост	Расстояние до устья, км	Период наблюдений	Длина ряда 1976–2019 гг. (год/теплый период)	S , км ²	$Q_{\text{сред}}$ за 1976–2019 гг., м ³ /с
1	Селенга	рзд Мостовой	127	1934–2019	44/44	440000	818.3
2	Большая Речка	ст. Посольская	23	1928–2019	44/44	565	11.5
3	Снежная	д. Выдрино	0.5	1964–2019	44/44	3000	45
4	Хара-Мурин	пос. Мурино	5	1939–2019	44/44	1150	223
5	Утулик	пос. Утулик	3.2	1964–2019	44/44	959	16.8
6	Голоустная	с. Большое Голоустное	3.5	1941–2019	44/44	2260	9
7	Бугульдейка	д. Большая Бугульдейка	4	1950–2019	42/43	1700	5.3
8	Анга	с. Еланцы	14	1959–2019	44/44	727	2.3
9	Рель	с. Байкальское	3.9	1950–2019	42/42	567	13.4
10	Тыя	гмп Тыя	20	1975–2019	44/44	2380	39.6
11	Верхняя Ангара	с. Верхняя Заимка	31	1932–2019	44/44	20600	272.9
12	Баргузин	пос. Баргузин	56	1932–2019	44/44	19800	121.7
13	Максимиха	с. Максимиха	1	1954–2019	44/44	440	1.7
14	Турка	с. Соболиха	26	1961–2019	44/44	5050	54
15	Кика	с. Хаим	44	1959–2004	44/44	1740	23.1
16	Большая Сухая			1952–2019	44/44	379	3.8

дования (2019 г.). Получение данных о стоке за 2020 г. позволило оценить возможные изменения результатов работы по мере удлинения рядов. Использованы данные Гидрометцентра России, гидрологических ежегодников и данные автоматизированной системы государственного мониторинга водных объектов [1].

Оценка изменений климатических характеристик для 20 бассейнов притоков Байкала (рис. 1) была основана на данных, полученных из реанализа ERA5-Land [18]. Использовались среднемесячные данные по суммам осадков P , испарению E и испаряемости E_0 , представленные в узлах сетки $0.1^\circ \times 0.1^\circ$. Средняя для водосбора величина рассчитывалась как средневзвешенное между величинами в узлах сетки в пределах водосбора.

Исследование факторов многолетней изменчивости водного стока проводилось для теплого периода (июнь–сентябрь) и для года в целом. Статистический анализ включал в себя выявление линейных трендов методом наименьших квадратов для P , E , E_0 и водного стока Q за период с 1976 по 2020 г. (2019 г. для Q) как в абсолютном выражении (мм/год), так и относительном (%/год). Проверка значимости осуществлялась с помощью теста Манна–Кендалла при уровне значимости 5%. Если уровень значимости p -value был >0.05 , то нулевая гипотеза принималась.

Также рассчитывались коэффициенты детерминации R^2 , которые интерпретировались следующим образом: $0.01 \leq R^2 \leq 0.09$ – теоретически недостаточно подтвержденная связь, $0.09 \leq R^2 \leq 0.49$ – средняя (умеренная) связь, $0.49 \leq R^2 \leq 1$ – достаточно сильная связь.

Для $Q_{\text{год}}$ и $Q_{\text{тепл}}$ за рассматриваемый период составлены уравнения множественной и парной регрессии от P и E . Вклад P в изменчивость Q принимался равным R^2 зависимости $Q(P)$. Величины E и P не независимы, так как P определяют количество доступной для испарения влаги, а также связаны с другими метеопараметрами (облачностью, влажностью воздуха, скоростью ветра и др.), которые влияют на величину испарения. Поэтому вклад E в изменчивость Q оценивался по тому, насколько учет E в модели регрессии позволяет полнее описать изменчивость Q по сравнению с учетом только P , т. е. рассчитывалось, насколько увеличивается коэффициент детерминации зависимости Q при включении испарения в уравнение множественной регрессии: $R^2(Q(E)) = R^2(Q(P, E)) - R^2(Q(P))$.

Для анализа распределения NDVI задействованы доступные материалы космической съемки за 2002 и 2019 гг., представленной в виде продуктов MOD13A3 и MYD13A3. Продукты MODIS NDVI и EVI рассчитываются на основе коэффи-

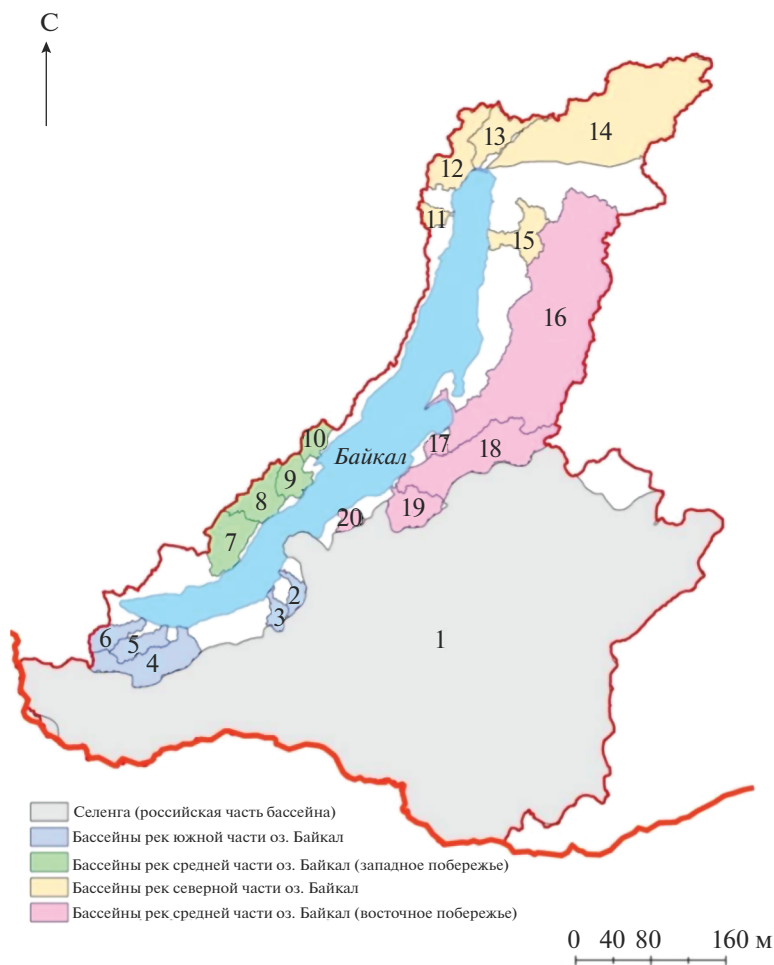


Рис. 1. Анализируемые водосборные бассейны рек-притоков Байкала. 1 – Селенга, 2 – Большая речка, 3 – Мантуриха, 4 – Снежная, 5 – Хара-Мурин, 6 – Утулик, 7 – Голоустная, 8 – Бугульдейка, 9 – Анга, 10 – Сарма, 11 – Рель, 12 – Тья, 13 – Кичера, 14 – Верхняя Ангара, 15 – Томпуда, 16 – Баргузин, 17 – Максимиha, 18 – Турка, 19 – Кика, 20 – Большая Сухая.

циентов отражения поверхности с поправкой на молекулярное рассеяние, поглощение озона и аэрозолей. В данном алгоритме используется средневзвешенное временное значение. На основе данных MODIS, полученных с портала EarthExplorer [20], для проведения оценки NDVI посчитаны величины площадей объектов некоторых категорий: открытая почва ($NDVI = 0.025-0.5$); разреженная растительность ($NDVI = 0.5-0.7$); лесные массивы ($NDVI \geq 0.7$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ годовых рядов P выявил умеренное уменьшение их количества за период с 1976 по 2020 г. только для водосборов, расположенных южнее 53° с.ш., в диапазоне от 0.25 до 0.59% в год. На водосборах рек Рели, Тьи, Кичеры, Верхняя Ангара, Томпуды и Баргузин изменения носят

статистически незначимый характер (табл. 2). Изменение P теплого периода невелико для бассейнов рек южной части Байкала (Снежная, Хара-Мурин и Утулик). Диапазон уменьшения для остальных водосборов колеблется от 0.5 до 0.69%/год.

Анализ рядов E_0 показал значимый рост с 1976 по 2020 г. на территории всех анализируемых водосборных бассейнов. Наибольший рост характерен для среднегодовых значений E_0 (кроме бассейнов Утулика, Рели, Тьи, Кичеры, Верхней Ангары, Томпуды) – от 0.39 до 0.62%/год, тогда как в теплый период происходит ее умеренное увеличение – от 0.32 до 0.7%/год. Рост E_0 объясняется повышением температуры в регионе, которое происходило быстрее повышения глобальной температуры [11].

Таблица 2. Изменчивость E_0 , P , E и Q воды в бассейнах притоков Байкала с 1976 по 2020 г.

Средне-годовые		Селенга	Бассейны рек южной части оз. Байкал					Бассейны рек средней части оз. Байкал (западное побережье)			
			Большая Речка	Манту-риха	Снежная	Хара-Мурин	Утулик	Голоустная	Бугульдейка	Анга	Сарма
P	R^2	0.16	0.21	0.23	0.14	0.20	0.16	0.24	0.22	0.20	0.25
	%/год	−0.44%	−0.49%	−0.47%	−0.25%	−0.27%	−0.25%	−0.55%	−0.57%	−0.58%	−0.59%
E_0	R^2	0.57	0.64	0.68	0.57	0.53	0.46	0.64	0.59	0.58	0.61
	%/год	0.49%	0.58%	0.57%	0.45%	0.45%	0.39%	0.56%	0.52%	0.49%	0.56%
E	R^2	0.05	0.41	0.44	0.51	0.47	0.40	0.03	0.20	0.21	0.01
	%/год	−0.09%	0.30%	0.35%	0.39%	0.41%	0.32%	−0.07%	−0.28%	−0.31%	0.04%
Q	R^2	0.03	0.02		0.00	0.01	0.01	0.00	0.16	0.04	
	%/год	−0.51%	−0.22%		0.03%	−0.15%	0.19%	−0.04%	−1.08%	−0.61%	
Средне-годовые		Бассейны рек северной части оз. Байкал					Бассейны рек средней части оз. Байкал (восточное побережье)				
		Рель	Тыя	Кичера	Верхняя Ангара	Томпуда	Баргузин	Максими-мха	Турка	Кика	Большая Сухая
P	R^2	0.06	0.04	0.03	0.01	0.01	0.05	0.14	0.13	0.16	0.17
	%/год	−0.22%	−0.16%	−0.12%	−0.08%	−0.06%	−0.21%	−0.45%	−0.38%	−0.44%	−0.47%
E_0	R^2	0.47	0.44	0.46	0.49	0.32	0.50	0.61	0.53	0.55	0.58
	%/год	0.47%	0.50%	0.52%	0.47%	0.42%	0.49%	0.62%	0.53%	0.55%	0.57%
E	R^2	0.55	0.33	0.38	0.41	0.34	0.48	0.33	0.57	0.51	0.10
	%/год	0.43%	0.47%	0.47%	0.42%	0.47%	0.32%	0.28%	0.51%	0.32%	0.13%
Q	R^2	0.00	0.01		0.01		0.01	0.09	0.00	0.06	0.03
	%/год	0.08%	0.12%		0.17%		−0.17%	0.74%	−0.16%	−0.33%	−0.36%
Теплый период		Селенга	Бассейны рек южной части оз. Байкал					Бассейны рек средней части оз. Байкал (западное побережье)			
			Большая Речка	Манту-риха	Снежная	Хара-Мурин	Утулик	Голоустная	Бугульдейка	Анга	Сарма
P	R^2	0.10	0.12	0.13	0.06	0.08	0.07	0.17	0.16	0.14	0.17
	%/год	−0.50%	−0.58%	−0.57%	−0.24%	−0.26%	−0.24%	−0.65%	−0.68%	−0.68%	−0.69%
E_0	R^2	0.23	0.36	0.36	0.28	0.28	0.22	0.43	0.41	0.40	0.43
	%/год	0.37%	0.48%	0.44%	0.33%	0.35%	0.32%	0.55%	0.54%	0.49%	0.54%
E	R^2	0.20	0.06	0.07	0.28	0.31	0.24	0.11	0.27	0.27	0.03
	%/год	−0.21%	0.10%	0.11%	0.24%	0.27%	0.21%	−0.17%	−0.39%	−0.44%	−0.08%
Q	R^2	0.09	0.11		0.12	0.03	0.01	0.02	0.10	0.14	
	%/год	−0.86%	−0.81%		−0.21%	−0.33%	0.22%	−0.45%	−1.10%	−1.23%	
Теплый период		Бассейны рек северной части оз. Байкал					Бассейны рек средней части оз. Байкал (восточное побережье)				
		Рель	Тыя	Кичера	Верхняя Ангара	Томпуда	Баргузин	Максими-мха	Турка	Кика	Большая Сухая
P	R^2	0.05	0.04	0.04	0.03	0.00	0.04	0.11	0.11	0.11	0.09
	%/год	−0.32%	−0.27%	−0.24%	−0.19%	0.02%	−0.29%	−0.69%	−0.55%	−0.58%	−0.56%
E_0	R^2	0.29	0.32	0.33	0.31	0.27	0.31	0.36	0.35	0.34	0.33
	%/год	0.41%	0.49%	0.53%	0.45%	0.45%	0.44%	0.70%	0.38%	0.52%	0.51%
E	R^2	0.52	0.37	0.32	0.33	0.30	0.23	0.06	0.29	0.12	0.01
	%/год	0.37%	0.44%	0.46%	0.34%	0.47%	0.18%	0.11%	0.21%	0.13%	−0.06%
Q	R^2	0.03	0.01		0.00		0.02	0.03	0.01	0.08	0.04
	%/год	−0.32%	−0.21%		−0.05%		−0.31%	0.61%	−0.37%	−0.55%	−0.56%

Разнонаправленные тренды изменений характерны для E . Максимальный рост среднегодовых значений за весь период зафиксирован в южной и восточной частях Байкала — в бассейнах рек Снежной (0.39%/год), Турки (0.38%/год) и Кики (0.32%/год), а также на водосборе р. Рели (0.43%/год) (табл. 2). Умеренное увеличение как за год, так и за теплый период происходит в северной и северо-восточной частях побережья озера и на территории бассейнов рек Хара-Мурин (0.41 и 0.27%/год соответственно) и Утулик (0.32 и 0.21%/год соответственно). Очевидно, что увеличение E на фоне уменьшения количества P связано с ростом E_0 .

Для бассейна Селенги и Голоустной изменения среднегодовых значений E носят статистически незначимый характер, однако в июне–сентябре происходит умеренное уменьшение данного показателя — на 0.21 и 0.17%/год соответственно (табл. 2). Отрицательные аномалии выявлены на территории водосборов Бугульдейки (0.28 и 0.39%/год для среднегодовых значений и значений за теплый период соответственно) и Анги (0.31 и 0.44%/год).

Несмотря на повсеместную значимость трендов E_0 , ее вклад в изменение Q невелик. Это объясняется малой изменчивостью рядов E_0 — коэффициент вариации составляет порядка 0.05, в то время как величина тренда варьирует от 2 до 4% за 10 лет. Разнонаправленное изменение P и E_0 приводит к неоднородной картине изменения реального E . Рост E как за год, так и за теплый сезон характерен для территорий со скоростью уменьшения $P \leq 0.8\%/год$.

Анализ рядов стока выявил незначимые тренды для большинства рек, впадающих в оз. Байкал. В целом среднегодовой сток анализируемых рек уменьшался со скоростью 41 м³/с/10 лет (2.8%/10 лет). Основную роль в этом играет р. Селенга, уменьшение стока которой составило 42.1 м³/с/10 лет. Наиболее интенсивное уменьшение стока наблюдалось на р. Бугульдейке — среднегодовой сток умеренно уменьшался на 10.8%/10 лет с 1976 по 2019 г. Только для нее изменения $Q_{год}$ были статистически значимы (табл. 2). При этом на соседних постах скорость изменения $Q_{год}$ существенно меньше (–0.4%/10 лет и –6.1%/10 лет).

Статистически значимое уменьшение $Q_{тепл}$ наблюдается в Селенге, Бугульдейке, Анге и Большой Речке (рис. 2). В среднем приток воды в оз. Байкал за теплый сезон уменьшался со скоростью 5.6%/10 лет, а положительный тренд был выявлен лишь на двух малых реках — Утулик (2.2%/10 лет) и Максимихе (6.1%/10 лет). Выявленная область отрицательного тренда, включающая в себя бассейны Селенги и рек средней части

Байкала на западном побережье, согласуется с областью отрицательных аномалий P и положительных аномалий E_0 .

Наблюдающиеся в бассейне Байкала циклические изменения в режиме стока, в частности увеличение стока после 2018 г. [13], указывают на временную неустойчивость полученных в работе оценок, которые справедливы только для периода, завершающегося 2019 г. Для проверки чувствительности трендов к длине рядов дополнительно были проведены расчеты с учетом данных о стоке за 2020 г. Они показали статистически значимое уменьшение $Q_{год}$ на реках Бугульдейке (8%/год) и Кике (1.45%/год), увеличение — на р. Максимихе (20.13%/год). Статистически значимое уменьшение $Q_{тепл}$ наблюдается на реках Бугульдейке (4.85%/год), Большой Речке (1.85%/год), Кике (1%/год) и Анге (8.83%/год). В целом, область отрицательных аномалий в период до 2020 г. согласуется с областью отрицательных трендов P и положительных трендов потенциального испарения в период до 2019 г. Однако в первом случае вклад Селенги в уменьшение стока уже считается статистически незначимым как для среднегодовых изменений, так и для значений в теплый период. Отличительной особенностью результатов становится статистически значимое увеличение $Q_{год}$ на р. Максимихе. Эти оценки позволяют сделать вывод о динамике составляющих водного баланса в условиях смены гидроклиматической обстановки, наблюдающейся в бассейне оз. Байкал с 2018 г. В этой связи выводы, полученные в работе, следует считать репрезентативными только для периода до 2019 г. При анализе уравнений множественной регрессии была выявлена связь Q с величинами P и E , однако только величина P является определяющим фактором изменчивости среднегодовых расходов и расходов за теплый период в бассейнах рек — притоков Байкала [5]: R^2 меняется от 0.14 до 0.67 (0.57 — для Селенги) для P и от 0.09 до 0.29 (0.09 — для Селенги) — для E . Медианное значений R^2 для P — 0.36, для E — 0.16. Пространственная картина уменьшения количества P , зафиксированного в южной и средней частях Байкала, практически идентична картине изменения Q (рис. 3). Скорость уменьшения Q больше скорости уменьшения P , что характерно для полуаридных районов и связано с отрицательным трендом коэффициента стока по мере уменьшения P . Однако недостаточная изученность и сложность условий формирования стока в регионе вносят большую неопределенность в прогноз возможных изменений стока.

Возможная роль трансформации растительного покрова в изменении составляющих водного баланса исследовалась на основе спутниковых данных и расчета индексов NDVI для двух лет — 2002 и 2019. Выявлено, что характеристики расти-

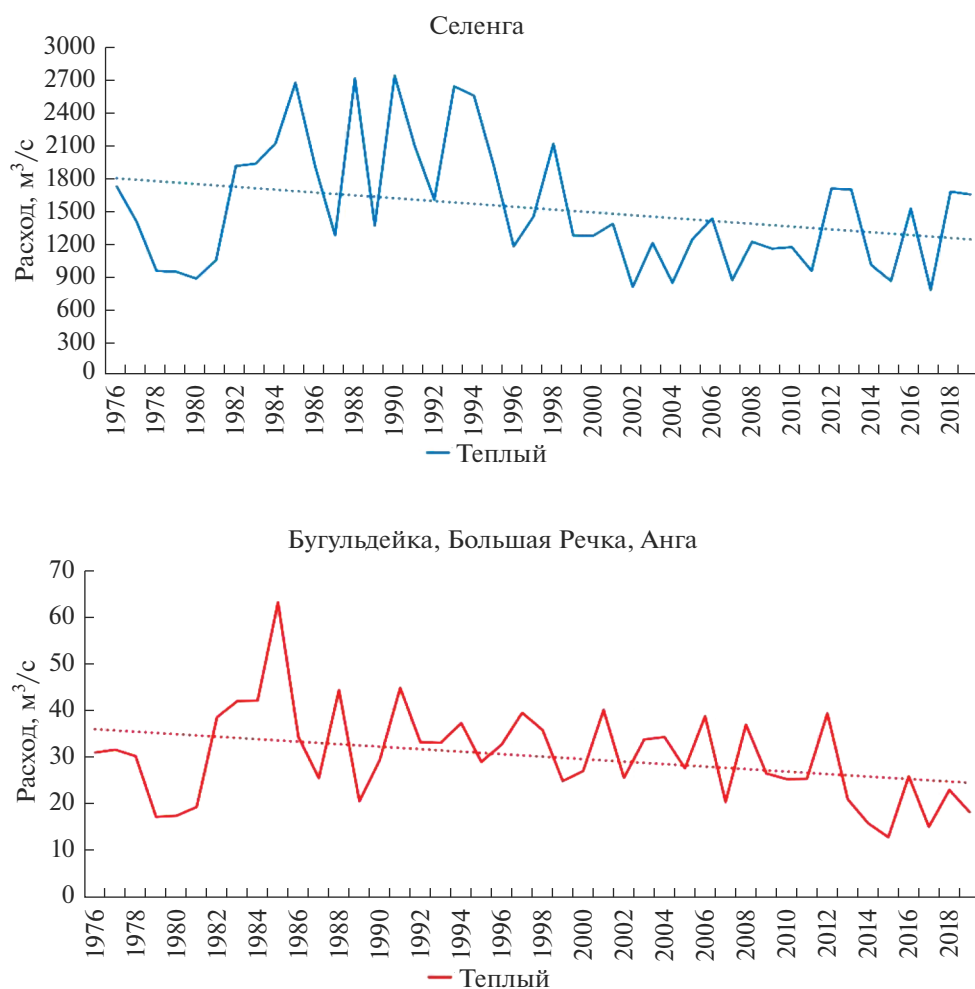


Рис. 2. Статистически значимые колебания расходов воды с 1976 по 2019 г. в реках – притоках Байкала.

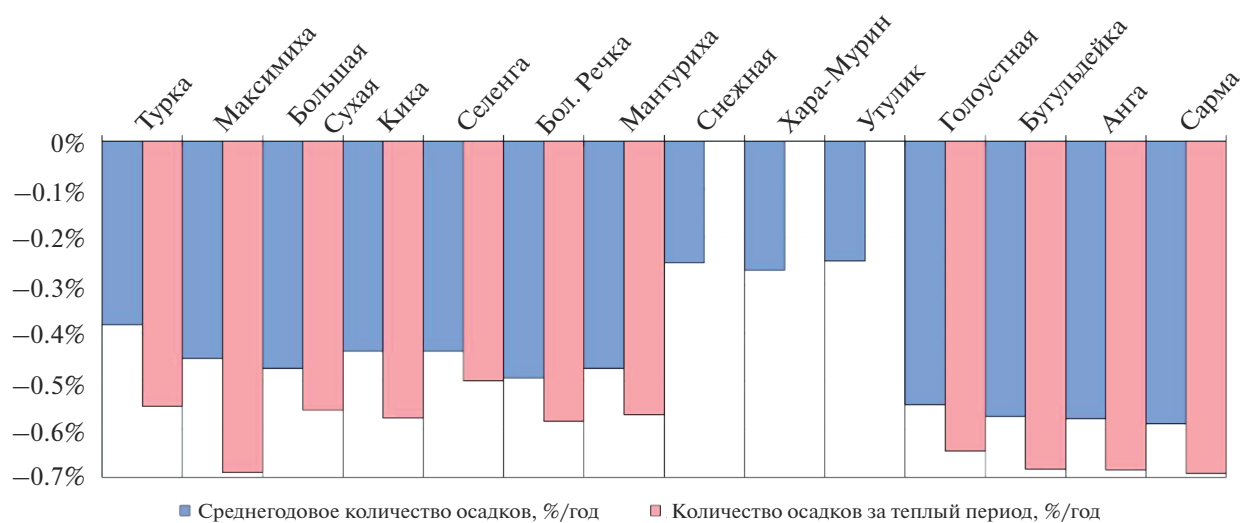


Рис. 3. Изменение количества осадков в водосборных бассейнах рек – притоков Байкала с 1976 по 2019 г. На реках Снежной, Хара-Мурин и Утулик не произошло уменьшения осадков теплого периода.

тельного покрова незначительно изменились в период с 2002 по 2019 г. За 17 лет площадь лесов сократилась на 1624 км², а площадь земель с открытой почвой увеличилась на 2450.2 км², что составляет 1.14% суммарной площади всех анализируемых водосборов.

В бассейне р. Баргузин наблюдалось увеличение на 2.57% площади земель с открытой почвой и уменьшение лесных массивов почти на 4% от общей площади водосбора, что могло происходить за счет приуроченности бассейна к высотному поясу степных сообществ Западного Забайкалья, подверженных деградации в условиях снижения количества осадков [2]. Аналогичная ситуация характерна для бассейнов рек Томпуды, Кики и Рели. Незначительное увеличение площади лесных массивов наблюдалось в бассейнах Селенги (2.06%), Кичеры (1.19%), Снежной (2.47%), Бугульдейки (1.51%), Тыи (2.63%) и Хара-Мурин (3.45%). Выявлено отсутствие изменений растительности для бассейнов Верхней Ангары, Голоустной, Большой Речки, Максимихи, Мантурихи и Утулика.

Существенно другая картина наблюдается для водосборов Анги, Сармы, Турки и Большой Сухой. Здесь увеличилась площадь открытой почвы и разреженной растительности на фоне снижения площади лесов. Интенсивность трансформации для анализируемых бассейнов была намного больше, чем у остальных, и превышала в некоторых случаях 10% от общей площади бассейна. Турка и Большая Сухая находятся на территории Восточного Прибайкалья, где большую площадь занимают подвижные и слабо закрепленные пески. Дефляция в регионе обусловлена его физико-географическими особенностями – расчленением почв легкого механического состава, аридностью климата, совпадением времени пика ветрового режима с наиболее засушливым периодом [6]. Один из ключевых факторов трансформации растительного покрова в бассейнах Анги и Сармы – лесные пожары. Согласно схеме пирологического районирования Прибайкалья [10], леса в регионе приурочены к категории лесов с повышенной потенциальной горимостью, обеспечиваемой благоприятными для этого климатическими и лесорастительными условиями. В бассейнах этих рек происходит длительная деградация лесорастительных условий с затяжной стадией восстановления [3].

Неоднородная динамика растительного покрова связана как с климатическими изменениями, так и с антропогенной деятельностью [21]. Сведение лесов в регионе могло быть причиной сокращения количества осадков, что в свою очередь привело к уменьшению речного стока, но из-за неоднозначности направления трансформации биоценозов на местах вырубок гидрологи-

ческая роль сведения лесов не совсем ясна. Предположительно, лесистость – не определяющий фактор формирования стока в регионе, режим которого обусловлен дождевым питанием. При интерпретации этих результатов следует также учесть, что реакция растительности на уменьшение количества осадков либо происходит с большим опозданием, либо вообще не наблюдается в течение исследуемого периода [19]. Считается, что почвенный покров и растительность в бассейне Байкала сильно восприимчивы к изменению климата, однако чувствительность водосборных бассейнов и их адаптируемость к изменению климата все еще неочевидны [15].

ВЫВОДЫ

Впервые проанализированы тренды и факторы многолетней изменчивости водного стока крупнейших притоков Байкала, что значительно расширяет представление о региональной изменчивости водного баланса.

На территории анализируемых водосборных бассейнов притоков Байкала происходит рост E_0 с 1976 по 2020 г. Умеренное уменьшение $P_{\text{год}}$ происходит повсеместно в южной, западной и средней частях бассейна Байкала – от 0.25 до 0.59%/год.

Статистически значимые изменения годового стока с 1976 по 2019 г. отсутствуют. Статистически значимое уменьшение $Q_{\text{тепл}}$ наблюдается в средней и южной частях Байкала (Селенга, Бугульдейка, Анга, Большая Речка). Среднее уменьшение притока воды в оз. Байкал за теплый сезон составило 5.6%/10 лет. За счет серии многоводных лет после 2018 г. выраженность указанных трендов по мере удлинения рядов снижается.

Выявлены тенденции влияния величин P и E на речной сток. Величина P стала определяющим фактором изменчивости $Q_{\text{год}}$ и $Q_{\text{тепл}}$ в бассейнах рек – притоков Байкала (R^2 варьировала от 0.14 до 0.67, медианная величина R^2 составила 0.36). Пространственная картина уменьшения количества осадков, зафиксированного в южной и средней частях Байкала, практически идентична картине изменения речного стока.

Влияние трансформации растительного покрова в регионе на речной сток не выявлено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) // <https://gmvo.skniivh.ru>
2. Аюржанаев А.А., Андреев С.Г., Алымбаева Ж.Б., Содномов Б.В., Гармаев Е.Ж. Некоторые аспекты пространственно-временных вариаций NDVI в

- Байкальском регионе. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского гос. ун-та, 2018. С. 197–200.
3. Бибаева А.Ю. Прогноз преобразования геосистем Северного Приольхонья // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 90–94.
 4. Григорьев В.Ю., Миллионщикова Т.Д., Сазонов А.А., Чалов С.Р. Влияние изменения климатических параметров на сток рек бассейна Байкала во второй половине XX — начале XXI вв. // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5, География 2020. № 5. С. 3–11.
 5. Григорьев В.Ю., Харламов М.А., Семенова Н.К. и др. Изменение паводочного стока рек бассейна Байкала в 1979–2018 гг. // Тр. IX Международ. науч.-практ. конф. “Морские исследования и образование (MARESEDU-2020)”. М., 2020. С. 40–43.
 6. Гунин П.Д., Микляева И.М., Бажа С.Н., Слемнев Н.Н., Чердонова В.А. Особенности деградации и опустынивания растительных сообществ лесостепных и степных экосистем южного Забайкалья // Арид. экосистемы. 2003. Т. 9. С. 19–20.
 7. Добровольский С.Г. Межгодовые и многолетние изменения речного стока в водосборном бассейне Байкала // Вод. ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 231–242.
 8. Морейдо В.М., Калугин А.С. Оценка возможных изменений водного режима реки Селенги в XXI в. На основе модели формирования стока // Вод. ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 275–284.
 9. Синюкович В.Н., Чернышов М.С. О трансформации расчетных характеристик годового и максимального стока главных притоков оз. Байкал // Вод. ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 256–263.
 10. Софронов М.А., Антропов В.Ф., Волокитина А.В. Пирологическая характеристика растительности бассейна озера Байкал // География и природ. ресурсы. 1999. № 2. С. 1–7.
 11. Фролова Н.Л., Зотов Л.В., Белякова П.А., Григорьев В.Ю., Сазонов А.А. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги // Вод. ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 243–255.
 12. Фролова Н.Л., Магзицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений // Вод. ресурсы. 2022. Т. 49. № 3. С. 251–269.
 13. Aminjafari S., Brown I., Chalov S., Simard M., Lane Charles R., Jarsjö J., Darvishi M., Jaramillo F. Drivers and extent of surface water occurrence in the Selenga River delta, Russia // J. Hydrol.: Regional Studies. 2021. V. 38. P. 100945.
 14. Antokhina O.Y., Latysheva I.V., Mordvinov V.I. A cases study of mongolian cyclogenesis during the July 2018 blocking events // Geogr. Environ. Sustainability. 2019. V. 12. № 3. P. 66–78.
 15. Dorjsuren B. et al. Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin // Environ. Earth Sci. 2018. V. 77. № 20. P. 1–12.
 16. Karthe D., Chalov S., Borchardt D. Water resources and their management in central Asia in the early twenty first century: status, challenges, and future prospects // Environ. Earth Sci. 2014. V. 73. № 2. P. 487–499.
 17. Nasonova O.N., Gusev Y.M., Kovalev E. Climate Change Impact On Water Balance Components In Arctic River Basins // Geogr. Environ. Sustainability. 2022. V 15. № 4. P. 148–157.
 18. Sabater J.M. ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present (Copernicus Climate Change Service [C3S] Climate Data Store [CDS]). <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview>
 19. Safronov A.N. Effects of climatic warming and wildfires on recent vegetation changes in the Lake Baikal basin // Climate. 2020. V. 8. № 4. P. 57.
 20. U.S. Geological Survey // <https://earthexplorer.usgs.gov>
 21. Wang G., Wang P., Wang T.Y., Zhang Y.C., Yu J.J., Ma N., Frolova N.L., Liu C.M. Contrasting changes in vegetation growth due to different climate forcings over the last three decades in the Selenga-Baikal basin // Remote Sensing. 2019. V. 11. № 4. P. 426.
 22. Zorigt M., Battulga G., Sarantuya G., Kenner S., Soninkhishig N., Hauck M. Runoff dynamics of the upper Selenge basin, a major water source for Lake Baikal, under a warming climate // Regional Environ. Change. 2019. V 19. № 8. P. 2609–2619.