

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^{а, *}, И. С. Денисова^{а, б, **}, В. Ю. Григорьев^{а, б, ***}

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

^бИнститут 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 Terra и Aqua. Сделан вывод о важнейшей 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 _{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	Тья	гмп Тья	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. Используются 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-

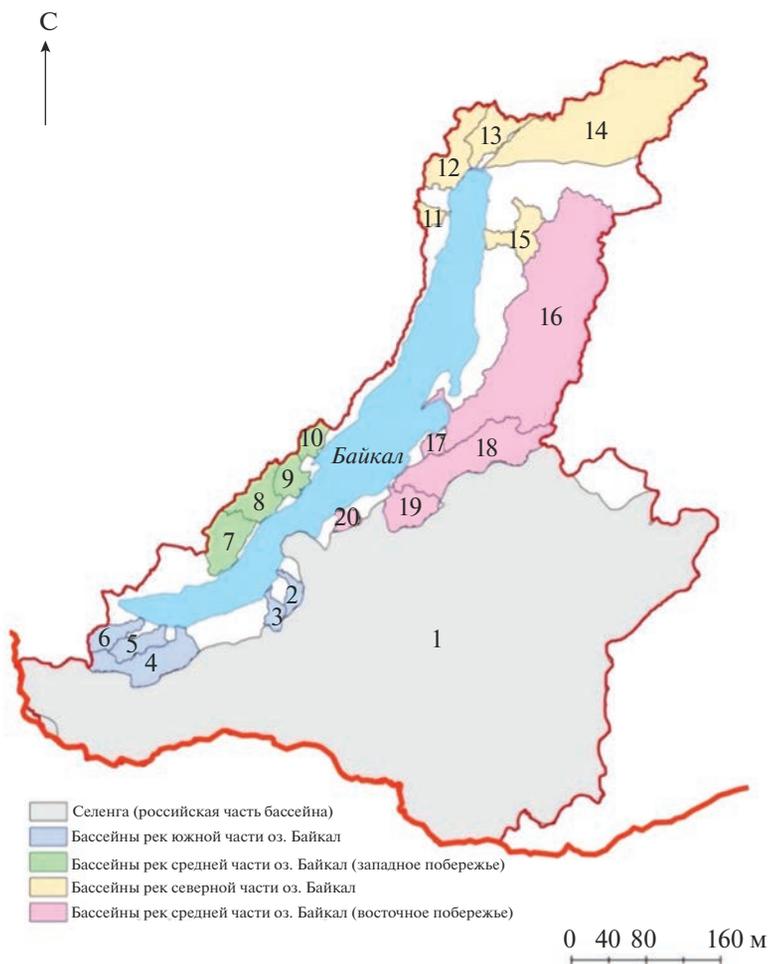


Рис. 1. Анализируемые водосборные бассейны рек-притоков Байкала. 1 – Селенга, 2 – Большая речка, 3 – Мантуриха, 4 – Снежная, 5 – Хара-Мурин, 6 – Утулик, 7 – Голоустная, 8 – Бугульдейка, 9 – Анга, 10 – Сарма, 11 – Рель, 12 – Тья, 13 – Кичера, 14 – Верхняя Ангара, 15 – Томпуда, 16 – Баргузин, 17 – Максимиha, 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 ≥ 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 *E₀* показал значимый рост с 1976 по 2020 г. на территории всех анализируемых водосборных бассейнов. Наибольший рост характерен для среднегодовых значений *E₀* (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 *E₀* 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	Мантуриха	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	Максимиha	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	Мантуриха	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	Максимиha	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 Максимиха (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-

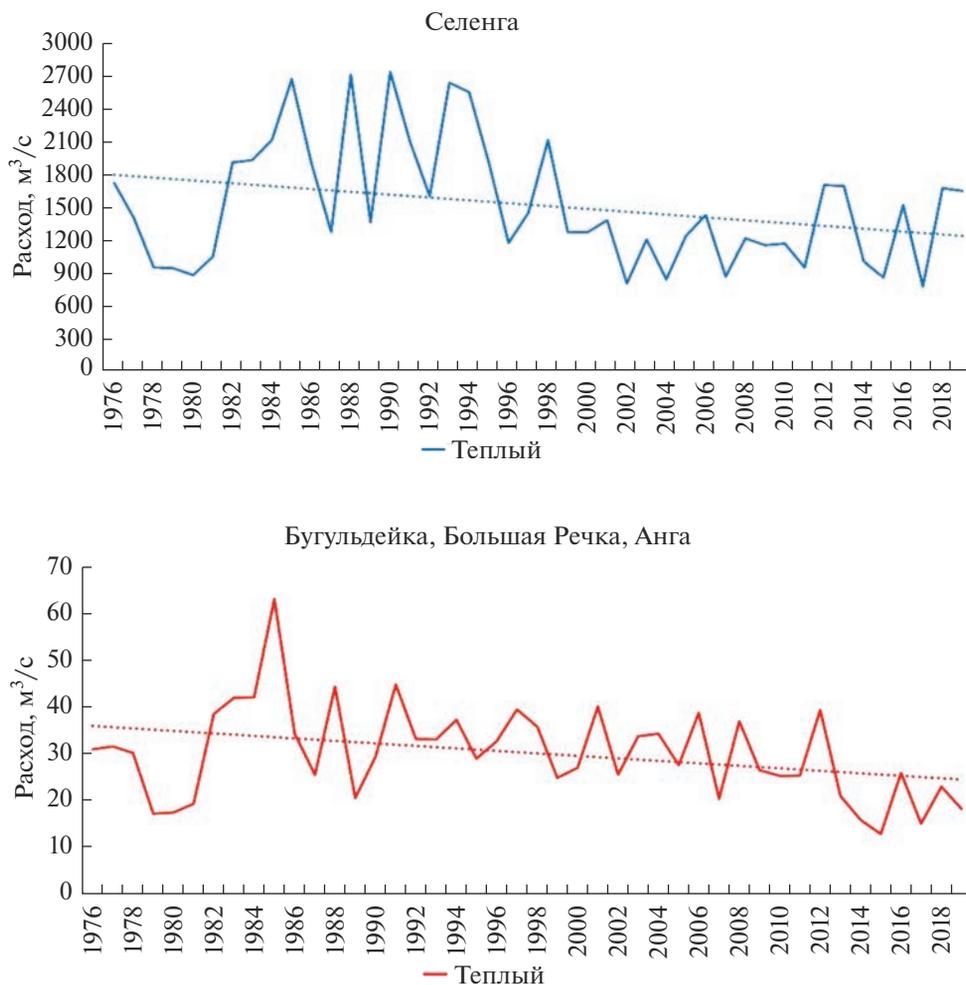


Рис. 2. Статистически значимые колебания расходов воды с 1976 по 2019 г. в реках – притоках Байкала.

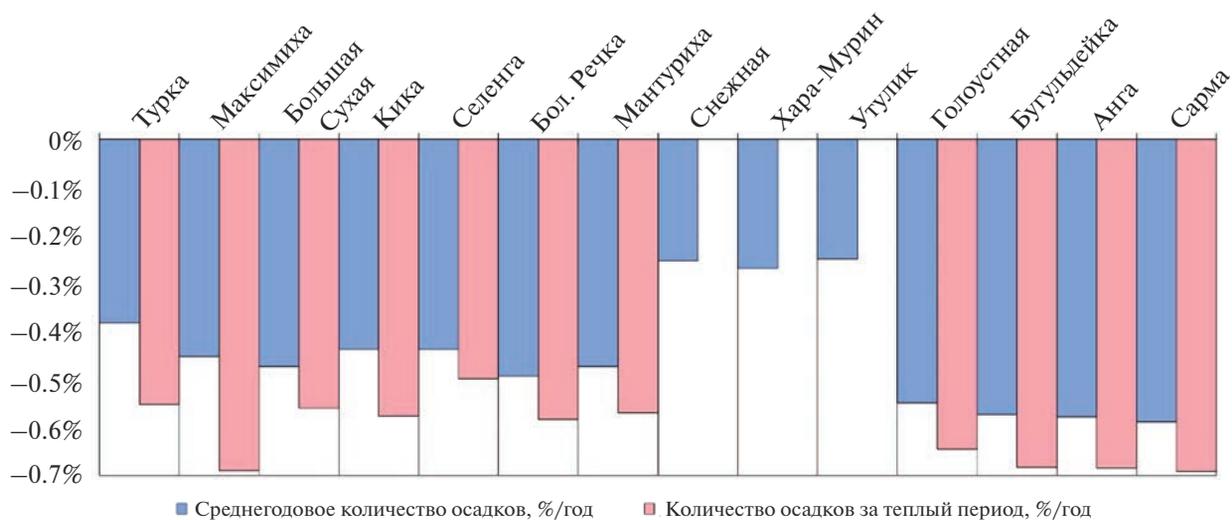


Рис. 3. Изменение количества осадков в водосборных бассейнах рек – притоков Байкала с 1976 по 2019 г. На реках Снежной, Хара-Мурин и Утулик не произошло уменьшения осадков теплого периода.

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-Мурина (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 – распространением 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. Ауржанаев 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. *Бибеева 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., Бажо 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., Магрицкий 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.