

УДК 556.5.01; 551.582

DOI: 10.34753/HS.2021.3.4.373

СОВРЕМЕННЫЕ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Н.В. Кичигина¹, Н.Н. Воропай^{1,2}¹Институт географии СО РАН имени

В.Б. Сочавы, г. Иркутск, Россия;

²Институт мониторинга климатических и
экологических систем СО РАН. г. Томск, Россия

nkichigina@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены изменения суточных и месячных значений сумм атмосферных осадков и характеристик речного стока (средних месячных, годовых, максимальных и минимальных расходов) на реках Байкальского региона за период с 1966 по 2019 год. В гидрографическом отношении регион исследования включает весь бассейн реки Ангары, верхнего течения реки Лены (с рекой Витим) и бассейн озера Байкал. Рассчитаны статистические характеристики, определены тренды в рядах месячных, годовых сумм осадков и характеристиках речного стока. Оценка долговременных колебаний стока проведена с использованием разностных интегральных кривых. Для оценки связи режима атмосферных осадков с глобальными факторами климатообразования рассчитаны коэффициенты корреляции сумм атмосферных осадков с индексами атмосферной циркуляции (NAO, SCAND и повторяемостью типов атмосферной циркуляции по Вангенгейму-Гирсу и Дзердзеевскому).

Расчет тенденций изменения осадков на рассматриваемой территории показал, что в большинстве случаев они статистически незначимы. Коэффициенты корреляции между гидроклиматическими характеристиками достигают 64%, при этом наибольшие их значения получены при анализе суточных уровней воды и пентадных сумм атмосферных осадков. Смена циркуляционных эпох в пределах периода исследований является одним из

CURRENT HYDROCLIMATIC CHANGES IN THE BAIKAL REGION

Natalia V. Kichigina¹, Nadezhda N. Voropay^{1,2}¹V.B. Sochava Institute of geography of Siberian
Branch of the Russian Academy of Science, Irkutsk,
Russia; ²Institute of Monitoring of Climatic and
Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

nkichigina@mail.ru

Abstract. Changes in daily and monthly values of atmospheric precipitation and river runoff characteristics (mean monthly, annual, maximum and minimum discharges) on rivers in the basins of the Lena, Angara and Lake Baikal for the period 1966–2019 are considered in the paper. The dependence of fluctuations in atmospheric precipitation on the characteristics of atmospheric circulation is obtained. The calculation of precipitation trends in the territory under consideration was performed. Trends are determined in the series of monthly and annual precipitation and river runoff series. The assessment of long-term runoff fluctuations was carried out using difference integral runoff curves.

It is showed that in most cases precipitation trends are not statistically significant. Correlation coefficients between hydroclimatic characteristics reach 64%, while their highest values were obtained in the analysis of daily water levels and pentad sums of atmospheric precipitation. The change in circulation epochs within the study period is one of the main factors of changes in the atmospheric precipitation regime and river runoff characteristics. Changes in river runoff characteristics, for the period under review (1966–2019) were not intended to increase the risk of floods. Positive trends in river runoff characteristics are noted mainly for average monthly values during the cold season and for minima summer and winter runoff. The vast majority of statistically significant trends in annual and average monthly runoff for the warm period, as well as all trends in maximum runoff, are negative. This

основных факторов изменений в режиме атмосферных осадков и характеристик речного стока.

Установлено, что изменения речного стока за рассматриваемый период с 1966 по 2019 год не были направлены на увеличение опасности наводнений. Положительные тренды характеристик речного стока отмечаются в основном для средних месячных значений в холодный период года и для минимального летнего и зимнего стока. Подавляющее большинство статистически значимых трендов годовых и средних месячных расходов за теплый период отрицательные. Все значимые тренды максимальных расходов также отрицательные. Это связано, в первую очередь с наблюдающимся здесь периодом пониженной водности.

Ключевые слова: изменения климата; тренды в рядах речного стока; атмосферные осадки; максимальный расход; наводнения; Байкальский регион.

Введение

Проблема изменения климата привлекает к себе пристальное внимание исследователей и находится в ряду важнейших естественнонаучных вопросов. По данным инструментальных наблюдений (с конца 1880-х годов) на территории России, как и в глобальных временных рядах, период после 1976 года выделяется как период наиболее интенсивного потепления [Ранькова и др., 2014]. Средняя годовая скорость потепления $+0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом статистически значимый тренд не наблюдается лишь в зимний период. В целом по России тренд годовых сумм атмосферных осадков положительный ($+0,8$ мм/месяц/10 лет) и описывает 24% суммарной межгодовой изменчивости ряда (то есть тренд небольшой, но статистически значимый даже на 0,5%-м уровне). Основной вклад принадлежит весеннему сезону и отчасти осени. Несмотря на то что тренд значим, нормы осадков двух базовых периодов (с 1961 по 1990 год и с 1981 по 2010 год) почти не отличаются (разность менее чем 1 мм/месяц), что подтверждает отсутствие существенных

изменений в режиме осадков за последние 50–60 лет в среднем по территории России.

В последние годы большое количество работ посвящено изучению глобальных и региональных климатических изменений [Brázdil, Kundzewicz, 2006; Brázdil, Kundzewicz, Benito, 2006; Переведенцев и др., 2021; Шапоренко, Дадашев, Абдурашидов, 2021; Анисимов и др., 2020; Обязов, Кирилюк, Кирилюк, 2021 и так далее]. При этом рассматривается изменение не только средних показателей, к которым в первую очередь относятся средняя месячная, средняя годовая температура воздуха и суммы атмосферных осадков, но и изменение экстремальных значений этих параметров. Климатические экстремумы в свою очередь являются причиной опасных природных событий, в первую очередь наводнений. В последние годы резко участились катастрофические наводнения и возросли размеры причиняемого ими ущерба, что связывают, прежде всего с климатическими изменениями [Brázdil, Kundzewicz, 2006; Brázdil, Kundzewicz, Benito, 2006; Bates et al., 2008;

Kundzewicz et al., 2007; Shiklomanov et al., 2007; Kundzewicz et al., 2008; Kundzewicz et al., 2014]¹.

Рассматривается относительно заселенная территория Байкальского региона, которая подвергается наибольшей опасности наводнений. На рассматриваемой территории наводнения возникают во время снеготаяния – половодные наводнения (часто с наложением заторов) – и во время дождей – паводочные наводнения. Максимальный сток является основным показателем этих наводнений. Максимумы дождевых паводков преобладают в горных районах Восточного Саяна на правых притоках реки Ангары и на реках на юге бассейна озера Байкала, берущих начало на Хамар-Дабане. В Забайкалье и в бассейне реки Лены возможны как половодные, так и паводочные наводнения. Среди всех наводнений здесь именно паводочные являются наиболее опасными. Они имеют наибольшую повторяемость, площади затопления и силу воздействия и характеризуются наибольшими экономическими ущербами, количеством эвакуированных людей и принесенных человеческих жертв [Кичигина, 2018]. Дождевые паводки происходят, как правило, в июле, реже в августе. В XXI веке катастрофические дождевые паводки с человеческими жертвами и огромным материальным ущербом здесь произошли в 2001 и 2019 годах.

В работах, посвященных изучению последствий изменений климата на гидрологический режим рек, часто рассматриваются процессы на макроуровне [Георгиевский и др., 2019]. Однако региональные проявления изменения климата имеют ряд особенностей, связанных с местными физико-географическими условиями [Groisman, 2005; Kundzewicz, 2006]. Байкальский регион находится в центре Евразии, на огромном расстоянии от океанов и характеризуется специфичными и сложными физико-географическими условиями, широким распространением криогенных, эрозионных

процессов. Здесь резко континентальный климат и горный характер рельефа определяют региональные особенности гидроклиматических изменений. Исследование этих изменений, экстремальных значений атмосферных осадков и речного стока, особенностей их взаимосвязей с учетом местных географических условий, позволяет приблизиться к пониманию причин увеличения наводнений в последние годы. В связи с этим цель работы заключалась в анализе характера современных изменений характеристик климата, в первую очередь атмосферных осадков, и их влияния на увеличение экстремальности стока на реках Байкальского региона.

В рамках исследования был проведен статистический анализ характеристик климата и речного стока в следующих аспектах:

- анализ многолетних изменений месячных и годовых сумм атмосферных осадков, выявление трендов в рядах наблюдений;
- исследование многолетних колебаний стока с использованием разностных интегральных кривых;
- выявление трендов в рядах годового, среднего месячного стока, а также в рядах экстремального стока (максимального стока половодья и максимального паводочного стока, минимального летнего и зимнего стока);
- оценка связи (корреляционный анализ) уровней воды и сумм атмосферных осадков, накопленных за разные интервалы в летний период.

Объекты, исходные данные и методы исследования

Регион исследования включает весь бассейн реки Ангары, верхнего течения реки Лены (с рекой Витим) и бассейн озера Байкал. Исходной информацией для оценки характеристик атмосферных осадков послужили многолетние ряды месячных и суточных сумм осадков на 37 метеорологических станциях, расположенных на территории бассейнов реки Ангары, верхнего течения реки Лены и озера

¹Davydova A. From Floods to Fires, Russia Sees Stronger Climate Impacts – but Efforts to Adapt Lag [Электронный ресурс] // FloodList. 13.06.2017. URL: <http://floodlist.com/europe/russia-stronger-climate-impacts-efforts-adapt-lag> (дата обращения: 12.04.2021).

Байкал в период с 1966 по 2019 год. Источник данных – официальный сайт Росгидромета², на котором однородные ряды данных по атмосферным осадкам для большинства метеорологических станций представлены начиная с 1966 года, чем и объясняется выбор начала исследуемого периода.

Для оценки связи режима атмосферных осадков с глобальными факторами климатообразования рассчитаны коэффициенты корреляции сумм атмосферных осадков с индексами атмосферной циркуляции (NAO, SCAND) и повторяемостью типов атмосферной циркуляции по Вангенгейму-Гирсу [Гирс, 1971] и Дзердзеевскому³.

Для оценки характеристик гидрологического режима были использованы данные по расходам и уровням на гидрологических постах. Рассматривались ряды средних месячных расходов воды, годовой сток, а также ряды экстремального стока (максимальные расходы половодья и дождевых паводков, минимальные расходы периода открытого русла и зимнего периода). Анализ тенденций изменения речного стока проводился за период с 1966 по 2019 год. Были использованы данные по стоку на 17 гидропостах в бассейне реки Лены, 22 – в бассейне реки Ангары и 17 – в бассейне озера Байкал (рисунок 1). Используются данные ежедневных уровней воды теплого периода года за период с 2001 по 2015 год⁴. Информационной

основой работы являются данные Росгидромета, в том числе из следующих источников: Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов⁵ (АИС ГМВО), R-ArcticNET⁶ (Электронный ресурс), справочные материалы Государственного водного кадастра, гидрологические ежегодники.

Рассчитаны статистические характеристики, определены тренды в рядах месячных, годовых сумм осадков и характеристиках речного стока. Оценка долговременных колебаний стока проведена с использованием разностных интегральных кривых стока, которые отражают долговременные периоды повышенной и пониженной водности. Коэффициент линейного тренда, определяемый методом наименьших квадратов, используется как мера интенсивности изменений. Статистическая значимость трендов оценивается статистическим критерием нулевой гипотезы о разнице между моделью регрессии и экспериментальными данными из 95% доверительного интервала. Использовались только ряды данных без пропусков или с единичными пропусками. Отсутствующие значения были заменены средним значением, рассчитанным для соответствующей переменной. Несмотря на низкую точность, этот метод уместен из-за его простоты и минимального количества пропусков в данных.

²Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 01.12.2021)

³Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века [Электронный ресурс]. URL: <http://atmospheric-circulation.ru/> (дата обращения: 23.02.2021)

⁴Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России [Электронный ресурс] // ГИС-портал Центра Регистра и Кадастра. URL: <http://gis.vodinfo.ru> (дата обращения: 11.12.2021).

⁵Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения: 29.11.2021).

⁶R-ArcticNET V.4.0. A regional, electronic, hydrographic data network for the Arctic region [Электронный ресурс]. URL: <https://www.r-arcticnet.sr.unh.edu> (дата обращения: 23.02.2021).

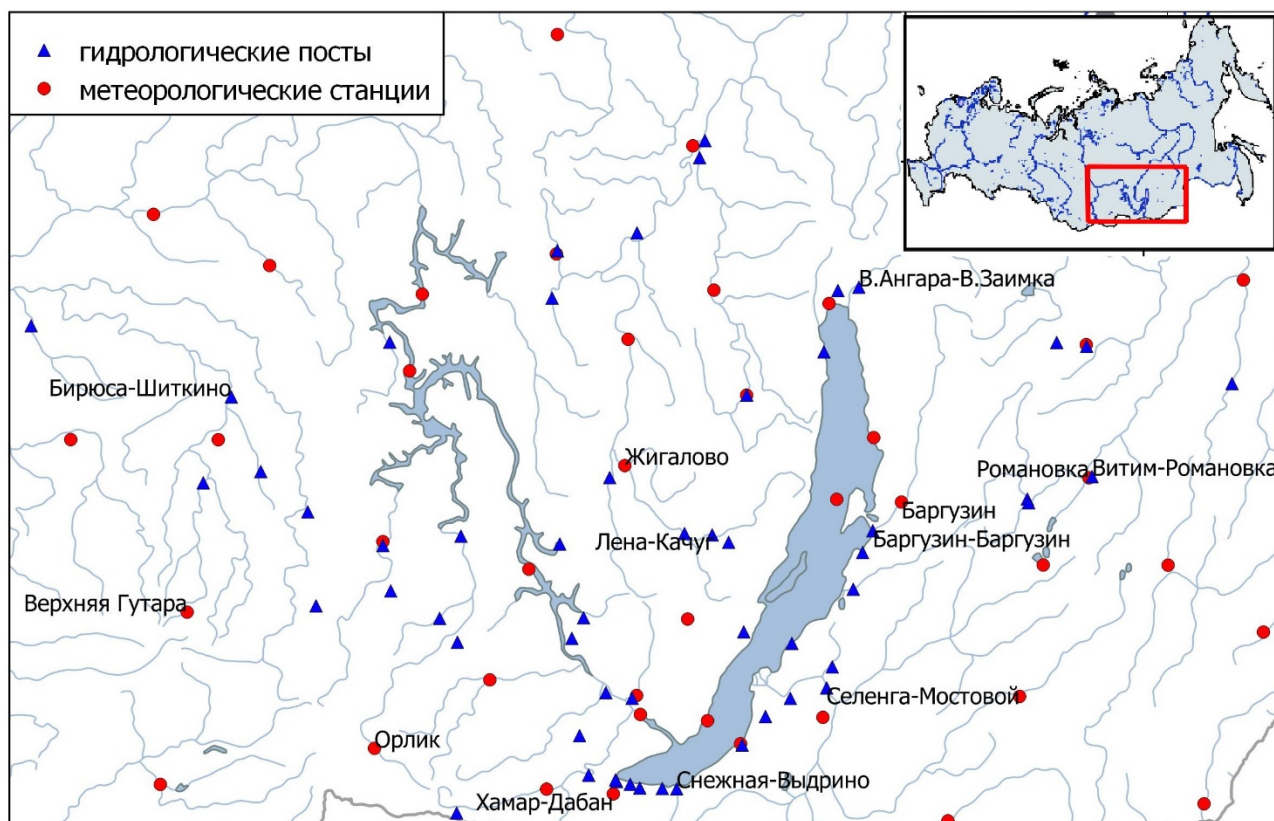


Рисунок 1. Расположение метеорологических станций и гидрологических постов на территории исследования.

Figure 1. Location of meteorological stations and hydrological posts in the study area.

Результаты и обсуждение

На территории Предбайкалья и Забайкалья по данным Росгидромета [Ранькова и др., 2014] статистически значимый тренд температуры воздуха за период с 1976 по 2012 год наблюдается в целом за год ($0,32^{\circ}\text{C}/10$ лет), весной ($0,53^{\circ}\text{C}/10$ лет) и летом ($0,52^{\circ}\text{C}/10$ лет). Зимой и осенью тенденции также положительны ($0,06$ и $0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет, соответственно), однако статистически незначимы. Для всего региона наблюдается статистически значимое увеличение годовых сумм атмосферных осадков ($1,1$ мм/месяц/10 лет), при увеличении жидких и смешанных (на 10–11%) и уменьшении твердых (на 4%) осадков.

В более ранних исследованиях [Voropaу, Maksyutova, Balybina, 2011; Максюткова и др., 2012] интенсивности изменений основных гидроклиматических характеристик на территории Прибайкалья и Байкальской природной территории за период с 1961 по 2008 год показано, что в формировании

положительных тенденций средних годовых температур участвуют все месяцы, при этом максимальные изменения отмечаются в феврале ($0,62$ – $1,94^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Минимальные статистически значимые тренды температуры воздуха наблюдаются летом. Выявлено, что изменения месячных сумм осадков статистически незначимы, они в 10–100 раз меньше межгодовых колебаний [Воропай и др., 2013; Максюткова и др., 2012]. В то же время многие исследования указывают на увеличение количества осадков в глобальном (планетарном) масштабе, а также в большом числе отдельных регионов России и соседних стран [Семенов, 2007; Summary for Policymakers, 2012].

При анализе изменений гидроклиматических характеристик необходимо учитывать изменение глобальных факторов климатообразования, к которым в первую очередь относится циркуляция атмосферы [Василевская, Лисина, Василевский, 2021]. В XX–XXI веках выделяют три циркуляционные эпохи. В первой

(с 1899 по 1915 год) преобладали блокирующие процессы, во второй (с 1916 по 1956 год) – зональная циркуляция, в третьей (с 1957 года по настоящее время) – выходы циклонов из низких в высокие широты³. Однако, коэффициенты линейной корреляции между суммами осадков на метеорологических станциях и характеристиками глобальной циркуляции атмосферы в летний период, в большинстве случаев статистически незначимы. Значимые же коэффициенты корреляции (29% случаев из рассмотренных) по модулю находятся в диапазоне 0,30–0,45. В основном связи обнаруживаются между суммами атмосферных осадков текущего месяца и характеристиками глобальной циркуляции (NAO, SCAND, западный тип циркуляции по Вангенгейму-Гирсу W) предшествующего месяца. Это объясняется инерцией атмосферных процессов и расположением исследуемого региона в центре континента. В формировании атмосферных осадков в горных районах основную роль играют местные факторы. Обильные летние осадки в Байкальском регионе часто связаны с выходами Монгольских циклонов [Марченко и др., 2012; Лощенко, 2015; Вологжина и др., 2018; Антохина и др., 2018]. Месячные суммы осадков, превышающие 2σ и 3σ на метеорологических станциях рассматриваемой территории, наблюдались, в основном, в период с середины 1980-х годов до начала 2000-х годов. В отдельные месяцы экстремальные осадки выпадали одновременно на 7-8 станциях (июль 1988, август 2003, сентябрь 1994, 2001 годы). Указанный период характеризуется максимальным ростом продолжительности выходов циклонов из низких широт в высокие. В последние два десятилетия (начиная с 1998 года) увеличивается повторяемость блокирующих процессов³.

Анализ месячных сумм осадков

В результате анализа месячных сумм осадков за период с 1966 по 2019 год получено, что в рядах преобладают в основном статистически незначимые тренды. Значимое увеличение сумм осадков за холодный период (как с ноября по март – 2–11 мм/10 лет, так и с октября по апрель – 4–18 мм/10лет) наблюдается на девяти станциях. За отдельные месяцы холодного сезона максимальное их количество (6 станций) зафиксировано в октябре и декабре. Наибольшее количество станций (по 5 в каждом месяце), на которых происходит увеличение осадков в теплое время года отмечено в мае и июне. Причем в первом случае это метеостанции, расположенные в бассейне реки Ангары, а во втором – в бассейне реки Лены. Тенденции в обоих случаях составляют 4–7 мм/10 лет. В годовых суммах осадков наблюдаются статистически значимые положительные тренды на двух станциях бассейна реки Ангары и пяти станциях бассейна реки Лены. Коэффициенты тренда при этом равны 19–24 мм/10 лет. Отдельного внимания заслуживает метеостанция Хамар-Дабан (бассейн озера Байкал), наиболее высоко расположенная из всех рассматриваемых станций. Здесь годовая сумма осадков характеризуется отрицательным трендом (–17 мм/10 лет, $R^2=2\%$), а максимальное уменьшение (–25 мм/10 лет, $R^2=8\%$) наблюдается в июле. На рисунке 2 представлено многолетнее изменение сумм атмосферных осадков на некоторых метеорологических станциях и расходов воды на гидрологических постах, расположенных в бассейнах озера Байкал, рек Ангары и Лены.

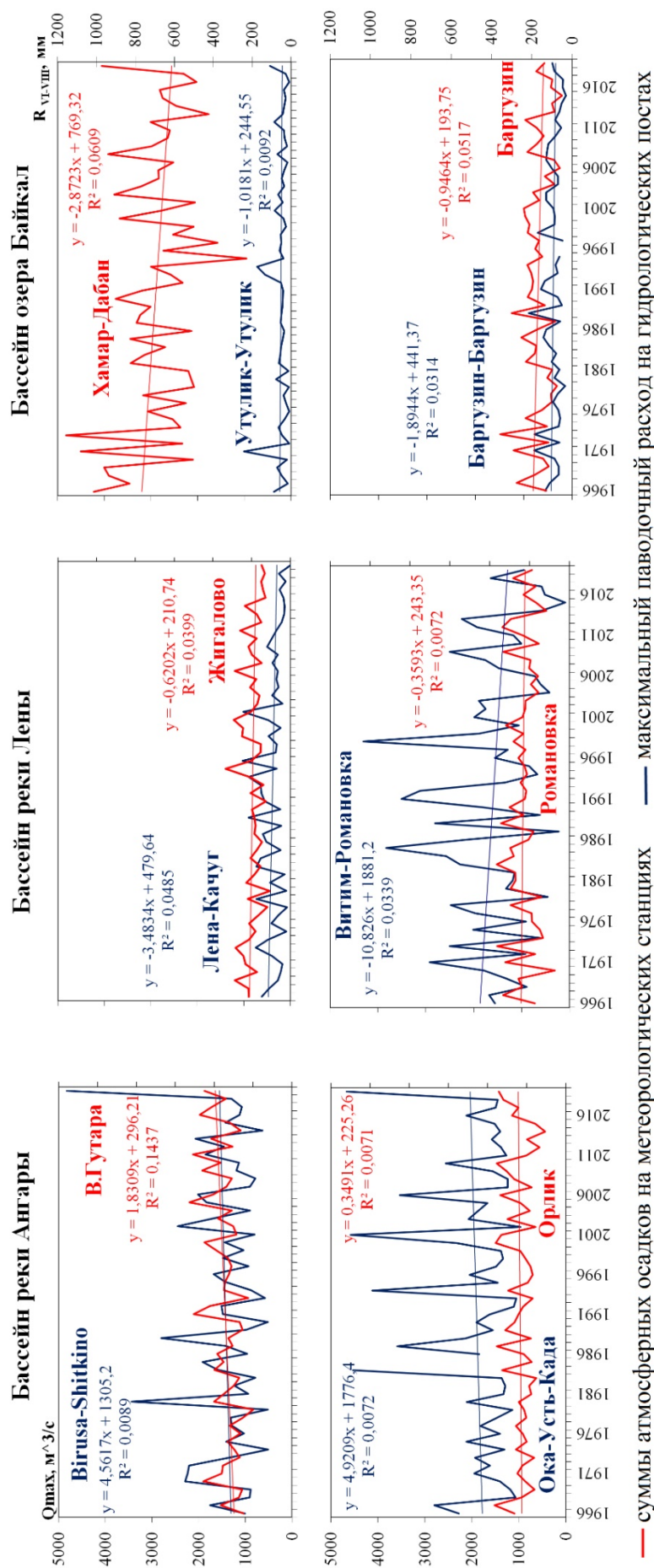


Рисунок 2. Многолетние изменения месячных сумм атмосферных осадков (июнь–август) на метеостанциях и максимальных паводочных расходов на гидрологических постах, расположенных в бассейнах озера Байкал, рек Ангара и Лены.

Figure 2. Long-term changes in monthly amounts of atmospheric precipitation (June–August) at meteorological stations and maxima rainfall run off at hydrological stations located in the Angara, Lena Rivers and Lake Baikal basins.

Анализ многолетних колебаний стока с использованием разностных интегральных кривых

По оценке долговременных колебаний стока с использованием разностных интегральных кривых на реках в бассейне озера Байкал выраженный маловодный период продолжался вплоть до 2017 года. На реках юга бассейна озера Байкал и в бассейне реки Селенги он начался с середины 1990-х годов. В центральной части бассейна и на севере (реки Баргузин, Голоустная, Верхняя Ангара и другие) в этот период продолжалась многоводная фаза стока, которая сменилась на маловодье позднее, в период с 2009 по 2012 год. Можно предположить, что с 2017 года наметился перелом водности в сторону увеличения (рисунок 3). Это подтверждается данными по уровню озера Байкал, который в 2018–2019 годах начал расти, в 2020 году превысил официально установленный максимум для условий средней водности. А в 2021 году сложилась экстремальная ситуация с высокими уровнями озера Байкал, полезный приток в озеро Байкал был выше нормы. Причиной стали обильные осадки в июне, июле и августе. Сбросы через Иркутскую ГЭС во

избежание затоплений на побережье озера Байкал привели к затоплениям и значительным ущербам в нижнем бьефе Иркутского гидроузла.

На реке Лене и ее притоках в верхнем течении с середины 1990-х годов и по настоящее время наблюдается маловодный период. Можно отметить некоторую согласованность стока этих рек и рек в бассейне озера Байкал. Хотя синфазность изменений выражена достаточно слабо, на этих реках до 2017 года также прослеживается маловодный период. В то же время на северо-востоке территории, в бассейне реки Витим, напротив, вплоть до 2014 года отмечалось увеличение водности (рисунок 4).

На реках в бассейне реки Ангары с середины 1980-х годов наблюдается плавное уменьшение стока, наиболее выраженное с конца 1990-х – начала 2000-х годов. Возможный перегиб водности в сторону увеличения наметился после 2018 года (рисунок 5). На левобережных притоках реки Ангары – реках Ия, Уда, Ока, Бирюса в 2019 году он ознаменовался экстремальным повышением стока и катастрофическим паводочным наводнением с человеческими жертвами и огромным материальным ущербом.

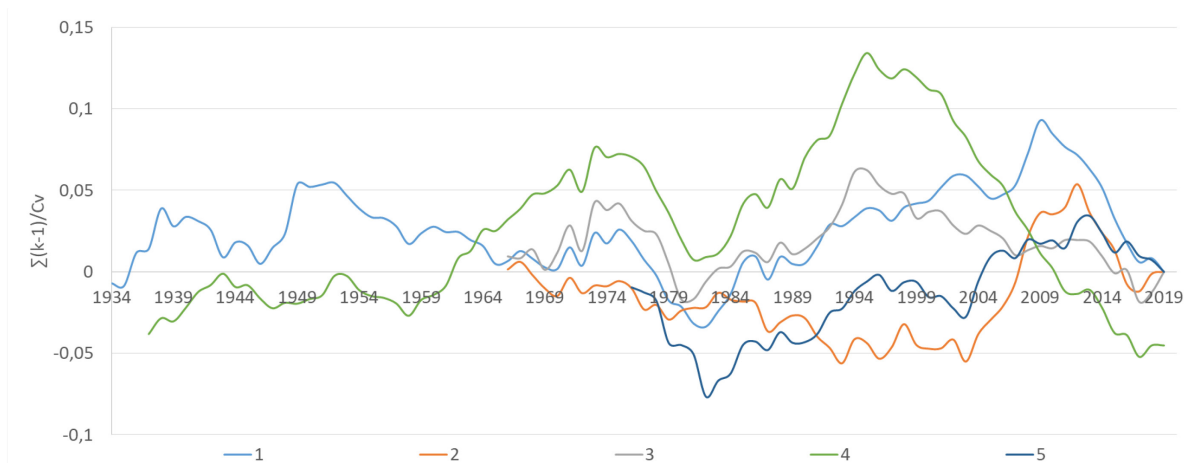


Рисунок 3. Многолетние изменения годового стока в виде разностных интегральных кривых в бассейне озера Байкал: 1) Баргузин – Баргузин; 2) Верхняя Ангара – Верхняя Ангара; 3) Снежная – Выдрино; 4) Селенга – Мостовой; 5) Голоустная – Голоустная; k – модульный коэффициент, C_v – коэффициент вариации.

Figure 3. Integral difference curves of the maxima river flow in Lake Baikal basin, where k – modular coefficient, C_v – variation coefficient. 1) Barguzin – Barguzin; 2) Upper Angara – Upper Angara; 3) Snezhnaya – Vydrino; 4) Selenga – Mostovoi; 5) Goloustnaya – Goloustnaya.

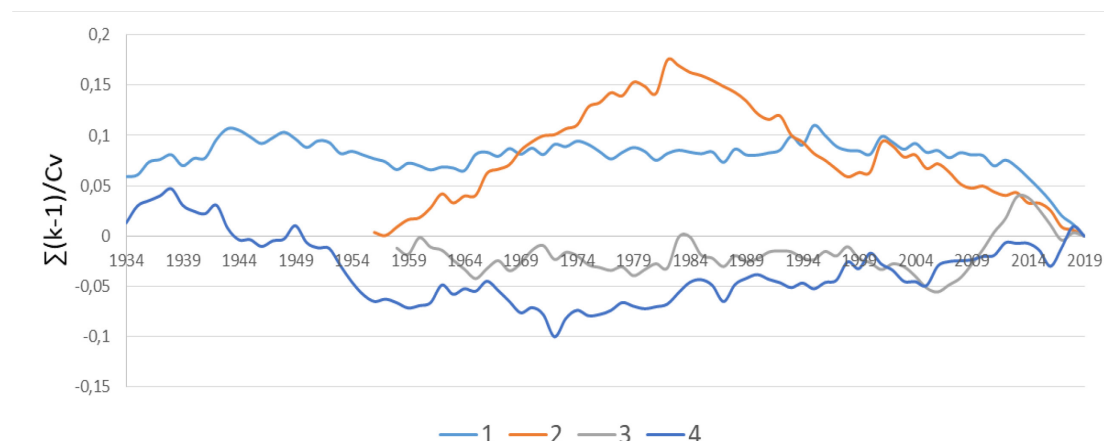


Рисунок 4. Многолетние изменения в виде разностных интегральных кривых максимального годового стока в бассейне верхнего течения реки Лены:

- 1) Лена – Качуг; 2) Купа – Мука; и реки Витим: 3) Чина – Троицк; 4) Витим – Бодайбо;
 k – модульный коэффициент, C_v – коэффициент вариации.

Figure 4. Integral difference curves of the maxima river flow in upper Lena basin, where k – modular coefficient, C_v – variation coefficient.

- 1) Lena – Kachug; 2) Kupa – Muka; 3) China – Troitsk; 4) Vitim – Bodaibo.

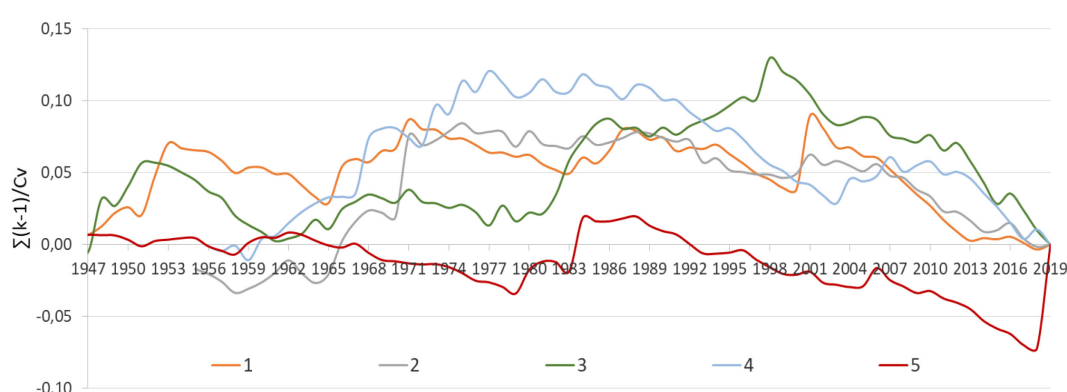


Рисунок 5. Многолетние изменения максимального годового стока в бассейне реки Ангары в виде разностных интегральных кривых: 1) Китой – Китой; 2) Иркут – Тибельти; 3) Куда – Грановщина; 4) Ида – Морозова; 5) Ия – Тулун; k – модульный коэффициент, C_v – коэффициент вариации.

Figure 5. Integral difference curves of the maxima river flow in Angara basin, where k – modular coefficient, C_v – variation coefficient.

- 1) Kitoy – Kitoy; 2) Irkut – Tibelti; 3) Kuda – Granovshchina; 4) Ida – Morozova; 5) Iya – Tulun.

Анализ трендов в рядах речного стока

На рассматриваемой территории тренды годового стока остаются на большинстве рек незначимыми. В бассейне озера Байкал все значимые тренды годового стока остаются отрицательными. Здесь на ряде рек, в большинстве случаев это реки на юге и в середине бассейна озера Байкал, отмечается уменьшение годового стока. По сравнению с предыдущими исследованиями [Кичигина, 2018] проявились отрицательные тренды годового стока на реках в

бассейне реки Ангары и на притоках реки Лены в ее верховьях. Единичные положительные тренды годового стока отмечены только на северо-востоке территории в бассейне реки Витим. Это подтверждается результатами разностных интегральных кривых – здесь отмечалось увеличение водности вплоть до середины 2010-х годов.

Тенденции минимального стока в основном сохраняются: наименьший зимний сток и наименьший сток периода открытого русла

значимо увеличился на большинстве створов в бассейнах рек Ангары и Лены и значимо уменьшился на реках в бассейне на юге и в середине бассейна озера Байкал. Исключение составил бассейн реки Ангары, где проявились отдельные отрицательные тренды наименьшего стока.

Внутри года средний месячный сток меняется следующим образом. На севере и северо-востоке территории в бассейнах рек Витим и Киренги отмечается тенденция значимого увеличения стока за холодный период с октября по май. В то же время отмечается значимое уменьшение стока летом (с мая по август). В бассейне реки Ангары в среднем и нижнем течении наблюдается преобладание положительных трендов на большинстве постов в

холодный период (с октября по март – апрель). Наибольшее их количество в марте и ноябре. В то время как в верхней части того же бассейна появились отрицательные тренды как за холодный, так и за теплый период (наиболее выражены в апреле, мае и июле). На севере бассейна озера Байкала (реки Рель, Холодная, Верхняя Ангара и другие) – тенденция увеличения стока рек в холодный период года, с октября по март – апрель. В Забайкалье и на реках на юге бассейна озера Байкала для большинства месяцев преобладает уменьшение стока. Больше всего значимых отрицательных трендов в июле, когда чаще всего происходят дождевые паводки и наводнения. Эти результаты согласуются с данными интегрально-разностных кривых.

Таблица 1. Статистически значимые тренды в рядах максимального стока.

Table 1. Statistically significant trends in the series of maximum runoff.

Река-пункт	Максимальный расход, м ³ /с		
	годовой	половодья	паводков
Бассейн реки Ангары			
Иркут – Монды	-1,62	нет данных	-1,95
Иркут – Тибельти	-14,2	нет данных	-15,20
Куда – Грановщина	-1,33	-1,15	-1,27
Хайта – Хайта	—	-0,34	—
Ида – Морозова	-0,605	-0,57	-0,10
Тунак – Чичкова	-0,407	-0,39	нет данных
Вихорева – Кобляково	-1,28	-1,27	—
Бассейн озера Байкал			
Анга – Еланцы	нет данных	-0,38	-0,46
Снежная – Выдрино	нет данных	-1,91	—
Безымянная – Мангутай	нет данных	-0,11	—
Похабиха – Слюдянка	нет данных	-0,02	-0,05
Бассейн верхнего течения реки Лены			
Лена – Качуг	-4,110	—	—
Лена – Змеиново	-33,400	—	—
Протока Иликта – Большая Тарель	-0,122	—	-0,64
Бирюлька – Бирюлька	—	—	-0,11
Манзурка – Зуева	—	—	-0,75
Кута – Максимова	-2,860	-2,85	—
Купа – Мука	-3,740	-1,85	—
Чина – Троицкий	—	—	-2,02
Заза – Усть-Заза	-2,140	—	-2,02
Багдарин – Багдарин	-1,070	—	-1,07

Примечание: Прочерк – статистически значимых трендов нет

Изменения максимального стока как основного показателя наводнений наиболее интересны с точки зрения формирования на реках экстремально высокого стока и наводнений. Все значимые тренды максимального стока за рассматриваемый период с 1966 по 2019 год – отрицательные (таблица 1), причем как годового максимального стока, так и стока за генетически однородные многоводные фазы (весеннего половодья и дождевых паводков). По сравнению с ранее изученным периодом до 2014 года [Voropaу, Kichigina, 2017; Кичигина, 2018] отмечается больше постов со значимым уменьшением стока весеннего половодья и максимального паводочного стока. Вероятно, это связано с практически повсеместным, в разной степени выраженности, маловодным периодом, наблюдавшимся на территории вплоть до последних лет.

Взаимосвязи климатических и гидрологических характеристик

Для количественной оценки взаимосвязи гидрологических и климатических характеристик обычно используют коэффициент линейной корреляции. При этом рассматривают зависимость стока от температурного режима и атмосферных осадков [Волковская, Мезенцева, 2017; Рахманова, Носкова, Вахнина, 2021 и так далее]. Ранее нами был проведен корреляционный анализ на уровне средних месячных величин [Воропай и др., 2013]. Влияние температуры воздуха на сток прослеживается главным образом через воздействие на интенсивность перехода воды из одного агрегатного состояния в другое. В связи с этим влияние текущей средней температуры воздуха наиболее существенно в месяцы ее перехода через 0°C (апрель и октябрь). Менее существенное, но заметное влияние температуры наблюдается в зимний период (за счет процессов ледообразования) и в наиболее жаркие месяцы года (в связи с повышенными потерями бассейновой влаги на испарение). В остальное время преобладает влияние осадков: весной – накопленных на водосборе за холодный период (октябрь – апрель), летом – осадков текущего

месяца плюс величины накопленного подземного влагозапаса, индикаторами которого является расход предыдущего месяца.

Для периода с 2001 по 2015 год, который, согласно литературным данным, характеризуется увеличением повторяемости экстремальных гидроклиматических событий, был проведен расчет коэффициентов корреляции между уровнями (ежедневные значения) и суммами атмосферных осадков. При этом использованы как суточные суммы осадков, так и суммы, накопленные за 5-дневный интервал. По предложению рабочей группы Всемирной метеорологической организации пентадная сумма осадков (R5d) является одним из 27 индексов экстремальности. Этот индекс выявляет ситуации, ассоциируемые с возникновением дождевых паводков. Связи анализировались за разные по продолжительности периоды в пределах теплого сезона (апрель – октябрь, май – сентябрь, июнь – август). Корреляционный анализ проведен с учетом различных сдвигов рядов относительно друг друга, выбраны максимальные значения коэффициентов, они и показаны на рисунке 6. При этом сдвиг (запаздывание уровней относительно осадков) может составлять от 2 до 14 суток, в большинстве случаев 5–7 суток. Зависимости между сдвигом, при котором наблюдается максимальный коэффициент корреляции, и расстоянием между метеостанцией и гидропостом не получено. Связь расходов и выпавших атмосферных осадков выше, когда речь идет о периоде, включающем только летние месяцы. Для всех рассматриваемых бассейнов характерны более высокие коэффициенты при использовании R5d (до 64%, в среднем – 39%). Разница коэффициентов корреляции (при сравнении с суточными суммами) в среднем составляет 13 %, изменяясь от 1 до 24%, при этом наименьшие различия (не более 16%) в бассейне реки Ангары. Зависимость величины коэффициентов корреляции от расстояния между гидрологическим постом и метеорологической станцией не прослеживается, коэффициенты регрессии статистически незначимы.

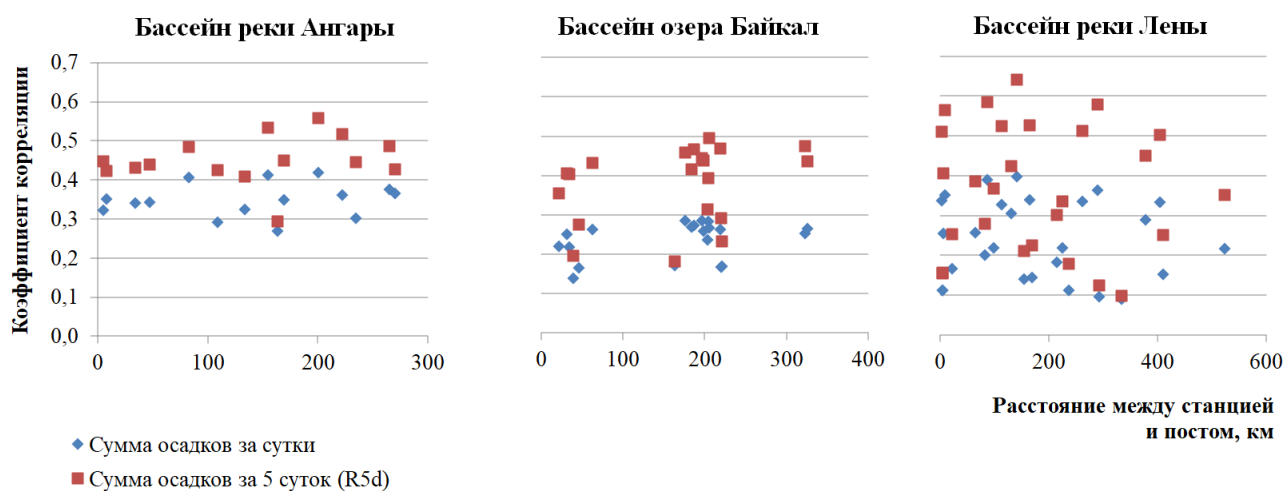


Рисунок 6. Связь уровней и сумм атмосферных осадков, накопленных за разные интервалы в летний период.

Figure 6. Relationship between the water levels and amounts of precipitation, accumulated over different intervals in the summer period.

Закключение

На рассматриваемой территории тренды месячных сумм атмосферных осадков в большинстве случаев статистически незначимы. Межгодовые колебания существенно превышают многолетние тенденции. В режиме глобальной атмосферной циркуляции период с 1966 по 2019 год характеризуется преобладанием меридиональной южной циркуляции. В течение всего исследуемого периода наблюдается уменьшение интенсивности зонального переноса, а увеличение повторяемости блокирующих процессов совпадает с периодом маловодья на реках Байкальского региона. Значимые коэффициенты корреляции между рядами атмосферных осадков и характеристиками атмосферной циркуляции получены для 29% метеостанций (коэффициенты корреляции составляют 30–45%).

В многолетнем режиме стока рек на территории Байкальского региона цикличность не ярко выражена. Лучше всего цикличность проявляется на реках в бассейне озера Байкал. Наилучшая согласованность стока отмечается в бассейне верхнего течения реки Ангара.

Изменения речного стока за рассматриваемый период с 1966 по 2019 год не были направлены на увеличение опасности наводнений. Положительные тренды

характеристик речного стока отмечаются в основном для средних месячных значений в холодный период года и для минимального летнего и зимнего стока. Подавляющее большинство статистически значимых трендов годовых, средних месячных расходов за теплый период, а также все тренды максимальных расходов отрицательные. Это связано в первую очередь с наблюдающимся здесь периодом пониженной водности. Окончание маловодья, по-видимому, наметилось в конце рассматриваемого периода (в 2017–2018 годах), что подтверждается экстремальными паводками: в 2019 году в бассейне реки Ангара на реках Ия, Уда, Ока, Бирюса и в 2021 году в бассейнах рек Селенги и Уды.

Корреляционный анализ показал более тесную зависимость между суточными значениями стока и пентадными суммами атмосферных осадков в сравнении с аналогичными коэффициентами для суточных сумм осадков. В среднем, значения коэффициентов корреляции составляют 42 и 27%, максимальные их значения 64 и 39%, соответственно.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы АААА-А21-121012190059-5 Государственного задания Институт географии СО РАН имени В.Б. Сочавы.

Литература

- Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Шаповалова К.О., Ершова А.А. Анализ индикаторов изменения климата. Часть 2. Северо-западный регион России // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 23–35.
- Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девяткова Е.В., Мордвинов В.И. Динамические процессы в атмосфере, обуславливающие аномалии осадков в Восточной Сибири и Монголии в летний период // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 1. С. 10–27. DOI: [10.21513/2410-8758-2018-1-10-27](https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-1-10-27).
- Василевская Л.Н., Лисина И.А., Василевский Д.Н. Влияние макромасштабных атмосферных процессов на сезонный сток крупных сибирских рек // Метеорология и гидрология. 2021. № 10. С. 36–47. DOI: [10.52002/0130-2906-2021-10-36-47](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-36-47).
- Волковская Н.П., Мезенцева О.В. Оценка влияния динамики годовых сумм осадков на зимний сток рек Омской области // Инновационное развитие современной науки: проблемы и перспективы: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции (г. Астана, Казахстан, 25 ноября 2017 года) / Электронные текстовые данные (3,24 Мб). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_30664197_42925698.pdf. Астана: Баспасы «Академия», 2017. С. 228–237.
- Вологжина С.Ж., Латышева И.В., Латышев С.В., Лоценко К.А., Макухин В.Л. Влияние атлантических и монгольских циклонов на погодные условия в Байкальском регионе // Возможности развития краеведения и туризма Сибирского региона и сопредельных территорий. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 140-летию ТГУ и 70-летию ТОО РГО (Томск, 30 октября – 01 ноября 2018 года). Томск, 2018. С. 141–145.

References

- Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L., Shapovalova K.O., Ershova A.A. Analysis of climate change indicators. Part 2. Northwestern Russia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2020, vol. 45, iss. 1, pp. 13–21. DOI: [10.3103/S1068373920010021](https://doi.org/10.3103/S1068373920010021). (Russ. ed.: Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L., Shapovalova K.O., Ershova A.A. Analiz indikatorov izmeneniya klimata. Chast' 2. Severo-zapadnyi region Rossii. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2020, no. 1, pp. 23–35).
- Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Devyatova E.V., Mordvinov V.I. Dinamicheskie protsessy v atmosfere, obuslavlivayushchie anomalii osadkov v Vostochnoi Sibiri i Mongolii v letnii period [Dynamic processes in the atmosphere determining summertime precipitation anomalies in the Western Siberia and Mongolia]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and applied climatology], 2018, no. 1, pp. 10–27. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.21513/2410-8758-2018-1-10-27](https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-1-10-27).
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu Sh., Palutikof J. *Climate change and water*. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 2008, 210 p.
- Brázdil R., Kundzewicz Z.W. Historical hydrology – Editorial. *Hydrological Sciences Journal*, 2006, vol. 51, iss. 5, pp. 733–738. DOI: [10.1623/hysj.51.5.733](https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.733).
- Brázdil R., Kundzewicz Z.W., Benito G. Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 2006, vol. 51, iss. 5, pp. 739–764. DOI: [10.1623/hysj.51.5.739](https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.739).
- Georgievskii V.Y., Grek E.A., Grek E.N., Lobanova A.G., Molchanova T.G. Assessment of modern changes in the maximum river flow in Russian. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, vol. 44, iss. 11, pp. 739–745. DOI: [10.3103/S1068373919110037](https://doi.org/10.3103/S1068373919110037). (Russ. ed.: Georgievskii V.Yu., Grek E.A., Grek E.N., Lobanova A.G., Molchanova T.G. Otsenka sovremennykh izmenenii maksimal'nogo stoka rek Rossii. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2019, no. 11, pp. 46–55).

Воропай Н.Н., Гагаринова О.В., Ильичева Е.А., Кичигина Н.В., Максютова Е.В., Балыбина А.С., Осипова О.П. Гидроклиматические исследования Байкальской природной территории. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. 185 с.

Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Грек Е.Н., Лобанова А.Г., Молчанова Т.Г. Оценка современных изменений максимального стока рек России // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 46–55.

Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 280 с.

Кичигина Н.В. Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 41–51. DOI: [10.21782/GIPR0206-1619-2018-2\(41-51\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(41-51)).

Лощенко К.А., Латышева И.В. Региональные особенности синоптических процессов на территории Иркутской области в 2000–2013 гг. // Известия Иркутского Государственного Университета. Серия Науки о Земле. 2015. Т. 11. С. 38–54.

Максютова Е.В., Кичигина Н.В., Воропай Н.Н., Балыбина А.С., Осипова О.П. Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 72–80.

Марченко О.Ю., Мордвинов В.И., Антохин П.Н. Исследование долговременной изменчивости и условий формирования атмосферных осадков в бассейне реки Селенги // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 12. С. 1084–1090.

Обязов В.А., Кирилюк В.Е., Кирилюк А.В. Торейские озера как индикатор многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3. Вып. 3. С. 204–232. DOI: [10.34753/HS.2021.3.3.204](https://doi.org/10.34753/HS.2021.3.3.204).

Girs A.A. *Mnogoletnie kolebaniya atmosfernoj tsirkulyatsii i dolgosrochnye gidrometeorologicheskie prognozy* [Long-term fluctuations of atmospheric circulation and long-term hydrometeorological forecasts]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1971. 280 p. (In Russian).

Groisman P.Y. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, 2005, vol. 18, iss. 9, pp. 1326–1350. DOI: [10.1175/JCLI3339.1](https://doi.org/10.1175/JCLI3339.1).

Kichigina N.V. Flood hazard on the rivers of the Baikal region. *Geography and natural resources*, 2018, vol. 39, iss. 2, pp. 120–129. DOI: [10.1134/S187537281802004X](https://doi.org/10.1134/S187537281802004X). (Russ. ed.: Kichigina N.V. Opasnost' navodnenij na rekakh Baikal'skogo regiona. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2018, no. 8, pp. 41–51. DOI: [10.21782/GIPR0206-1619-2018-2\(41-51\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(41-51))).

Kundzewicz Z.W. Climate change and floods // *Bulletin of WMO*. 2006. Vol. 55. Iss. 3. Pp. 70–73.

Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L.M., Arnell N., Mach K., Muir-Wood R., Brakenridge G.R., Kron W., Benito G., Honda Ya., Takahashi K., Sherstyukov B. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 2014, vol. 59, iss. 1, pp. 1–28. DOI: [10.1080/02626667.2013.857411](https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411).

Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., Döll P., Jimenez B., Miller K., Oki T., Şen Z., Shiklomanov I. The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*, 2008, vol. 53, iss. 1, pp. 3–10. DOI: [10.1623/hysj.53.1.3](https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3).

Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., Döll P., Kabat P., Jiménez B., Miller K.A., Oki T., Şen Z., Shiklomanov I.A. Freshwater resources and their management. In: *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, pp. 173–210.

Loshenko K.A., Latysheva I.V. Regional'nye osobennosti sinopticheskikh protsessov na territorii Irkutskoi oblasti v 2000–2013 gg. [Regional characteristics of synoptic processes in the territory

- Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М. Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI века // Метеорология и гидрология. 2021. № 10. С. 14–26. DOI: [10.52002/0130-2906-2021-10-14-26](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-14-26).
- Ранькова Э.Я., Груза Г.В., Рочева Э.В., Самохина О.Ф. 1.2. Температура приземного воздуха // Второй оценочный отчет Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Раздел 1. Наблюдаемые изменения климата. Москва: Росгидромет, 2014. С. 37–72.
- Рахманова Н.В., Носкова Е.В., Вахнина И.Л. Сток рек Ленского бассейна на территории Забайкальского края и его связь с атмосферными осадками // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 5. С. 43–60. DOI: [10.35567/1999-4508-2021-5-3](https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-5-3).
- Семенов В.А. Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий. Горно-Алтайск: РИО Горно-Алтайского государственного университета, 2007. 147 с.
- Шапоренко С.И., Дадашев А.М., Абдурашидов А.М. Современные тенденции изменчивости климатических характеристик в районе Махачкалы и гидрологические последствия для Туралинских озер // Метеорология и гидрология. 2021. № 2. С. 99–109. DOI: [10.52002/0130-2906-2021-2-99-109](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-2-99-109).
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu Sh., Palutikof J. Climate change and water / Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. 210 p.
- Brázdil R., Kundzewicz Z.W. Historical hydrology – Editorial // Hydrological Sciences Journal. 2006. Vol. 51. Iss. 5. Pp. 733–738. DOI: [10.1623/hysj.51.5.733](https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.733).
- Brázdil R., Kundzewicz Z.W., Benito G. Historical hydrology for studying flood risk in Europe // Hydrological Sciences Journal. 2006. Vol. 51. Iss. 5. Pp. 739–764. DOI: [10.1623/hysj.51.5.739](https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.739).
- Groisman P.Y. Trends in intense precipitation in the climate record // Journal of Climate. 2005. Vol. 18. Iss. 9. Pp. 1326–1350. DOI: [10.1175/JCLI3339.1](https://doi.org/10.1175/JCLI3339.1).
- of Irkutsk region in 2000–2013]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2015, vol. 11, pp. 38–54. (In Russian; abstract in English).
- Maksyutova E.V., Kichigina N.V., Voropai N.N., Balybina A.S., Osipova O.P. Tendencies of hydroclimatic changes on the Baikal natural territory. *Geography and Natural Resources*, 2012, vol. 33, iss. 4, pp. 304–311. DOI: [10.1134/S1875372812040087](https://doi.org/10.1134/S1875372812040087). (Russ. ed.: Maksyutova E.V., Kichigina N.V., Voropai N.N., Balybina A.S., Osipova O.P. Tendentsii gidroklimaticheskikh izmenenii na Baikal'skoi prirodnoi territorii. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2012, no. 4, pp. 72–80).
- Marchenko O.Yu., Mordvinov V.I., Antoxin P.N. Issledovanie dolgovremennoi izmenchivosti i uslovii formirovaniya atmosferykh osadkov v basseine reki Selengi [Investigation of long-term variability and conditions for formation of precipitation in the Selenge River basin]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and ocean optics], 2012, vol. 25, no. 12, pp. 1084–1090. (In Russian; abstract in English).
- Obyazov V.A., Kirilyuk V.E., Kirilyuk A.V. Toreiskie ozera kak indikator mnogoletnikh izmenenii uvlazhnennosti Yugo-Vostochnogo Zabaikal'ya i Severo-Vostochnoi Mongolii [Torey lakes as an indicator of moisture long-term changes in Southeastern Transbaikalia and Northeastern Mongolia]. *Gidrosfera. Opasnye protsessy i yavleniya* [Hydrosphere. Hazard processes and phenomena], 2021, vol. 3, iss. 3, pp. 204–232. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2021.3.3.204](https://doi.org/10.34753/HS.2021.3.3.204).
- Perevedentsev Y.P., Vasil'ev A.A., Sherstyukov B.G., Shantalinskii K.M. Climatic change on the territory of Russia in the late 20th – early 21st centuries. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2021, vol. 46, iss. 10, pp. 658–666. DOI: [10.3103/S1068373921100022](https://doi.org/10.3103/S1068373921100022). (Russ. ed.: Perevedentsev Yu.P., Vasil'ev A.A., Sherstyukov B.G., Shantalinskii K.M. Klimaticheskie izmeneniya na territorii Rossii v kontse XX – nachale XXI veka. *Meteorologiya i*

Kundzewicz Z.W. Climate change and floods // Bulletin of WMO. 2006. Vol. 55. Iss. 3. Pp. 70-73.

Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L.M., Arnell N., Mach K., Muir-Wood R., Brakenridge G.R., Kron W., Benito G., Honda Ya., Takahashi K., Sherstyukov B. Flood risk and climate change: global and regional perspectives // Hydrological Sciences Journal. 2014. Vol. 59. Iss. 1. Pp. 1-28. DOI: [10.1080/02626667.2013.857411](https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411).

Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., Döll P., Jimenez B., Miller K., Oki T., Şen Z., Shiklomanov I. The implications of projected climate change for freshwater resources and their management // Hydrological Sciences Journal. 2008. Vol. 53. Iss. 1. Pp. 3-10. DOI: [10.1623/hysj.53.1.3](https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3).

Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., Döll P., Kabat P., Jiménez B., Miller K.A., Oki T., Şen Z., Shiklomanov I.A. Freshwater resources and their management // Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Pp. 173-210.

Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Rawlins M.A., Smith L.C. Pavelsky T.M. Temporal and spatial variations in maximum river discharge from a new Russian data set // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2007. Vol. 112. Iss. G4. G04S53. DOI: [10.1029/2006JG000352](https://doi.org/10.1029/2006JG000352).

Summary for Policymakers // Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation / A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. Pp. 3-22.

Voropay N.N., Kichigina N.V. Long-term changes in the hydroclimatic characteristics in the Baikal region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 107, 3rd International Conference Environment and Sustainable Development of Territories: Ecological Challenges of the 21st Century (Kazan, Russian Federation, 27-29 September 2017). 012042. DOI: [10.1088/1755-1315/107/1/012042](https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012042).

gidrologiya, 2021, no. 10, pp. 14-26. DOI: [10.52002/0130-2906-2021-10-14-26](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-14-26)).

Rakhmanova N.V., Noskova E.V., Vakhnina I.L. Stok rek Lenskogo basseina na territorii Zabaikal'skogo kraya i ego svyaz' s atmosferynymi osadkami [Runoff of the rivers of the Lena basin on the territory of the Trans-Baikal Territory and its connection with atmospheric precipitation]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management], 2021, no. 5, pp. 43-60. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.35567/1999-4508-2021-5-3](https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-5-3).

Ran'kova E.Ya., Gruza G.V., Rocheva E.V., Samokhina O.F. Temperatura prizemnogo vozdukh [Surface air temperature]. In: *Vtoroi otsenochnyi otchet Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Razdel 1. Nablyudaemye izmeneniya klimata* [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Section 1. Observed climate changes]. Moscow, Publ. Rosgidromet, 2014, pp. 37-72. (In Russian).

Semenov V.A. *Resursy poverkhnostnykh vod gor Rossii i sopredel'nykh territorii* [Surface Water Resources of the Mountains of Russia and Neighboring Territories]. Gorno-Altaysk, Publ. of Gorno-Altaysk State University, 2007, 147 p. (In Russian)

Shaporenko S.I., Dadashev A.M., Abdurashidov A.M. Sovremennyye tendentsii izmenchivosti klimaticheskikh kharakteristik v rayone Makhachkaly i gidrologicheskoye posledstviya dlya Turalinskikh ozer [Modern trends in variability of climatic characteristics in the area of Makhachkala and hydrological consequences for the Turali lakes]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology Russ.], 2021, no. 2, pp. 99-109. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.52002/0130-2906-2021-2-99-109](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-2-99-109).

Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Rawlins M.A., Smith L.C. Pavelsky T.M. Temporal and spatial variations in maximum river discharge from a new Russian data set. *Journal of Geophysical Research:*

Voropay N.N., Maksyutova E.V., Balybina A.S. Contemporary climatic changes in the Predbaikalie region // *Environmental Research Letters*. 2011. Vol. 6. No. 4. 045209. DOI: [10.1088/1748-9326/6/4/045209](https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045209).

Biogeosciences, 2007, vol. 112, iss. G4, G04S53. DOI: [10.1029/2006JG000352](https://doi.org/10.1029/2006JG000352).

Summary for Policymakers. In: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, 2012, pp. 3–22.

Vasilevskaya L.N., Lisina I.A., Vasilevskii D.N. Influence of large-scale atmospheric processes on seasonal runoff of large Siberian rivers. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2021, vol. 46, iss. 10, pp. 674–682. DOI: [10.3103/S1068373921100046](https://doi.org/10.3103/S1068373921100046). (Russ. ed.: Vasilevskaya L.N., Lisina I.A., Vasilevskii D.N. Vliyanie makromasshtabnykh atmosferykh protsessov na sezonnyi stok krupnykh sibirskikh rek. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2021, no. 10, pp. 36–47. DOI: [10.52002/0130-2906-2021-10-36-47](https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-36-47)).

Volkovskaya N.P., Mezentseva O.V. Otsenka vliyaniya dinamiki godovykh summ osadkov na zimnii stok rek Omskoi oblasti [Evaluation of the influence of the dynamics of annual precipitation on the winter runoff of rivers in the Omsk region]. In: *Innovatsionnoe razvitie sovremennoi nauki: problemy i perspektivy: Materialy Mezhdunarodnoi (zaочноi) nauchno-prakticheskoi konferentsii (Astana, Kazakhstan, 25 noyabrya 2017) [Innovative development of modern science: problems and prospects: Materials of the International (correspondence) scientific and practical conference (Astana, Kazakhstan, November 25, 2017)]*. Astana, Publ. Akademiya, 2017, pp. 228–237. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_30664197_42925698.pdf. (In Russian).

Vologzhina S.Zh., Latysheva I.V., Latyshev S.V., Loshchenko K.A., Makukhin V.L. Vliyanie atlanticheskikh i mongol'skikh tsiklonov na pogodnye usloviya v Baikal'skom regione [Influence of Atlantic and Mongolian cyclones on weather conditions in the Baikal region]. In: *Vozmozhnosti razvitiya kraevedeniya i turizma Sibirskogo regiona i sopredel'nykh territorii. Sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi*

140-letiyu TGU i 70-letiyu TOO RGO (Tomsk, 30 oktyabrya – 01 noyabrya 2018) [Opportunities for the development of local history and tourism in the Siberian region and adjacent territories. Collection of materials of the XVII International Scientific and Practical Conference dedicated to the 140th anniversary of TSU and the 70th anniversary of the Russian Geographical Society (Tomsk, October 30 – November 01, 2018)]. Tomsk, 2018, pp. 141–145. (In Russian; abstract in English).

Voropai N.N., Gagarinova O.V., Il'icheva E.A., Kichigina N.V., Maksyutova E.V., Balybina A.S., Osipova O.P. *Gidroklimaticheskie issledovaniya Baikal'skoi prirodnoi territorii [Hydroclimatic studies of the Baikal natural territory]*. Novosibirsk, Publ. Geo, 2013. 185 p. (In Russian; abstract in English).

Voropay N.N., Kichigina N.V. Long-term changes in the hydroclimatic characteristics in the Baikal region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 107, 3rd International Conference Environment and Sustainable Development of Territories: Ecological Challenges of the 21st Century (Kazan, Russian Federation, 27–29 September 2017)*. 012042. DOI: [10.1088/1755-1315/107/1/012042](https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012042).

Voropay N.N., Maksyutova E.V., Balybina A.S. Contemporary climatic changes in the Predbaikalie region. *Environmental Research Letters*, 2011, vol. 6, no. 4, 045209. DOI: [10.1088/1748-9326/6/4/045209](https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045209).