

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.50

КЛИМАТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ И НАВОДНЕНИЯ В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ

© 2026 г. С. А. Грига^{1,*}, Ю. Н. Курочкин¹, К. В. Чистяков¹, Л. А. Панкратова¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: semyon.griga@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.06.2024 г.

После доработки 21.09.2025 г.

Принята к публикации 23.12.2025 г.

Работа посвящена выявлению пространственно-временной динамики климатических аномалий осадков, температуры воздуха и мощности снежного покрова в Южной Сибири на примере Алтае-Саянского региона за период 1961–2021 гг. по данным 48 метеорологических станций. Установлена взаимосвязь увеличения частоты аномальных проявлений осадков, температуры и мощности снежного покрова с ростом числа наводнений в период 1991–2021 гг. по сравнению с климатической нормой 1961–1990 гг. Наиболее выраженная положительная динамика характерна для 5-суточных аномальных сумм осадков с порогом 60 мм и экстремальных значений с порогом 100 мм. Максимальная мощность снежного покрова на большей части территории демонстрирует положительную тенденцию, что указывает на увеличение вероятности лавинных процессов. Анализ термического режима выявил усиление роли повышения температур весенних месяцев в формировании паводков. С использованием карт пространственного распределения рассмотренных климатических характеристик выявлены зоны максимальных осадков на территории Алтае-Саянского региона с обеспеченностью 5% и превышением опасного уровня более 60 мм/сут. Также выделены области максимальной мощности снежного покрова свыше 160 см такой же обеспеченности, которые могут способствовать формированию опасных природных процессов. Полученные оценки вероятностной структуры климатических аномалий могут быть использованы для анализа природных рисков, повышения безопасности населения и обоснования мер устойчивого развития региона.

Ключевые слова: атмосферные осадки, экстремальные осадки, температура воздуха, снежный покров, наводнения, опасные природные явления, Алтае-Саянский регион

DOI: 10.7868/S2658697526020051

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное потепление увеличивает риск и частоту проявления опасных природных явлений, особенно наводнений (Кичигина, 2021; Любимов и др., 2022), в том числе в горных районах (Allamano et al., 2009; Paranunzio and Maga, 2024). Так, в полусухих районах континентальной части Азии выявлен рост числа наводнений после 1987 г. Причиной стали сильные дожди, аномальное потепление и ускоренное таяние ледников (Wang et al., 2022).

Современные изменения климатических характеристик на территории России выражены в большей степени, в сравнении с остальными регионами мира (Второй ..., 2014). С переменами

в климатической системе связано увеличение количества наблюдений аномальных значений гидрометеорологических параметров на территории России (Мохов, Семенов, 2016), в том числе и Алтая (Кочеева и др., 2008). На территории Алтае-Саянского региона это выражено в быстром сокращении современного оледенения (Ганюшкин, 2023), перераспределении внутри года речного стока (Зуев и др., 2018) и росте его аномальных объемов (Максимова и др., 2017).

Кроме того, в последние годы, в Алтае-Саянском регионе были зафиксированы рост ранневесенних температурных аномалий, значительные отрицательные аномалии продолжительности залегания снежного покрова (Доклад ..., 2022).

Температуры приземного воздуха выделяются своей величиной и аномалиями (Харламова, Останин, 2012). Наблюдается рост значений индексов экстремальности для метеостанций (МС) юга Сибири (Кужевская и др., 2020; Шарапова, Соколов, 2015). На региональном уровне также отмечены положительные аномалии запаса воды в снеге как для Алтая (Тропина и др., 2024) и Саян (Булыгина и др., 2017), так и для гор Южной Сибири в целом (Доклад ..., 2023).

Все перечисленное выше ведет к росту уязвимости населения, инфраструктуры и природной среды. С хозяйственной точки зрения это может привести к изменению вегетационного периода и уменьшению урожайности в горных и предгорных территориях (Hussain et al., 2007). На фоне значительной чувствительности и уязвимости горных геосистем к климатическим изменениям (Гармс, Сухова, 2012) возникает необходимость исследований, направленных на выявление характера пространственно-временной динамики климатических аномалий и их вероятностной связи с наводнениями.

Настоящая работа направлена на выявление пространственно-временной динамики климатических аномалий по данным осадков, температуры воздуха и мощности снежного покрова в Южной Сибири за последние 60 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Регион исследования охватывает верховья двух крупнейших сибирских рек — Енисея и Оби. В административном плане — это

юго-восток Алтайского края, Республика Алтай, южная часть Республики Хакасия, Республика Тыва, юг Красноярского края и запад Иркутской области. Ниже представлена картосхема с расположением метеорологических станций, данные наблюдений которых использовались в работе (рис. 1).

В качестве источников климатической информации использовались данные ВНИИГМИ-МЦД¹ за период 1961–2021 гг., а также данные по некоторым метеостанциям, предоставленные из архивов “Западно-Сибирское УГМС” и “Среднесибирское УГМС”. На предварительном этапе для обоих регионов исследовалась динамика фоновых показателей, к которым относятся месячные суммы осадков. Для выявления случаев с аномальными месячными осадками была использована схема с определением превышения каждой месячной суммы над средним значением, рассчитанным за период с 1961 по 2021 г., на 1.5 и 2 стандартных отклонения (СКО). Для каждого случая определялся месяц и год его регистрации. В расчетах использовались данные по двум сезонам (весна, лето), т.е. по 6 месяцам (март–август), как наиболее активным по наличию наводнений на исследуемой территории. Изменения частот проявления аномальных месячных сумм осадков в период 1991–2021 гг. исследовались по сравнению с климатической нормой в 1961–1990 гг.

Было произведено условное разделение характеристик осадков на **аномальные** и **экстремаль-**

¹ <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index.xhtml?idata=5>



Рис. 1. Размещение метеостанций, данные которых используются в исследовании.

ные. Главным критерием разделения осадков авторами был взят показатель их интенсивности более 30 мм, выпавших за 12 ч и менее, а также более 50 мм за 24 ч и менее в горных районах и отнесенных к экстремальным, т.е. непосредственно к опасным явлениям (ОЯ) (перечни ОЯ из списков УГМС). Следующие градации экстремальности — 60 мм/2 сут и 100 мм/5 сут определялись исходя из предположения, что интенсивность осадков ослабевает со временем, но ведущую роль начинает играть их непрерывность. К аномальным по интенсивности осадкам были отнесены осадки с меньшими показателями, в среднем по региону отклоняющиеся от нормы на 1.5–2 СКО и разделенные на градации по тому же принципу. Конечно, границы этих градаций не имеют какого-либо строгого физического смысла и не совсем соответствуют устоявшимся в гидрометеорологии критериям, но они позволяют статистически выявить некоторые интересные особенности их пространственно-временного распределения.

Для выявления временной динамики **аномальных** по интенсивности показателей осадков в обоих регионах была определена абсолютная частота их проявлений на длиннорядных метеостанциях по трем основным градациям: 1-суточные более 30 мм, 2-суточные более 40 мм и 5-суточные более 60 мм и по двум основным 30-летним периодам: 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг. (Наставление ..., 2019). За каждый месяц текущего года выбирался максимум по этим градациям, из которых, в свою очередь, выбирался годовой максимум. Годовые максимумы в подавляющем количестве случаев (около 95%) приходились на весенне-летний сезон. Для выявления временной динамики **экстремальных** по интенсивности показателей суточных осадков, способных привести к катастрофическим процессам, в обоих регионах была определена абсолютная частота их проявлений по следующим градациям: 1-суточные более 50 мм, 2-суточные более 60 мм и 5-суточные более 100 мм за те же два 30-летних периода и по методике, представленной выше. Также рассчитаны их средние значения по регионам, абсолютный и относительный (%) прирост. Особый интерес представляли временные тенденции в изменениях экстремальных по интенсивности суточных осадков. Их определение производилось для общего периода 1961–2021 гг., периода “климатической нормы” 1961–1990 гг. и современного 30-летнего периода 1991–2021 гг.

Для выявления общей пространственно-вероятностной структуры распределения максимальных по интенсивности 1-суточных осадков с различной обеспеченностью использовались данные за современный 20-летний период

с 2004 по 2021 г. За каждый год по каждой метеостанции выбирался случай с наибольшим количеством 1-суточных осадков, затем из полученного ряда таких случаев выбирался уже один максимум с такими осадками, который, в свою очередь, считался вероятностным пределом с обеспеченностью в 5% (1 раз в 20 лет). Были построены соответствующие картосхемы. Эти и дальнейшие расчеты производились с оценкой статистической значимости коэффициентов тренда (КТ) на уровне $\alpha = 0.05$.

Для объективного анализа пространственно-временной динамики аномальных значений снежного покрова и предварительной оценки, зависящих от этой динамики тенденций потенциальной опасности наводнений в виде половодий. В данной работе используется максимальная мощность снежного покрова (ММСП), зарегистрированная хотя бы один раз за сезон. Такая мощность за сезон больше не наблюдается, но она служит хорошей реперной отметкой для предварительной оценки максимальных запасов воды в накапливаемом за сезон снеге, и как отдельный предиктор может использоваться в комплексной оценке вероятности наводнений (половодий) в сезон интенсивного таяния снежного покрова в горах. В дальнейших исследованиях основным стартовым количественным критерием определения аномальности с точки зрения опасности возникновения наводнений в горных условиях служила величина ММСП более 30 см с различной повторяемостью и обеспеченностью (Паромов и др., 2016). Значение около 30 см — критическая глубина снега в горах, при которой возникает опасность схода лавин. Это значение связано с нарушением устойчивости снежного покрова под влиянием внутренних процессов и внешних воздействий (Национальный ..., 2007). Для выявления степени изменчивости ММСП за два периода (1961–1990 гг. и 1991–2021 гг.) определялись следующие характеристики: абсолютный максимум ММСП за оба периода, среднее значение из максимумов за каждый год, количество сезонов, когда ММСП был более 30 см и коэффициенты линейного тренда за три периода — общий в 1961–2021 гг., “климатической нормы” 1961–1990 гг. и современный 1991–2021 гг. Для обоих изучаемых регионов были построены картосхемы со значениями ММСП различной обеспеченности.

Одной из косвенных причин возникновения явных предпосылок к образованию наводнений в бассейнах горных рек являются аномальные положительные температуры весенних месяцев, провоцирующие быстрое таяние накопленного за зиму снега и резкое поступление большого количества воды в их русла. Исходя из этих

соображений, для выявления динамики положительных средних месячных температур воздуха (+СМТВ) были рассчитаны изменения абсолютной частоты случаев превышения средней месячной температуры над ее средним многолетним значением более 2 СКО в положительную сторону за периоды 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг. для весенних месяцев. Дополнительно рассчитывались коэффициенты линейного тренда средних месячных температур за эти же периоды. Определялось также количество превышений средней месячной температуры от среднего значения более чем на два стандартных отклонения (2 СКО) за те же периоды 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг., и за те же весенние месяцы. При этом обязательно регистрировался конкретный месяц и год, в который произошло такое превышение. Примененный подход продиктован предварительным предположением, что при такой экстремально повышенной средней месячной температуре можно ожидать, во-первых, появления ряда дней со средней суточной температурой выше 0°C в марте и, тем более, в апреле в горах, а во-вторых — достаточно длительных периодов с оттепелями, которые, в свою очередь, могут привести к весьма интенсивному таянию снега (Куулар, 2015; Севастьянов, 1998).

Для всех выше обозначенных климатических характеристик производился расчет КТ также по трем периодам: общему с 1961 по 2021 г., “климатической нормы” с 1961 по 1990 г. и современный 30-летний с 1991 по 2021 г. Расчеты производились с оценкой статистической значимости КТ на уровне $\alpha = 0.05$.

Для выявления динамики аномалий положительных **средних месячных температур воздуха** были рассчитаны изменения абсолютной частоты случаев превышения средней месячной температуры над ее средним многолетним значением более чем на 2 СКО в положительную сторону за периоды 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг. для весенних месяцев. Такой подход также продиктован предположением, что при такой экстремально повышенной средней месячной температуре можно ожидать, во-первых, появления ряда дней со средней суточной температурой выше 0°C в марте и, тем более, в апреле в горах, а во-вторых, достаточно длительных периодов с ними, которые, в свою очередь, вызовут весьма интенсивное таяние снега, что может инициировать нежелательные процессы в виде половодий.

В данном исследовании использовались следующие категории размеров, мощности и последствий наводнений (в дальнейшем — величина) в соответствии с Постановлением Правительства РФ №304 от 21.05.2007 г. “О класси-

фикации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера” с изменениями и дополнениями от 17 мая 2011 г., 20 декабря 2019 г.

1 категория — чрезвычайные ситуации (наводнения) имели **муниципальный** характер, в результате которых зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного муниципального образования, при этом количество людей, погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет не более 50 чел.;

2 категория — чрезвычайные ситуации (наводнения) имели **межмуниципальный** характер, в результате которых зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более муниципальных районов, муниципальных округов, городских округов, расположенных на территории одного субъекта Российской Федерации, или внутригородских территорий города федерального значения, при этом количество людей, погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет не более 50 чел.;

3 категория — чрезвычайные ситуации (наводнения) **регионального** характера, в результате которых зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество людей, погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет свыше 50 чел., но не более 500 чел.;

4 категория — чрезвычайные ситуации (наводнения) **межрегионального** характера, в результате которых зона чрезвычайной ситуации затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество людей, погибших и (или) получивших ущерб здоровью, составляет свыше 50 чел., но не более 500 чел.

Применяя данную классификацию для определения наводнений, авторы исходили из социально-экономической направленности работы, поскольку на территориях с отсутствующей инфраструктурой и населением наводнения не могут нанести им ущерб. К сожалению, классический подход, который авторы применяли в работе (Курочкин и др., 2024) в определении наводнений, сильно ограничен нерегулярностью наблюдательной сети измерений речного стока на исследуемой территории со сложным горным рельефом.

С использованием приведенной выше классификации наводнений и информации, полученной из различных открытых источников (генерализованные оперативные сводки органов местной власти и МЧС, региональные УГМС, местные СМИ, результаты опросов населения), а также в ходе экспедиционных работ (в рамках выполнения гранта РГО №45/2022-И “Климатиче-

ческие аномалии и опасные природные явления в Южной Сибири”) были определены частота (количество) наводнений, их величина для периода 1961–2021 гг. и результаты оформлены в виде гистограмм с определением трендовых характеристик.

Была определена теснота и вид взаимосвязи количества и величины наводнений, как самых опасных и распространенных ОЯ, от конкретных характеристик аномальных осадков. В первом случае такая зависимость определялась между количеством случаев превышения месячных сумм осадков более 2 СКО в месяцы

с наводнениями (влияющий фактор) и количеством самих наводнений (результатирующий фактор) в конкретный год. Во втором случае определялась зависимость между максимальной интенсивностью пентадных (5-суточных) осадков (влияющий фактор) и величиной наводнений по приведенной выше их классификации (результатирующий фактор).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Результаты анализа изменения числа случаев с суммами месячных осадков, превышающих 1.5 и 2 СКО представлены в табл. 1.

Таблица 1. Количество превышений месячных осадков (за 6 месяцев, март–август) над нормой более чем на 1.5 и 2 стандартных отклонения за два периода

Метеостанция	Всего превышений 1.5 СКО за 6 месяцев		Из них более 2 СКО		
	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021	%
Алтай					
Рубцовск	14	20	5	13	160
Змеиногорск	15	19	7	11	57
Солонешное	9	17	4	12	200
Бийск	17	16	6	10	67
Усть-Кокса	11	15	9	8	–12
Кара-Тюрек	9	19	7	9	29
Кызыл-Озек	15	13	8	10	25
Яйлю (Артыбаш)	16	18	5	10	100
Катон-Карагай	13	15	8	9	12
Кош-Агач	18	20	10	11	10
Среднее по региону	14	17	7	10	
Увеличение по частоте/%		3/21		3/43	
Саяны					
Минусинск	10	19	4	15	275
Оленья Речка	18	16	8	8	0
Ермаковское	8	15	4	10	150
Кызыл	11	24	6	8	33
Тоора-Хем	8	19	6	9	50
Верхняя Гутара	9	18	8	9	12
Нижнеудинск	11	19	7	14	100
Орлик	14	19	9	11	22
Инга	13	16	5	11	120
Тулун	15	16	10	12	20
Среднее по региону	12	18	7	11	
Увеличение по частоте/%		6/50		4/57	

Примечание: жирным шрифтом выделен рост $\geq 100\%$.

Из табл. 1 видна повсеместная тенденция увеличения случаев экстремального количества осадков за последние 30 лет. При этом данная тенденция наиболее четко проявляется для осадков, превысивших СКО в 2 раза. В Саянах среднее количество таких случаев увеличилось в период 1991–2021 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. с 7 до 11 (на 57%), а на Алтае — с 7 до 10 (на 43%). Данная тенденция ярче всего проявляется на Западном Алтае, где в Солонешном она достигла 200%, в Рубцовске — 160%, а на севере региона в Яйлю — 100%. В Саянах “рекордсменами” являются Минусинск, где количество случаев с аномальными месячными осадками в весенне-летний сезон увеличилось с 4 до 15 (на 275%) и Ермаковское — с 4 до 10 (на 150%).

Таким образом, можно утверждать, что на всей территории Алтае-Саянского региона в последнее время происходит значимое увеличение случаев с аномальными месячными осадками. При этом внутри каждого месяца эти осадки распределяются крайне неравномерно и для выявления их внутримесячных особенностей потребовался отдельный анализ такого показателя, как разносуточная интенсивность выпадения осадков (см. далее).

Было обнаружено повсеместное для обоих регионов увеличение частоты выпадения осадков в аномальных диапазонах интенсивности, причем на Западном и Восточном Саянах заметно их преобладание по сравнению с Алтаем (табл. 2). Необходимо отметить наиболее зна-

Таблица 2. Количество случаев с аномальными по интенсивности осадками за различные периоды

Метеостанция	1-суточные максимумы более 30 мм		2-суточные максимумы более 40 мм		5-суточные максимумы более 60 мм	
	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021
Алтай						
Рубцовск	11	9	8	6	2	5
Змеиногорск	19	23	19	23	14	23
Солонешное	20	25	18	23	9	20
Бийск	12	15	11	9	9	9
Усть-Кокса	10	11	9	9	6	8
Кара-Тюрек	10	13	10	12	6	9
Кызыл-Озек	24	23	24	22	20	22
Яйлю	27	27	27	26	27	28
Среднее по региону	17	18	16	16	12	16
Увеличение по частоте/%		1/6		0/0		4/33
Саяны						
Абакан	11	13	11	11	6	9
Минусинск	14	16	11	13	6	8
Оленья Речка	22	22	26	23	20	23
Кызыл	4	9	4	6	2	4
Сосновка	8	17	6	12	3	8
Тоора-Хем	4	7	3	6	1	3
Верхняя Гутара	20	24	19	22	15	19
Нижнеудинск	17	17	16	15	6	12
Орлик	12	10	10	12	5	10
Инга	19	20	17	20	12	14
Среднее по региону	13	16	12	14	8	11
Увеличение по частоте/%		3/23		2/17		3/38

чительный прирост частоты на горных и предгорных территориях. Например, на западных предгорьях Алтая (МС Змеиногорск и Солонешное) абсолютная частота выпадения 5-суточных сумм осадков более 60 мм увеличилась почти вдвое, а общий относительный прирост в этом диапазоне составил по всему региону 33%. В Саянском регионе наибольшие прибавки в частоте фиксируются в Тувинской котловине в районе Кызыла и Сосновки, где частота аномальных по интенсивности осадков в современный период увеличилась более чем в 2 раза.

Для выявления временной динамики экстремальных по интенсивности показателей осадков, способных привести к катастрофическим процессам, в обоих регионах был выполнен ана-

лиз изменений частоты по обозначенным выше градациям в период 1991–2021 гг. по сравнению с нормой.

В этом случае также отмечается повсеместный прирост частоты выпадения **экстремальных** осадков с наиболее ярким проявлением в тех же районах и Алтая и Саян (табл. 3). Следует отметить окрестности МС Яйлю с современной частотой 5-суточных осадков более 100 мм 7 раз за 30 лет.

Особый интерес представляют временные тенденции в изменчивости **экстремальных** по интенсивности осадков. Внимание привлекают значения коэффициентов тренда 5-суточных экстремальных осадков за последние 30 лет (табл. 4). В Алтайском регионе они положи-

Таблица 3. Количество случаев с экстремальными по интенсивности осадками за различные периоды

Метеостанция	1-суточные максимумы более 50 мм		2-суточные максимумы более 60 мм		5-суточные максимумы более 100 мм	
	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021
Алтай						
Рубцовск	2	1	1	2	1	1
Змеиногорск	3	7	4	8	1	1
Солонешное	4	4	3	7	1	4
Бийск	2	2	3	2	0	0
Усть-Кокса	1	0	2	2	0	0
Кара-Тюрек	0	0	1	3	0	1
Кызыл-Озек	2	5	4	6	2	3
Яйлю (Артыбаш)	5	6	11	12	5	7
Среднее по региону	2	3	4	5	1	2
Увеличение по частоте/%		1/50		1/25		1/50
Саяны						
Абакан	1	2	2	3	1	1
Минусинск	1	3	2	4	1	1
Оленья Речка	5	5	6	6	2	3
Кызыл	0	1	0	1	0	0
Сосновка	2	4	2	4	0	1
Тоора-Хем	1	1	0	1	0	0
Верхняя Гутара	3	3	4	8	3	6
Нижеудинск	2	2	3	6	0	2
Орлик	1	2	1	4	1	2
Инга	3	5	7	7	3	4
Среднее по региону	2	3	3	4	1	2
Увеличение по частоте/%		1/50		1/33		1/50

Таблица 4. Коэффициенты тренда экстремальных осадков 1-суточной и 5-суточной интенсивности (мм/10 лет) за различные периоды

Алтай	Длительность	1961–2021 гг.	1961–1990 гг.	1991–2021 гг.
Рубцовск	1-суточные	<i>–0.2</i>	<i>1.1</i>	<i>1.0</i>
	5-суточные	<i>0.7</i>	<i>1.1</i>	2.3
Змеиногорск	1-суточные	<i>1.2</i>	<i>0.7</i>	<i>–1.3</i>
	5-суточные	<i>1.9</i>	<i>0.2</i>	2.0
Солонешное	1-суточные	<i>0.7</i>	<i>2.3</i>	<i>3.8</i>
	5-суточные	<i>3.9</i>	<i>3.1</i>	5.1
Бийск	1-суточные	<i>0</i>	<i>0.7</i>	<i>–1.9</i>
	5-суточные	<i>0.3</i>	<i>2.0</i>	<i>0.1</i>
Усть-Кокса	1-суточные	<i>–0.2</i>	<i>1.0</i>	<i>–0.8</i>
	5-суточные	<i>–0.5</i>	<i>4.5</i>	<i>–2.5</i>
Кара-Тюрек	1-суточные	<i>–0.4</i>	<i>1.0</i>	<i>–4.1</i>
	5-суточные	<i>1.1</i>	<i>6.6</i>	–5.0
Кызыл-Озек	1-суточные	<i>0.3</i>	<i>–1.4</i>	<i>0.5</i>
	5-суточные	<i>1.6</i>	<i>4.1</i>	5.4
Яйлю	1-суточные	<i>–0.3</i>	<i>0.9</i>	<i>2.9</i>
	5-суточные	<i>2.7</i>	<i>4.7</i>	6.3
Саяны	Длительность	1961–2021 гг.	1961–1990 гг.	1991–2021 гг.
Абакан	1-суточные	<i>0.3</i>	<i>–3.4</i>	<i>–3.4</i>
	5-суточные	<i>–0.4</i>	<i>–1.9</i>	–3.2
Минусинск	1-суточные	<i>0.9</i>	<i>2.0</i>	<i>–1.5</i>
	5-суточные	<i>2.7</i>	<i>5.7</i>	<i>–1.4</i>
Оленья Речка	1-суточные	<i>–0.2</i>	<i>–1.5</i>	<i>0.6</i>
	5-суточные	<i>1.1</i>	<i>4.0</i>	5.4
Кызыл	1-суточные	<i>1.3</i>	<i>–2.0</i>	<i>5.6</i>
	5-суточные	<i>1.4</i>	<i>–4.0</i>	8.9
Сосновка	1-суточные	<i>1.4</i>	<i>–7.3</i>	<i>2.9</i>
	5-суточные	<i>2.2</i>	<i>–7.3</i>	2.9
Тоора-Хем	1-суточные	<i>0.3</i>	<i>–2.3</i>	<i>2.2</i>
	5-суточные	<i>1.2</i>	<i>–3.2</i>	4.6
Верхняя Гутара	1-суточные	<i>0.3</i>	<i>0.9</i>	<i>1.3</i>
	5-суточные	<i>1.2</i>	<i>0</i>	6.6
Нижеудинск	1-суточные	<i>–0.4</i>	<i>0.5</i>	<i>2.3</i>
	5-суточные	<i>2.3</i>	<i>1.5</i>	8.1
Орлик	1-суточные	<i>0.3</i>	<i>2.0</i>	<i>1.7</i>
	5-суточные	<i>1.8</i>	<i>5.6</i>	<i>0.3</i>
Инга	1-суточные	<i>–0.4</i>	<i>3.1</i>	<i>–3.4</i>
	5-суточные	<i>1.1</i>	<i>5.6</i>	–6.1

Примечание: курсивом показаны статистически незначимые коэффициенты тренда.

тельны и максимальны на западных, северных и северо-западных предгорьях. Например, в районах, близких к Яйлю и Кызыл-Озеку, рост этих осадков идет со скоростью около 6 мм/10 лет, на западе в Солонешном тренд тоже значителен — более 5 мм/10 лет, причем во всех этих районах тренды статистически значимы за три периода, что говорит об устойчивой временной тенденции. Подобная тенденция проявляется и в северо-восточных предгорьях Восточного Саяна на МС Нижнеудинск. Противоположная картина наблюдается в центральном и высокогорном Алтае, где в районах МС Усть-Кокса и Кара-Тюрек современные тренды экстремальной интенсивности по всем грациям длительности отрицательны. В Саянском регионе в среднегорье и Западного и Восточного Саяна наблюдается тенденция к увеличению экстремальных по интенсивности осадков, особенно хорошо это заметно в районах близ Оленьей Речки и Верхней Гутары, где коэффициенты тренда для 5-суточных осадков достигают 6–7 мм/10 лет. Северные предгорья Восточного Саяна также отличаются высокой скоростью прироста этих же осадков, достигающей 8 мм/10 лет в районе Нижнеудинска.

Резюмируя результаты исследования пространственно-временной структуры аномальных месячных, а также аномальных и экстремальных по интенсивности суточных осадков можно сделать следующие выводы:

— на фоне обнаруженного роста аномалий месячных сумм осадков в современный период

по сравнению с нормой регистрируется и повсеместное увеличение частоты аномальных и экстремальных по интенсивности суточных осадков в обоих регионах. Причем в Саянах это увеличение проявляется более отчетливо;

— наиболее ощутимая положительная динамика частоты наблюдается для 5-суточных аномальных и экстремальных осадков с 60-миллиметровым и 100-миллиметровым пределами. Последние, в свою очередь, являются вероятным триггерным фактором возникновения крупных наводнений смешанного типа с признаками и половодья, и паводка;

— в подавляющем большинстве районов наблюдаются положительные тенденции в скорости увеличения интенсивности аномальных и экстремальных осадков, особенно в современный период. Исключение составляют равнинные и высокогорные территории, где регистрируются незначимые отрицательные тенденции.

Анализ картосхемы на рис. 2 позволяет определить общую закономерность уменьшения интенсивности 1-суточных осадков с северо-запада на юго-восток Алтая. При этом хорошо выделяются несколько зон, приуроченных к западным (МС Змеиногорск) и северным (МС Турочак) предгорьям Алтая и к долине Катунь в районе Чемала и Шебалино, с высокими показателями более 60 мм/сут. Другими словами, в этих зонах 1 раз в 20 лет могут наблюдаться осадки, по сути, уже сами по себе представляющие опасное явление, так как выходят за границы критерия более 60 мм/сут. Причем Центральный Алтай

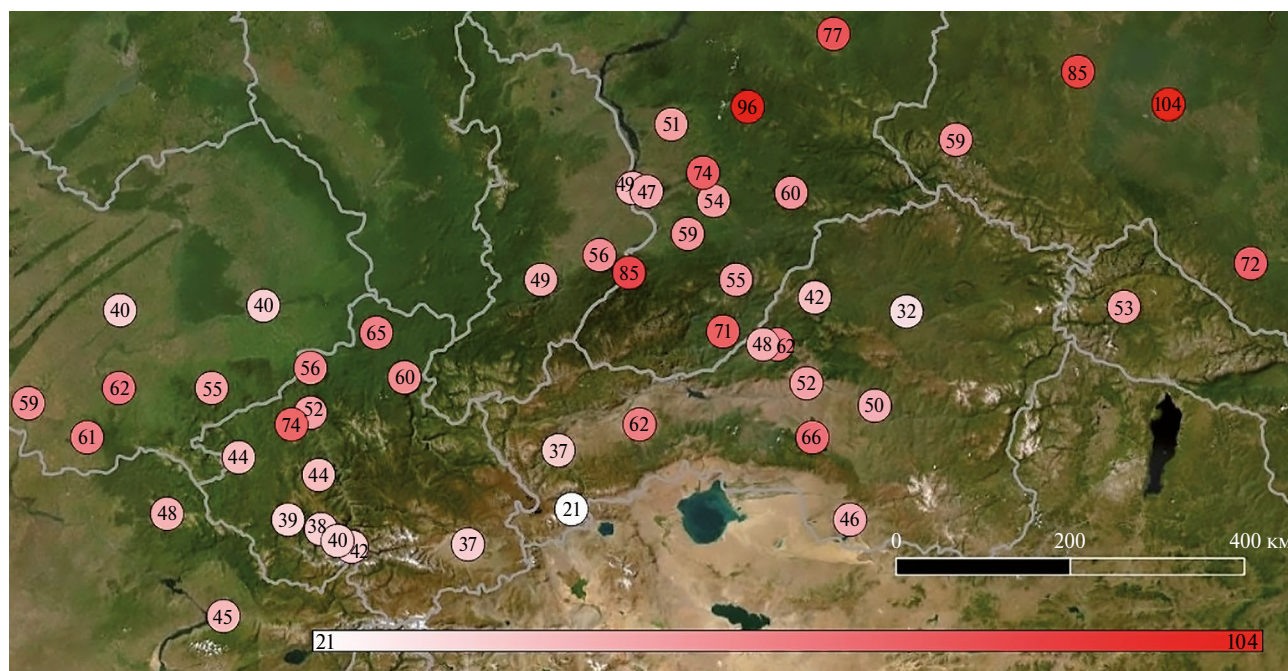


Рис. 2. Пространственное распределение максимальных по интенсивности 1-суточных осадков (мм) с обеспеченностью 5% (1 раз в 20 лет).

в меньшей степени подвержен воздействию таких осадков, а Курайскую и Чуйскую котловины можно отнести к наиболее спокойным районам с точки зрения экстремального увлажнения их территорий. В Саянской горной стране, учитывая ее более протяженный и расчлененный характер, картина пространственного распределения максимальных 1-суточных осадков значительно сложнее, чем на Алтае.

Имея наименьшую степень проявления в районах Тувинской котловины и южных предгорий Восточного Саяна, максимальная интенсивность 1-суточных осадков 5% обеспеченности увеличивается в радиальном направлении на северо-восток, север и запад всей Саянской горной страны. При этом формируются три очага с максимумами от 80 до 100 мм/сут: на северных склонах Западного Саяна (МС Черемушки), на западной части Восточного Саяна (МС Щетинкино) и северо-восточных предгорьях Восточного Саяна (МС Тулун). Несмотря на относительно низкую обеспеченность, эти территории в наибольшей степени подвержены проявлениям опасных явлений, связанных с интенсивными жидкими осадками. В том же Тулуно катастрофическое наводнение в 2019 г. было вызвано интенсивными 1-суточными осадками в 37 мм, выпавшими 11 июня и продублированными через четверо суток таким же количеством воды, превысив при этом месячную норму 64 мм. Там же 21 июля того же года за сутки выпало более 100 мм, спровоцировав вторую волну наводнения. При этом не стоит сбрасывать со счетов и прилегающие к этим очагам районы с интенсивностью более 60 мм/сут. К ним относятся практически все северо-восточные склоны Восточного Саяна и значительная часть Западного. Также не следует забывать о том, что в горной местности начальным критерием опасных осадков являются 30 мм/сут, а это значит, что практически вся территория Саянской горной страны (за исключением ее южных котловинных районов) может быть подвержена воздействию таких осадков в среднем 1 раз в 20 лет.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что выявленное наличие на территориях обоих регионов большого количества зон с интенсивностью 1-суточных осадков более 30 мм требует обязательного учета при определении степени их влияния на распространение опасных природных явлений (ОПЯ). Тот факт, что осадки с такой интенсивностью в подавляющем количестве случаев приходятся на теплое время года, требует отдельного рассмотрения влияние твердых осадков на ОПЯ в виде наводнений. В качестве основного параметра в данном случае была выбрана максимальная мощность снежного покрова.

Анализируя табл. 5, можно сделать несколько предварительных выводов:

- на Алтае в подавляющем большинстве районов в последние 30 лет наблюдается приrost как абсолютных величин ММСП более 30 см, так и количество сезонов с их регистрацией, причем положительная динамика их роста проявляется в современное время неравномерно и здесь можно выделить западные предгорья (МС Змеиногорск) с величиной в 14 см/10 лет;

- в Саянах динамика ММСП разнонаправленна. Если на Восточном Саяне (МС Верхняя Гутара, Тоора-Хем и Орлик) она слабо отрицательная, то на севере Западного Саяна (МС Оленья Речка, Ермаковское) динамика имеет положительный знак, причем скорость увеличения в районе, примыкающем к Оленьей Речке, достигает 9 см/10 лет.

Анализ данных, приведенных на рис. 3 позволяет заключить, что практически вся территория Алтая подвержена воздействию снежного покрова толщиной более 30 см, с крупными очагами на Западном и Северном Алтае (МС Змеиногорск и Турочак), в которых 1 раз в 20 лет можно ожидать ММСП в пределах 110–130 см. Интересно, что в высокогорье (МС Кара-Тюрек и Ак-Кем) не стоит ожидать превышения ММСП 1 раз в 20 лет более 60 см, хотя долинная МС Усть-Кокса имеет более высокие показатели до 70 см, и этот факт указывает на наличие обратного хионометрического градиента в данном районе.

В пространственном распределении ММСП с 5% обеспеченностью выделяется наличие двух ярко выраженных концентраций на северо-восточных отрогах Западного Саяна в районе МС Оленья Речка и на западных склонах Восточного Саяна близ МС Щетинкино со значениями 190 и 170 см соответственно (см. рис. 3). К юго-востоку всего региона происходит значительное уменьшение значений ММСП вплоть до критерия в 30 см на юго-западных склонах в районе МС Орлик.

Анализ полученных результатов позволяет сделать несколько выводов о вероятностной структуре пространственного распределения ММСП на всей территории Алтае-Саянского региона. Превышение ММСП более 30 см наблюдается практически везде, с обеспеченностью 5% (1 раз в 20 лет). Исключение составляют только юго-восток Алтайской горной страны и некоторые районы Восточного Саяна, где ММСП не достигает 30 см. Существует несколько зон с весьма большими значениями ММСП, где вероятность схода лавин резко повышается.

Жирным шрифтом в табл. 6 отмечены годы, в которые были зарегистрированы наводнения,

Таблица 5. Основные характеристики изменений максимальной мощности снежного покрова для различных периодов (по данным на метеостанциях)

Метеостанция	Максимум за период/среднее из максимумов, см		Количество сезонов с ММСП более 30 см		Коэффициенты линейного тренда КТ, см/10 лет		
	1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021	1961–2021	1961–1990	1991–2021
Алтай							
Змеиногоorsk	121/58	138/72	29	31	4.1	–12.7	14.2
Кара-Тюрек	58/37	68/40	28	30	<i>0.2</i>	–2.0	<i>0.4</i>
Кызыл-Озек	68/56	71/57	29	31	–0.2	–5.6	<i>1.2</i>
Солонешное	73/38	64/41	23	28	<i>0.4</i>	–4.8	1.9
Усть-Кокса	50/31	64/35	17	22	1.4	<i>1.1</i>	<i>0.1</i>
Яйлю	71/34	69/36	21	24	–0.5	–5.0	–0.3
Саяны							
Верхняя Гутара	39/25	38/25	5	9	–0.2	–1.5	<i>0.8</i>
Минусинск	33/20	42/20	1	3	<i>0.1</i>	1.5	<i>0.6</i>
Оленья Речка	221/139	225/153	30	31	2.7	–13.3	9.0
Орлик	24/14	21/12	0	0	–0.6	–1.0	–1.1
Тоора-Хем	43/29	38/28	16	12	–0.2	–1.5	<i>0.8</i>
Тулун	44/31	49/34	15	21	<i>1.3</i>	–0.3	4.6
Ермаковское	62/34	79/43	17	25	2.6	4.4	<i>0.5</i>

Примечание: курсивом показаны статистически незначимые КТ.

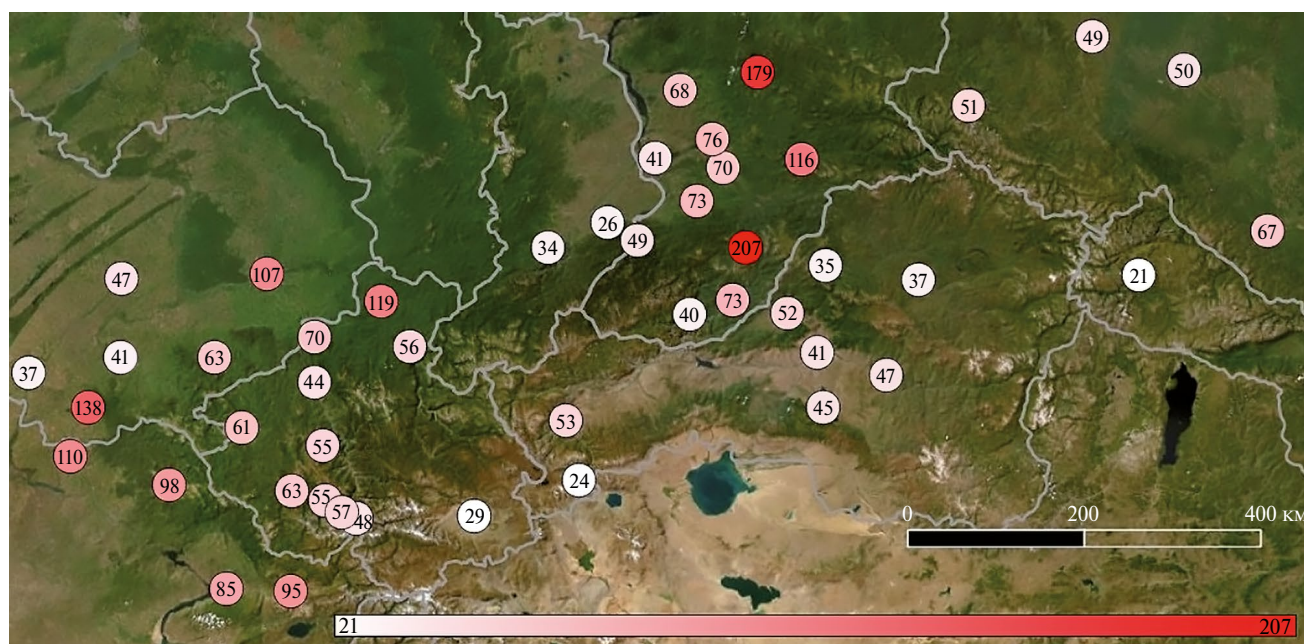


Рис. 3. Пространственное распределение максимальной мощности снежного покрова (см) с обеспеченностью 5% (1 раз в 20 лет).

Таблица 6. Количество случаев перехода средней месячной температуры воздуха через 2 стандартных отклонения (экстремальные отклонения) в разные периоды и годы

Метеостанция	Сезон	Количество случаев перехода через 2 СКО		Годы перехода	
		1961–1990	1991–2021	1961–1990	1991–2021
Алтай					
Рубцовск	Март–Май	0	5		2020
Змеиногорск	Март–Май	1	4	1962	2001
Солонешное	Март–Май	0	4		2001, 2020
Бийск	Март–Май	0	4		2001, 2020
Усть-Кокса	Март–Май	0	4		2020
Кара-Тюрек		0	2		1997, 2020
Кызыл-Озек		0	3		2001, 2020
Яйлю (Артыбаш)		0	5		2001, 2020
Катон-Карагай		1	3	1963	2020
Мугур-Аксы		0	5		1997, 2020
Кош-Агач		0	5		1997, 2020
Сред. сезон. по региону		0	4		
Саяны					
Минусинск		0	5		1997, 2020
Оленья Речка		0	4		1997
Кызыл		0	6		1999, 2020
Сосновка		0	3		1997, 2020
Тоора-Хем		0	5		1999, 2020
Тулун		1	7	1990	1997, 2020
Верхняя Гутара		0	4		1997, 2020
Нижнеудинск		1	4	1990	1997, 2020
Тээли		0	3		2001, 2020
Сред. сезон. по региону		0	4		

связанные именно с сильным половодьем в данной местности, прилегающей к МС. В отличие от поля осадков, термическое поле всегда более устойчиво, и его аномальные характеристики, как правило, распределяются достаточно равномерно на значительные территории, что и доказывают данные таблицы. Например, в 2021 и 2020 гг. на Алтае было зарегистрировано большое количество весенних локальных половодий, основной причиной которых и было интенсивное таяние снега в предгорных и горных частях бассейнов большинства рек. В Саянских горах подобная картина наблюдалась в апреле–июле

в 1996 и в 2019 гг., но в этих случаях главную роль играли аномальные осадки.

С использованием приведенной в методическом разделе классификации чрезвычайных ситуаций (наводнений) были определены их частота (количество) и величина для периода 1961–2021 гг., которые оформлены в виде гистограмм с определением трендовых характеристик.

На рис. 4а отчетливо видно увеличение повторяемости и величины наводнений, особенно на современном этапе. Линейный тренд за период 1991–2021 гг. составляет 0.4 кат./10 лет, то есть в дальнейшем следует ожидать увеличения

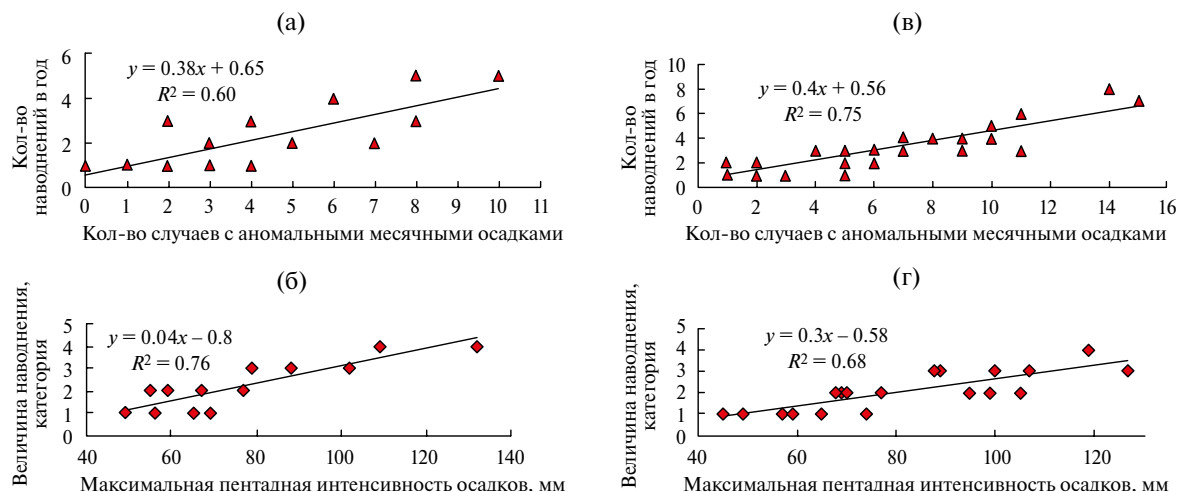


Рис. 4. Хронологический ход величины самого крупного наводнения, зарегистрированного в год на территории региона: (а) Алтай, (в) Саяны. Хронологический ход количества зарегистрированных наводнений в год по времени и локализации (в разное время года или в одно и то же время, но в разных частях региона): (б) Алтай, (г) Саяны.

частоты наводнений с более высокой величиной, учитывая выявленные ранее тенденции у климатических характеристик и их явную связь с ОПЯ.

На рис. 4б приведены данные, характеризующие ход количества наводнений в год, без учета их величины, также просматривается явная тенденция к их увеличению за весь период 1961–2021 гг. со скоростью около 0.2 случая/10 лет. При определении тенденции за период 1991–2021 гг. оценивалась скорость увеличения количества наводнений, которая достигает 0.5 случая/10 лет. Таким образом, можно констатировать, что в данном регионе наблюдается совместная положительная тенденция роста наводнений и по величине, и по частоте проявлений.

В Саянской горной стране также прослеживается тенденция роста наводнений по величине

не за период 1961–2021 гг., но с более слабым показателем тренда 0.1 кат./10 лет за весь период с 1961 по 2021 г., увеличивающимся до 0.3 кат./10 лет на современном этапе с 1991 по 2021 г. (рис. 4в).

В связи с тем, что по площади Саянский регион почти в два раза больше Алтайского, общее количество наводнений в год в нем, естественно, превышает алтайские показатели. Скорость их увеличения составляет 0.4 случая/10 лет, причем для современного периода 1991–2021 гг. она увеличивается до 1.1 случая/10 лет и в ближайшие годы может достичь в среднем значения в 4 случая/год (рис. 4г). Следует отметить, что Саяны имеют интересную особенность в виде “спокойного” 10-летнего периода 1985–1994 гг., когда наводнения любого масштаба не были отмечены во всем регионе.

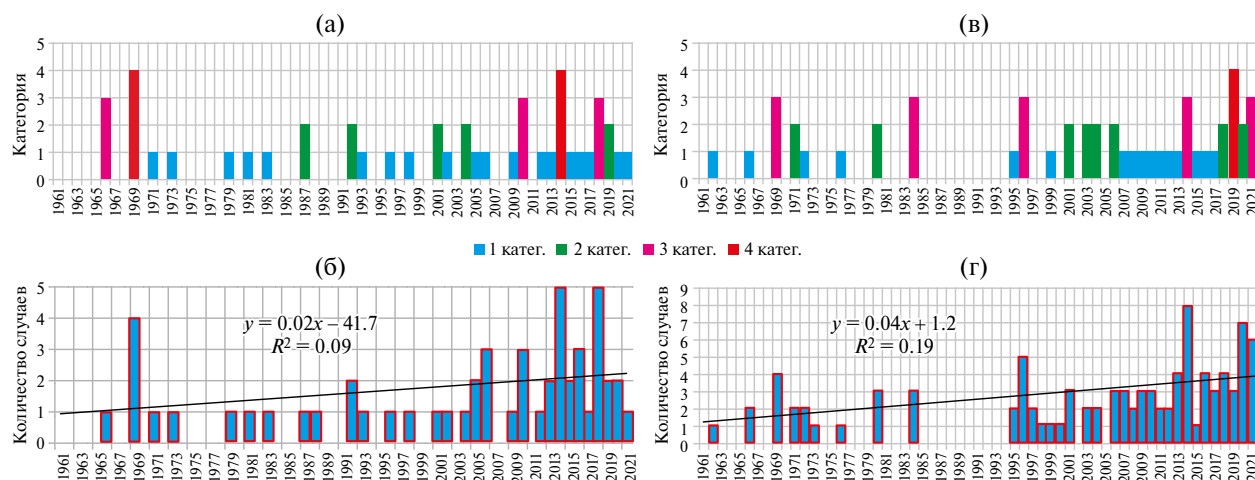


Рис. 5. Связь между количеством случаев превышения месячных сумм осадков более 2 стандартных отклонений в месяцы с наводнениями (влияющий фактор) и количеством наводнений (результатирующий фактор) в год: (а) Алтай, (в) Саяны. Связь между максимальной интенсивностью пентадных (5-суточных) осадков (влияющий фактор) и величиной наводнений по приведенной выше классификации (результатирующий фактор): (б) Алтай, (г) Саяны.

Таким образом, с учетом полученных результатов, можно констатировать, что во всем Алтае-Саянском регионе в последнее время наблюдается положительная тенденция роста опасных природных явлений в виде наводнений и по величине, и по частоте их проявлений. Сопоставление этих фактов с выявленной ранее динамикой климатических аномальных факторов позволяет предполагать наличие их взаимосвязи, причем роль осадков можно считать приоритетной.

Результаты анализа графиков на рис. 5 указывают на весьма плотную связь величин, характеризующих осадки и наводнения, причем увеличение аномальности первых явно влечет за собой увеличение наводнений и по частоте, и по величине. Коэффициенты детерминации, определяющие долю вклада изменений влияющего фактора в изменения результирующего, находятся в пределах очень высоких значений: от 0.60 до 0.76, что говорит о высокой степени этих взаимосвязей. Почти аналогичная картина, но с более весомыми коэффициентами детерминации наблюдается и в Саянском регионе (см. рис. 5в и г).

ВЫВОДЫ

В результате исследования пространственно-временной изменчивости аномальных и экстремальных значений основных климатических характеристик Алтае-Саянской горной страны и их связи с сезонными наводнениями можно сделать следующие выводы.

1. Увеличение частоты аномальных значений фоновых осадков (средних месячных) наблюдалось в период 1991–2021 гг. по сравнению с нормой на территории практически всей Алтае-Саянской горной страны в весенне-летний сезон.

2. В тот же период относительный рост случаев с аномальными (более 2 СКО) месячными осадками в среднем составил: на Алтае — 43%, в Саянах — 57%.

3. На фоне обнаруженного роста аномалий месячных сумм осадков регистрируется повсеместное увеличение частоты аномальных и экстремальных по интенсивности осадков в обоих регионах. Причем в Саянах это увеличение проявляется более отчетливо.

4. Наиболее ощутимая положительная динамика частоты наблюдается для пентадных (5-суточных) аномальных с 60-миллиметровым и экстремальных с 100-миллиметровым пределами осадков. Последние, в свою очередь, являются вероятным триггерным фактором возникновения высоких и катастрофических наводнений, имеющих признаки половодий и паводков.

5. На большинстве метеостанций обоих регионов наблюдаются положительные тенденции в скорости увеличения интенсивности осадков, особенно в современный период. Исключение составляют только равнинные и высокогорные территории, где регистрируется слабая отрицательная тенденция.

6. Выявлено несколько зон на всей территории Алтае-Саянского региона максимальных осадков 1-суточной продолжительности с обеспеченностью в 5% их проявления на опасном уровне более 60 мм/сут.

7. Характер временной динамики максимальной мощности снежного покрова практически повсеместно имеет положительный знак, что говорит об увеличении вероятности схода лавин. Увеличивается количество сезонов с ММСП более 30 см. На современном этапе сохраняются положительные тренды с их резким увеличением на Западном Алтае и на северных склонах Западных Саян.

8. Выделены зоны с ММСП более 160 см с обеспеченностью 5% (1 раз в 20 лет).

9. На большей части территории Алтае-Саянского региона значения аномальных осадков и ММСП достигают границ, после превышения которых они могут способствовать развитию ОПЯ.

10. Исследованная динамика аномальных и экстремальных показателей термического режима территории позволяет предполагать увеличение роли роста температур весенних месяцев в формировании наводнений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Русского географического общества в рамках проекта № 45/2022-И “Климатические аномалии и опасные природные явления в Южной Сибири”. Руководитель — д-р геогр. наук, К.В. Чистяков.

FUNDING

The study was carried out with the financial support of the Russian Geographical Society within the framework of the project no. 45/2022-I “Climatic Anomalies and Dangerous Natural Phenomena in Southern Siberia.” The project leader is Prof. K.V. Chistyakov, Doctor of Geographical Sciences, Director of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Мониторинг снежного покрова на территории Российской Федерации // Тр. Гидрометеорологического

- научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2017. № 366. С. 87–96.
- Второй оценочный докл. Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
- Ганюшкин Д.А. Современная динамика ледников Алтая. В сб.: Актуальные проблемы защиты экологии и климата. Международ. научно-практич. конф., посвященная Всемирному дню ледников. Филиал Моск. Гос. ун-та имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Душанбе, 2023. С. 37–41.
- Гармс Е.О., Сухова М.Г. Экосистемный отклик горных ландшафтов Алтая на изменения климата // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 6. С. 500–504.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М.: Росгидромет, 2022. 104 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 104 с.
- Кичигина Н.В. Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений // Вестн. СПбГУ. Науки о Земле. 2021. Т. 66. № 1. С. 41–61.
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.103>
- Кочеева Н.А., Пономарева Ю.А. К вопросу о распространении опасных природных явлений на территории Республики Алтай // Мир науки, культуры, образования. 2008. Т. 9. № 2. С. 26–29.
- Курочкин Ю.Н., Чистяков К.В., Сыромятина М.В. Экстремальные осадки и наводнения в бассейне реки Абакан // Изв. РГО. 2024. Т. 156. № 4. С. 268–281.
<https://doi.org/10.31857/S0869607124040031>
- Кужевская И.В., Нечепуренко О.Е., Чурсин В.В., Мацуяма Х. Анализ проявления экстремальности климата с середины XX в. на территории Горного Алтая // Геосферные исследования. 2020. № 3. С. 97–108.
<https://doi.org/10.17223/25421379/16/8>
- Куулар Х.Б. Особенности климата Республики Тыва во второй половине XX и в XXI вв. // Метеорология и гидрология. 2015. № 1. С. 51–57.
- Любимов Р.В., Ситникова В.А., Савенко К.С., Николаева О.П., Достовалова М.С. Паспорт климатической безопасности Республики Алтай / утв. Распоряжением Правительства Республики Алтай от 1 декабря 2022 г. № 874-р. Горно-Алтайск, 2022. 165 с.
- Максимова Н.Б., Гончаров С.П., Морковкин Г.Г., Семикина С.С. Исследование гидрологического режима рек Алтайского края в условиях меняющегося климата // Вестн. Алтайского гос. аграрного ун-та. 2017. Т. 152. № 6. С. 73–80.
- Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16–28.
- Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. М.: Изд-во ФГБУ “Гидрометцентр России”, 2019. 72 с.
- Национальный атлас России. Т. 2: Природа. Экология / гл. ред. В.М. Котляков; сост. Е.Г. Александрова-Вергунова и др., 2007. 495 с.
- Паромов В.В., Шумилова К.А., Гордеев И.Н. Условия формирования половодья большой водности и прогноз наводнения на реке Абакан // Изв. Томск. политехнич. ун-та. Инжиниринг госресурсов. 2016. Т. 327. № 11. С. 57–67.
- Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая / ред. А.А. Земцов. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977. 216 с.
- Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян / ред. В.И. Русанов. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1998. 201 с.
- Тропина Е.Ф., Кнорре А.А., Ерунова М.Г., Целихин М.К. Вариабельность влагозапаса снежного покрова в предгорьях Восточного Саяна на фоне климатических сдвигов // Сибирский лесной журн. 2024. № 4. С. 48–60.
<https://doi.org/10.15372/SJFS20240405>
- Харламова Н.Ф., Останин О.В. Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2012. Т. 75. № 3-1. С. 147–152.
- Шарапова А.А., Соколов К.И. Оценка пространственно-временной закономерности экстремальности погодных условий Алтайского региона // Климатология и гляциология Сибири: Международ. науч. конф. 2015. С. 152–154.
- Allamano P., Claps P., Laio F. Global warming increases flood risk in mountainous areas // Geophys. Res. Lett. 2009. Vol. 36. № 24. 5 p.
<https://doi.org/10.1029/2009GL041395>
- Hussain S.S., Mudasser M. Prospects for wheat production under changing climate in mountain areas of Pakistan – An econometric analysis // Agric. Syst. 2007. Vol. 94. № 2. P. 494–501.
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2006.12.001>
- Paranunzio R., Marra F. Open gridded climate datasets can help investigating the relation between meteorological anomalies and geomorphic hazards in mountainous areas // Glob. Plan. Changes. 2024. Vol. 232. P. 104328.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104328>
- Wang X., Chen R., Li H., Li K., Liu J., Liu G. Detection and attribution of trends in flood frequency under climate change in the Qilian Mountains, Northwest China // J. Hydrol. Reg. Stud. 2022. Vol. 42. P. 101153.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101153>

Climatic Anomalies and Floods in Mountainous Areas of Southern Siberia (Altai-Sayan Region)

S. A. Griga^{a,*}, Yu. N. Kurochkin^a, K. V. Chistyakov^a, and L. A. Pankratova^a

^a*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

^{*}*e-mail: semyon.griga@yandex.ru*

The work is devoted to the climatic anomalies of Altai and Sayan Mountains. Abnormal values pose the greatest danger to the population, infrastructure, and natural geosystems. The purpose of the article is to identify the spatiotemporal dynamics of climatic anomalies in terms of precipitation, temperature, and snow cover thickness in Southern Siberia. For this purpose, the data from 48 meteorological stations were processed using mathematical statistics methods. The anomalous and extreme values are compared for two 30-year periods: the “climatic norm” of 1961–1990 and the modern 1991–2021. As a result, the relationship between an increase in the frequency of abnormal values of these parameters and an increase in the number of floods was revealed. The most pronounced positive dynamics of the frequency of manifestations are in pentadic (5-day) anomalous with 60-mm and extreme with 100-mm precipitation limits. Temporary changes in the maximum thickness of the snow cover almost everywhere have a positive sign, which indicates an increase in the likelihood of avalanches. The study of the dynamics of abnormal and extreme indicators of the thermal regime of the territory indicates a significant increase in the role of temperature increases in the spring months in the formation of floods. Maps of the spatial distribution of these climate characteristics of various security have been obtained. Important zones of maximum precipitation distribution have been found throughout the Altai-Sayan region, with 5% of their occurrence at a dangerous level of more than 60 mm/day. The areas of distribution of the maximum snow cover capacity with indicators of more than 160 cm with a security of 5% are also highlighted. In both cases, these values are the beginning of a dangerous natural phenomenon. Data on the probabilistic structure of anomalies in precipitation, temperature, and snow cover thickness can be applied in practice to ensure safety and develop strategies for the sustainable development of the region.

Keywords: climatic changes, natural hazards, snow cover, air temperature, precipitation, climatic anomalies, Altai-Sayan region

REFERENCE

- Allamano P., Claps P., Layo F. Global warming increases the risk of flooding in mountainous areas. *Geophys. Res. Lett.*, 2009, vol. 36, no. 24, art. 5.
<https://doi.org/10.1029/2009GL041395>
- Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvaev V.N. Monitoring of snow cover on the territory of the Russian Federation. *Tr. Gidromet. Nauch.-Issled. Tsentra Ross. Fed.*, 2017, no. 366, pp. 87–96. (In Russ.).
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2021 god* [Report on the Peculiarities of the Climate in the Territory of the Russian Federation for 2021]. Moscow: Rosgidromet, 2022. 104 p.
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2022 god* [Report on the Peculiarities of the Climate in the Territory of the Russian Federation for 2022]. Moscow: Rosgidromet, 2023. 104 p.
- Ganyushkin D.A. Modern dynamics of Altai glaciers. In *Aktual'nye problemy zashchity ekologii i klimata* [Actual Problems of Ecology and Climate Protection]. Dushanbe, 2023, pp. 37–41. (In Russ.).
- Garms E.O., Sukhova M.G. Ecosystem response of Altai mountain landscapes to climate change. *Mir Nauki, Kul't., Obraz.*, 2012, no. 6, pp. 500–504. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.103>
- Hussain S.S., Mudasser M. Prospects of wheat production in the conditions of climate change in mountainous areas of Pakistan — an econometric analysis. *Agric. Syst.*, 2007, vol. 94, no. 2, pp. 494–501.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.12.001>
- Kharlamova N.F., Ostanin O.V. Review of the modern thermal regime of the Altai-Sayan ecoregion and possible forecasts. *Izv. Altai. Gos. Univ.*, 2012, vol. 75, no. 3, pp. 147–152. (In Russ.).
- Kichigina N.V. Floods of Siberia: geographical and statistical analysis for the period of climatic changes. *Vestn. S.-Peterb. Univ. Nauki Zemle*, 2021, vol. 66, no. 1, pp. 41–61. (In Russ.).
- Kocheeva N.A., Ponomareva Yu.A. On the issue of the spread of natural hazards in the territory of the Altai Republic. *Mir Nauki, Kul't., Obraz.*, 2008, vol. 9, no. 2, pp. 26–29. (In Russ.).
- Kurochkin Yu.N., Chistyakov K.V., Syromyatina M.V. Extreme precipitation and flooding in the Abakan River basin. *Izv. RGO*, 2024, vol. 156, no. 4, pp. 268–281. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0869607124040031>
- Kuular K.B. Peculiarities of climate in the Tyva Republic in the 20th and 21st centuries. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2015, vol. 40, pp. 34–38.
<https://doi.org/10.3103/S1068373915010057>

- Kuzhevskaya I.V., Nechepurenko O.E., Chursin V.V., Mahu Ya.A. Due to the prevalence of climate extremes in the middle of the 20th century in the territory of Gorny Altai. *Geosfer. Issled.*, 2020, no. 3, pp. 97–108. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17223/25421379/16/8>
- Lyubimov R.V., Sitnikova V.A., Savenko K.S., Nikolayeva O.P., Dostovalova M.S. Climate Safety Passport of the Altai Republic. Approved by Decree of the Government of the Altai Republic dated December 1, 2022. (In Russ.).
- Maksimova N.B., Goncharov S.P., Morkovkin G.G., Semikina S.S. Investigation of the hydrological regime of the rivers of the Altai Territory in a changing climate. *Vestn. Altai. Gos. Agrarn. Univ.*, 2017, vol. 152, no. 6, pp. 73–80. (In Russ.).
- Mokhov I.I., Semenov V.A. Weather and climate anomalies in Russian regions related to global climate change. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2016, vol. 41, pp. 84–92.
<https://doi.org/10.3103/S1068373916020023>
- Nastavlenie po kratkosrochnym prognozam pogody obshchego naznacheniya* [Manual on Short-Term General-Purpose Weather Forecasts]. Moscow: Gidrometsentr Rossii, 2019. 72 p.
- National Atlas of Russia. Vol. 2: Nature. Ecology.* Kotlyakov V.M., Aleksandrova-Vergunova E.G. et al., Eds. 2007. 495 p.
- Paranunzio R., Marra F. Open sets of climate data linked to a grid can help in studying the relationship between meteorological anomalies and geomorphological hazards in mountainous areas. *Glob. Plan. Changes*, 2024, vol. 232, art. 104328.
<https://doi.org/doi:10.1016/j.gloplacha.2023.104328>
- Paromov V.V., Shumilova K.A., Gordeev I.N. Conditions of high-water flood formation and flood forecast on the Abakan River. *Izv. Tomsk. Politekh. Univ. Inzhinir. Georesur.*, 2016, vol. 327, no. 11, pp. 57–67. (In Russ.).
- Revyakin V.S., Kravtsova V.I. *Snezhnyi pokrov i laviny Altaya* [Snow Cover and Avalanches of Altai]. Zemtsov A.A., Ed. Tomsk: Izd-vo Tomsk. Univ., 1977. 216 p.
- Sevastyanov V.V. *Klimat vysokogornyykh raionov Altaya i Sayan* [Climate of the Altai and Sayan Highlands]. Rusanov V.I., Ed. Tomsk: Izd-vo Tomsk. Univ., 1998. 201 p.
- Sharapova A.A., Sokolov K.I. Assessment of the spatial and temporal patterns of extreme weather conditions in the Altai region. In *Klimatologiya i glyatsiologiya Sibiri: Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* [Climatology and Glaciology of Siberia: Int. Sci. Conf.], 2015, pp. 152–154. (In Russ.).
- Tropina E.F., Knorre A.A., Yerunova M.G., Tselikhin M.K. Variability of snow cover moisture in the foothills of the Eastern Sayan against the background of climatic shifts. *Sibir. Lesn. Zh.*, 2024, no. 4, pp. 48–60. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15372/SJFS20240405>
- Vtotoi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [The Second Assessment Report of Roshydromet on Climate Change and Its Consequences on the Territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1009 p.
- Wang H., Chen R., Li H., Li K., Liu J., Liu G. Identification and determination of trends in the frequency of floods in the context of climate change in the Qilian Mountains in northwestern China. *J. Hydrol. Reg. Stud.*, 2022, vol. 42, art. 101153.
<https://doi.org/doi:10.1016/j.ejrh.2022.101153>