

## Наблюдаемые изменения климата в бассейнах Байкала и Ангары

*О.Н. Липка<sup>1,2)\*</sup>, А.Ю. Богданович<sup>1)</sup>, А.П. Андреева<sup>1)</sup>, А.С. Караваяева<sup>1)</sup>,  
С.В. Крыленко<sup>1)</sup>, А.М. Стерин<sup>3)</sup>, Н.Н. Коршунова<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,  
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

<sup>2)</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Россия, 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11

<sup>3)</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,  
Россия, 249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6

\*Адрес для переписки: [olipka@mail.ru](mailto:olipka@mail.ru)

**Реферат.** Изменения климата в бассейне оз. Байкал и р. Ангары приводят к обострению накопившихся нерешенных социальных и экологических проблем через увеличение частоты и амплитуды опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, а также в результате плавного направленного изменения абиотических компонентов окружающей среды. Целью исследования является анализ характеристик современных наблюдаемых изменений климата и климатообусловленных рисков для бассейна р. Ангары и оз. Байкал. В регионе четко проявляется рост среднегодовой и сезонной температуры с 70-х годов прошлого столетия. Увеличивается количество теплых и сокращается количество холодных дней. Изменение годового и сезонного количества осадков происходит неравномерно. На территории Иркутской области прослеживается тенденция к увеличению годового количества осадков, а на востоке (Бурятия и Забайкалье) и юге региона (Монголия) – к уменьшению. Зимой и весной осадки растут практически повсеместно, летом и осенью сокращаются на юге и востоке. Нарастающая экстремальность климата проявляется в неравномерности выпадения осадков (высокие суточные значения и продолжительные засухи) и росте пожароопасности. Кроме того, интенсивные осадки приводят к наводнениям и активизации склоновых процессов (сели и оползни), которые регулярно наносят ущербы экономике.

**Ключевые слова.** Изменения климата, климатообусловленные риски, опасные гидрометеорологические явления, бассейн Байкала, бассейн Ангары.

## Observed climate changes in the Baikal and Angara basins

*O.N. Lipka<sup>1,2)\*</sup>, A.Yu. Bogdanovich<sup>1)</sup>, A.P. Andreeva<sup>1)</sup>, A.S. Karavaeva<sup>1)</sup>,  
S.V. Krylenko<sup>1)</sup>, A.M. Sterin<sup>3)</sup>, N.N. Korshunova<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup>Yu.A. Izrael Institute of global climate and ecology,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

<sup>2)</sup>National Research University Higher School of Economics,  
11, Pokrovsky Boulevard, 109028, Moscow, Russian Federation

<sup>3)</sup>Federal state budgetary institution «All Russian RI of Hydrometeorological Information – World  
Data Centre»,  
6, Koroleva str., 249035, Kaluga region, Obninsk, Russian Federation

\* Correspondence address: *olipka@mail.ru*

**Abstract.** Climate change in the lake Baikal and Angara River basins exacerbates the accumulated unresolved social and environmental problems through the intensification of dangerous and adverse hydrometeorological phenomena, as well as a result of a slow directed change in the abiotic components of the environment. The goal of the research is to find and analyze the characteristics of modern climate change and climate-related risks in the region according to observations data, including the analysis of trends in dangerous and adverse hydrometeorological phenomena. The increase in the average annual and seasonal temperature since the 70s of the last century are clearly manifested in the region. The number of warm days is increasing and the number of cold days is decreasing. Changes in annual and seasonal precipitation occur unevenly. There is a tendency to increase the annual amount of precipitation in the west (Irkutsk region), and to decrease in the east (Buryatia and Transbaikalia) and the south of the region (Mongolia). Precipitation increases almost everywhere in winter and spring. In summer and autumn, it decreases in the south and east. The growing extremeness of the climate is manifested in uneven precipitation (high daily values and prolonged droughts) and an increase in fire hazard. In addition, intense precipitation leads to floods and the activation of slope processes (mudflows and landslides), which regularly damage the economy.

**Keywords.** Climate change, climate-related risks, dangerous hydrometeorological phenomena, Baikal basin, Angara basin.

## Введение

Уникальность оз. Байкал, его ценность и неповторимость как экосистемы были официально признаны международным сообществом в 1996 г., когда озеру был присвоен статус объекта Всемирного природного наследия ЮНЕСКО (UNESCO, 1997). Уже в то время на Байкальской природной территории существовал комплекс экологических, социальных и экономических проблем, сложным образом переплетающихся между собой (Государственный доклад..., 2022; Эколого-географический..., 2019).

Изменения климата в бассейнах оз. Байкал и единственной вытекающей из него реки Ангары приводят к обострению накопившихся нерешенных проблем через увеличение частоты и амплитуды опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений, а также в результате плавного направленного «изменения климатических параметров окружающей среды: температуры, количества осадков и их распределения, характе-

---

ристик ветра и др. Как правило, максимальные ущербы охватывают сферы здоровья населения, климатозависимые отрасли экономики и природные системы, а также связанные с ними возобновляемые ресурсы (Третий оценочный доклад..., 2022; IPCC, 2022).

В районе исследования расположены крупные города (Иркутск и Улан-Удэ), предприятия горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также три крупных инженерных сооружения – каскад Ангарских ГЭС, повреждение которых в результате опасных гидрометеорологических явлений может привести к катастрофическим последствиям (Абарина и др., 2021). Даже снижение эффективности их работы в результате волн жары или низких межених скажется негативно на благополучии населения и экономике всего региона.

Для принятия решений по адаптации к изменениям климата прежде всего необходима объективная информация, основанная на обработке данных наблюдений, а также современные прогнозы изменений климата, выполненные с максимально возможным пространственным разрешением.

Целью исследования является анализ характеристик современных изменений климата и климатообусловленных рисков для бассейна р. Ангары и оз. Байкал, по данным наблюдений, включая анализ трендов характеристик опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений.

Решались следующие задачи:

- оценить долгопериодные тенденции изменения в термическом режиме, включая тенденции изменений экстремумов;
- оценить долгопериодные тенденции изменения режима выпадения осадков, включая тенденции изменений засух и экстремальных осадков;
- охарактеризовать изменения ветрового режима, в том числе распределение и интенсивность сильных ветров;
- выявить наиболее опасные и наносящие значительный ущерб людям и экономике в исследуемом регионе климатообусловленные явления, которые теоретически могут усилиться при изменении режимов температуры, осадков и ветра в регионе. Дать их характеристику.

## Материалы и методика

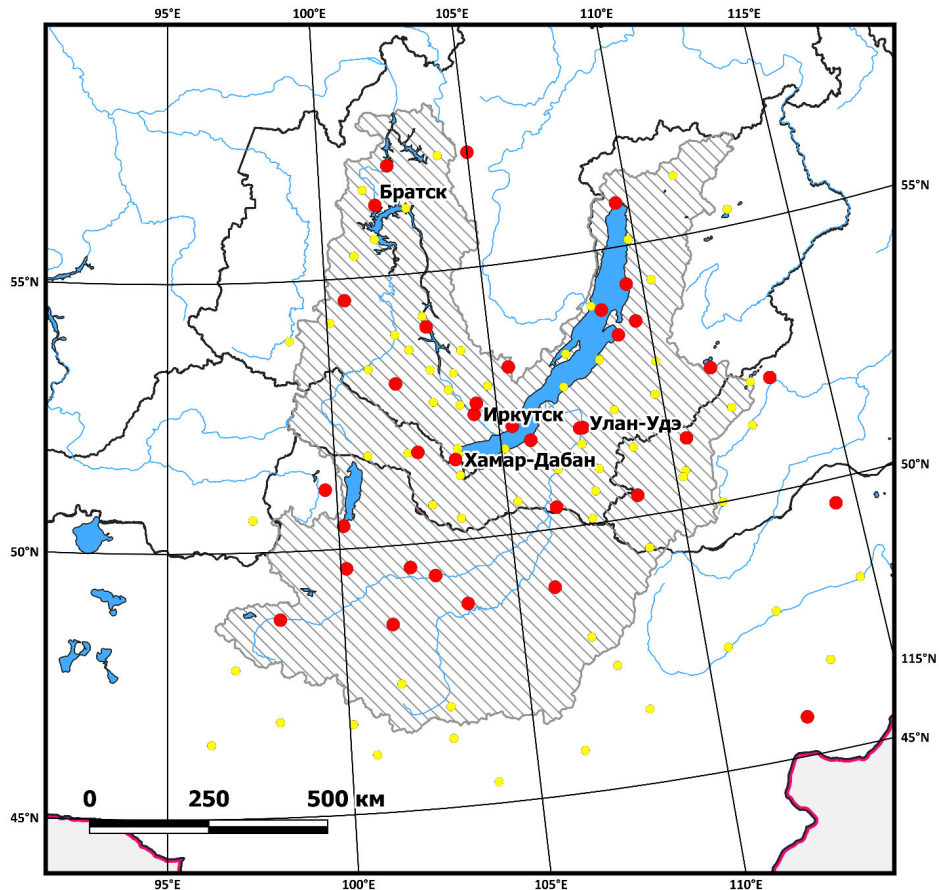
В ходе исследования использовались следующие **источники информации**:

- данные 25 опорных (собирающих наиболее полную информацию и включенных в сеть Всемирной метеорологической организации) метеорологических станций на территории России за 1970-2021 гг. (Булыгина и др., 2022а, 2022б);
  - дополнительно данные 50 метеостанций на территории России за 2013-2020 гг. (все действующие станции Росгидромета в районе исследований из Госфонда ВНИИГМИ-МЦД);
  - данные 9 опорных метеостанций в Монголии за 1970-2021 гг. из открытых источников информации (рис. 1);
-

– массивы данных о метеорологических параметрах Группы климатических исследований (Climate Research Unit – CRU, v. 4.06, 2022) Университета Восточной Англии за 1971-2021 гг.;

– опубликованные материалы (в том числе базы данных) об опасных гидрометеорологических явлениях и их последствиях.

Необходимость использования нескольких взаимодополняющих источников информации обусловлена многоплановостью задач и отсутствием единого ресурса для получения исчерпывающей информации по интересующему региону.



**Рисунок 1.** Расположение метеорологических станций в районе исследований  
*Красные точки – станции ВМО, желтые точки – прочие станции*

**Figure 1.** Location of meteorological stations in the study area  
*Red dots are WMO stations, yellow dots – other stations*

В ходе анализа применялись стандартные статистические методы обработки метеорологической информации (Дегтярев и др., 2015).

Обработка картографических материалов из различных источников и построение карт выполнены в программе QGIS. В качестве цифровой модели рельефа использовалась интерактивная гипсометрическая карта проекта Open Street Map (Проект OpenStreetMap...).

Карты, построенные на основе баз данных Группы климатических исследований Университета Восточной Англии (Climate Research Unit – CRU, v. 4.06, 2022), являются результатом обработки данных постанционных наблюдений – интерполяции в узлы широтно-долготной сетки.

В рамках экспедиции в сентябре 2022 г. в бассейне Ангары была уточнена информация о развитии некоторых климатообусловленных явлений и их последствий.

## Результаты и обсуждение

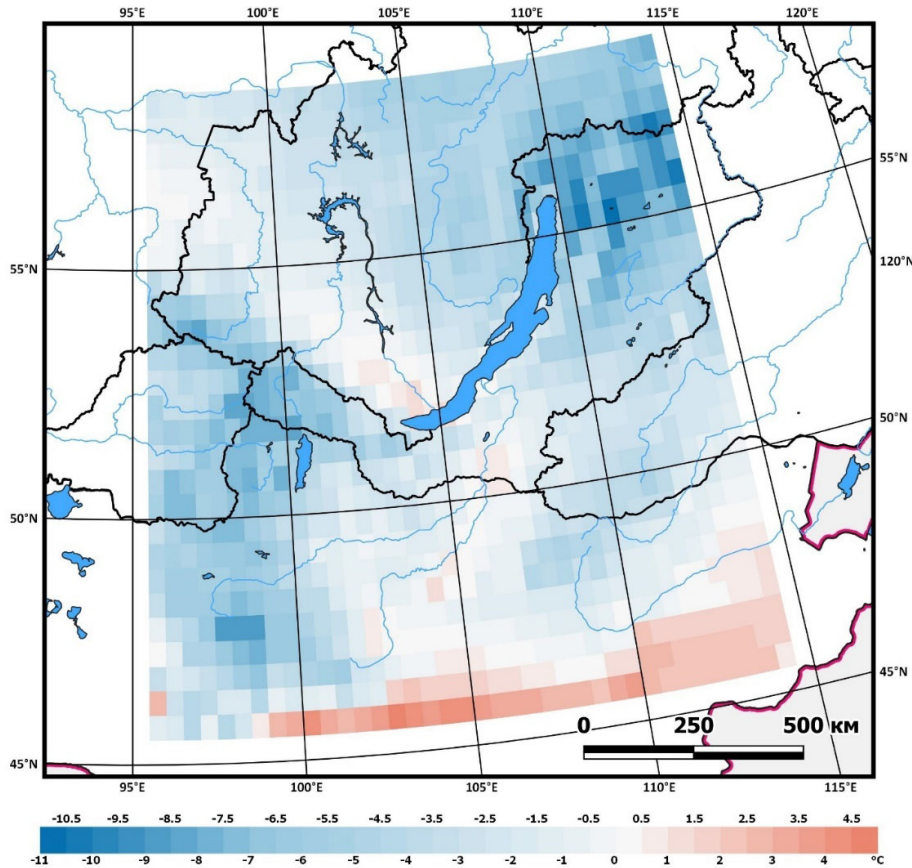
Бассейн Байкала и Ангары (до Усть-Илимской ГЭС) можно рассматривать как единый географический объект со сложной структурой. Административно его южная часть находится на территории Монголии, российская часть охватывает большую часть Республики Бурятия и значительную часть Иркутской области, небольшой фрагмент Забайкальского края и восточные районы Республики Тыва. При этом Иркутская область и Тыва относятся к Сибирскому федеральному округу, а Бурятия и Забайкальский край – к Дальневосточному. Водосборная площадь бассейна Ангары, включая озеро Байкал, составляет 1 039 000 кв. км, из которых бассейн Байкала занимает половину территории (Баженова, Мартъянова, 2003).

По классификации Алисова, российская часть бассейна преимущественно соответствует двум климатическим областям: континентальной восточно-сибирской и горной области Алтая и Саян (Национальный атлас России, 2007).

По данным массива CRU (2022), в узлах сетки была построена карта средней многолетней температуры за период 1971-2021 гг. Ее разрешение превышает карты, опубликованные в регулярных «Докладах об особенностях климата на территории Российской Федерации» (2023) и охватывает более продолжительный период. На карте выделяется область более высоких температур на юго-востоке региона (в Монголии), а также вдоль долины Селенги и далее на северо-запад через Иркутск и исток Ангары (рис. 2).

По данным наблюдений, температура воздуха последние 50 лет растет во всем регионе со скоростью 0.3-0.4°C/10 лет. При этом отмечается сезонная и пространственная неравномерность:

- быстрее всего теплеет весной (повсеместно более 0.45°C/10 лет, а на северо-западе тренд увеличивается до 0.75°C/10 лет;
  - зимой температура активно повышается в российской части региона (особенно на севере), тогда как на юге (в Монголии) тренды потепления выражены слабо, отмечаются даже области слабого понижения температуры;
  - осенью, наоборот, активнее повышаются температуры на юге и юго-востоке, но потепление выражено слабее, чем среднегодовые тренды;
  - потепление летом выражено в исследуемом регионе повсеместно, причем на его российской части скорость потепления близка к среднегодовым значениям, а на территории Монголии – превышает среднегодовые значения (рис. 3).
-

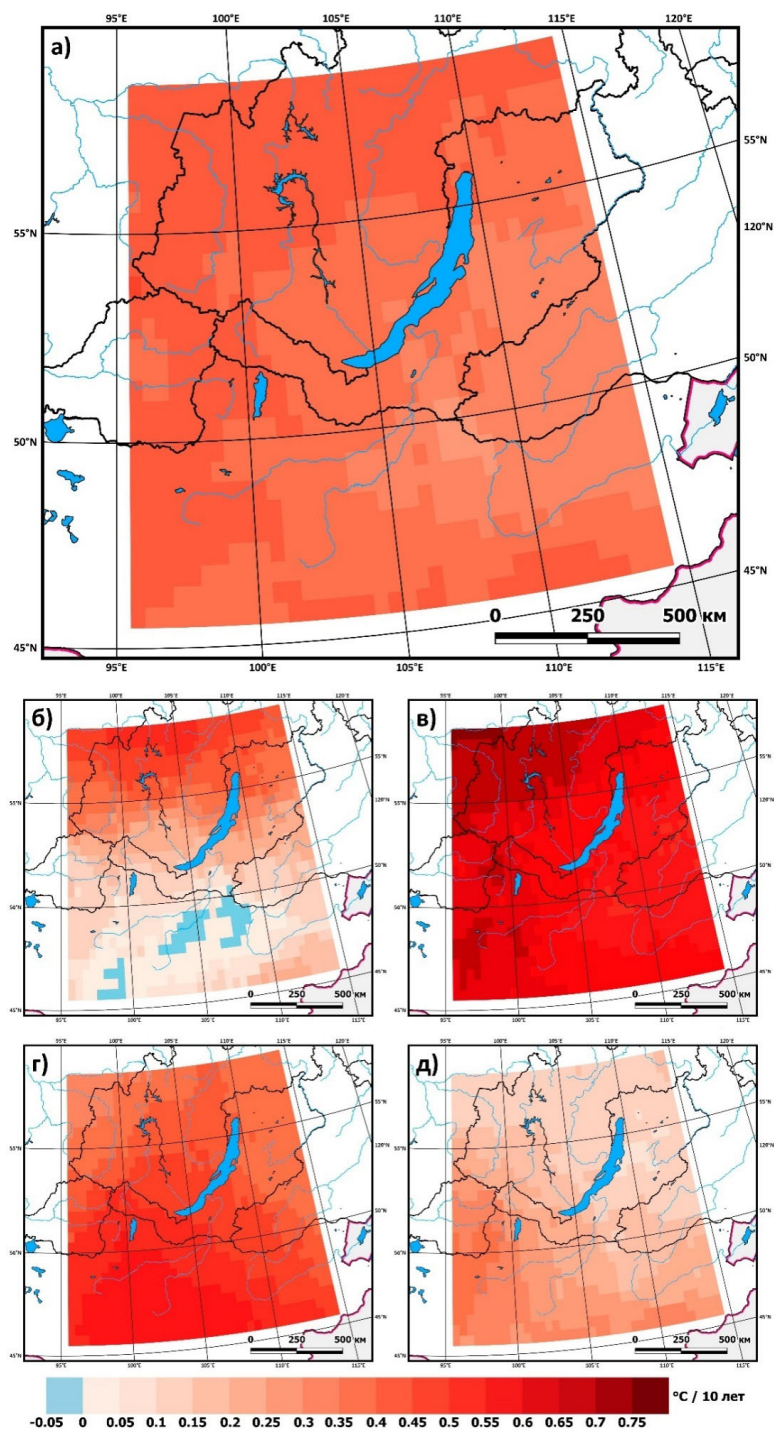


**Рисунок 2.** Средняя многолетняя среднегодовая температура воздуха, °C (CRU, 2022)

**Figure 2.** Average long-term annual air temperature, °C (CRU, 2022)

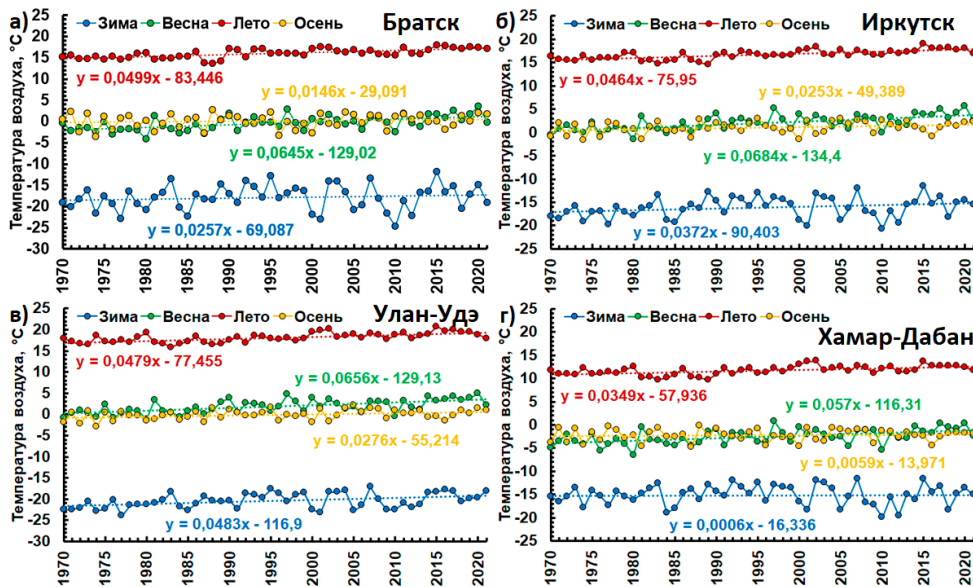
Средняя разница между среднегодовыми значениями трендов по станциям и трендам, построенным по значениям в узлах, составляет 15% (наибольшее несоответствие между значениями выявлено для Читы – 56%). Хорошее совпадение значений наблюдается весной и летом: средняя разница между значениями 10 и 20% соответственно; тогда как зимой и осенью разница увеличивается: 59 и 43%.

Изменение сезонной температуры варьирует при общей тенденции к увеличению. Как правило, на каждой станции рост температур может быть значимым в одни сезоны и почти не проявляться в другие. Например, в Братске (северо-запад региона) и Иркутске (центр) активнее всего температуры повышаются летом и весной, слабо – зимой и осенью (рис. 4а,б). В Улан-Удэ (восток региона) температура быстрее всего повышается весной, а зимой – быстрее, чем летом (рис. 4в). На станции Хамар-Дабан (1442 м, горы) температура зимой и осенью практически не растет, основной вклад в повышение среднегодовой температуры вносят весенние месяцы (рис. 4г).



**Рисунок 3.** Скорость изменения (линейный тренд) температуры (°C/10 лет) за период 1971-2021 гг. а) среднегодовая, б) зима, в) весна, г) лето, д) осень (CRU, 2022)

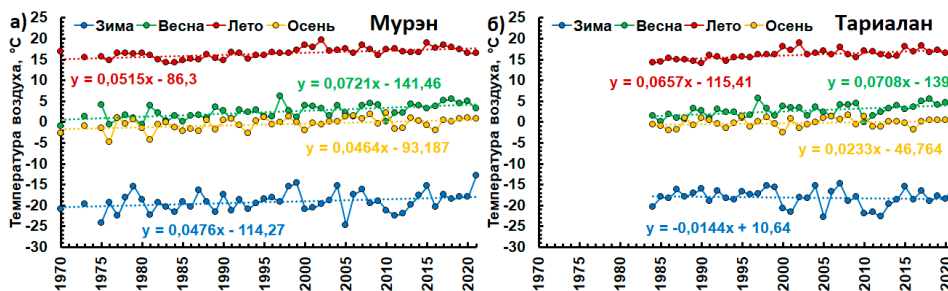
**Figure 3.** Rate of change (linear trend) of temperature (°C/10 years) for the period 1971-2021: а) average annual, б) winter, в) spring, г) summer, д) autumn (CRU, 2022)



**Рисунок 4.** Изменение сезонной температуры в российской части региона, по данным метеостанций: а) Братск, б) Иркутск, в) Улан-Удэ, г) Хамар-Дабан

**Figure 4.** Changes in seasonal temperature in the Russian part of the region according to weather stations: a) Bratsk, b) Irkutsk, c) Ulan-Ude, d) Khamar-Daban

На территории Монголии также быстрее всего повышается температура на всех станциях именно весной. Как правило, лето теплеет быстрее, чем осень. Зимой изменение сезонной температуры может существенно различаться. Например, на станции Мурэн наблюдается повышение температур (рис. 5а), но гораздо чаще оно незначительно, или прослеживается слабый отрицательный тренд (рис. 5б).

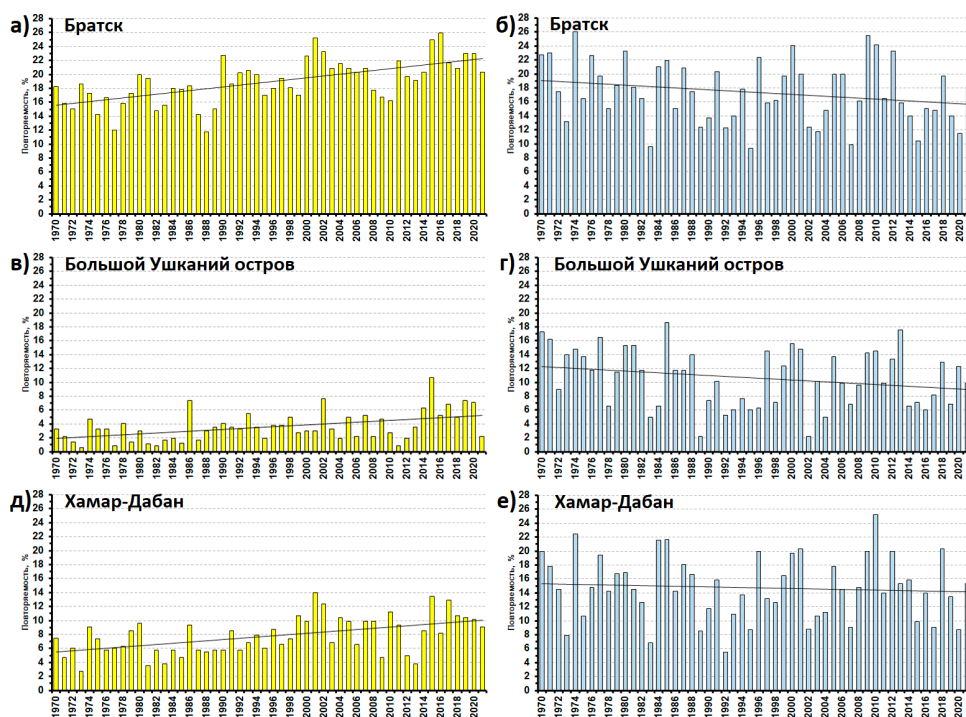


**Рисунок 5.** Изменение сезонной температуры в монгольской части региона, по данным метеостанций: а) Мурэн, б) Тариалан

**Figure 5.** Changes in seasonal temperature in the Mongolian part of the region according to weather stations: a) Muren, b) Tarialan

Практически на всех метеостанциях увеличивается доля в году дней с температурами выше  $+20^{\circ}\text{C}$  и уменьшается симметричный показатель отрицательных температур – доля дней с температурами ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  (рис. 6а,б). На о. Большой Ушканий (Байкал), при наличии четких трендов, доля дней с тем-

пературами выше  $20^{\circ}\text{C}$  и ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  меньше, чем на большинстве других станций (рис. бв,г). Сказывается влияние Байкала, который в значительной степени смягчает и «выравнивает» континентальность климата на побережье. На станции Хамар-Дабан при существенном увеличении теплых дней (рис. бд) доля холодных дней не уменьшается (рис. бе).



**Рисунок 6.** Изменение доли в году дней с температурой выше  $+20^{\circ}\text{C}$  (слева) и ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  (справа) на станциях: Братск (а,б), Большой Ушканий остров (в,г), Хамар-Дабан (д,е)

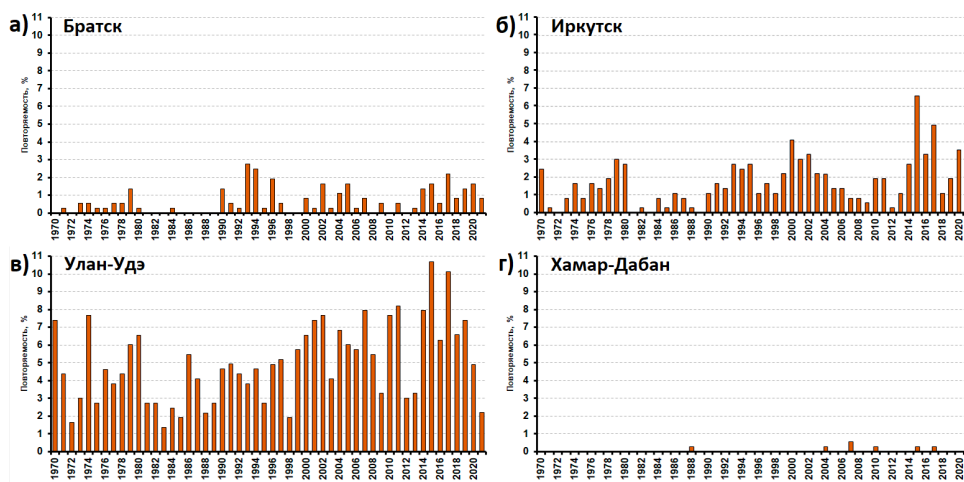
**Figure 6.** Change in the share of days per year with temperatures above  $+20^{\circ}\text{C}$  (left) and below  $-20^{\circ}\text{C}$  (right) at the stations: Bratsk (а,б), Bolshoi Ushkany Island (в,г), Khamar-Daban (д,е)

В монгольской части региона тенденции аналогичные, но доля зимних температур ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  уменьшается медленнее.

Среднесуточные температуры выше  $+30^{\circ}\text{C}$  отмечаются не на всех станциях, тренды в большинстве случаев статистически не значимы. Прослеживается увеличение доли в году и частоты проявления по годам дней с высокой среднесуточной температурой (рис. 7а-г).

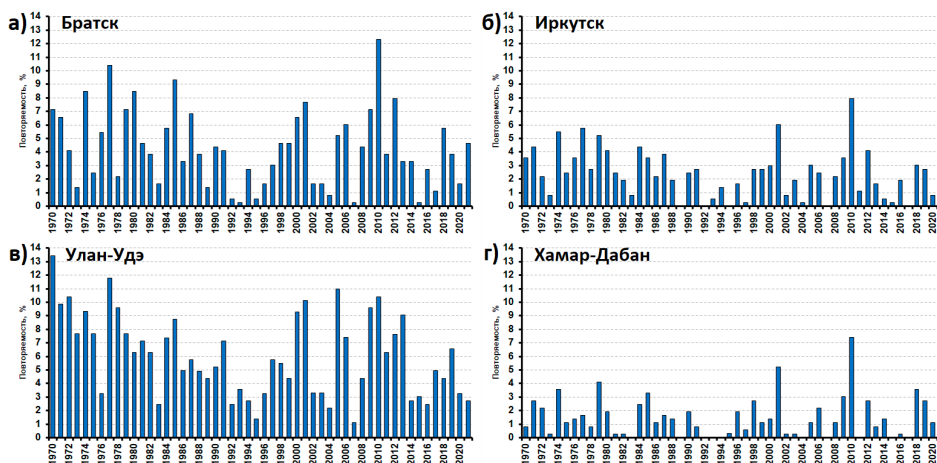
Тренды для низких температур демонстрируют противоположные тенденции: уменьшается количество в году дней с температурами ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$  (рис. 8), но для  $-35^{\circ}\text{C}$  и ниже наличие значимых трендов продемонстрировать не удастся.

По данным станций, за последние 50 лет минимальная температура была зафиксирована на станции Максимова в Иркутской области ( $-55^{\circ}\text{C}$ ), но, по литературным данным, известны случаи понижения температуры до  $-60^{\circ}\text{C}$  и ниже в прошлом веке (Справочник по опасным..., 1997).



**Рисунок 7.** Доля дней в году с температурами выше +30°C: а) Братск, б) Иркутск, в) Улан-Удэ, г) Хамар-Дабан

**Figure 7.** Proportion of days per year with temperatures above +30°C: а) Bratsk, б) Irkutsk, в) Ulan-Ude, г) Khamar-Daban



**Рисунок 8.** Доля дней в году с температурами ниже -30°C: а) Братск, б) Иркутск, в) Улан-Удэ, г) Хамар-Дабан

**Figure 8.** Proportion of days per year with temperatures below -30°C: а) Bratsk, б) Irkutsk, в) Ulan-Ude, г) Khamar-Daban

По массивам данных суточного разрешения ВНИИГМИ-МЦД (Булыгина и др., 2022б), было подсчитано количество дней с переходом температуры воздуха через 0°C за каждый год (при наличии данных наблюдений) и по месяцам. Годовое количество дней с переходом температуры воздуха через 0°C в регионе варьирует в пределах от 56.4 до 117.2 и в среднем составляет 84.6 дня. Наименьшее количество переходов отмечается на станциях Большой Ушканий о-в, Нижнеангарск и Ершово – 56.4, 62.7 и 68.9 дней соответственно. Максимальные значения приходятся на станции Монды – 117.2 дней и Инга – 101.8 день.

На большинстве станций количество дней с переходами увеличивается, преимущественно за счет зимних оттепелей. Согласно (Коршунова и др., 2018) в конце осени (ноябрь) увеличивается число оттепелей в Предбайкалье, а в начале весны (март) – на юге рассматриваемого региона (табл. 1).

**Таблица 1.** Число дней с переходом температуры через 0°C

**Table 1.** Number of days with temperature transition through 0°C

Индекс ВМО	Название станции	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
30209	Ершово	0.1	0.9	10.7	20.5	10.8	0.5	0	0.1	5.3	15.5	4.1	0.5	68.9
30219	Максимово	0.1	0.7	10.4	23.5	18.8	2.6	0.1	0.9	12.8	18.8	3.2	0.3	92.2
30309	Братск, обс.	0.1	0.8	10.5	21.6	10.9	0.4	0.0	0.1	5.3	16.1	5.0	0.6	71.4
30433	Нижнеангарск	0.0	0.0	3.9	19.2	15.0	0.6	0.0	0.0	3.0	16.7	3.9	0.4	62.7
30536	Баргузинский заповедник	0.1	0.2	4.8	22.5	22.2	4.6	0.1	0.8	11.9	24.7	8.2	0.8	100.9
30603	Зима	0.1	1.0	12.4	22.1	9.9	0.6	0.0	0.3	7.8	21.9	5.8	0.4	82.3
30612	Балаганск	0	0,2	8,3	23,1	10	0,2	0	0	4,5	19,1	6,3	0,3	72,1
30627	Баяндай	0,1	0,6	9,8	22,9	10,4	0,3	0	0,3	8,7	21,5	5,2	0,2	80,1
30632	Большой Ушканий о-в	0.2	0.1	2.9	17.1	13.9	0.2	0.0	0.0	0.3	9.2	9.8	2.7	56.4
30703	Инга	0.4	2.9	15.4	23.0	14.1	2.0	0.1	0.8	11.6	23.4	7.6	0.5	101.8
30710	Иркутск, обс.	0.1	1.3	13.6	23.1	9.8	0.7	0.0	0.2	6.8	21.6	8.6	0.6	86.4
30731	Горячинск	0.2	0.6	6.7	22.2	16.8	1.4	0.0	0.1	4.6	20.7	9.2	1.2	83.7
30745	Сосново-Озерское	0	0,3	8	23,5	17,1	1,1	0	0,7	11,9	21,7	3,1	0	87,3
30802	Монды	0.3	2.9	15.2	23.2	18.3	3.9	0.3	1.6	16.6	23.5	10.0	1.4	117.2
30811	Тунка	0.0	0.9	15.1	25.4	12.5	0.7	0.0	0.4	10.2	25.4	5.3	0.1	96.0
30815	Хамар-Дабан	1.1	2.6	9.7	18.4	17.2	2.7	0.1	1.3	12.1	18.9	8.1	2.1	94.3

**Примечание.** Период осреднения от начала наблюдения на метеостанции до 2021 года.

**Изменение количества осадков** происходит более неравномерно. Данные наблюдений на станциях фиксируют их увеличение в одних регионах и уменьшение в других. Также проявляется сезонная неравномерность выпадения осадков, по данным массива CRU (2022):

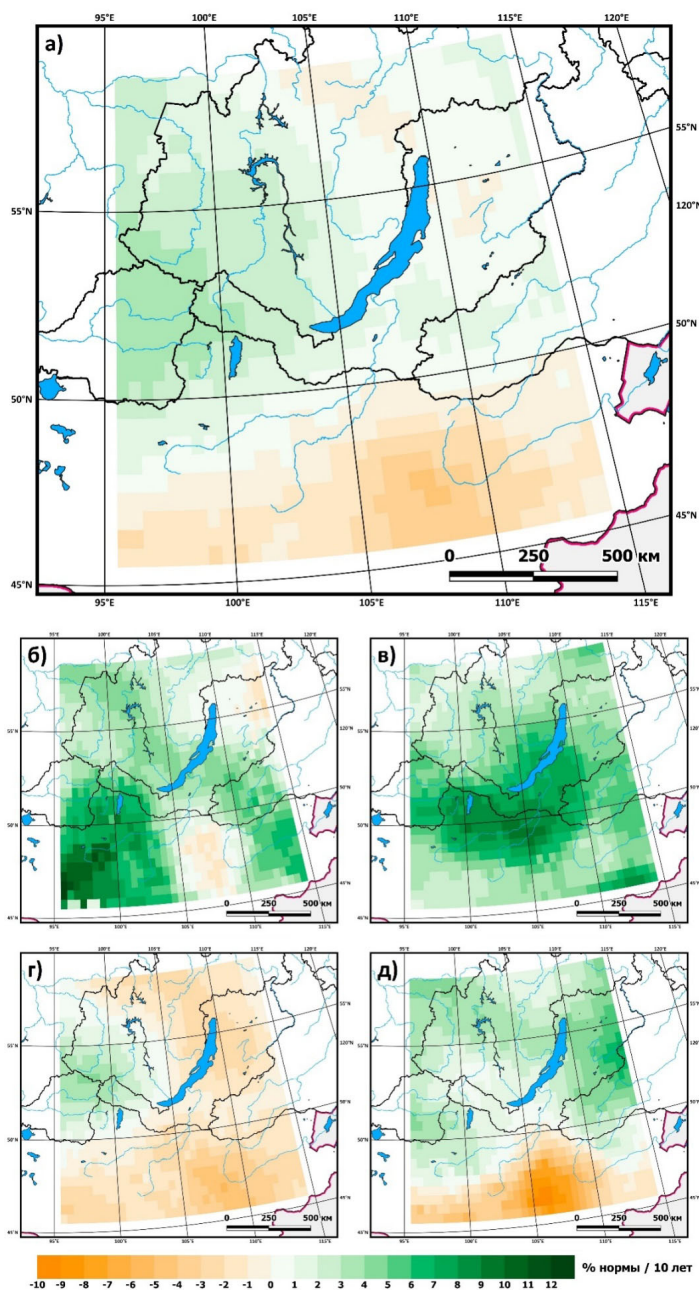
- в годовом ходе осадков тренд на увеличение со скоростью 3% от нормы/10 лет наблюдается на востоке региона и аналогичное уменьшение – на юге; на большей части региона тренды прослеживаются слабо;

- зимой и весной происходит почти повсеместное увеличение количества осадков, со скоростью до 7-12% от нормы/10 лет в отдельных районах;

- летом (за исключением запада региона) происходит уменьшение количества осадков со скоростью 2-3% от нормы/10 лет;

- осенью тренды осадков наиболее контрастные: увеличение до 4-5% от нормы/10 лет на российской части территории и уменьшение на 2-5% – в Монголии (рис. 9).

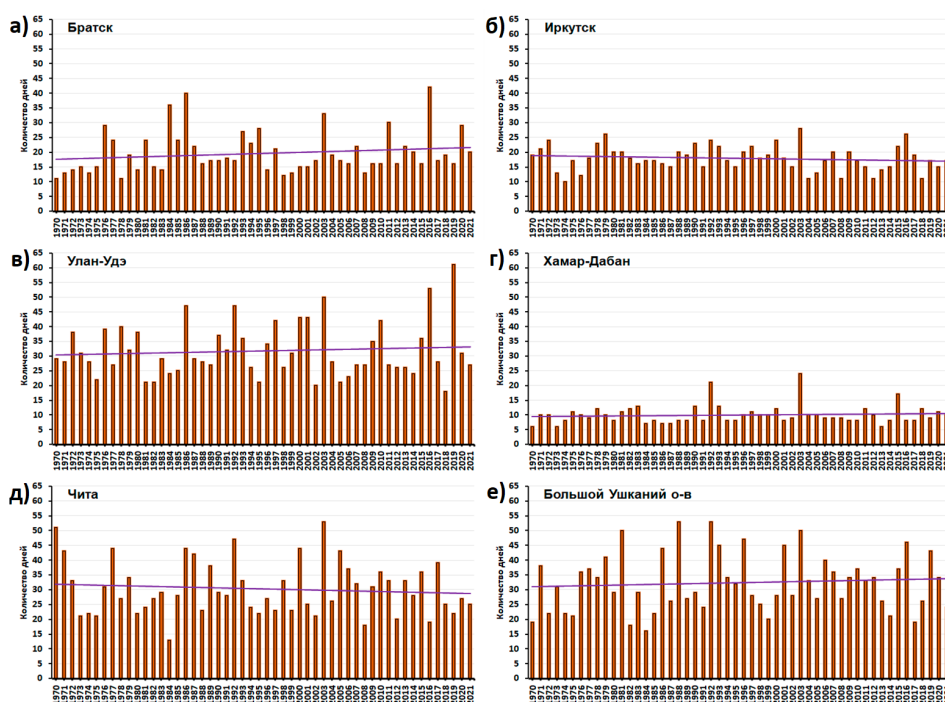
Как отмечалось в (Коршунова и др., 2018) на западе региона летом выявлена тенденция увеличения числа дней с экстремальными осадками (превышающими значение границы 95% интервала ранжированного ряда сезонных сумм осадков), что свидетельствует о потенциальной угрозе повторения масштабных наводнений, подобных Тулунскому 2019 года.



**Рисунок 9.** Пространственные распределения локальных коэффициентов линейного тренда сумм атмосферных осадков 1971-2021 гг.: а) среднегодовых, б) зима, в) весна, г) лето, д) осень

**Figure 9.** Spatial distributions of local coefficients of the linear trend of precipitation amounts for 1971-2021: а) annual average, б) winter, в) spring, г) summer, д) autumn

Атмосферные засухи отмечаются в регионе ежегодно. Их продолжительность, по данным наблюдений на станциях, колеблется от 10 до 61 дней подряд с осадками менее 1 мм (рис. 10). На фоне значительной межгодовой изменчивости в Братске количество последовательных сухих дней увеличивается, в Иркутске уменьшается, в Улан-Удэ и на Хамар-Дабане растет, в Чите сокращается. При этом тренды разнонаправленные, не подтверждаются на уровне значимости 0.1. Интересный факт: на Большом Ушканьем острове количество последовательных сухих дней оказалось неожиданно большим (в среднем 30, что больше, чем в Братске или Иркутске) (рис. 10).

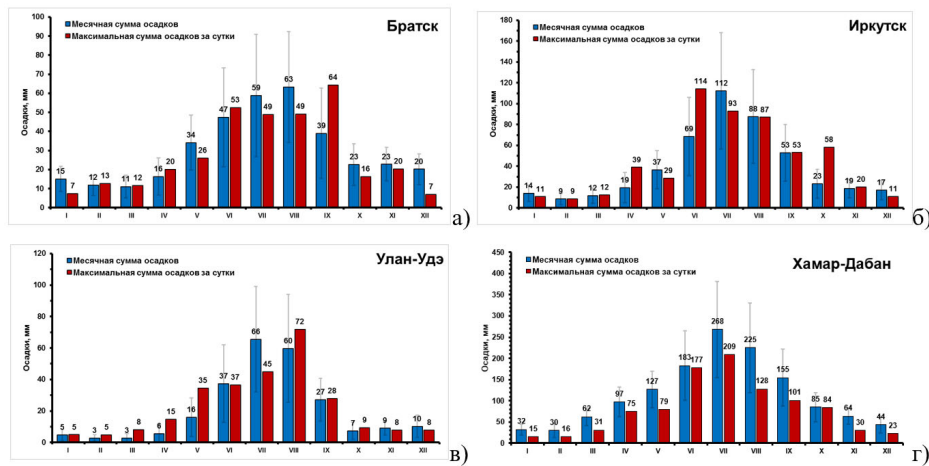


**Рисунок 10.** Изменение максимального числа последовательных дней в году с осадками менее 1 мм: а) Братск; б) Иркутск; в) Улан-Удэ; г) Хамар-Дабан; д) Чита; е) Большой Ушканый остров

**Figure 10.** Change in the maximum number of consecutive days per year with precipitation less than 1 mm: а) Bratsk; б) Irkutsk; в) Ulan-Ude; г) Khamar-Daban; д) Chita; е) Bolshoi Ushkaniy Island

Экстремально высокое количество осадков оценивалось по средним месячным и максимальным суточным значениям (рис. 11). Согласно нормативам, принятым Росгидрометом (РД 52.88.699-2008, 2008; РД 52.27.724-2019, 2019), в летний период выпадение 30 и более мм/сут. на равнинной территории считается неблагоприятным явлением, 50 мм – опасным (в горах порог опасного явления 30 мм). Для твердых осадков порог понижается до 20 мм. На большинстве станций указанные пороги превышаются, что может одновременно превышать среднюю месячную сумму осадков. На

северном склоне хребта Хамар-Дабан фиксируется до 209 мм/сут. – катастрофический уровень.



**Рисунок 11.** Среднемесячное и максимальное суточное количество осадков, мм, на станциях: а) Братск, б) Иркутск, в) Улан-Удэ, г) Хамар-Дабан

**Figure 11.** Average monthly and maximum daily precipitation, mm, at stations: а) Bratsk, б) Irkutsk, в) Ulan-Ude, г) Khamar-Daban

Пространственное распределение абсолютных значений порогов экстремальных осадков качественно повторяет распределение средних значений осадков, отражая климатические особенности местности и рельеф. Это фундаментальное свойство экстремальных осадков, оцениваемых с помощью гамма-распределения (или других экстремальных распределений), поскольку величины экстремальных осадков скоррелированы с параметрами формы и масштаба, которые определяют среднее в таких распределениях (Золина, Булыгина, 2016). По оценкам МГЭИК, в глобальном масштабе экстремальные суточные осадки, по прогнозам, будут усиливаться примерно на 7% на каждый 1°C глобального потепления (высокая достоверность) (IPCC, 2021).

К более редким опасным явлениям, связанным с осадками, относится выпадение крупного града (диаметр более 20 мм). В 1992 г. в Бурятии и в 2008 г. в Иркутской области был зафиксирован град диаметром 80 мм (Шамин и др., 2022).

К опасным атмосферным явлениям, которые зачастую связаны с выпадением конвективных осадков летом, относятся грозы. Район оз. Байкал и территория к северу от него характеризуются невысоким среднегодовым количеством дней с грозой – от 10 до 20 (табл. 2).

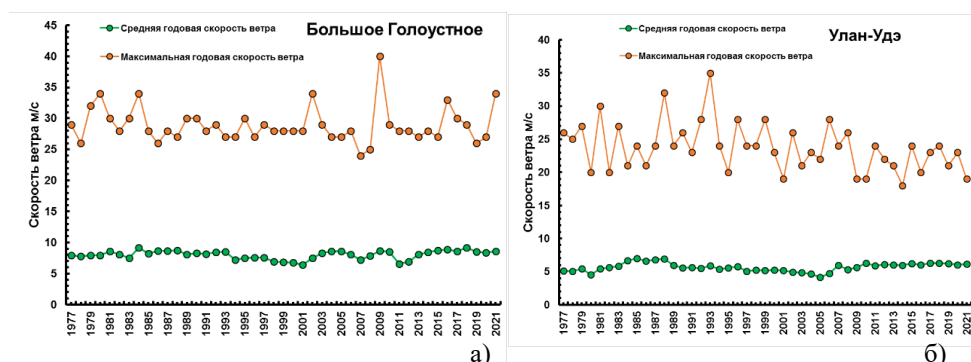
К западу и востоку количество дней с грозой на большей части бассейна увеличивается до 30, а в горах на юго-востоке – до 40 и более (Национальный атлас России, 2007). Сухие грозы в регионе регулярно приводят к возникновению природных пожаров. На территории Баргузинского заповедника самые ранние «сухие» грозы отмечались в конце мая, а самые поздние – в начале октября (Янкус, Сахаров, 2018).

**Таблица 2.** Среднее многолетнее число дней с грозой (дни) 1966-2021 гг.

**Table 2.** Average long-term annual number of days with thunderstorms (days) 1966-2021

Индекс ВМО	Название станции	Месяц												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
30309	Братск, обс.				0.09	1.27	5.14	6.82	4.84	0.95	0.05			19.16
30504	Тулун				0.04	1.14	5.36	7.02	5.25	0.80	0.05	0.02		19.68
30710	Иркутск, обс.	0.02			0.09	0.77	3.48	5.84	3.61	0.88			0.02	14.70
30716	Хомутово	0.02		0.04	0.05	1.13	4.77	7.73	4.63	1.07				19.43
30729	Кабанск				0.02	0.29	2.46	4.21	2.89	0.54		0.02	0.02	10.45
30815	Хамар-Дабан				0.05	0.63	4.35	6.36	4.46	0.93				16.78
30433	Нижеангарск				0.04	0.32	2.34	3.48	2.93	0.46	0.02	0.02		19.61
30437	Карам				0.07	1.50	6.44	8.04	5.13	0.93				22.10

**Ветровой режим.** По данным Доклада об особенностях климата... (2023), средняя сезонная скорость ветра в регионе с 1976 г. слабо уменьшается летом и осенью, а в остальные сезоны остается без значимых изменений. Более высокие скорости ветра характерны, как правило, на открытых пространствах степей и в высокогорьях. На побережье оз. Байкал отмечается локальный феномен – «сарма» – сильный ветер, достигающий скорости урагана (более 40 м/с в порывах) (Гареева, 2018). По данным наблюдений на опорных станциях, ветра ураганной силы (33 м/с и более) фиксировались в шести точках (Булыгина и др., 2022а). Из них скорость 40 м/с была зафиксирована в Большом Голоуственном, а 35 м/с – в Улан-Удэ (рис. 12).



**Рисунок 12.** Максимальная скорость ветра, м/с: а) Большое Голоуственное, б) Улан-Удэ

**Figure 12.** Maximum wind speed, m/s: a) Bolshoye Goloustnoye, b) Ulan-Ude

### Климатообусловленные явления

Изменения климата, в том числе увеличение количества и интенсивности опасных явлений, проявляются в виде каскадных эффектов из климатообусловленных явлений и их последствий как в России, так и за рубежом

(Третий оценочный..., 2022; IPCC, 2021, 2022; Доклад о климатических рисках..., 2017).

К наиболее опасным климатообусловленным явлениям для бассейнов Байкала и Ангары относятся **наводнения** (Кичигина, 2018; Слепнева и др., 2020).

Повторяемость масштабных наводнений в бассейне Байкала за период 1936-2012 гг. составляла 5-12%. В прошлом веке наиболее крупные наводнения были зафиксированы в 1932, 1936, 1971, 1973, 1993, 1998 гг. (Экологический атлас..., 2015). На Байкальской природной территории наиболее масштабным считалось наводнение 1971 г., когда за период с 17 по 23 июля на ст. Байкальск выпало 171 мм, на ст. Хамар-Дабан – 249.1 мм осадков, а за период с 25 по 26 июля – соответственно 258.9 мм и 300.2 мм (Колотов и др., 2021). Значительные наводнения регулярно отмечаются на реках Селенге, Хилке, Уде, Верхней Ангаре, Баргузине. Как правило, глубина затопления поймы не превышает 0.5-1 м, но может достигать 1.8-3 м. Наиболее продолжительные разливы воды на поймах (30-90 суток) наблюдаются в долине р. Селенги и в нижнем течении р. Чикоя, менее продолжительные (до 25 суток) – в бассейнах рек Баргузин, Верхняя Ангара, Уда, Джиды и др., на небольших реках не превышает 3-7 дней (Экологический атлас..., 2015).

Последним катастрофическим наводнением в российской части бассейна стали события 2019 г. в Иркутской области, когда количество выпавших дождей в период 25-27 июня превысило месячную норму в 1.5-4 раза. В результате на территории области произошло затопление в 109 населенных пунктах 10890 жилых домов, 49 социально значимых объектов, 11058 приусадебных участков, 49 участков автомобильных дорог, повреждены 22 автомобильных моста местного значения. Наводнение в Иркутской области было объявлено **чрезвычайной ситуацией федерального характера** (Росгидромет, НИЦ «Планета», 2019). Ситуация усугубилась разрушением 10-метровой дамбы на р. Тулун. Максимальный уровень подъема воды достиг отметки 13 м 87 см 29 июня в 14 ч, что почти в 2 раза превышало критическую отметку (Орлов, Чернов, 2019).

По телеграммам «Шторм», которые передаются по каналам связи с наблюдательной сети Росгидромета, пострадали 1400 чел., из них 26 погибли, были эвакуированы 1161 человек. В превентивных целях отключено электроснабжение в 20 населенных пунктах с населением более 11200 человек. В июле на реках западных районов Иркутской области наблюдалась вторая волна дождевых паводков. В зону подтопления попали Нижнеудинский, Черемховский, Тулунский, Шелеховский, Слюдянский, Зиминский районы. Пик второй волны паводка был достигнут 31 июля 2019 года, когда уровень воды поднимался до 1125 см (на 425 см выше критического уровня). Частично разрушена автомобильная инфраструктура. Было прервано движение по федеральной трассе Р-258 Байкал, входящей в состав автомобильного коридора Москва-Владивосток. Это единственная автодорога, связывающая центр России с Сибирью и Дальним Востоком. В зону подтопления попали десятки населённых пунктов, подтоплено более 6700 жилых домов.

Прямой экономический ущерб населению, секторам экономики и социальной инфраструктуре в г. Тулуне оценивается в 24.4 млрд руб., в том числе на коммуникации и инженерные сооружения пришлось 10 млрд руб. (41%), на жилой сектор – 7.2 млрд руб. (34%), промышленность – 3.9 млрд руб. (16%), социально значимые объекты – 2.2 млрд руб. (9%) (Дугарова, 2021).

Следующим по уровню ущербов для региона опасным явлением можно назвать **природные пожары** (Государственный доклад..., 2022). Сухие грозы как метеорологический источник их возникновения были охарактеризованы выше. Большинство исследователей сходится во мнении, что в 70-90% (в зависимости от региона) лесных пожаров источник возгорания носит антропогенный характер (Второй оценочный доклад..., 2014). Тем не менее, для возникновения пожара необходима соответствующая пожароопасная обстановка, т.е. лес должен быть достаточно сухим, а более высокая температура значительно усиливает как вероятность, так и последствия пожаров.

В России **уровень пожарной опасности** оценивается по специализированному индексу Нестерова, включающему информацию о температуре, осадках и влажности. Значение показателя более 1000 считается опасным, а 10 000 и более – катастрофическим. Расчет значений индекса Нестерова для опорных станций с 1971 по 2021 г. показал значительный разброс максимальных значений: от 5000 (°C)<sup>2</sup>сут. на станциях Бабушкин и Хамар-Дабан до более 25000 (°C)<sup>2</sup>сут. для Читы и Улан-Удэ. Распределение значений соответствует общему увеличению условий засушливости с запада на восток и с севера на юг, за исключением более увлажненных высокогорий.

В конце XX в. на востоке региона отмечалось незначительное сокращение (менее 10 дней) пожароопасного периода со значениями индекса Нестерова выше 1000 (°C)<sup>2</sup>сут., но на большей части региона фиксировалось увеличение в пределах 20 дней за период 1974-2004 гг., а в бассейне Ангары – до 29 дней (Росгидромет, 2012). Прогнозы изменения числа пожароопасных дней показывали их дальнейшее увеличение на 10-20 к 2030 г. и на 30-50 к 2099 г. в условиях сценария RCP8.5 по сравнению с концом прошлого века (Росгидромет, 2012).

Повышение температуры и увеличение засушливости способствовали 20-кратному увеличению количества лесных пожаров в бассейне Байкала в последние годы (Safronov, 2020), причем оба процесса исследователи связывают с глобальным изменением климата (Brown et al., 2021). В ходе полевых обследований и проведения геоботанических описаний в каждой из точек наблюдений в бассейне Ангары нами были обнаружены следы пожаров разной давности. В 2014-2016 гг. на берегах Байкала и окружающих хребтах выгорело почти 1.5 млн га леса. В 2019 г. в Иркутской области суммарно сгорело более 1.5 млн га леса (Каликхман, Каликхман, 2017; Brown et al., 2021). Ежегодный экономический ущерб от уничтожения лесобразующих пород, рассчитанный как произведение уничтоженной при пожаре плотной на стойкость 1 м<sup>3</sup> древесины, в Байкальском регионе составляет порядка 82.22 млн руб. (Тимофеева и др., 2022).

---

В районе исследования проявляются опасные климатообусловленные **экзогенные процессы: сели и оползни**. Сели, оползни и карст имеют не только широкое распространение в бассейнах Байкала и Ангары, но также наносят существенный экономический ущерб. Регион исследований наряду с Кавказом относится к одной из двух областей в стране с наибольшей селевой активностью – Байкальской (Национальный атлас России, 2007).

Селевые наводнения возникают в результате интенсивных ливней на участках со значительной крутизной склонов и наличием легко смываемого рыхлого грунта. Сели обладают большой разрушительной силой, способны приобрести катастрофический характер и привести к значительным ущербам. Наибольшее развитие селевые процессы имеют в приустьевых частях русел рек северного склона хр. Хамар-Дабан (Экологический атлас..., 2015). На южном побережье оз. Байкал (от устья р. Мысовки до истока р. Ангары), на юго-восточной склоне Байкальского хребта, а также на ряде притоков р. Селенги прохождение паводков часто усугубляется селями (Макаров, 2012).

По данным Государственного доклада о состоянии оз. Байкал... (2019), в результате экстремальных ливней в 1971 г. мощные и разрушительные селевые потоки прошли практически по всем водотокам юго-западного Прибайкалья, в результате чего семь дней не работала Транссибирская железнодорожная магистраль, 20 км путей было смыто в оз. Байкал, было повреждено несколько мостов, размыто полотно федеральной автодороги Иркутск-Улан-Удэ, порвана линия кабельной связи. В августе 2009 г. в результате прохождения ливней в районе г. Улан-Удэ были засыпаны асфальтированные проезды, водой смыт мусор на городских свалках, серьезно повреждены и даже полностью разрушены жилые дома; образовались овраги, шириной до 19 м, длиной – 200-300 м (Госдоклад..., 2019).

Наиболее селеопасным районом в Иркутской области является юго-западная оконечность Байкала, где в узкой прибрежной полосе проходят крупные транспортные артерии, линии электропередачи, расположены города, рекреационные центры. Для них наибольшую опасность представляют грязекаменные потоки, плотностью в 1600-2500 кг/м<sup>3</sup> и наносоводные сели, плотностью около 1600 кг/м<sup>3</sup>. Например, в результате массового схода селей в 1962 и 1971 гг. в оз. Байкал было вынесено, соответственно, более 3 и 5-8 млн м<sup>3</sup> обломочного материала (Кузьмин, 2016). Вероятность сильных селей такого масштаба оценивается 1 раз в 50-60 лет (Сутурин, 2012; Brown et al., 2021).

В России по условиям рельефа и геологическим особенностям значительные территории относятся к оползнеопасным районам различной степени активности (Карта активности...», 2022; СП 115.13330.2016, 2018; Атлас природных и техногенных..., 2010). Небольшие, но высокоподвижные оползни характерны для склонов долины Ангары (Кузьмин, 2016), отмечаются вдоль береговой линии Иркутского и Братского водохранилищ. В ходе экспедиции в сентябре 2022 г. нами было обнаружено, что обвально-оползневый склон примыкает непосредственно к объектам Братской ГЭС.

При общей протяженности береговой линии водохранилищ Ангарского каскада около 7800 км на абразионные берега приходится более 2100 км, из которых при размыве пород юрской системы формируется 69 км подверженных абразии берегов, кембрийской – 519 км, ордовикской – 544 км, силурийской и каменноугольной – 393 км, в четвертичных отложениях – 716 км. Ежегодное поступление осадочного материала в водохранилища составляет более 227 млн т, из них абразия берегов даёт 98.5% суммарного поступления. На долю абразионного материала в Иркутском водохранилище приходится 77.9, Братском – 98.8 и Усть-Илимском – 87.1%. Речной сток по величине приносимого материала значительно уступает поступлениям от размыва берегов (Карнаухова, 2019). Иркутское водохранилище (включая оз. Байкал) удерживает 64% поступающего осадочного материала, Братское – 98.8%, Усть-Илимское – 97.9%, из них большая часть материала переходит в донные отложения (Карнаухова, 2009). Прибрежная зона ангарских водохранилищ имеет высокий темп накопления осадочного материала, т.е. **является областью сверхбыстрой седиментации** (Карнаухова, 2014).

Регион исследований включает один из районов распространения крупнейших **карстовых полостей** в стране – Ангаро-Ленский. Они заложены в легкорастворимых карбонатных породах, суммарная протяженность составляет 75.42 км, глубина – 239 м (Национальный атлас России, 2007). Для оценки масштабов возможных последствий карстовых провалов необходимы дополнительные исследования.

## Выводы

В регионе, по данным наблюдений, на станциях четко проявляется рост среднегодовой и сезонной температуры с 70-х годов прошлого столетия. Увеличивается количество теплых и сокращается количество холодных дней.

Изменение годового и сезонного количества осадков происходит неравномерно на территории региона. На территории Иркутской области прослеживается тенденция к увеличению годового количества осадков, а на востоке (Бурятия и Забайкалье) и юге региона (Монголия) – к уменьшению. Зимой и весной осадки растут практически на всей территории региона, летом и осенью сокращаются на юге и востоке.

Тенденция к уменьшению средней и максимальной скорости ветра не исключает вероятности сильных ветров, наносящих ущерб.

Нарастающая экстремальность климата проявляется в неравномерности выпадения осадков (высокие суточные значения и продолжительные засухи) и росте пожароопасности. Последнее катастрофическое наводнение и масштабные пожары были зафиксированы в 2019 г. Кроме того, интенсивные осадки приводят к активизации склоновых процессов (сели и оползни), которые регулярно наносят ущербы экономике.

## Благодарности

*Работа выполнена в рамках темы госзадания № АААА-А20-120070990079-6 ФГБУ «ИГКЭ». Благодарим компанию Эн+ Груп за оказанную в рамках проекта «Адаптация ГЭС Ангарского каскада к изменениям климата» поддержку, предоставление материалов и помощь в организации экспедиции в район исследований.*

## Список литературы

Абарина, Н.Г., Гербер, А.С., Липка, О.Н., Льюмменс, Х., Толстых, Н.И., Федоров, А.В., Яблоков, М.С., Куклина, С.Л., Шейнфельд, С.А. (2021) Проект «Оценка экологических и социальных проблем Байкальской природной территории», М., Экоцентр «Заповедники», 587 с.

*Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации (2010) М., МЧС России, ООО Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информация. Картография», 398 с.*

Баженова, О.И., Мартынова, Г.Н. (2003) Оценка интенсивности эрозионных процессов в бассейне Ангары по стоку взвешенных наносов, *Проблемы геологии и географии Сибири: материалы научной конференции, посвященной 125-летию основания Томского государственного университета и 70-летию образования геолого-географического факультета, Томск, 02-04 апреля 2003 года*, Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, с. 27-29.

Булыгина, О.Н., Веселов, В.М., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М. (2022а) «Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России», *свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549*, URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных>.

Булыгина, О.Н., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М. (2022б) *Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR)*.

*Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата на территории Российской Федерации (2014) М., Росгидромет, 1008 с.*

Гареева, Г.Н. (2018) Роль ветра в формировании рельефа Прибайкалья – Байкал – Родина – Планета, *Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Иркутск, 9-10 ноября 2018 г.*, Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, с. 15-16.

*Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2018 году» (2019) Иркутск, АНО «КЦ Эксперт», 341 с.*

---

*Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2021 году»* (2022) Иркутск, ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 370 с.

Дегтярев, А.С., Драбенко, В.А., Драбенко, В.А. (2015) *Статистические методы обработки метеорологической информации*, Учебник, СПб, ООО «Андреевский издательский дом», 225 с.

*Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации* (2017) Санкт-Петербург, 106 с.

*Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2022 г.* (2023) М., Росгидромет, 104 с.

Дугарова, Г.Б. (2021) Анализ и оценка последствий наводнения в г. Тулуне (Иркутская область), *Всероссийский экономический журнал ЭКО*, № 1 (559), с. 130-150.

Золина, О.Г., Булыгина, О.Н. (2016) Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 1, с. 84-103.

Карнаухова, Г.А. (2019) Обстановки осадконакопления и особенности состава донных отложений в Ангарских водохранилищах, *Отечественная геология*, № 3, с. 74-82.

Карнаухова, Г.А. (2009) *Процессы осадкообразования в водохранилищах Ангарского каскада*, Иркутск, ИГ СО РАН, 44 с.

Карнаухова, Г.А. (2014) Прибрежная зона осадконакопления в ангарских водохранилищах, *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле*, т. 10, с. 67-77.

Кичигина, Н.В. (2018) Опасность наводнений на реках Байкальского региона, *География и природные ресурсы*, № 2, с. 41-51.

Коршунова, Н.Н., Булыгина, О.Н., Разуваев, В.Н., Давлетшин, С.Г. (2018) Оценка экстремальности температурного режима и режима осадков на территории РФ и ее регионов, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 183, с. 20-30.

Кузьмин, С.Б. (2016) Опасные природные процессы Иркутской области, *Безопасность жизнедеятельности*, № 12 (192), с. 27-34.

Макаров, С.А. (2012) *Сели Прибайкалья, Иркутск*, Изд-во Ин-та географии им. Б.В. Сочавы СО РАН, 111 с.

*Национальный атлас России* (2007) Т. 2, Природа. Экология, М., ПКО «Картография», 496 с.

Орлов, Е.А., Чернов, К.А. (2019) Результаты выполнения аварийно-восстановительных работ и анализ медицинского обеспечения в ходе ликвидации наводнения на территории Иркутской области аэромобильной группой Тульского спасательного центра МЧС России (с 6 июля по 15 августа 2019 г.),

---

*Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*, № 3, с. 52-58.

*Проект OpenStreetMap. Гипсометрическая карта*, URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=9/61.3256/60.2902&layers=Y> (дата обращения 02 февраля 2024).

РД 52.27.724-2019 (2019) *Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения*, М., ФГБУ «Гидрометцентр России», 72 с.

РД 52.88.699-2008 (2008) *Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений*, М., Росгидромет, 31 с.

Росгидромет (2012) *Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем*, под ред. С.М. Семенова, М., Росгидромет, 512 с.

Росгидромет, НИЦ «Планета», *Мониторинг наводнения в Иркутской области. 20 июля 2019*, URL: <http://www.meteorf.ru/press/news/19528/> (дата обращения 02 февраля 2024).

Слепнева, Е.В., Парыгина, Е.А., Кичигина, Н.В. (2020) Генезис наводнений в Иркутской области, *Известия Иркутского государственного университета, серия: Науки о Земле*, т. 34, с. 96-112.

СП 115.13330.2016 (2018) *Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95*, Издание официальное, М., Минстрой России, Стандартинформ, 36 с.

*Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации* (1997) Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 588 с.

Сутурин, А.Н. (2012) Экосистема Байкала может быть уничтожена техногенными отходами, *Экология и жизнь*, № 2, с. 82-85.

Тимофеева, С.С., Гармышев, В.В., Астраханцева, А.Ю. (2022) Сравнительный анализ экологических рисков природных пожаров на территории Байкальского региона, *Безопасность техногенных и природных систем*, № 4, с. 22-29.

*Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* (2022) Под ред. В.М. Катцова, Росгидромет, Санкт-Петербург, Научное издание, 676 с.

*Карта активности оползневых процессов на территории Российской Федерации по состоянию на 01.11.2022 г. Масштаб 1:25 000 000* (2022) Москва, Гидроспецгеология, ФГБУ «Гидроспецгеология».

Шамин, С.И., Бухонова, Л.К., Санина, А.Т. (2022) Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России, *Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326*.

*Экологический атлас бассейна озера Байкал* (2015) Иркутск, Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 145 с.

*Эколого-географический атлас-монография «Селенга-Байкал»* (2019) Под ред. Н.С. Касимова, М., Географический факультет МГУ, 288 с.

Янкус, Г.А., Сахаров, Л.В. (2018) Природные пожары в Северо-Восточном Прибайкалье, *Биосферное хозяйство: теория и практика*, № 3, с. 28-47.

Brown, K.P., Gerber, A., Bedulina, D., Timofeyev, M.A. (2021) Human impact and ecosystemic health at Lake Baikal, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, vol. 8, no. 4, p. e1528.

CRU (2022) *Climatic Research Unit: Data. High-resolution gridded datasets and derived products*, URL: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/> (accessed 02 Feb 2024).

IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 1300 p.

IPCC (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, Cambridge University Press, in Press.

Safronov, A.N. (2020) *Effects of climatic warming and wildfires on recent vegetation changes in the Lake Baikal Basin*, *Climate*, no. 8(4), p. 57, URL: <https://doi.org/10.3390/cli8040057>.

UNESCO (1997) *World Heritage Committee. Twentieth session, Merida, Mexico, 2-7 December 1996*, WHC-96/CONF.201/21, 10 March 1997, URL: <https://whc.unesco.org/archive/repcom96.htm> (accessed 02 Feb 2024).

## References

Abarinova, N.G., Gerber, A.S., Lipka, O.N., Leummens, H., Tolstykh, N.I., Fedorov, A.V., Yablokov, M.S., Kuklina, S.L., Sheinfeld, S.A. (2021) *Proekt «Ocenka ekologicheskikh i social'nyh problem Bajkal'skoj prirodnoj territorii»* [Project “Assessment of environmental and social problems of the Baikal natural territory”], Ecocenter “Reserves”, Moscow, Russia, 587 p.

*Atlas prirodnih i tekhnogennyh opasnostej i riskov chrezvychajnyh situacij v Rossijskoj Federacii* [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations in the Russian Federation] (2010) Ministry of Emergency Situations of Russia, LLC Publishing and Producing Center Design, Information, Cartography, Moscow, Russia, 398 p.

Bazhenova, O.I., Martyanova, G.N. (2003) Assessment of the intensity of erosion processes in the Angara basin based on suspended sediment runoff [Assessment of the intensity of erosion processes in the Angara basin based on suspended sediment runoff], *Problemy geologii i geografii Sibiri: materialy*

---

---

*nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 125-letiyu osnovaniya Tomskogo gosudarstvennogo universiteta i 70-letiyu obrazovaniya geologo-geograficheskogo fakul'teta* [Problems of geology and geography of Siberia: materials of the scientific conference dedicated to the 125th anniversary of the founding of Tomsk State University and the 70th anniversary of the formation of the Faculty of Geology and Geography], Tomsk, April 02-04, 2003, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, pp. 27-29.

Bulygina, O.N., Veselov, V.M., Razuvaev, V.N., Alexandrova, T.M. (2022a) *Opisanie massiva srochnyh dannyh ob osnovnyh meteorologicheskikh parametroh na stanciyah Rossii* [Description of an array of urgent data on the main meteorological parameters at Russian stations], *Certificate of state registration of the database no. 2014620549*, URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#description-of-data-array>.

Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., Alexandrova, T.M. (2022b) *Opisanie massiva dannyh sutochnoj temperatury vozduha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stanciyah Rossii i byvshego SSSR* [Description of a data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR].

*Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii* [The second assessment report of Roshydromet on climate change in the Russian Federation] (2014) Roshydromet, Moscow, Russia, 1008 p.

Gareeva, G.N. (2018) *Rol' vetra v formirovanii rel'efa Pribajkal'ya – Bajkal – Rodina – Planeta* [The role of wind in the formation of the relief of the Baikal region - Baikal – Motherland – Planet], *Materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Irkutsk, 9-10 noyabrya 2018 g.)* [Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation (Irkutsk, November 9-10, 2018)], Publishing House of the Institute of Geography named after V.B. Sochavy SB RAS, Irkutsk, Russia, pp. 15-16.

*Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii ozera Bajkal i merah po ego ohrane v 2018 godu»* [State report “On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2018”] (2019) ANO “KC Expert”, Irkutsk, Russia, 341 p.

*Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii ozera Bajkal i merah po ego ohrane v 2021 godu»* [State report “On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2021”] (2022) Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Geography named after V.B. Sochavy SB RAS, Irkutsk, Russia, 370 p.

Degtyarev, A.S., Drabenko, V.A., Drabenko, V.A. (2015) *Statisticheskie metody obrabotki meteorologicheskoy informacii* [Statistical methods for processing meteorological information], Textbook, Andreevsky Publishing House LLC, St. Petersburg, Russia, 225 p.

*Doklad o klimaticheskikh riskah na territorii Rossijskoj Federacii* [Report on climate risks on the territory of the Russian Federation] (2017) St. Petersburg, Russia, 106 p.

---

*Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii v 2022 g.* [Report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2022] (2023) Roshydromet, Moscow, Russia, 104 p.

Dugarova, G.B. (2021) Analiz i ocenka posledstvij navodneniya v g. Tulune (Irkutskaya oblast') [Analysis and assessment of the consequences of flooding in the city of Tulun (Irkutsk region)], *Vserossijskij ekonomicheskij zhurnal EKO*, no. 1 (559), pp. 130-150.

Zolina, O.G., Bulygina, O.N. (2016) Sovremennaya klimaticheskaya izmenchivost' kharakteristik ekstremal'nykh osadkov v Rossii [Modern climatic variability of extreme precipitation characteristics in Russia], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 1, pp. 84-103.

Karnaukhova, G.A. (2019) Obstanovki osadkonakopleniya i osobennosti sostava donnyh otlozhenij v Angarskih vodohranilishchah [Sedimentation environments and features of the composition of bottom sediments in the Angara reservoirs], *Otechestvennaya geologiya*, no. 3, pp. 74-82.

Karnaukhova, G.A. (2009) *Processy osadkoobrazovaniya v vodohranilishchah Angarskogo kaskada* [Sedimentation processes in reservoirs of the Angara cascade], IG SB RAS, Irkutsk, Russia, 44 p.

Karnaukhova, G.A. (2014) Pribrezhnaya zona osadkonakopleniya v angarskih vodohranilishchah [Coastal sedimentation zone in the Angara reservoirs], *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*, vol. 10, pp. 67-77.

Kichigina, N.V. (2018) Opasnost' navodnenij na rekah Bajkal'skogo regiona [The danger of floods on the rivers of the Baikal region], *Geografiya i prirodnye resursy*, no. 2, pp. 41-51.

Korshunova, N.N., Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., Davletshin, S.G. (2018) Ocenka ekstremal'nosti temperaturnogo rezhima i rezhima osadkov na territorii RF i ee regionov [Assessment of extreme temperature and precipitation regimes on the territory of the Russian Federation and its regions], *Trudy VNIIGMI-MCD*, vol. 183, pp. 20-30.

Kuzmin, S.B. (2016) Opasnye prirodnye processy Irkutskoj oblasti [Hazardous natural processes in the Irkutsk region], *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, no. 12 (192), pp. 27-34.

Makarov, S.A. (2012) *Seli Pribajkal'ya* [Mudflows in the Baikal region], Publishing House of the Institute of Geography named after B.V. Sochavy SB RAS, Irkutsk, Russia, 111 p.

*Nacional'nyj atlas Rossii* [National Atlas of Russia] (2007) Vol. 2, Nature. Ecology, PKO "Cartography", Moscow, Russia, 496 p.

Orlov, E.A., Chernov, K.A. (2019) Rezul'taty vypolneniya avarijno-vosstanovitel'nyh rabot i analiz medicinskogo obespecheniya v hode likvidacii navodneniya na territorii Irkutskoj oblasti aeromobil'noj gruppoj Tul'skogo

---

---

spasatel'nogo centra MCHS Rossii (s 6 iyulya po 15 avgusta 2019 g.) [Results of emergency recovery work and analysis of medical support during flood liquidation in the Irkutsk region by the airmobile group of the Tula Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of Russia (from July 6 to August 15, 2019)], *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situatsiyah*, no. 3, pp. 52-58.

*OpenStreetMap project. Hypsometric map*, URL: <https://www.openstreetmap.org/#map=9/61.3256/60.2902&layers=Y>. (accessed February 02, 2024).

*Rukovodyashchij Dokument 52.27.724-2019 Nastavlenie po kratkosrochnym prognozam pogody obshchego naznacheniya* [Guidance Document 52.27.724-2019. A Manual on General Weather Forecasts] (2019) Federal State Budgetary Institution "Hydrometeorological Center of Russia", Moscow, Russia, 72 p.

*Rukovodyashchij Dokument 52.88.699-2008. Polozhenie o poryadke dejstvij uchrezhdenij i organizacij pri ugroze vozniknoveniya i vozniknovenii opasnykh prirodnykh yavlenij* [Guiding Document 52.88.699-2008. Regulations on the procedure for actions of institutions and organizations in the event of the threat and occurrence of hazardous natural phenomena] (2008) Roshydromet, Moscow, Russia, 31 p.

*Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem* [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems] (2012) In: C.M. Semenov (ed.), Roshydromet, Moscow, Russia, 512 p.

*Rosgidromet, NIC «Planeta». Monitoring navodneniya v Irkutskoj oblasti* [Roshydromet, Scientific Research Center "Planeta". Monitoring of floods in the Irkutsk region]. July 20, 2019, URL: <http://www.meteor.ru/press/news/19528/> (accessed February 02, 2024).

Slepneva, E.V., Parygina, E.A., Kichigina, N.V. (2020) Genezis navodnenij v Irkutskoj oblasti [Genesis of floods in the Irkutsk region], *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*, vol. 34, pp. 96-112.

*SP 115.13330.2016. Geofizika opasnykh prirodnykh vozdeystvij. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 22-01-95. Izdaniye ofitsial'noye* [SP 115.13330.2016. Geophysics of hazardous natural impacts. Updated edition of SNIp 22-01-95. Official edition] (2018) Minstroy Rossii, Standartinform, Moscow, Russia, 36 p.

*Spravochnik po opasnym prirodnykh yavleniyam v respublikah, krayah i oblastyah Rossijskoj Federacii* [Handbook on natural hazards in the republics, territories and regions of the Russian Federation] (1997) Gidrometeoizdat, St. Petersburg, Russia, 588 p.

Suturin, A.N. (2012) Ekosistema Bajkala mozhet byt' unichtozhena tekhnogennymi othodami [The Baikal ecosystem can be destroyed by man-made waste], *Ekologiya i zhizn'*, no. 2, pp. 82-85.

---

Timofeeva, S.S., Garmyshev, V.V., Astrakhantseva, A.Yu. (2022) Comparative analysis of environmental risks of natural fires in the Baikal region [Comparative analysis of environmental risks of natural fires in the Baikal region], *Safety of man-made and natural systems*, no. 4, pp. 22-29.

*Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii* [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2022) In: V.M. Kattsova (ed.), Roshydromet, High technology, St. Petersburg, Russia, 676 p.

FGBU «Gidrospetsgeologiya». *Karta aktivnosti opolznevogo protsessa na territorii Rossiyskoy Federatsii po sostoyaniyu na 01.11.2022 g.* [Map of landslide process activity on the territory of the Russian Federation as of November 1, 2022] (2022) 1: 25 000 000, Gidrospetsgeologiya, Moscow, Russia.

Shamin, S.I., Bukhonova, L.K., Sanina, A.T. (2022) Svedeniya ob opasnyh i neblagopriyatnyh gidrometeorologicheskikh yavleniyah, kotorye nanesli material'nyj i social'nyj ushcherb na territorii Rossii [Information about dangerous and unfavorable hydrometeorological phenomena that caused material and social damage on the territory of Russia], *Certificate of state registration of the database no. 2019621326*.

*Ekologicheskij atlas bassejna ozera Bajkal* [Ecological atlas of the Lake Baikal basin] (2015) Publishing House of the Institute of Geography named after V.B. Sochavy SB RAS, Irkutsk, Russia, 145 p.

*Ekologo-geograficheskij atlas-monografiya «Selenga-Bajkal»* [Ecological and geographical atlas-monograph “Selenga-Baikal”] (2019) In: N.S. Kasimova (ed.), Faculty of Geography of Moscow State University, Moscow, Russia, 288 p.

Yankus, G.A., Sakharov, L.V. (2018) Prirodnye pozhary v Severo-Vostochnom Pribajkal'e [Natural fires in the North-Eastern Baikal region], *Biosfernoe hozyajstvo: teoriya i praktika*, no. 3, pp. 28-47.

Brown, K.P., Gerber, A., Bedulina, D., Timofeyev, M.A. (2021) Human impact and ecosystemic health at Lake Baikal, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, vol. 8, no. 4, p. e1528.

CRU (2022) *Climatic Research Unit: Data. High-resolution gridded datasets (and derived products)*, URL: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/> (accessed 02 Feb 2024).

IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 1300 p.

IPCC (2022) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, in Press.

---

Safronov, A.N. (2020) Effects of climatic warming and wildfires on recent vegetation changes in the Lake Baikal Basin, *Climate*, no. 8(4), p. 57, URL: <https://doi.org/10.3390/cli8040057>.

UNESCO (1997) *World Heritage Committee. Twentieth session, Merida, Mexico, 2-7 December 1996*, WHC-96/CONF.201/21, 10 March 1997, URL: <https://whc.unesco.org/archive/repcom96.htm> (accessed 02 Feb 2024).

*Статья поступила в редакцию (Received): 07.01.2024.*

*Статья доработана после рецензирования (Revised): 01.03.2024.*

*Принята к публикации (Accepted): 16.04.2024.*

### **Для цитирования / For citation:**

Липка, О.Н., Богданович, А.Ю., Андреева, А.П., Караваева, А.С., Крыленко, С.В., Стерин, А.М., Коршунова, Н.Н. (2024) Наблюдаемые изменения климата в бассейнах Байкала и Ангары, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 2, с. 244-271, doi: 10.21513/0207-2564-2024-2-244-271.

Lipka, O.N., Bogdanovich, A.Yu., Andreeva, A.P., Karavaeva, A.S., Krylenko, S.V., Sterin, A.M., Korshunova, N.N. (2024) Observed climate changes in the Baikal and Angara basins, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 2, pp. 244-271, doi: 10.21513/0207-2564-2024-2-244-271.