

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНДЕКСОВ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ КЛИМАТА ЗА ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА В АЛТАЕ-САЯНСКОМ РЕГИОНЕ (ЗАПАДНЫЙ САЯН, КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)

© Г. И. МОСОЛОВА,¹ Т. Н. ОСИПОВА,² Г. В. ПРЯХИНА³

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: ¹ galinamosolova@rambler.ru

² osipovat@mail.ru

³ g65@mail.ru

По данным многолетних наблюдений метеорологических станций, расположенных в Алтае-Саянском регионе, в статье проведен анализ межгодовой изменчивости числа дней с осадками 10 мм и более (индекс R10), а также максимума 5-дневных сумм осадков (индекс max5) за период 1976—2012 гг. Эти показатели влияют на возникновение дождевых паводков. Индекс R10 в исследуемом регионе значительно изменяется от года к году и тенденция его изменения различна на рассматриваемых станциях. Индекс max5 незначительно уменьшается на всех станциях, кроме Минусинска, его коэффициент вариации колеблется от 30 до 46 %. Сравнение многолетнего хода максимальных расходов дождевых паводков и индекса max5 показало наличие тесной связи (коэффициент корреляции 0.8). Проведенный анализ межгодового хода индексов экстремальности позволяет сделать вывод о различиях в тенденциях многолетних изменений суточных сумм осадков за теплый период в пределах изучаемого региона.

Ключевые слова: изменение климата, количество осадков, экстремальные климатические показатели, индекс R10, индекс max5, максимальный расход паводков.

На территории России потепление климата сказалось больше, чем в других регионах Земли. По данным МГЭИК, рост температуры воздуха на планете составил 0.76 °C. В России за последние 100 лет (1907—2006 гг.) среднегодовая температура приземного слоя воздуха увеличилась на 1.29 °C [6]. В 2015 г. на территории России среднегодовая температура воздуха была выше нормы на 2.20 °C, в Сибири — на 3.0 °C. Температура воздуха растет в среднем на 0.45 °C за 10 лет. В последние десятилетия отмечается увеличение числа опасных явлений. Например, в 2015 г. число опасных явлений составило 973 случая, в 2011 г. — 536. Растет число дней с сильными осадками. Если в 2011 г. их число составило 84 случая, то в 2015 г. — 112. Причем наибольшая активность этого опасного явления наблюдается в теплый период (с апреля по август). Доля сильных осадков и сильного ветра в 2015 г. составила 65 % общего числа опасных явлений. В целом по России наблюдается положительный тренд годовых сумм атмосферных осадков (за 1976—2012 гг. он составил 5—10 % за 10 лет) [4, 5]. В связи с потеплением климата, увеличением числа опасных явлений необходима адаптация населения и хозяйственной деятельности к изменениям климата. В целях сохранения уникального Алтае-Саянского региона был разработан проект «Расширение сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) для сохранения Алтае-Саянского экорегиона» [12]. В рамках этого проекта был организован мониторинг изменения климата. Это позволяет получить представление о пространственных и временных изменениях характеристик климата (Международная климатическая инициатива при поддержке Федерального министерства Германии по окружающей среде, охране природы и ядерной безопасности, 2011 г.). Итоги этих исследований термического режима и атмосферных осадков изложены в

ряде работ, в которых отмечается рост температуры воздуха за последние 50 лет на 2.8°C [1, 2, 8, 11, 12, 14, 15]. Н. Ф. Харламова [15] указывает на рост максимальных осадков в этом регионе, который составил около 100 мм. Причем осадки носят в основном ливневый характер, что не способствует увеличению запасов влаги в почве. Подчеркивается, что в ближайшее десятилетие будет увеличиваться повторяемость опасных явлений — интенсивных ливней, засух и др.

В 1999 г. для исследования экстремальности климата объединенная рабочая группа Всемирной метеорологической организации (ВМО) разработала климатические индексы экстремальности (ККл/КЛИВАР) для характеристики экстремальных показателей климата. Ряд авторов [7, 9, 13] исследовали изменение во времени предложенных ВМО экстремальных показателей климата на территории России. В работах Т. В. Платовой [9, 10] дана характеристика индексов экстремальности климата на территории Российской Федерации за период 1976—2005 гг. Для региона, исследуемого в данной статье, Т. В. Платова приводит данные Минусинска. Она отмечает, что в Минусинске температура воздуха зимой в январе растет на $0.87^{\circ}\text{C}/10$ лет, летом отмечается слабый положительный тренд. Интенсивность атмосферных осадков увеличивается в среднем на 0.13 мм/день за 10 лет. Д. А. Кошкин [7] исследовал экстремальные климатические показатели на территории Иркутской области. После 1970 г. в Иркутской области наблюдается рост повторяемости суточных сумм осадков больше 10 мм, особенно в летний период. Для этих суточных сумм осадков характерна 2—4, 5—7, 9—11 и 16—17-летняя автоколебательная цикличность. В среднем по Иркутской области годовые суммы атмосферных осадков увеличиваются со скоростью 4.35 мм/10 лет.

Исследования повторяемости опасных гидрометеорологических явлений на азиатской территории России, проведенные В. А. Семеновым [13], показали, что интенсивность ливней увеличилась в начале XXI в. В. А. Семенов отмечает, что рост интенсивности ливней, увеличение температуры воздуха и выпавших атмосферных осадков весной, а также более интенсивное снеготаяние одновременно в нескольких высотных поясах могут приводить к возникновению опасных паводков в горных и предгорных районах юга Сибири, в бассейне р. Енисей. Прогнозируемое уменьшение высоты снежного покрова в горах на юге Западной Сибири не уменьшает вероятности опасных половодий на большей части рек благодаря указанным выше факторам.

Формирование опасных дождевых паводков на горных реках происходит в результате выпадения интенсивных осадков, в особенности, если они выпадают на переувлажненную почву. В статье рассмотрен многолетний ход максимальных суточных сумм осадков, что позволяет выявить факторы, способствующие формированию опасных паводков на реках. Для изучения возможности возникновения паводковых ситуаций на горных реках в Алтае-Саянском регионе нами выбран район его западной части. В качестве количественных характеристик интенсивных осадков использовались индексы экстремальности климата, предложенные ВМО. Из них выбраны две характеристики интенсивных осадков R_{10} и $max5$. Показатель R_{10} — это количество дней с осадками не ниже 10 мм, $max5$ — максимум 5-дневных сумм осадков. Индекс $max5$ рассчитывался как максимум из скользящих 5-дневных сумм и является индикатором переувлажнения.

Известно, что часто ливневые осадки в данном регионе формируются в результате местной конвекции и горно-долинной циркуляции и могут носить

Координаты и абсолютные высоты метеорологических станций

Станция	Сев. широта, град	Вост. долгота, град	Высота, м
Оленья речка	52.80	93.23	1404
Неожиданный	52.28	89.07	527
Минусинск	53.70	91.70	254
Ненастная	54.75	88.82	1186
Абакан	53.77	91.82	254

локальный характер. Поскольку абсолютные высоты гор и их положение относительно влагонесущих потоков определяют количество и пространственное распределение осадков, в пределах изучаемой территории были выбраны метеорологические станции, находящиеся в различных географических условиях (см. таблицу). Станция Оленья речка расположена в горах Западного Саяна, в небольшой долине р. Оленья речка. Станция Минусинск расположена в центральной части Южно-Минусинской котловины, станция Абакан — в северо-западной части Хакасско-Минусинской котловины. Метеостанция Неожиданный расположена в глубокой долине отрогов Кузнецкого Алатау. Метеостанция Ненастная находится в центральной части хребта Кузнецкого Алатау, на восточном склоне горы Ненастная.

Исследование годового хода атмосферных осадков на всех станциях показало, что их максимум наблюдается в июле, минимум — в феврале или в марте. На метеостанциях Неожиданный и Ненастная большое количество атмосферных осадков наблюдается также в ноябре. Для примера на рис.1 показан годовой ход атмосферных осадков на станции Оленья речка. Как видно, большая часть атмосферных осадков выпадает в теплый период. На всех станциях атмосферные осадки теплого периода (апрель—октябрь) составляют от 58 до 88 % годовой суммы. Они же и определяют условия возникновения паводков на реках. Поэтому индексы экстремальности климата R10 и max5 рассчитывались только для теплого периода.

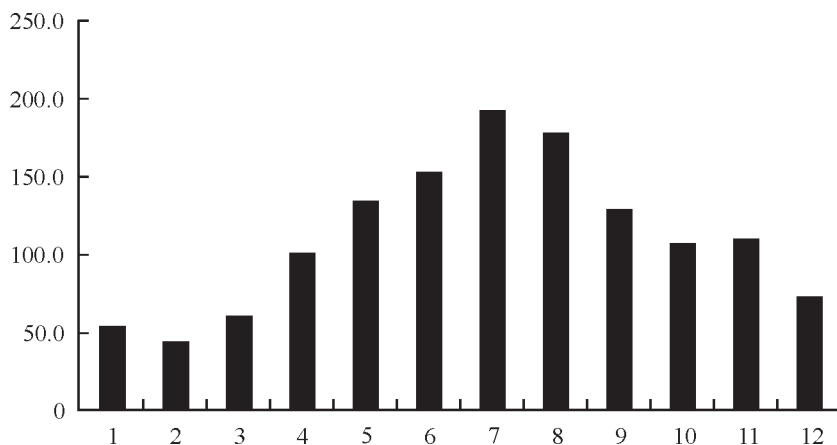


Рис. 1. Годовой ход осадков (мм) на станции Оленья речка.

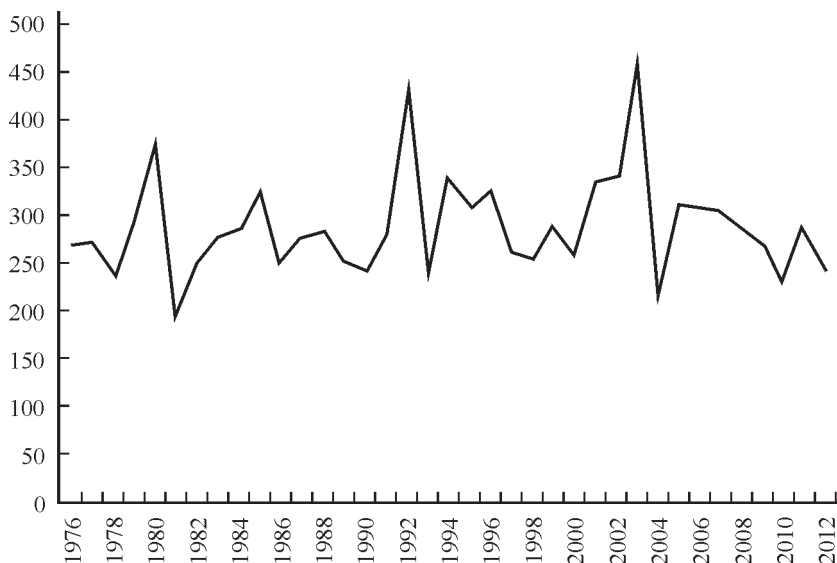


Рис. 2. Многолетний ход суммы осадков за теплый период (мм) на станции Минусинск.

Индексы экстремальности рассчитывались по ежедневным данным [3] о количестве атмосферных осадков за период с 1961 по 2012 г. для пяти станций исследуемого региона. Для анализа тенденций в изменении интенсивности и количества атмосферных осадков был выбран период наиболее интенсивного потепления 1976—2012 гг.

Анализ межгодового хода сумм атмосферных осадков за теплый период не выявил выраженных тенденций к изменениям. Однако на рис. 2 и 3 заметна тенденция к цикличности в многолетнем ходе сумм осадков за теплый период. Циклы могут составлять от 5—6 до 11—12 лет.

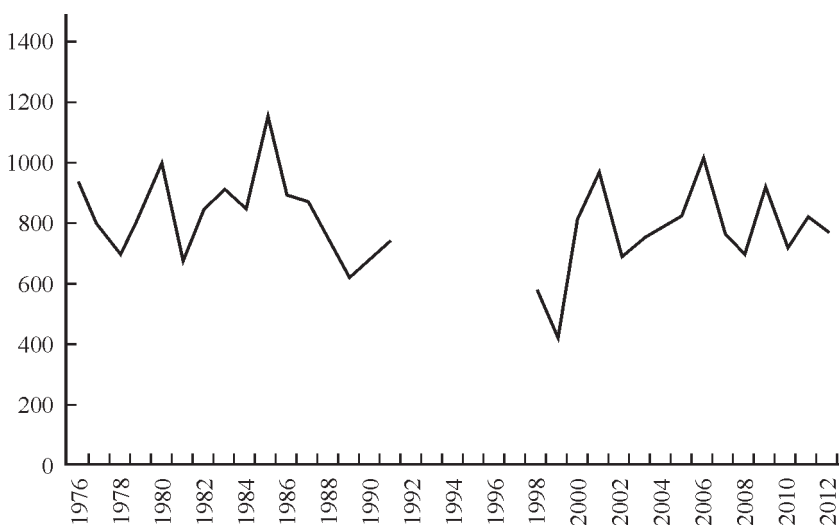


Рис. 3. Многолетний ход суммы осадков за теплый период (мм) на станции Оленья речка.

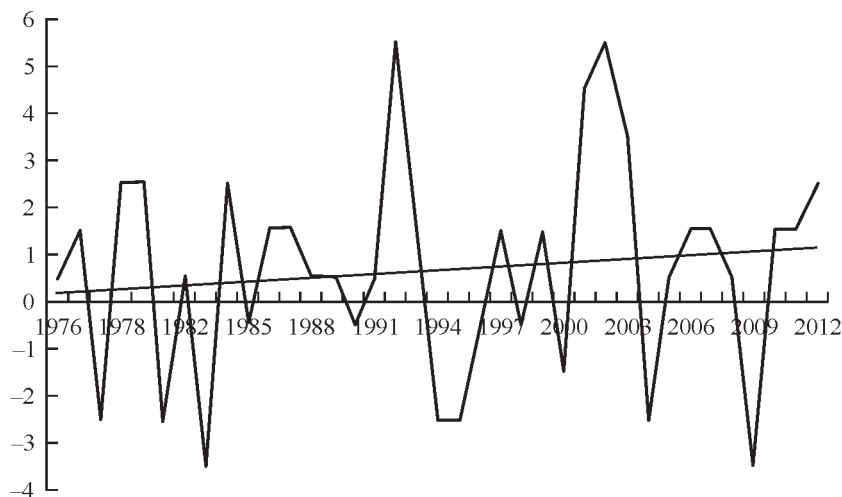


Рис. 4. Многолетний ход отклонения от нормы индекса R10 на станции Минусинск.

Многолетний ход отклонения от нормы (период 1961—1990 гг.) индекса R10 показывает как значительную изменчивость этого показателя от года к году, так и разнонаправленность процессов в регионе. На станциях Минусинск (рис. 4) и Абакан наблюдается незначительное увеличение числа дней с осадками более 10 мм, на станции Оленья речка наблюдается их уменьшение (рис. 5). На станциях Неожиданный и Ненастная тенденции в изменениях аномалий индекса в сторону увеличения или уменьшения не выявлено.

Важным показателем экстремальных характеристик климата является индекс $\max 5$. Значительное количество атмосферных осадков, выпадающих в течение пяти дней подряд, может вызвать переувлажнение почв и грунтов и как следствие связанные с ними особо опасные явления. Максимум 5-дневных сумм осадков рассчитывался как максимум из скользящих 5-дневных сумм за теплый период с 1976 по 2012 г. Необходимо отметить, что данный

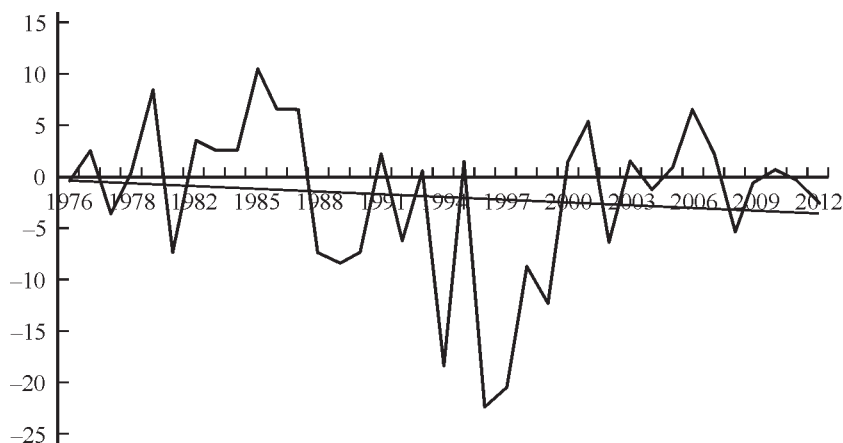


Рис. 5. Многолетний ход отклонения от нормы индекса R10 на станции Оленья речка.

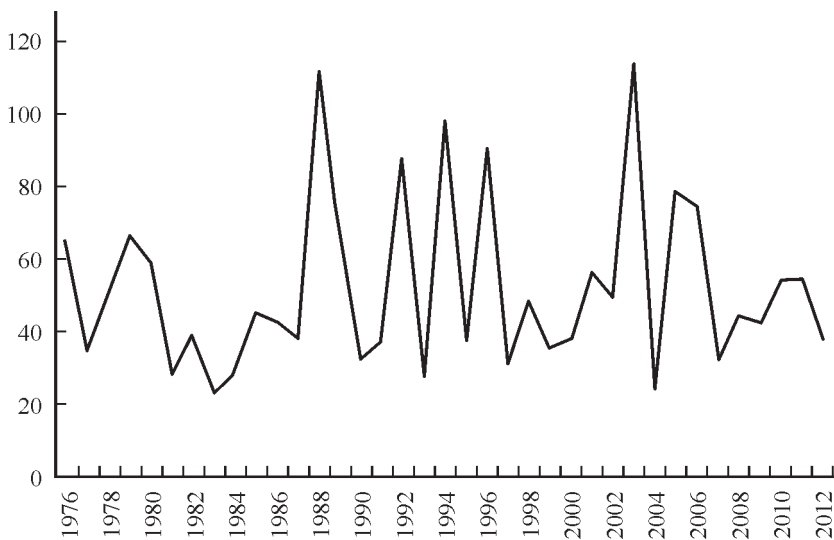


Рис. 6. Многолетний ход индекса $\max 5$ (мм) на станции Минусинск.

показатель очень изменчив, особенно там, где годовое количество осадков мало (рис. 6). Это особенно заметно для пунктов Оленья речка и Минусинск. Коэффициент вариации составляет 30 % на метеостанции Оленья речка и 46 % — в Минусинске. В многолетнем ходе максимума 5-дневных сумм осадков прослеживается уменьшение этого показателя (рис. 7) на всех станциях, кроме Минусинска, где наблюдается его незначительный рост.

Для подтверждения того, что максимумы 5-дневных скользящих осадков могут использоваться в гидрологических прогнозах, мы сопоставили их многолетний ход с многолетним ходом максимальных расходов дождевых паводков р. Оленья речка—пост Оленья речка за период с 1976 по 2012 г. (рис. 8). Коэффициент корреляции этих показателей составил 0.8. Выявленная тесная

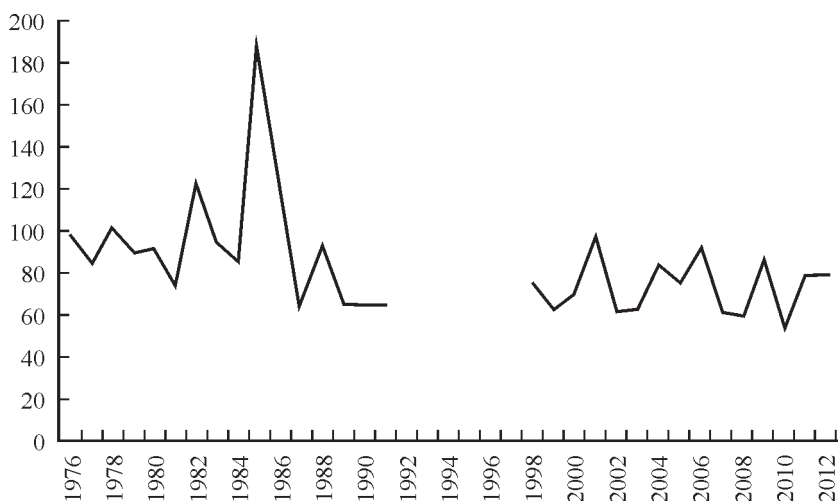


Рис. 7. Многолетний ход индекса $\max 5$ (мм) на станции Оленья речка.

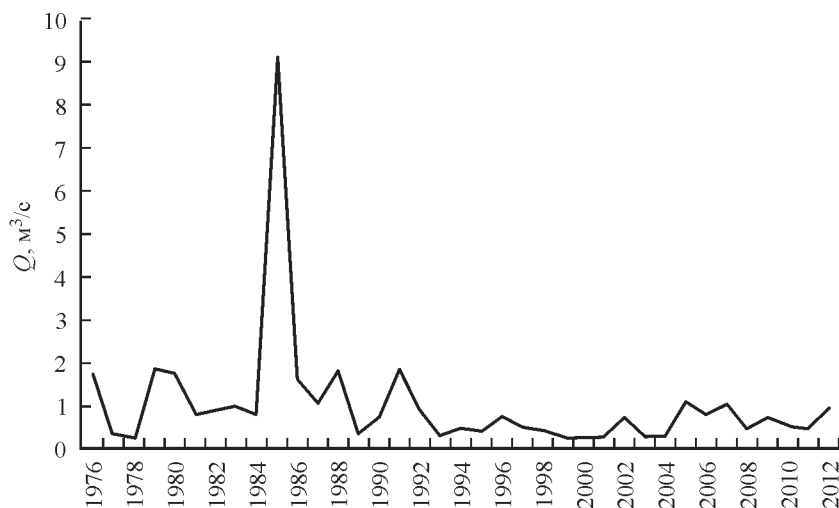


Рис. 8. Многолетний ход максимальных расходов дождевых паводков р. Оленья речка—пос. Оленья речка.

связь между 5-дневными максимумами осадков и максимальными расходами дождевых паводков свидетельствует о возможности использования показателя $\text{тах}5$ для прогноза дождевых паводков.

Хотя статистически значимого тренда в межгодовом ходе практически нет, индекс $\text{тах}5$ остается важной характеристикой для прогнозов особо опасных явлений. Так, на станции Минусинск в отдельные годы максимальные значения 5-дневных сумм осадков могут достигать 40 % от суммы осадков за теплый период, на других станциях этот показатель может составлять от 16 до 36 %.

Проведенный анализ межгодового хода индексов экстремальности климата позволяет сделать вывод о различиях в тенденциях многолетних изменений суточных сумм осадков за теплый период в пределах изучаемого региона. Несмотря на то что статистически значимых трендов в изменении количества дней с интенсивными осадками и максимума 5-дневных сумм осадков за последние 37 лет не обнаружено, изучение повторяемости данных характеристик представляет интерес для прогностических целей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 13-05-00807 А.

Список литературы

- [1] Андрейчик М. Ф., Монгуш Л. Д. Изменение термических ресурсов в Турано-Уюкской котловине в связи с потеплением климата в Республике Тыва // Научные труды Тувинского гос. ун-та. 2009. Т. 11, вып. 6. С. 163—166.
- [2] Андрейчик М. Ф. Изменение индекса континентальности на фоне потепления климата в Тувинской горной области // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, №1. С. 1—6.
- [3] Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации—Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://meteo.ru/> (дата обращения 11.12 2014).

- [4] Доклад об особенностях климата на территории российской Федерации за 2011 год. Москва, 2012. 66 с.
- [5] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год. Москва, 2016. 68 с.
- [6] Изменение климата. Обзор пятого оценочного доклада МГЭИК. Москва, 2014. 80 с.
- [7] Кошкин Д. А. Динамика экстремальных климатических показателей на территории Иркутской области. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2012. 18 с.
- [8] Мандыч А. Ф., Яшина Т. В., Артемов И. А., Депенев В. В., Останин О. В., Романова И. Н., Сухова М. Г., Харламова Н. Ф., Шишикин А. С., Шмакин А. Б. Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона в условиях изменения климата. Красноярск, 2012. 62 с.
- [9] Платова Т. В. Климатические характеристики некоторых показателей экстремальности температуры приземного слоя воздуха и атмосферных осадков на территории России // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2007. № 1. С. 38—47.
- [10] Платова Т. В. Годовые экстремумы температуры воздуха на территории Федерации и их климатические изменения // Метеорология и гидрология. 2008. № 11. С. 80—84.
- [11] Ранькова Э. Я., Груза Г. В. Изменение климата в российской части Алтае-Саянского экорегиона // Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона. Оценочный доклад / Под ред. А. О. Кокорина. М., 2011. С. 15—37.
- [12] Рекомендации по адаптации сельского хозяйства Республики Тыва к изменению климата // Красноярск: WWF России, Oxfam-GB, Убсунурский международный центр биосферных исследований под эгидой СО РАН и правительства Республики Тыва, 2011. 66 с.
- [13] Семенов В. А. Климатообусловленные изменения повторяемости и взаимосвязь опасных гидрометеорологических явлений на азиатской территории России // Климатология и гляциология Сибири: материалы Междунар. науч.-практич. конф. Томск, 2012. С. 274—276.
- [14] Сухова М. Г. Климатические условия и ресурсы Центрального Алтая (на примере Онгудайского района) // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. Горно-Алтайск, 2005. Вып. 1. С. 156—161.
- [15] Харламова Н. Ф. Оценка и прогноз современных изменений климата Алтайского региона. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 156 с.

Поступило в редакцию
16 марта 2016 г.

Long-term total daily precipitation changes in the warm season in the Altai-Sayan region

© G. I. Mosolova,¹ T. N. Osipova,² G. V. Pryahina³

Saint-Petersburg State University
E-mail: ¹ galinamosolova@rambler.ru

² osipovat@mail.ru

³ g65@mail.ru

According to the long-term observations in the Altai-Sayan region the article analyzes the interannual variability of the day amount with precipitation of 10 mm or more (R10 index), and the maximum 5-day precipitation totals (max5 index) for the period 1976–2012 years. These indexes affect the occurrence of rainfall floods. In this region R10 index varies considerably from year to year and the trends differ. Max5 index slightly decreases at all stations except Minusinsk, coefficient of variation fluctuates from 30 to 46 %.

The high positive correlation (correlation coefficient 0.8) between the maximum discharges of rain floods and max5 index is shown. The analysis of interannual variability of the R10 and max5 indexes reveals that daily precipitation change asynchronously in the Altai-Sayan region.

Key words: climate change, amount of precipitation, climate extreme indexes R10 index, max5 index, peak flood discharge.

References

- [1] *Andrejchik M. F., Mongush L. D.* Izmenenie termicheskikh resursov v Turano-Ujuskoy kotlovine v svyazi s potepleniem klimata v Respublike Tyva // Nauchnye trudy Tyvinskogo gos. un-ta. 2009. T. 11, vyp. 6. S. 163–166.
- [2] *Andrejchik M. F.* Izmenenie indeksa kontinental'nosti na fone poteplenija klimata v Tuvinskoj gornoj oblasti // Optika atmosfery i okeana. 2010. T. 23, N 1. S. 1–6.
- [3] Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut gidrometeorologicheskoy informacii—Mirovoj centr dannyh (VNIIGMI-MCD). URL: <http://meteo.ru/> (data obrashhenija 11.12 2014).
- [4] Doklad ob osobennostyax klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2011 god. Moskva, 2012. 66 s.
- [5] Doklad ob osobennostyax klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2015 god. Moskva, 2016. 68 s.
- [6] Izmenenie klimata. Obzor pyatogo ocenochного doklada MGE'IK. Moskva, 2014. 80 s.
- [7] *Koshkin D. A.* Dinamika jekstremal'nyh klimaticheskikh pokazatelej na territorii Irkutskoj oblasti. Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Irkutsk, 2012. 18 s.
- [8] *Mandych A. F., Jashina T. V., Artemov I. A., Dekenov V. V., Ostanin O. V., Rotanova I. N., Suhova M. G., Harlamova N. F., Shishikin A. S., Shmakin A. B.* Sohranenie bioraznoobrazija v rossijskoj chasti Altae-Sajanskogo jekoregiona v uslovijah izmenenija klimata. Krasnojarsk, 2012. 62 s.
- [9] *Platova T. V.* Klimaticheskie harakteristiki nekotoryh pokazatelej jekstremal'nosti temperatury prizemnogo sloja vozduha i atmosfernih osadkov na territorii Rossii // Bjulleten' «Ispol'zovanie i ohrana prirodnyh resursov v Rossii». 2007. N 1. S. 38–47.
- [10] *Platova T. V.* Godovye jekstremumy temperatury vozduha na territorii Federacii i ih klimaticheskie izmenenija // Meteorologija i gidrologija. 2008. N 11. S. 80–84.
- [11] *Ran'kova Je. Ja., Gruza G. V.* Izmenenie klimata v rossijskoj chasti Altae-Sajanskogo jekoregiona // Izmenenie klimata i ego vozdejstvie na jekosistemy, naselenie i hozjajstvo rossijskoj chasti Altae-Sajanskogo jekoregiona. Ocenochnyj doklad / Pod red. A. O. Kokorina. M., 2011. S. 15–37.

- [12] Rekomendacii po adaptacii sel'skogo hozjajstva Respubliki Tyva k izmeneniju klimata // Krasnojarsk: WWF Rossii, Oxfam-GB, Ubsunurskij mezhdunarodnyj centr biosfernyh issledovanij pod jegidoj SO RAN i Pravitel'stva Respubliki Tyva, 2011. S. 66.
- [13] *Semenov V. A.* Klimatoobuslovlennye izmenenija povtorjaemosti i vzaimosvjaz' opasnyh gidrometeorologicheskikh javlenij na aziatskoj territorii Rossii // *Klimatologija i gljaciologija Sibiri: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Tomsk, 2012.* S. 274—276.
- [14] *Suhova M. G.* Klimaticheskie uslovija i resursy Central'nogo Altaja (na primere Ongudajского rajona) // *Geojekologija Altae-Sajanskoj gornoj strany. Gorno-Altajsk, 2005. Vyp. 1.* S. 156—161.
- [15] *Harlamova N. F.* Ocenka i prognoz sovremennyh izmenenij klimata Altajskogo regiona. Barnaul: Izd-vo AltGU, 2013. 156 s.

Изв. ПГО. 2016. Т. 148, вып. 5

О СОСТОЯНИИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО МАКРОСКЛОНА ХРЕБТА ТЕРСКОЙ-АЛАТОО ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

© Е. К. БАКОВ,¹ А. П. МЕЛЬНИКОВА²

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
Арзамасский филиал
E-mail: ¹ evg.bakov@yandex.ru
² ant.melnikova@mail.ru

Статья посвящена изменению площади оледенения ледников хребта Терской-Алатоо на Тянь-Шане за последние десятилетия. Район исследования в гляциологическом отношении изучен хорошо. Более 100 лет назад, исследовав ледники северного склона хребта, ученые узнали о «сильно усыхающих» глетчерах в этой горной стране. Сокращение оледенения продолжается до сих пор, причем с нарастающими темпами. Сравнительный анализ материалов каталога ледников хребта Терской-Алатоо 60—70-х гг. прошлого столетия и космической съемки 2010 г. показал, что за истекший период площадь оледенения уменьшилась более чем на 40 % в результате глобального потепления климата и уменьшения осадков в высокогорной зоне региона. Общее количество ледников увеличилось за счет распада более крупных. Полученные результаты не противоречат данным по другим районам земного шара.

В статье показано, что сокращение оледенения на Тянь-Шане не исключительное событие, характерное для современности. Полный или почти полный распад оледенения на Тянь-Шане в голоцене происходил и не в столь отдаленные времена, например в первом тысячелетии н. э.

Ключевые слова: Тянь-Шань, хребет Терской-Алатоо, каталог ледников 1976 г., спутниковая информация, картографические материалы, изменение климата, деградация оледенения, масса ледников, ледниковый сток, потепление климата.

Введение. Хребет Терской-Алатоо (Тянь-Шань, Киргизия), протянувшийся широтно почти на 400 км, с высотами гребневой зоны 4—5 тыс. м, оконтуривает с юга котловину оз. Иссык-Куль (рис. 1). Ледники хребта Терской-Алатоо — самые изученные на Тянь-Шане. Первые сведения о них находим в публикациях П. П. Семенова (Тян-Шанского), А. В. Каульбарса, Л. Ф. Костенко, В. В. Сапожникова. Последний в 1905 г. впервые упомянул «о четырех сильно усохших ледниках» в верховье р. Тургенъ-Аксу (восточная часть хребта).