

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 551.515.13(571.56)

DOI 10.25587/2587-8751-2024-2-46-53

Ю.И. Игнатьева¹, Н.И. Тананаев^{1,2}¹ СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия² КамГУ им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЦИКЛОНОВ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ

Аннотация. Внетропические циклоны над территорией Республики Саха (Якутия) приносят дожди и снижают вероятность лесных пожаров, однако могут стать причиной дождевых паводков, вызванных интенсивными осадками. В данной работе рассматривается повторяемость циклонов над территорией РС (Я) в летний период за период 1950–2022 г. Повторяемость циклонов оценивалась как количество находений центра циклона над территорией РС (Я) или отдельным субрегионом в стандартный метеорологический срок. Источником данных послужила база данных центров внетропических циклонов Университета Манитобы (Канада), основанная на данных реанализа по данным реанализа ERA5. Циклональная погода над территорией РС (Я) держится в течение 27.5 суток. Наибольшее количество циклональных событий отмечается в Северо-Восточном и Северо-Западном районах, наименьшее – в Южном и Центральном районах. В разрезе месяцев, циклоны наиболее активны в июне во всех районах, кроме Южного, где июльская активность циклонов определяется более благоприятными условиями атмосферной блокировки зонального переноса, что способствует выходу южных циклонов на территорию РС (Я). В повторяемости циклонов нет выраженного тренда, за исключением отдельных районов и месяцев: Западный район, июнь, возрастание; РС (Я) в целом, август, убывание. Установлен абсолютный минимум количества циклональных событий, приходящийся на 2019–2021 гг., который, как мы считаем, стал одной из основных причин наблюдавшегося в эти годы максимума горимости лесов на территории РС (Я) и минимального стока р. Лена в 2019 г. Анализ циркуляционных условий возникновения таких минимумов позволит оценить риск повторения аналогичных ситуаций в климате будущего.

Ключевые слова: Республика Саха (Якутия), атмосферная циркуляция, циклональная активность, шторм-треки, летний сезон, наводнения, лесные пожары.

Y.I. Ignatyeva¹, N.I. Tananaev^{1,2}¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia² Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

e-mail: tanni@s-vfu.ru

RECURRENCE OF CYCLONIC EVENTS OVER THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA) IN SUMMER MONTHS

Abstract. Extratropical cyclones over the Sakha Republic (Yakutia) bring rains and reduce the probability of forest fires, but can cause fast rainflood events caused by heavy precipitation. In this study, recurrence of cyclonic events over the Sakha Republic (Yakutia) in summer months between 1950 and 2022 is considered. Recurrence of cyclonic events was defined as the count of cyclone centers over Yakutia or subregions at a standard time

of observations. Extratropical cyclone centers database from University of Manitoba (Canada) based on ERA5 reanalysis was used in this study. Cyclonic weather over the territory of the Sakha Republic (Yakutia) persists for 27.5 days on average. The largest count of cyclonic events is noted in the North-Eastern and North-Western sub-regions, while the smallest is in the Southern and Central sub-regions. Across summer months, cyclones are most active in June in all regions except for the Southern sub-region. Here, increased July cyclonic activity is determined by conditions favorable for atmospheric blocking, limited zonal transport promoting the northward intrusion of southern cyclones. There is no pronounced trend in the frequency of occurrence of cyclones except for some regions and months: Western Area, June, increasing; the Sakha Republic (Yakutia), August, decreasing. An absolute minimum in the number of cyclonic events was established for 2019-2021, which, as we believe, was one of the main reasons for the maximum of forest fire activity in the Sakha Republic (Yakutia) observed in these years, along with the Lena River extremely low flows of 2019. An analysis of the circulation conditions leading to such extremes will make it possible to assess the risk of recurrence of similar situations under the future climate.

Keywords: Sakha Republic (Yakutia), atmospheric circulation, cyclonic activity, storm-tracks, summer season, rain floods, forest fires.

Введение

Внетропические циклоны Северного полушария – крупные барические образования, определяющие погодные условия на значительных территориях [1]. Циклоны и связанный с ними тип погоды приносят осадки и более прохладный воздух, однако связанные с прохождением фронтов интенсивные дожди, могут привести к быстрым дождевым наводнениям в горной местности. В центральной Якутии, в районе города Якутск, экстремальные осадки летнего периода связаны с приходом южных циклонов [2]. С другой стороны, длительное отсутствие циклонов создает предпосылки для повышения уровня лесопожарной опасности. Республика Саха (Якутия) пострадала от интенсивных лесных пожаров 2020-2021 гг., и уровень риска лесных пожаров остается в регионе высоким. Понимание метеорологических предпосылок возникновения лесных пожаров необходимо для более эффективного предупреждения пожаров и успешной борьбы с ними.

Повторяемость циклонов анализируют традиционно по данным синоптических карт, однако сбор и автоматическая обработка таких карт, особенно архивных, создают сложности. Альтернативным подходом выступает использование данных климатических реанализов, применимость которых для территории Сибири ранее уже рассматривалась в литературе [3]. Также разработано большое количество алгоритмов автоматизированной обработки данных реанализов для отслеживания траекторий циклонов (шторм-трекинга), которые достаточно достоверно определяют пути смещения циклонов [4].

Данная статья рассматривает повторяемость летних циклонов над территорией Республики Саха (Якутия) в летние месяцы. В работе рассмотрено пространственное распределение циклонических событий между субрегионами РС (Я), для каждого летнего месяца и летнего сезона в целом. Исследованы тенденции изменения количества циклонов во времени в разрезе месяцев и районов, показана связь циклонической активности с экстремальными гидрометеорологическими условиями начала XXI в.

Материалы и методы исследования

Повторяемость циклонов, в контексте данной работы, определяется через частоту циклонических событий. Циклоническое событие – нахождение над территорией Республики Саха (Якутии) центра циклона, т.е. области низкого давления с замкнутыми изобарами, в один из стандартных сроков метеорологических наблюдений, т.е. каждые три часа, начиная с 00ч UTC (всемирного скоординированного времени). Таким образом, одному циклону может соответствовать несколько циклонических событий.

Координаты центров циклонов были получены из находящейся в открытом доступе базы данных «Northern Hemisphere Extratropical Cyclone Tracks from ERA5», созданной в

Университете Манитобы, Канада [5]. Перед анализом данные фильтровались: по координатам, пространственная маска соответствовала территории РС (Я); по значению приведенного радиуса циклона, меньшему 15 км, для отсека артефактов. Геопространственная статистика рассчитывалась в QGIS 3.28.3 [6], другие статистические расчеты сделаны в программе RStudio v. 4.2.3, графическом интерфейсе пользователя языка R [7]. Тренд-анализ выполнен с использованием непараметрического теста Манна-Кендалла с блочным бутстрапом, чтобы избежать эффекта нулевых значений на уровень значимости теста. Районирование РС (Я) для целей подсчета циклональных событий основано на административно-территориальном делении республики (рис. 1), выделены шесть районов: Северо-Западный, Северо-Восточный, Западный, Центральный, Восточный и Южный. Новосибирские острова, как административно относящиеся к Булунскому улусу (району), входят в Северо-Западный район.

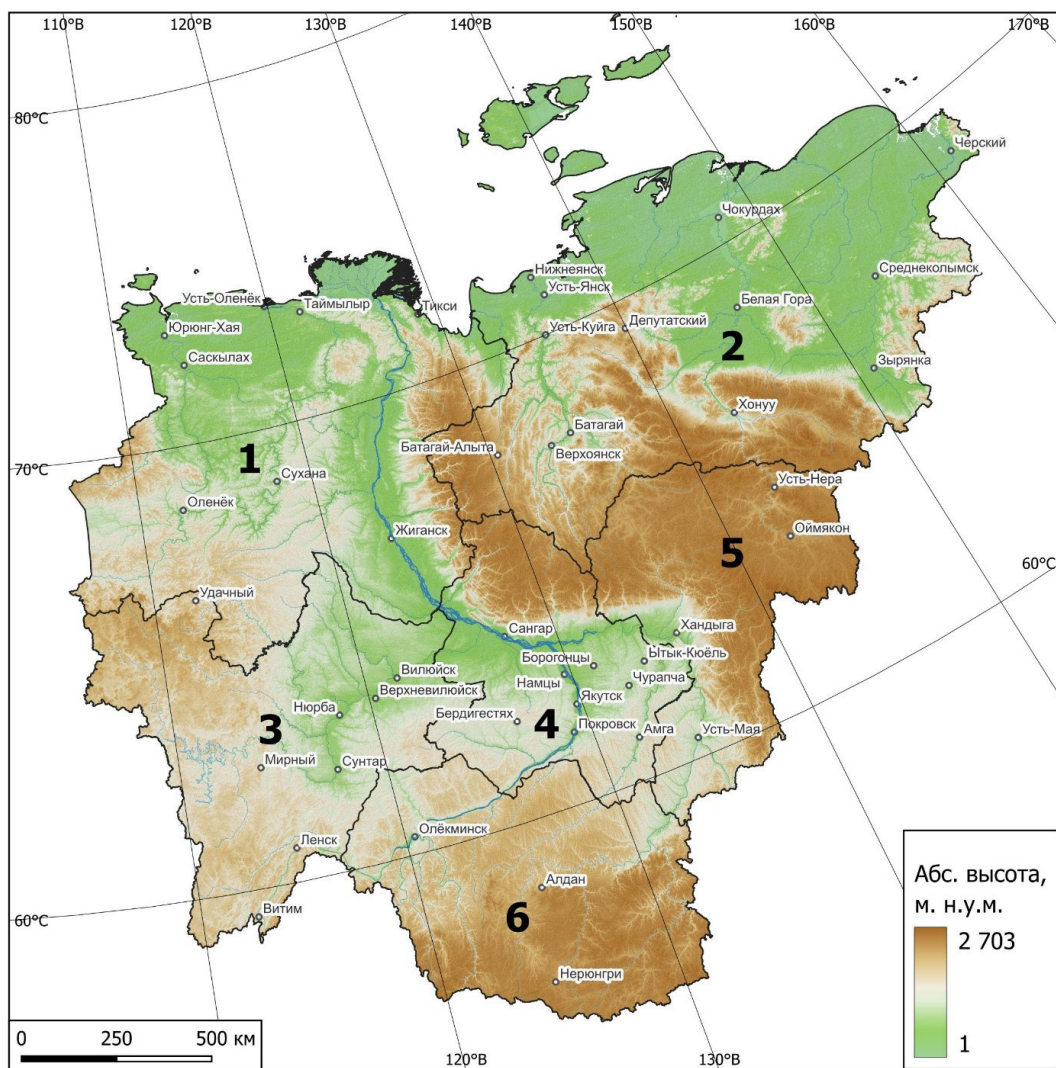


Рис. 1. Районирование территории Республики Саха (Якутия) для целей подсчета циклональных событий. Цифрами обозначены районы: 1) Северо-Западный; 2) Северо-Восточный; 3) Западный; 4) Центральный; 5) Восточный; 6) Южный

Fig. 1. The Sakha Republic (Yakutia) sub-regions used in cyclonic events count. Sub-regions are numbered and referred to in the main text as follows: 1) North-Western; 2) North-Eastern; 3) Western; 4) Central; 5) Eastern; 6) Southern

Результаты

Пространственный анализ. Всего за период с 1950 по 2022 г. над территорией Республики Саха (Якутия) в летний период наблюдалось 16 088 циклональных событий (см. определение в разделе «Материалы и методы исследования»), или в среднем 220 событий в год (табл. 1). Каждое событие соответствует стандартному сроку, следовательно, циклональная погода в течение летнего сезона отмечалась в течение не менее 27.5 суток. Данная цифра не слишком информативна, поскольку эпизоды циклональной погоды могли сопутствовать циклонам, чьи центры не проходили над Якутии, в том числе по территории Красноярского края, акватории арктических морей. С другой стороны, над Якутией возможно одновременное прохождение нескольких циклонов. По совокупности этих причин данную цифру нужно считать условным приближением и использовать только для сравнения разных лет или более длительных временных интервалов.

Таблица 1 – Суммарное количество летних циклональных событий над территорией Республики Саха (Якутия) в разбивке по месяцам и районам, за период с 1950 по 2022 г

	Июнь	Июль	Август	Итого
Восточный	616	489	385	1490
Западный	829	691	562	2082
Северо-Восточный	2125	1734	1368	5227
Северо-Западный	1758	1407	1388	4553
Центральный	438	429	348	1255
Южный	487	583	451	1521
ИТОГО	6253	5333	4502	16088

Суммарная повторяемость циклонов наибольшая в северных районах Республики Саха (Якутия) – Северо-Восточном и Северо-Западном (табл. 1); остальные районы по этому показателю отстают в несколько раз. Меньше всего присутствуют циклоны в южных и центральных районах Якутии. Действительно, в летний период активность внетропических циклонов связана с полярным фронтом, с барическими образованиями, зарождающимися на нем и смещающимися вдоль него, в рассматриваемом секторе Арктики – по северным районам Красноярского края и Якутии. Одновременно, в Северо-Восточном районе в летний период, как представляется, действует локальная область орографического циклогенеза, на подветренной стороне субмеридиональной части Верхоянского хребта в пределах Янского плоскогорья, с юга ограниченная субширотной частью Верхоянского хребта, а с востока – массивом Черского. По этой причине именно в Северо-Восточном районе отмечаются летние (июнь-июль) максимумы количества циклональных событий; по мере затухания интенсивности переноса, к августу, снижается и активность локального циклогенеза.

Наибольшее количество циклональных событий отмечается в июне во всех районах, кроме Южного, где максимум наблюдается в июле (см. табл. 1). В июне, как представляется, на территории Якутии наиболее активен зональный перенос. В то же время в Южном районе основная циклоническая активность связана с т.н. «выходом южных циклонов» из Забайкалья и Монголии. Максимум активности циклонов в Южном районе наблюдается в июле, когда складываются наиболее благоприятные условия для появления атмосферных блокировок, нарушающих зональный перенос и способствующих развитию меридионального переноса. В августе циклональная активность затухает, в наибольшей степени – в Восточном районе, куда перестают заходить циклоны, проходившие через центральную Якутию с юга или запада.

Временная изменчивость. Повторяемость циклонов в Республике Саха (Якутия) изменяется во времени – как для каждого летнего месяца, так и для сезона в целом (рис. 2), потому преимущественно графики имеют пилообразную форму. Нередки случаи, когда количество

циклонических событий за отдельный месяц, либо в целом за сезон, оставалось нулевым или близким к нулю.

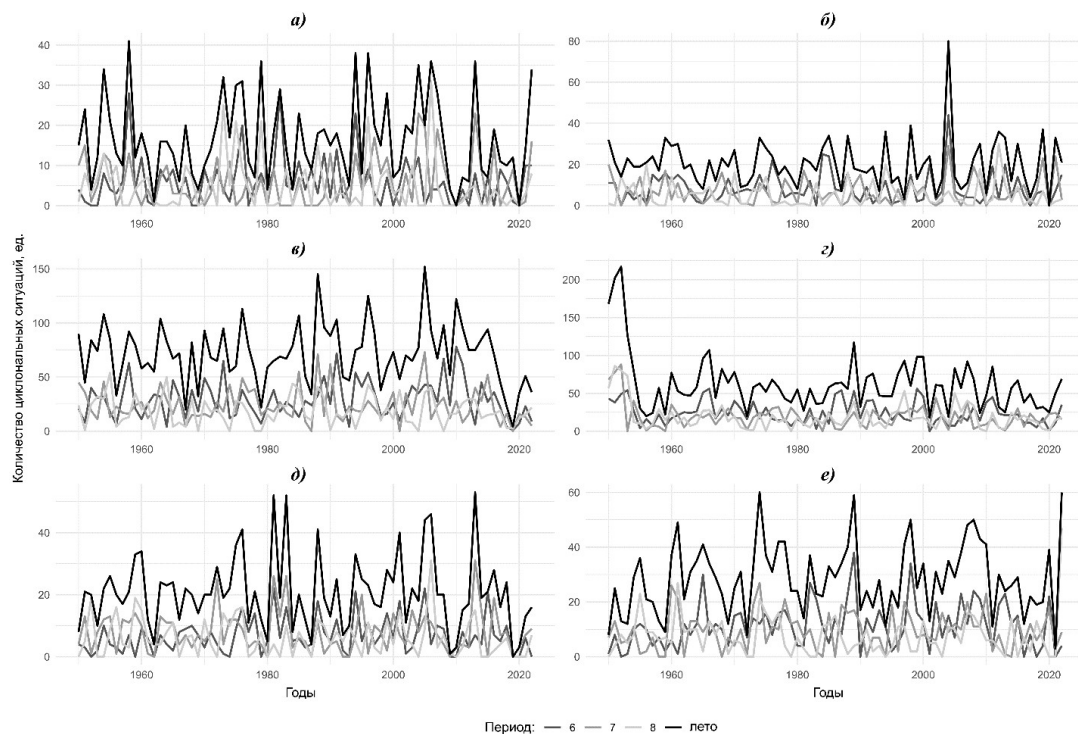


Рис. 2. Изменение количества циклональных событий на территории Республики Саха (Якутия) за период с 1950 по 2022 г., по районам: а) Центральный; б) Восточный; в) Северо-Восточный; г) Северо-Западный; д) Южный; е) Западный

Fig. 2 Variation of cyclonic events count over the Sakha Republic (Yakutia) between 1950 and 2022, by subregions: а) Central; б) Eastern; в) North-Eastern; г) North-Western; д) Southern; е) Western

В *Центральном районе* (см. рис. 2, а) чаще всего циклональные события не отмечались в июле (1980-е гг.) и августе (после 2000 г.). В двух случаях, в 2010 и 2020 гг., циклональные события над этим районом не отмечались в течение всего летнего периода; предыдущий период низкой циклональной активности относится к 1960-м гг. В *Восточном районе* (см. рис. 2, б) обращает на себя внимание всплеск циклональной активности в 2004 г., в остальном же количество циклональных событий остается незначительным. В 2020 г., единственный раз за весь период, циклональные события над этим районом не отмечались в течение всего летнего периода. Визуальная оценка указывает также на увеличение дисперсии ряда сезонной повторяемости циклонов ориентировочно после середины 1980-ых гг.; тесты Бартлетта и Левена ($p < 0.01$) подтверждают эту гипотезу. В *Северо-Восточном районе* (см. рис. 2, в) регулярно в период с 1950 по 2022 г. отмечается отсутствие циклональных событий в августе, изредка – в июле. Абсолютный минимум числа циклональных событий (4) приходится на 2019 г., когда, напротив, три из четырех циклональных событий были отмечены в августе, и ни одного – в июле. На этом фоне отметим визуальную тенденцию к увеличению повторяемости циклонов, также с середины 1980-ых гг. до середины 2010-ых гг. В *Северо-Западном районе* (см. рис. 2, г) абсолютный максимум циклональной активности приходится на начало 1950-ых гг., что может как отражать реальность (например, более активный западный перенос), так и быть артефактом модели ERA5 или алгоритма трекинга циклонов. Исключая этот период,

количество циклональных событий в основном не испытывает направленных изменений. В Южном районе (см. рис. 2, д), как и в центре республики, количество циклональных событий невелико, часто снижается до нуля в августе, и регулярно достигает минимумов: в начале 1960-ых гг., в 1980-ых и начале 1990-ых гг., и затем два экстремальных периода: 2009-2010 гг. и 2019-2020 гг. В Западном районе (см. рис. 2, е) отсутствие циклональных событий может наблюдаться во все месяцы лета. Несмотря на значительную вариабельность, на графике можно отметить период увеличения количества летних циклональных событий (до середины 1980-ых гг.) и его снижения – после этого времени, и период наиболее низких значений – с начала 2010-ых гг., с абсолютным минимумом в 2021 г.

Повторяемость циклонов над территорией Республики Саха (Якутия) не испытывает направленных изменений в период между 1950 и 2022 г. (Табл. 2), за несколькими исключениями. В Западном районе до 2017 г. увеличивается количество циклональных событий июня; включение в климатический ряд периода 2018-2022 гг. выводит этот тренд в незначимые. В целом по Республике Саха (Якутия) уменьшается количество циклональных событий в августе, и значимый вклад в этот тренд внес именно минимум 2019-2021 гг.

Таблица 2 – Тренды в количестве циклональных ситуаций над территорией РС (Я), в разбивке по месяцам и районам (*p*-значения непараметрического теста Манна-Кендалла); в числителе – за период с 1950 по 2022 г., в знаменателе – за период с 1950 по 2017 г

Жирным выделены значимые тренды, в скобках приведена интенсивность тренда, единиц за 10 лет

	Июнь	Июль	Август	Итого
Восточный	<u>0.41</u> 0.37	<u>0.65</u> 0.38	<u>0.74</u> 0.91	<u>0.43</u> 0.30
Западный	<u>0.14</u> 0.01 (2.1)	<u>0.55</u> 0.47	<u>0.46</u> 0.42	<u>0.36</u> 0.24
Северо-Восточный	<u>0.71</u> 0.07	<u>0.28</u> 0.91	<u>0.53</u> 0.91	<u>0.54</u> 0.41
Северо-Западный	<u>0.05 (-1.6)</u> 0.17	<u>0.52</u> 0.43	<u>0.22</u> 0.46	<u>0.14</u> 0.36
Центральный	<u>0.93</u> 0.84	<u>0.81</u> 0.85	<u>0.16</u> 0.20	<u>0.76</u> 0.98
Южный	<u>0.44</u> 0.10	<u>0.41</u> 0.58	<u>0.19</u> 0.46	<u>0.51</u> 0.89
РС (Я)	<u>0.90</u> 0.21	<u>0.58</u> 0.88	<u>0.03 (-1.7)</u> 0.11	<u>0.14</u> 0.71

Уменьшение числа циклональных событий в июне в Северо-Западной Якутии (см. табл. 2) связано исключительно с их максимумом в начале периода, и потому считается артефактом.

Обсуждение

Лесные пожары. Лесные пожары происходят в Республике Саха (Якутия) регулярно, на территории центральной Якутии их периодичность составляет примерно 16-17 лет [8]. В последние чуть больше 20 лет к периодам с высокой пожарной активностью относят 2000-2003, 2008-2012 и 2017-2020 гг. [9], а также выдающийся пожарный максимум 2021 г. Предыдущие исследования сходятся во мнении, что горимость лесов контролируется климатическими условиями (точнее, метеопараметрами – температурой воздуха, осадками). Мы идем дальше этих выводов, чтобы показать, что метеорологические условия, приводящие к пожарам, определяются условиями атмосферной циркуляции конкретного года. Периодам с высокой пожарной активностью соответствуют минимумы количества циклональных ситуаций: в центральной Якутии – в 2000-2001 гг., 2009-2012 гг., 2020 г.; в южной Якутии – в 2009-2010 гг. и в 2019-2020 гг.; в западной Якутии – в 2021 г.; в остальных районах – в 2020 г. Основные факторы, определяющие

высокую горимость лесов, связаны с антициклональным типом погоды, поэтому неудивительно, что именно отсутствие циклонов в южной и центральной Якутии, особенно в течение нескольких лет подряд, определяет вероятность и интенсивность пожаров. В последующие годы, при восстановлении циклональной активности, возникновение крайне интенсивных пожаров связано с ветрами, возникающими при прохождении циклонов на фоне неблагоприятной лесопожарной обстановки. Требуется дополнительные исследования, чтобы объяснить, куда смещаются траектории циклонов в периоды «циклональных минимумов», какие погодные паттерны предшествуют этим минимумам, и каковы возможности прогноза таких ситуаций.

Маловодье на реках бассейна р. Лена. Как отмечено выше, недавний минимум циклональной активности в южной Якутии пришелся на 2019 г., когда в среднем и нижнем течении р. Лена наблюдалась экстремально низкая межень. На фоне проливных дождей, вызвавших наводнения в Иркутской области и на юге Дальнего Востока, в верхней части бассейна Лены сформировался значительный дефицит осадков, что вылилось в продолжительное стояние уровней воды ниже отметок опасного гидрометеорологического явления на основных гидрологических постах на р. Лена: г. Ленск (42 дня), г. Якутск (44 дня), пос. Сангар (10 дней), пос. Жиганск (39 дней). Предыдущее маловодье 2015 г. также было связано с отсутствием циклонов в южной части республики; оно наблюдалось на всех гидрологических постах на р. Лена от г.п. Пеледуй до г.п. Жиганск. Очевидно, что для более полного анализа роли атмосферной циркуляции в формировании низких меженей на Лене необходим анализ циклональной активности и над территорией соседних регионов: Иркутской области, Республики Бурятия.

Заключение

Повторяемость летних циклонов оказывает влияние на лесопожарную обстановку и условия судоходства на реках Республики Саха (Якутия), в том числе на реке Лена – основной транспортной артерии региона. Наша работа показала, что повторяемость циклонов наибольшая в северных районах республики, в связи с циклогенезом на полярном фронте, а также локальным циклогенезом на Янском нагорье; наименьшая их повторяемость – в южных и центральных районах. Преобладают июньские циклоны, однако в южной Якутии максимум циклональных событий приходится на июль, когда наиболее велика вероятность нарушения зональной циркуляции. Общее количество циклонов по районам со временем остается неизменным, увеличиваясь только в Западном районе в июне. Анализ циркуляционных паттернов, приводящих к прекращению прохождения циклонов над территорией Якутии, и их вероятная повторяемость в климате будущего остаются актуальными современными задачами в данном направлении исследований.

Финансирование. Исследование выполнено по плану НИР Научно-исследовательской лаборатории по изучению климата и экосистем северных регионов ИЕН СВФУ по приоритетным направлениям Программы развития СВФУ им. М.К. Аммосова на 2024 г.

Литература

1. Хромов, С. П. Метеорология и климатология : учебник. – 7-е изд. / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М.: Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006. – 582 с.
2. Климат Якутска / под редакцией Ц. А. Швер, С. А. Изюменко. Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
3. Поднебесных, Н. В. Крупномасштабная атмосферная циркуляция над Сибирью в конце XX – начале XXI веков: сравнение данных, полученных на основе приземных синоптических карт и реанализа / Н. В. Поднебесных, И. И. Ипполитов // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – Т. 2. – С. 34–44.
4. Neu, U. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms / U. Neu, M. G. Akperov, N. Bellenbaum, R. Benestad [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2013. – Vol. 94, No. 4. – P. 529-547.

5. Hemisphere Extratropical Cyclone Tracks from ERA-5 [Data set]. 2020. CanWIN. DOI: 10.34992/ebnw-s681.
6. QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. – URL : <http://qgis.osgeo.org> (дата обращения: 12.05.2023). – Электронная программа : электронный.
7. RStudio: Integrated Development for R, v.1.2.5042. 2020. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. – URL: <http://www.rstudio.com/>. – Электронная программа : электронная.
8. Николаев, А. Н. Дендрохронологические исследования пожаров на территории стационара «Нелегер» в Центральной Якутии / А. Н. Николаев, А. П. Исаев, Л. П. Габышева // Наука и образование. – 2012. – № 4. – С. 40-44.
9. Петров, М. И. Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии / М. И. Петров, А. Н. Федоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 248-260.

References

1. Hromov, S. P. Meteorologija i klimatologija : uchebnik. – 7-e izd. / S. P. Hromov, M. A. Petrosjanc. – М.: Izd-vo Mosk. un-ta : Nauka, 2006. – 582 s.
2. Klimat Jakutska / pod redakcij C. A. Shver, S. A. Izjumenko. L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 246 s.
3. Podnebesnyh, N. V. Krupnomasshtabnaja atmosfernaja cirkulacija nad Sibir’ju v konce HH – nachale HHI vekov: sravnenie dannyh, poluchennyh na osnove prizemnyh sinopticheskikh kart i reanaliza / N. V. Podnebesnyh, I. I. Ippolitov // Fundamental’naja i prikladnaja klimatologija. – 2019. – Т. 2. – С. 34-44.
4. Neu, U. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms / U. Neu, M. G. Akperov, N. Bellenbaum, R. Benestad [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2013. – Vol. 94, No. 4. – P. 529-547.
5. Hemisphere Extratropical Cyclone Tracks from ERA-5 [Data set]. 2020. CanWIN. DOI: 10.34992/ebnw-s681.
6. QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. – URL : <http://qgis.osgeo.org> (data obrashhenija: 12.05.2023).
7. RStudio: Integrated Development for R, v.1.2.5042. 2020. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. – URL: <http://www.rstudio.com/>.
8. Nikolaev, A. N. Dendrochronologicheskie issledovanija pozharov na territorii stacionara «Neleger» v Central’noj Jakutii / A. N. Nikolaev, A. P. Isaev, L. P. Gabysheva // Nauka i obrazovanie. – 2012. – № 4. – С. 40-44.
9. Petrov, M. I. Vlijanie klimaticheskikh uslovij na lesnye pozhary v Central’noj Jakutii / M. I. Petrov, A. N. Fedorov // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 248-260.

Сведения об авторах

ИГНАТЬЕВА Юлиана Ивановна – инженер-исследователь, лаборатория по изучению климата и экосистем северных регионов, СВФУ им. М.К. Аммосова

IGNATYIEVA Yuliana Ivanovna – research engineer, Climate and Northern Regions Ecosystems Research Lab, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

ТАНАНАЕВ Никита Иванович – к.г.н., доцент, заведующий лабораторией, СВФУ им. М.К. Аммосова; ведущий научный сотрудник, Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, e-mail: tanni@s-vfu.ru.

TANANAEV Nikita Ivanovich – Candidate of Geographical Sciences (Hydrology), Head, Climate and Northern Regions Ecosystems Research Lab, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University; Leading Researcher, Vitus Bering Kamchatka State University, e-mail: tanni@s-vfu.ru