



ISSN 0514-7468

2018

Т. 40, № 1

Жизнь Земли

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Выходит 4 раза в год
Издаётся с 1961 года**

Редакционный совет:

В.А. Садовничий (председатель Совета), А.В. Смуров (зам. председателя Совета), Н.А. Абакумова, Ф.Г. Агамалиев (Азербайджан), С.М. Аксёнов (США), А.П. Бужилова, М.И. Бурлыкина, И.Л. Ган (Австралия), С.А. Добролюбов, М.В. Калякин, Н.С. Касимов, М.П. Кирпичников, А.И. Клюкина, С.Н. Лукашенко (Казахстан), С.А. Маскевич (Беларусь), Нгуен Трунг Минх (Вьетнам), С.Х. Мирзоев (Таджикистан), А.С. Орлов, Йован Плавша (Сербия), Н.Г. Рыбальский, В.В. Снакин, В.С. Цховребов, Э.И. Черняк, С.А. Шоба

Редакционная коллегия:

А.В. Смуров (гл. редактор), В.В. Снакин (зам. гл. редактора), Л.В. Алексева (отв. секретарь), Е.П. Дубинин, А.В. Иванов, В.В. Козодёров, Н.Н. Колотилова, Е.С. Полковникова, Л.В. Попова, А.П. Садчиков, С.А. Слободов, В.Р. Хрисанов, П.А. Чехович



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2018**

Адрес редакции:

119991, Москва, Ленинские Горы, МГУ,
Музей земледелия;
Тел.: +7 (495) 939-14-15; +7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
www: zhiznzemli.mes.msu.ru



ZHIZN' ZEMLI

ISSN 0514-7468

2018
№ 1, vol. 40

[THE LIFE OF THE EARTH]

SCIENTIFIC AND PRACTICAL INTERDISCIPLINARY JOURNAL

Published four times a year
since 1961

Editorial council:

V.A. Sadovnichy (Council Chairman), A.V. Smurov (deputy Chairman), N.A. Abakumova, F.G. Agamaliyev (Azerbaijan), S. Aksenov (USA), A.P. Buzhilova, M.I. Burlykina, I.L. Gan (Australia), S.A. Dobrolyubov, M.V. Kalyakin, N.S. Kasimov, M.P. Kirpichnikov, A.I. Klyukina, S.N. Lukashenko (Kazakhstan), S.A. Maskevich (Belarus), A.S. Orlov, J. Plavska (Serbia), N.G. Rybalskiy, V.V. Snakin, E.I. Chernyack, S.A. Shoba

Editorial team:

A.V. Smurov (Ch. Editor), V.V. Snakin (deputy Ch. Editor), L.V. Alekseeva (Resp. Secretary), E.P. Dubinin, A.V. Ivanov, V.V. Kozoderov, N.N. Kolotilova, E.S. Polkovnikova, L.V. Popova, A.P. Sadchikov, S.A. Slobodov, V.R. Khrisanov, P.A. Chekhovich



PUBLISHING
Moscow State University
2018

Editorial address:

119991, Moscow, Leninskiye Gory, MGU,
Earth Science Museum;
Tel.: +7 (495) 939-14-15; 7 (495) 939-12-21;
e-mail: zhizn_zemli@mail.ru
www: zhiznzemli.mes.msu.ru
[http://msupress.com/catalogue/magazines/
pedagogika/1982/](http://msupress.com/catalogue/magazines/pedagogika/1982/)

ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ, ГРОЗЫ И ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ В СЕВЕРНОЙ АЗИИ В 2009–2016 ГГ.

В.Л.Д. Тарабукина, Н.К. Кононова¹

Рассмотрены причины формирования гроз, вызывающих лесные пожары в малонаселённых регионах Северной Азии, их межгодовая и внутригодовая изменчивость за период 2009–2016 гг. Выделены два региона с наибольшей плотностью грозовых разрядов. Выявлены условия циркуляции атмосферы, способствующие возникновению гроз и вызываемых ими таёжных пожаров на азиатской территории страны в современный период.

Ключевые слова: грозы, пожары, Северная Азия, циркуляция атмосферы.

ATMOSPHERIC CIRCULATION, THUNDERSTORMS AND FOREST FIRES IN NORTH ASIA IN 2009-2016

L.D. Tarabukina¹, N.K. Kononova²

¹*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of SB RAS, Yakutsk*

²*Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Moscow*

The aim of the article is to provide the reader with some information on the reasons for thunderstorm formation that causes forest fires in sparsely populated regions of North Asia, their annual and interannual variability for the period from 2009 to 2016. The authors identify two regions with the highest lightning discharge density. The article also reveals atmospheric circulation conditions that facilitate the occurrence of thunderstorms and consequent forest fires in the Asian territory of Russia in our times.

Keywords: thunderstorms, fires, North Asia, atmospheric circulation.

Введение. Основная причина возгорания таёжных массивов на больших и малонаселённых территориях – молнии. Задача работы – исследование сезонов грозовой активности, выявление лет с наибольшей грозовой активностью за период 2009–16 гг., выделение регионов, наиболее подверженных влиянию гроз, и определение условий циркуляции атмосферы, способствующих возникновению гроз и вызываемых ими таёжных пожаров на территории Северной Азии в современный период.

Грозовая деятельность оказывает отрицательное влияние на многие сферы человеческой деятельности. Ежегодно на территории России огромный урон лесному хозяйству наносят многочисленные пожары. Как было показано в работе [7], в Якутии число пожаров по причине грозовой деятельности может достигать от 49 до 88 % общего числа возгораний лесных массивов. В краткосрочной предыстории (май – июнь) высокому уровню лесопожарной активности в северо-восточной Сибири (преимущественно на территории Якутии) предшествовали аномальные значения температуры воздуха [18]. Пожары воздействуют на физико-химические свойства атмосферы. Исследование динамики аэрозольных полей (на примере спутниковых данных 1986, 2002, 2012 гг.) показало, что при определённых метеорологических условиях возможно образование устойчивых крупномасштабных (до нескольких млн км²) неоднородностей, которые могут существовать до 5–7 дней после прекращения лесных пожаров [12].

¹ Тарабукина Лена Дмитриевна – мл. н. с. Института космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера Сибирского отделения РАН (ИКФИА СО РАН), г. Якутск, tarabukina@ikfia.ysn.ru; Кононова Нина Константиновна – инженер-исследователь Института географии РАН, NinaKononova@yandex.ru.

В отличие от Азиатской части России, Европейская часть хорошо представлена многопунктовыми системами грозолокации [10]. Региональные особенности грозовой деятельности активно исследуются для отдельных ограниченных зон: Якутия [6], Камчатка [4], Северный Кавказ [1], Томская область [5], Кольский полуостров [2].

В данной работе проводится предварительный визуальный анализ сопоставления грозовой активности и смены типов атмосферной циркуляции в целях дальнейшего применения в прогнозировании пожарной активности.

Материалы и методы. Расчёт параметров молний обычно проводится на основе моделирования параметров молнии по данным метеорологических наблюдений на станциях. Современные спутниковые метеорологические наблюдения [15] имеют некоторые недостатки: либо не покрывают северную часть Азии (детектор LIS аппарата TRMM), либо имеют относительно короткий срок наблюдений (детектор ОТД: 1995–2000 гг.), а малая плотность расположения населённых пунктов и слабая инфраструктура в Азиатской части России затрудняют размещение высокоточной многопунктовой радиосистемы или метеорологических радаров. Наиболее подходящими для исследований остаются системы дальнего действия грозопеленгации радиоизлучения молний. Нами использованы данные однопунктового грозопеленгатора и Мировой сети локализации молний (World wide lightning location network, WWLLN), которая состоит из 60 с лишним станций, размещённых по всему миру [17]. Работа сети основана на приёме радиоимпульсов от молниевых разрядов до разнесённых приёмных пунктов, по времени прихода сигнала до которых определяется место локализации молнии [16]. Таким образом, для определения места удара молнии сигнал выше определённого амплитудного порога должен быть зарегистрирован минимум на 5 станциях. Чем большее количество станций регистрирует сигнал и чем больше ток главной стадии молнии, тем выше эффективность детектирования. Так, в среднем эффективность детектирования не превышала в 2012 г. 11–15 %, а для молний с токами более 100 кА – около 30 % [14].

В 2009 г. приёмный пункт, установленный в г. Якутске, был включён в сеть WWLLN. С 2009 по 2016 гг. количество радиоприёмных пунктов WWLLN в пределах рассматриваемой нами территории Северной Азии (60–180° в. д., 40–80° с. ш.) возросло почти вдвое, что повлекло увеличение эффективности детектирования системы. Так как оценка пространственного распределения коэффициента, корректирующего эффективность, производилась авторами сети только до 2012 г., многолетние вариации параметров грозовой активности по данным сети представлены в работе только в качестве оценок.

Для анализа атмосферной циркуляции использована типизация циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанная под руководством Б.Л. Дзерdzeевского [3, 8, 9]. В типизации выделен 41 элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ). На каждый ЭЦМ построена динамическая схема с обозначением путей циклонов и мест стационарирования антициклонов. Благодаря наличию динамических схем, при каждом ЭЦМ можно определить характер погоды в любой точке Северного полушария. Материалы типизации размещены на сайте www.atmospheric-circulation.ru.

Грозовая активность в период 2009-2016 гг. На рассматриваемой территории выявлены два стабильных обширных по площади очага повышенной грозовой активности, где плотность разрядов молний в 10–100 раз больше, чем на остальной территории. Первый, условно названный нами западным, расположен на Западно-Сибирской равнине (55–61° с. ш. и 60–75° в. д.), второй, восточный – в долине рек Амур и Сунгари

(примерно 40–50 с. ш., 120–140 в. д.). Максимальная грозовая активность во втором очаге наблюдается вдоль 127° в. д., в межгорно-котловинной области между горными хребтами Малый Хинган и Становой, причём уровень грозовой и пожарной активности во втором очаге выше, чем в первом. Этому способствует постоянный выход южных циклонов вдоль дальневосточного побережья и несколько менее частый выход средиземноморских циклонов на Западную Сибирь. Для количественного представления активности очагов были построены усредненные по всем широтам долготные распределения и по всем долготам широтные распределения для средней плотности молний за 2009–14 гг. по всей рассматриваемой территории.

В целом, по данным WWLLN без корректировки на эффективность сети, суммарное по всей рассматриваемой территории количество грозовых разрядов за сезон возрастает от года к году, однако, так как грозовая активность проявляет региональность меньшего географического масштаба, необходимо рассматривать активность отдельных регионов. В 2012 г. в обоих вышерассмотренных массивных грозовых очагах наблюдалась сравнимая друг с другом высокая грозовая активность (суммарное количество разрядов), как показано на рис. 1. В 2016 г. активность западного грозового очага преобладала (рис. 2), а также очаг был смещён севернее относительно положения 2012 г.

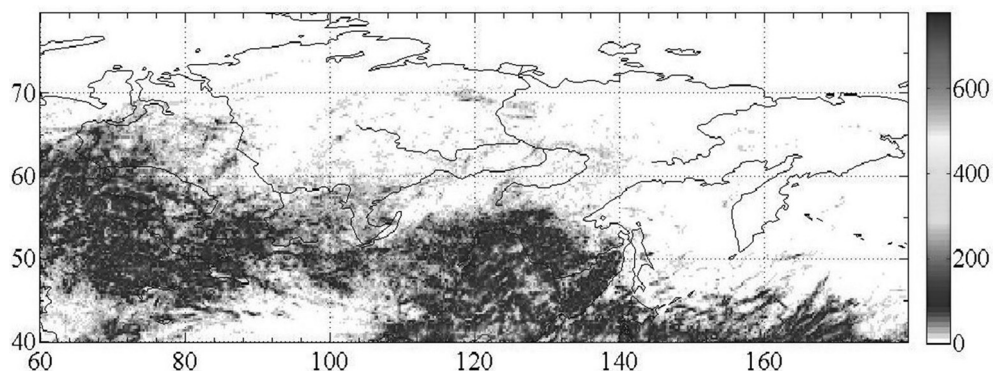


Рис. 1. Суммарное за лето количество грозовых разрядов, по данным WWLLN без корректировки на эффективность системы в 2012 г.

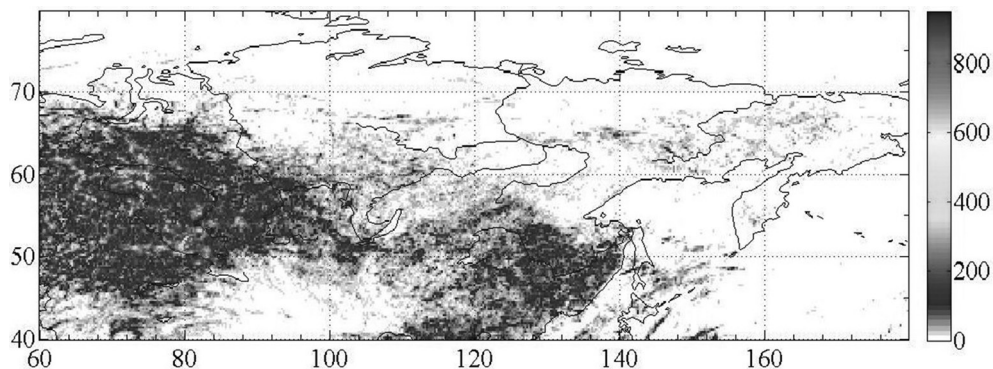


Рис. 2. Суммарное за лето количество грозовых разрядов, по данным WWLLN без корректировки на эффективность системы в 2016 г.

В целом, ареал повышенного суммарного за лето количества грозовых разрядов совпадает с очагами лесных пожаров в соответствующие годы (рис. 1 и рис. 3; рис. 2 и рис. 4). Уровень пожарной активности варьировал из года в год: высокий (2002, 2012–14) и низкий (2001, 2003–11) [13]. За рассматриваемый период (2009–16 гг.) на территории Северной Азии наиболее сложная пожарная обстановка наблюдалась в 2012 (рис. 4) и 2016 гг. (рис. 5) [11]. Лесные пожары в основном приходятся на области Забайкалья, Якутии и Чукотки [11]. Остальные территории характеризуются сельскохозяйственными палами (протяжённая вдоль почти всего диапазона долгот России зона пожаров около $\sim 50^\circ$ широты), имеющими максимум активности ранней весной и поздней осенью, газовыми факелами в районах нефтегазового промысла, вулканической активностью в Камчатском крае.

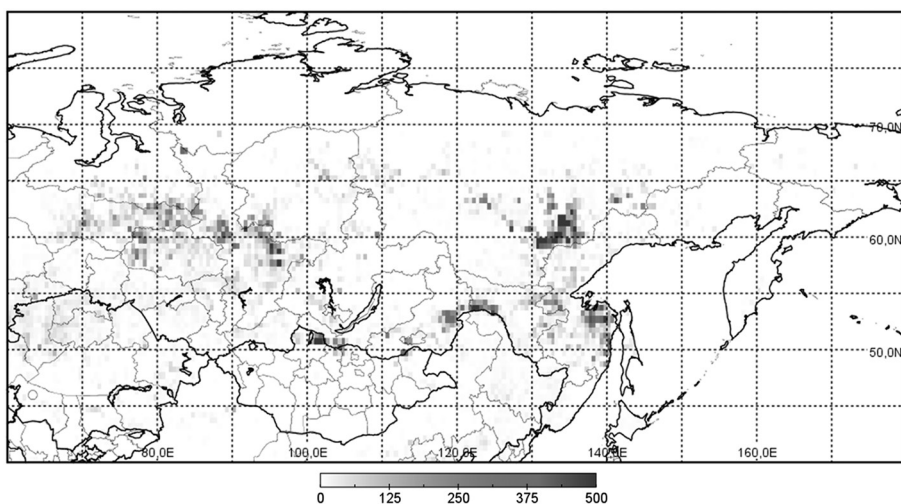


Рис. 3. Карта итогового (суммарного) количества очагов горения за 2012 г.

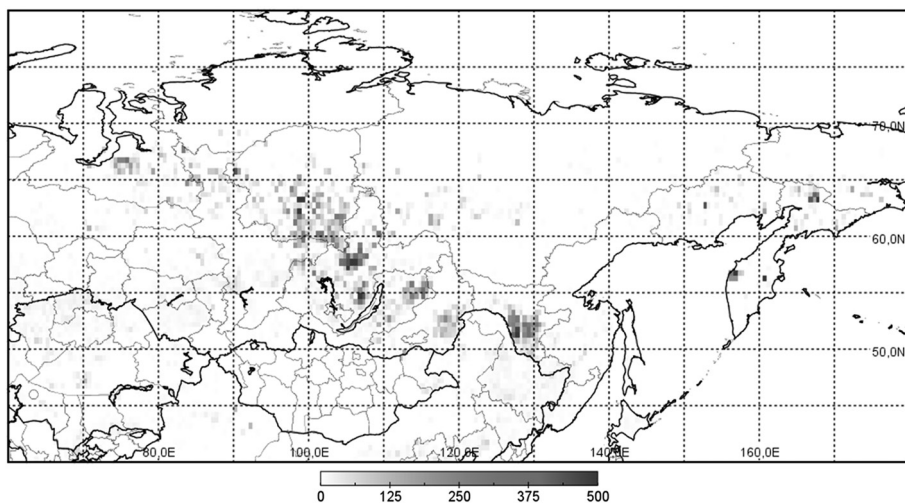


Рис. 4. Карта итогового (суммарного) количества очагов горения за 2016 г.

Так, в течение пожароопасного сезона 2012 г. большое количество очагов лесных пожаров наблюдаются на территории Западно-Сибирской равнины (70–100° в. д., 60–70° с. ш.) и на юго-востоке Якутии (130–140° в. д., 59–64° с. ш.). В 2016 г. основная масса лесных пожаров пришлась на территорию Средне-Сибирского плоскогорья (95–110° в. д., 55–65° с. ш.) [11].

Для сравнительного анализа ежегодного распределения грозовых разрядов в двух массивных грозовых очагах были получены усреднённые долготные распределения за каждый год. Чтобы уменьшить влияние изменяющейся эффективности детектирования системы, суммарное по всей территории количество грозовых разрядов за каждый год было приведено к сумме разрядов за 2009 г. Затем производилось усреднение по всем широтам для получения долготного распределения с разрешением в 0,25°. Характеризуя активность двух массивных грозовых очагов через пики усреднённых долготных ходов за каждый год, отметим, что активность западного очага до 2015 г. включительно была либо сравнима с активностью восточного очага, либо относительно слабее (рис. 5). Выделяется 2016 г., в котором распределение обратное: суммарное за год количество грозовых разрядов и количество очагов горения в западном регионе вдвое больше, чем в восточном. Мы попытались объяснить эту особенность необычным характером циркуляции атмосферы в 2016 г.

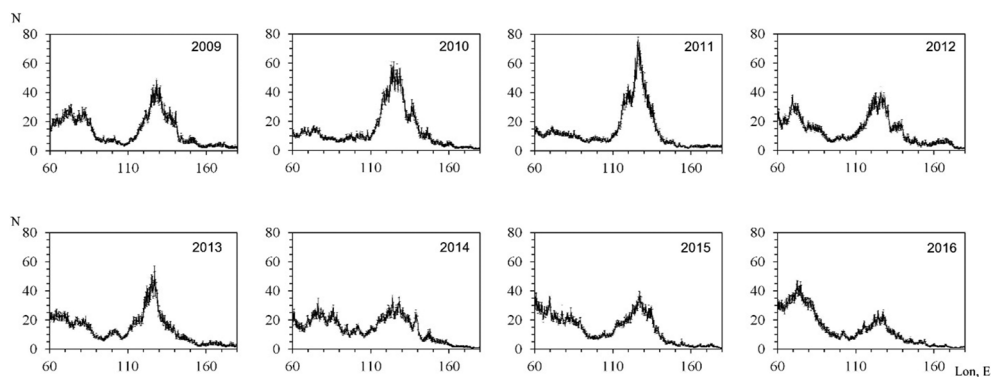


Рис. 5. Распределение среднего суммарного по всей площади количества разрядов в 2009–16 гг., приведённого к суммарному количеству грозовых разрядов в 2009 г. с шагом по долготе 0,25°.

Атмосферная циркуляция в типизации Б.Л. Дзердзеевского. Для анализа связи лесных пожаров с циркуляцией атмосферы была использована типизация циркуляции атмосферы северного полушария, разработанная Б.Л. Дзердзеевским, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой [3]. В период 2009–2015 гг., за исключением 2013 г., преобладали меридиональные северные процессы [8] (рис. 6), при которых в результате одновременных арктических вторжений в двух – четырёх секторах Северного полушария формируются полосы высокого давления, соединяющие арктический антициклон с субтропическим [9]. Они блокируют западный перенос. Такое доминирование меридиональных процессов наблюдается и зимой, и летом (рис. 6). В 2009–15 гг. в мае – сентябре велика повторяемость ЭЦМ 8-ых и 12-ых типов, при которых над Сибирью и Дальним Востоком одновременно развиваются выходы южных циклонов и возможны грозы. При ЭЦМ 9а (меридиональная северная группа) и 13л (меридиональная южная

группа), которые также часто встречались в рассматриваемый период, над Сибирью развивается в основном циклоническая деятельность, грозы формируются на холодных фронтах северо-западных и южных циклонов.

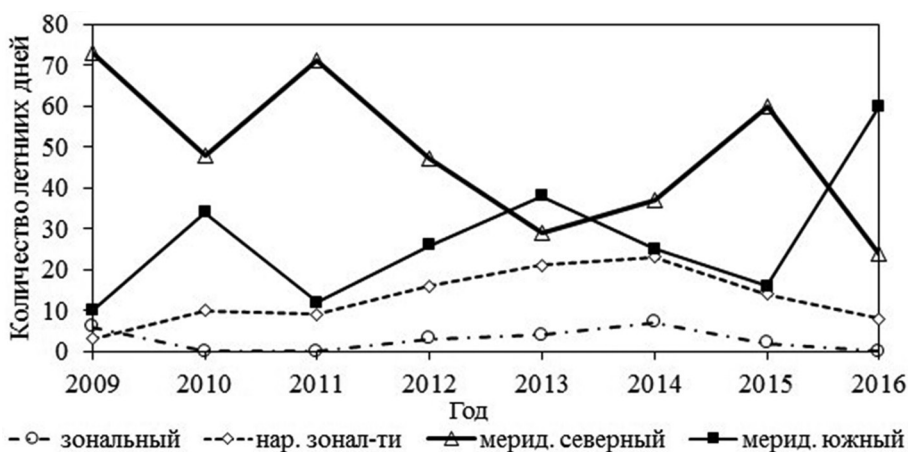


Рис. 6. Суммарная продолжительность групп ЭЦМ за летний сезон.

В 2016 г. летом основное направление циркуляции резко меняется на меридиональное южное, при этом на долю ЭЦМ 13л приходится треть сезона. К меридиональной южной группе отнесены процессы с циклоном на Северном полюсе, поддерживаемым одновременным выходом южных циклонов в двух-трёх секторах в холодное полугодие и в четырёх секторах в тёплое, два из которых (на Западную Сибирь и на Дальний Восток) приходится на Россию. В тылу этих циклонов тоже происходят арктические вторжения, но блокирующие процессы при них не формируются.

Сравним грозовую активность двух ранее описанных массивных грозовых очагов 2016 г. со средним значением за весь рассматриваемый период по отдельным ЭЦМ (рис. 7, 8).

Поскольку в летнем сезоне встречается 20 ЭЦМ, и все их здесь показать невозможно, мы выбрали ЭЦМ с наиболее характерными изменениями в 2016 г., по сравнению со средней. При ЭЦМ 126л в летний сезон в среднем в западном очаге отмечается 3150 разрядов в сутки, а в восточном – 5834. В 2016 г. количество разрядов в западном очаге увеличилось по сравнению со средней (4724), а в восточном – уменьшилось (5431). При ЭЦМ 13л перемены наиболее разительны. При том, что суточное количество разрядов в среднем в западном очаге меньше, чем в восточном, в 2016 г. в западном очаге оно увеличилось с 6584 до 10023, а в восточном уменьшилось с 7460 до 3185, и количество разрядов в западном очаге стало больше, чем в восточном. При ЭЦМ 12а суточное количество разрядов в западном очаге увеличилось с 2827 в среднем до 3447 в 2016 г., а в восточном снизилось с 7751 до 7035. Аналогичные изменения произошли и при других ЭЦМ, поэтому изменение числа гроз и соответственно пожаров по долготам в 2016 г. так сильно отличается от средней (рис. 7) и от большинства лет (рис. 8).

Выводы. Основной причиной возгорания таёжных массивов на больших малонаселённых территориях оказываются молнии.

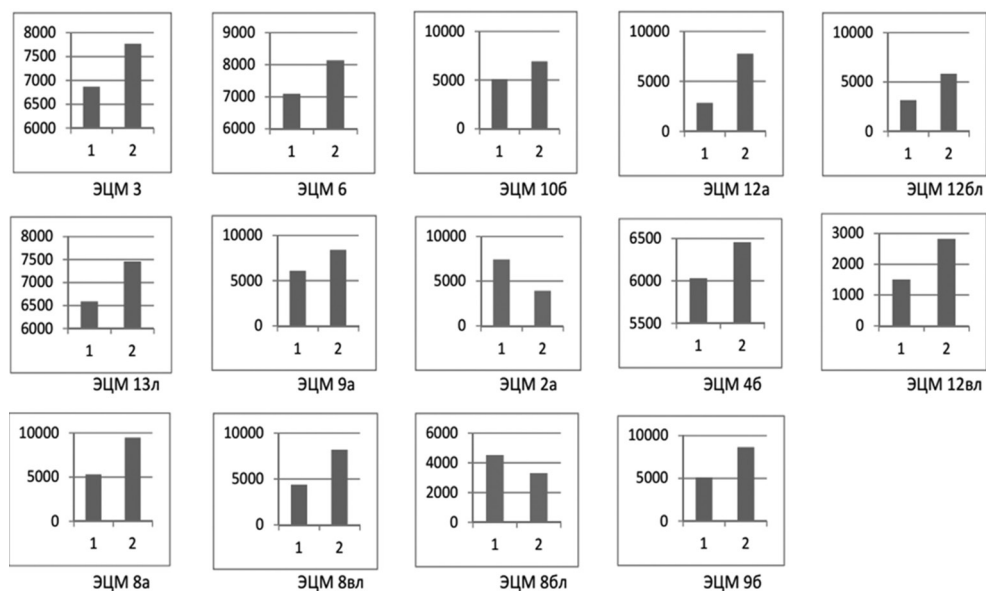


Рис. 7. Среднее суточное количество разрядов молнии в июне – августе при разных ЭЦМ за 2009–16 гг.: 1 – западный очаг, 2 – восточный очаг.

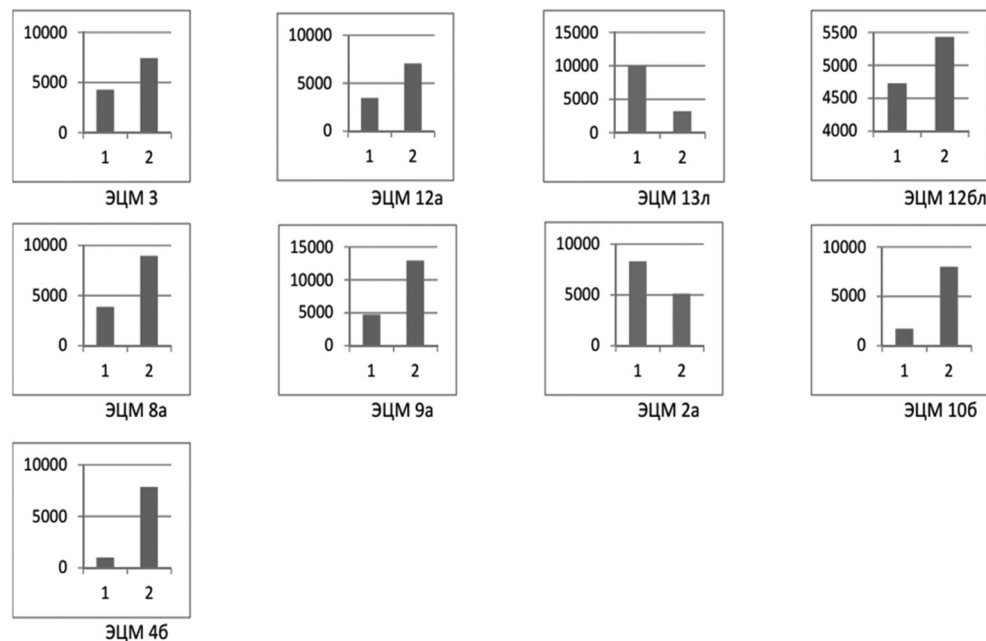


Рис. 8. Среднее суточное количество разрядов молнии в июне – августе при разных ЭЦМ в 2016 г.: 1 – западный очаг, 2 – восточный очаг.

Выделены два региона, наиболее подверженные влиянию гроз: юг Западной Сибири и юг Дальнего Востока, причём в дальневосточном регионе среднесуточное количество грозных разрядов вдвое больше.

Определены условия циркуляции атмосферы, способствующие возникновению гроз и вызываемых ими таёжных пожаров на азиатской территории страны в современный период. При сохранении современных тенденций развития циркуляции атмосферы количество лесных пожаров в азиатской части России будет возрастать.

Исследование поддержано грантом РФФИ № 15-45-05005 p_восток_a.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Князева З.М., Стасенко В.Н. Территориальные особенности грозовой активности на Северном Кавказе по метеорологическим и инструментальным данным // Метеорология и гидрология. 2015. № 4. С. 46–52.
2. Бурицев А.В., Невертединов Ю.М., Сытина А.Н. Опыт регистрации грозовой активности на территории Кольского полуострова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. №2. С. 130–137.
3. Дзердзеевский Б.Л. Избранные труды. Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука, 1975. 288 с.
4. Дружин Г.И., Чернева Н.В., Мельников А.Н. Грозовая активность по наблюдениям ОНЧ-излучения на Камчатке // Солнечно-земная физика. 2008. №. 12 (2). С. 327–328.
5. Ершова Т.В., Горбатенко В.П. Параметры молниевой активности по инструментальным измерениям // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2011. №5. С. 150–154.
6. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Григорьев Ю.М., Тарабукина Л.Д. Параметры грозовой активности и молниевых разрядов на территории центральной Якутии в 2009–2012 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 3. С. 365–372.
7. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Каримов Р.Р. Лесные пожары в Якутии от гроз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 2. № 6. С. 388–393.
8. Кононова Н.К. Изменения циркуляции атмосферы Северного полушария в XX–XXI столетиях и их последствия для климата // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 127–156.
9. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / Под ред. А.Б. Шмакина. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
10. Снегуров А.В., Снегуров В.С. Экспериментальная грозопеленгационная система // Труды ГГО. 2012. № 567. С. 188–200.
11. Тарабукина Л.Д., Кононова Н.К., Томишин О.А. Опасность грозовой активности для лесных пожаров в Азиатской части России при современном характере циркуляции атмосферы // Сб. мат. XVI Всеросс. научно-практ. конф. «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2017. С. 116–118.
12. Томишин О.А., Соловьев В.С. Исследование крупномасштабных неоднородностей аэрозольных полей, вызванных лесными пожарами в Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 07. С. 598–602.
13. Томишин О.А., Соловьев В.С. Мониторинг лесопожарной активности в бореальных лесах Восточной Сибири по данным дистанционного зондирования // CITES-2015. 2015. С. 88–90.
14. Abarca S.F., Corbosiero K.L., Galarneau T.J.Jr. An evaluation of the Worldwide Lightning Location Network (WWLLN) using the National Lightning Detection Network (NLDN) as ground truth // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. No. D18. D18206.
15. Cecil D.J., Buechler D.E., Blakeslee R.J. Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description // Atmospheric Research. 2014. V. 135–136. P. 404–414.
16. Dowden R.L., Brundell J.B., Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites // J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2002. V. 64. No. 7. P. 817–830.
17. Rodger C. J. et al. Growing detection efficiency of the world wide lightning location network // AIP Conf. Proc. 2009. V. 1118. No. 1. P. 15–20.

18. Tomshin O.A., Solovyev V.S. Study of forest fires seasonal dynamics in Yakutia on remote sensing data // Proceedings of SPIE on 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2016. V. 10035. P. 100355E.

REFERENCES

1. Adzhiev A.K., Adzhieva A.A., Knyazeva Z.M., Stasenkov V.N. Spatial features of thunderstorm activity in the North Caucasus from meteorological and instrumental data // *Russ. Meteorol. Hydrol.* **40** (4), 253–258 (2015).
2. Burtsev A.V., Nevretdinov Yu.M., Sytina A.N. Experience of recording lightning activity in the territory of the Kola Peninsula. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo centra RAN.* **2**, 130–137 (2014) (in Russian).
3. Dzerdzhevskiy B.L. *Selected works*. General circulation of the atmosphere and climate. 288 p. (Moscow: Nauka, 1975) (in Russian).
4. Druzhin G.I., Cherneva N.V., Melnikov A.N. Thunderstorm activity according to ELF observations at Kamchatka. *Solnechno-Zemnaya Fizika.* **12** (2), 327–328 (2008) (in Russian)/
5. Ershova T.V., Gorbatenko V.P. Parameters of lightning activity for instrumental measurements. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta.* **5**, 150–154 (2011) (in Russian).
6. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Grigoriev Yu.M., Tarabukina L.D. Parameters of thunderstorm activity and lightning discharges in Central Yakutia from 2009 to 2012. *Izvestiya RAN. Atmospheric and Oceanic Physics.* **50** (3), 323–329 (2014) (in Russian).
7. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Karimov R.R. Forest fires in Yakutia from thunderstorms. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* **2** (6), 388–393 (2009) (in Russian).
8. Kononova N.K. Changes in the circulation of the atmosphere in the Northern Hemisphere in the 20st–21st centuries and their consequences for the climate. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya.* **1**, 127–156 (2015) (in Russian).
9. Kononova N.K. *Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzhevskii*. Ed. by A.B. Shmakina. 372 p. (Moscow: Voenyektizdat, 2009) (in Russian).
10. Snegurov A.V., Snegurov V.S. Experimental lightning location system. *Trudy GGO.* **567**, 188–200 (2012) (in Russian).
11. Tarabukina L.D., Kononova N.K., Tomshin O.A. The danger of lightning activity for forest fires in the Asian part of Russia with the current nature of the atmospheric circulation. *XVI Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Problemy prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy»*. Pp. 116–118 (Moscow: FKU Centr «Antistihija» MChS Rossii, 2017) (in Russian).
12. Tomshin O.A., Solov'ev V.S. Study of large-scale inhomogeneities of aerosol fields caused by forest fires in Siberia. *Optika Atmosfery i Okeana.* **29** (7), 598–602 (2016) (in Russian).
13. Tomshin O.A., Solovyev V.S. Monitoring of wildfires in boreal forests of Eastern Siberia on remote sensing data. *CITES-2015*. Pp. 88–90 (2015) (in Russian).
14. Abarca S.F., Corbosiero K. L., Galarneau T.J.Jr. An evaluation of the Worldwide Lightning Location Network (WWLLN) using the National Lightning Detection Network (NLDN) as ground truth. *J. Geophys. Res.* **115** (D18), D18206 (2010).
15. Cecil D.J., Buechler D.E., Blakeslee R.J. Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description. *Atmospheric Research.* 135–136, 404–414 (2014).
16. Dowden R.L., Brundell J.B., Rodger C.J. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites. *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.* **64** (7), 817–830 (2002).
17. Rodger C.J., Brundell J.B., Holzworth R.H., Lay E.H. Growing detection efficiency of the world wide lightning location network. *AIP Conf. Proc.* **1118** (1), 15–20 (2009).
18. Tomshin O.A., Solovyev V.S. Study of forest fires seasonal dynamics in Yakutia on remote sensing data. *Proc. of SPIE on 22nd Intern. Symp. on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics.* **10035**, 100355E (2016). Doi:10.1117/12.2247763.