

Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных лесных пожаров с динамикой молниевых разрядов на Байкальской природной территории

Р. В. ВАСИЛЬЕВ*, М. А. ТАЩИЛИН, А. В. ТАТАРНИКОВ

Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, Иркутск, Россия

*Контактный автор: Васильев Роман Валерьевич, e-mail: roman_vasilyev@iszf.irk.ru

Поступила 10 октября 2023 г., принята в печать 17 октября 2023 г.

Грозы являются опасным природным явлением, наносящим значительный ущерб энергетическим сетям, системам связи, коммунальным структурам, лесному фонду и пр. Глобальное изменение климата сопровождается сменой типа общей, глобальной циркуляции атмосферы, вследствие чего увеличиваются факторы, способствующие возникновению гроз. Исследования гроз наиболее удобно вести при помощи сетей синхронизированных радиоприемников, принимающих радиоволны сверхдлинного диапазона, которые регистрируют радиосигналы молниевых разрядов и по ним определяют местоположение разряда и его мощность. Поскольку грозы — один из основных факторов возникновения пожаров в лесах, исследование динамики пожаров и гроз актуально как для фундаментальных исследований пожарогенных факторов и их связи с окружающей средой, так и для формирования методов предсказания лесных пожаров. В работе исследованы динамика статистических характеристик и корреляций параметров гроз, термальных точек, ассоциированных с пожарами, и фактически зарегистрированных пожаров на Байкальской природной территории.

Ключевые слова: атмосферное электричество, грозопеленгатор, AVHRR, термальные точки, лесные пожары.

Цитирование: Васильев Р.В., Тащилин М.А., Татарников А.В. Сопоставление динамики термальных точек и зарегистрированных лесных пожаров с динамикой молниевых разрядов на Байкальской природной территории. Вычислительные технологии. 2023; 28(6):37–45. DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.004.

Введение

Глобальное потепление сопровождается ростом температуры поверхности Земли и тропосферы, в то время как стратосфера холодает. Этот эффект связан с увеличением концентрации парниковых газов во всей толще атмосферы, что приводит к увеличению температуры поверхности и усилению радиационного охлаждения верхних слоев атмосферы Земли и, как следствие, к уменьшению статической устойчивости атмосферы. Тенденция смены типов циркуляции атмосферы в сторону процессов меридионального переноса вследствие уменьшения температурной разницы между экваториальной и полярной областями планеты в совокупности с упомянутыми процессами уменьшения

статической устойчивости приводит к усилению конвективных процессов и ливневых осадков, сопровождающихся явлениями атмосферного электричества.

Многие модели, основанные на различных климатических сценариях [1], указывают на рост глобального количества молниевых разрядов в ближайшем будущем. Это должно приводить к усилению естественных пожаров в тропических и среднеширотных лесах, однако число длительных разрядов молний, которые вызывают пожары, на фоне роста общего количества разрядов неравномерно и даже может приводить к уменьшению естественных пожаров, вызванных грозами, в будущем [2]. Как оказалось, интенсивность вертикального переноса массы в конвективных процессах, которая и определяет количество накапливаемого заряда в облаке и длительность тока разряда молнии, неоднозначно связана с глобальным увеличением температуры. В то же самое время существуют работы, которые показывают тенденцию увеличения количества молний и количества пожаров по эмпирическим сведениям [3]. Таким образом, исследования совместной динамики лесных пожаров и гроз актуальны для современных климатических моделей и уточнения глобальных и региональных сценариев изменения климата Земли.

Динамика лесных пожаров в свете климатических изменений в бассейне оз. Байкал достаточно детально исследовалась в [4]. Сопоставлялись картированные распределения MCD12C1, полученные инструментами MODIS на спутниках Aqua и Terra. Несоответствие распределения засушливых районов и двадцатилетней динамики роста лесных пожаров в труднодоступных районах автор объясняет увеличивающейся частотой “сухих гроз” в регионе. В работе [5] исследовались пространственные распределения количества молниевых разрядов, полученные сетью канадских СДВ-приемников CLDN (принимающих радиоволны сверхдлинного диапазона), рельефа местности, растительности, типа почв и распределения лесных пожаров в провинции Альберта, Канада. Этот регион схож по своим характеристикам с байкальским регионом, и полученные сведения предоставляют определенный интерес. Исследователи нашли области, в которых повышенная частота пожаров коррелировала с повышенной частотой молниевых разрядов, но также были обнаружены области, где такой корреляции не было. Авторы исследования рекомендовали привлечь более обширный картографический материал для разрешения этого несоответствия.

В настоящей работе предложено соединить пространственные и временные характеристики молниевых разрядов и пожаров. Для этого привлечены статистические распределения (гистограммы) временных интервалов между молниевыми разрядами, определяемыми сетью перенгадии гроз при помощи синхронизированных СДВ-радиоприемников, и лесными пожарами, регистрируемыми различными методами. Форма статистических распределений поможет установить вероятность возникновения пожара от молний способом, отличным от предлагаемых в вышеописанных работах.

1. Источники данных

Динамика гроз оценивалась с использованием сведений о молниевых разрядах, зарегистрированных на сети приемников СДВ-диапазона “Верея-МР” [6], предназначенных для выявления из радиоэфира электромагнитных импульсов, возникающих вследствие разрядов молний. Синхронизация приемников при помощи глобальных спутниковых навигационных сетей позволяет добиться точности регистрации местоположения разряда 1–10 км и субсекундной временной привязки. База данных “Верея-МР” содержит

сведения о координатах и времени возникновения молниевых разрядов на территории РФ с 2012 по 2018 г.

Для оценки динамики пожаров использовались данные о координатах и времени возникновения пожаров Региональной диспетчерской службы ОГАУ “Иркутская база авиационной и наземной охраны лесов”, охватывающие территорию Иркутской области за период 2012–2018 гг. Доступ к данным был предоставлен в рамках Соглашения о взаимодействии ОГАУ “Иркутская база авиационной и наземной охраны лесов” и ИСЗФ СО РАН от 14.03.2023 г. В исследовании использовались сведения о пожарах, возникших по причине молниевых разрядов от гроз.

Сотрудники министерства лесного комплекса Иркутской области и подведомственных учреждений, в частности лесной охраны, определяют предварительную причину лесного пожара путем обследования территории, пройденной огнем. Пожару присваивается статус возникшего по причине молниевых разрядов от гроз, если сотрудники лесной охраны обнаруживают на месте возгорания явные признаки поражения молниевым разрядом, например обуглившееся дерево или иные признаки.

Кроме подтвержденных пожаров, в исследовании использовалась база данных термальных точек, полученная из данных спутниковых наблюдений прибором AVHRR, установленным на спутниках POES. Температурные карты поверхности, полученные этим устройством, обрабатывались для поиска локальных максимумов, которые предположительно являются очагами пожаров [7]. Снимки земной поверхности были получены с помощью аппаратно-программного комплекса “Алиса-СКTM”, который предназначен для приема и обработки информации, передаваемой с полярно-орбитальных искусственных спутников Земли в диапазоне 1.7 ГГц. Комплекс “Алиса-СКTM” разработан и обслуживается компанией Инженерно-технологический центр “СканЭкс” (<https://www.scanex.ru>).

2. Методы анализа и результаты

Возникшему от грозы пожару должен предшествовать один или несколько молниевых разрядов, произошедших вблизи координат пожара, при этом интересен интервал времени, в среднем требующийся для развития пожара от молниевых разрядов. Такую временную динамику можно исследовать при помощи статистического анализа временных интервалов между датой пожара и датами молниевых разрядов, произошедших в окружности радиусом 10 км с центром в координатах пожара. Даты молниевых разрядов внутри указанной области выбирались в интервале ± 14 дней от даты пожара. Карта зарегистрированных пожаров и молниевых разрядов, выбранных по описанному критерию, приведена на рис. 1, а, в представленном наборе данных ~ 5600 разрядов молний сопровождали ~ 2500 пожаров.

Гистограмма временных интервалов между молниевыми разрядами и подтвержденными пожарами за период 2012–2018 гг. приведена на рис. 1, в. Исследуемый набор данных характеризуется неравномерным распределением пожаров по поверхности и ограничен границами Иркутской области, а временная динамика пожаров и молний может иметь собственную автокоррелирующую структуру. Поэтому существует вероятность того, что форма полученного распределения временных интервалов может быть обусловлена указанными особенностями. Проверка возможного влияния структуры набора данных на результат статистической выборки проводилась при помощи численных экспериментов, в которых координаты пожара смещались внутри окружности радиусом

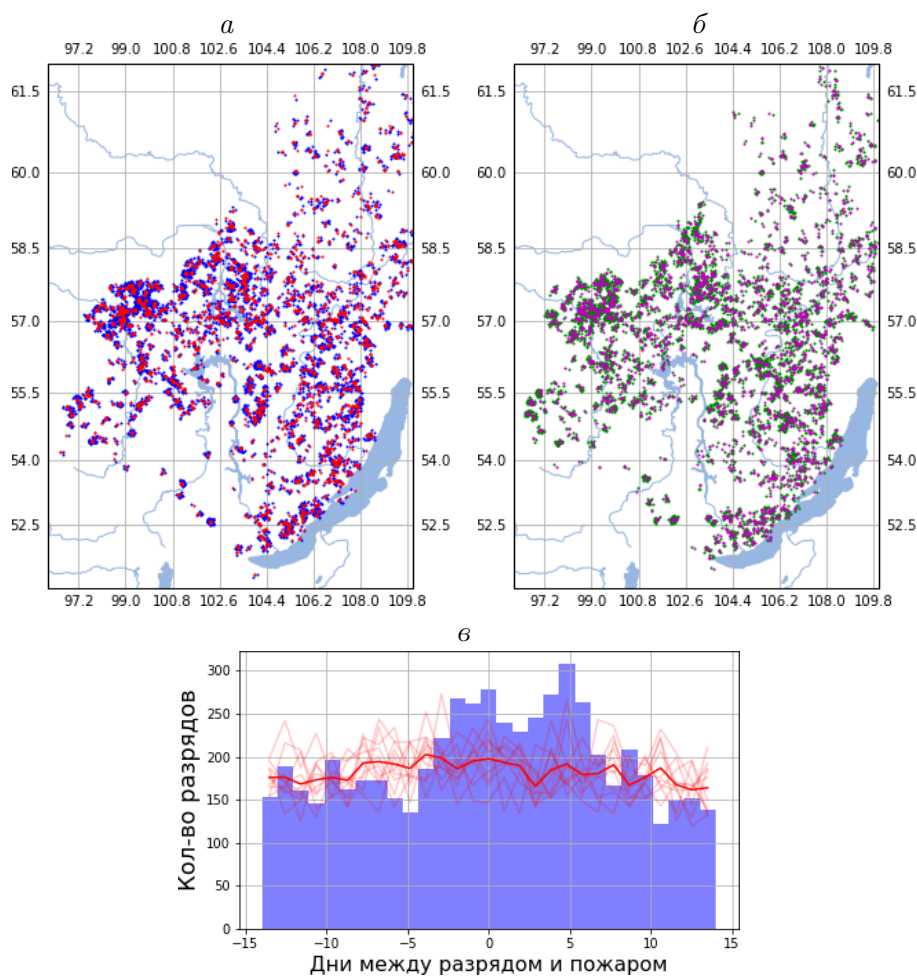


Рис. 1. Карта зарегистрированных пожаров и молниевых разрядов, выбранных по описанному в тексте критерию (красные точки — пожары, синие точки — молниевые разряды) — *a*; *б* — карта численного эксперимента (фиолетовые точки — случайные координаты пожара, зеленые точки — отобранные молниевые разряды); *в* — гистограмма распределения временных интервалов между зарегистрированными пожарами и молниевыми разрядами и графики распределения, полученные в численных экспериментах

Fig. 1. A map of recorded fires and lightning discharges, selected according to the criteria described in the text (red dots — fires, blue dots — lightning discharges) — *a*; *б* — a map of the numerical experiment (random fire coordinates are shown in purple, selected lightning discharges are displayed by green color); *в* — a histogram of the distribution of time intervals between registered fires and lightning discharges and distribution graphs obtained in numerical experiments

20 км, а его время — на интервал ± 14 дней случайным образом относительно зарегистрированного пожара. Отбор молниевых разрядов в новых координатах проводился по тому же критерию, что и для зарегистрированного пожара. Одна из карт такого численного эксперимента приведена на рис. 1, *б*, а статистические распределения десяти проведенных таким образом численных экспериментов и их среднее значение приведены на рис. 1, *в* линиями красного цвета.

Количество временных интервалов между молниевыми разрядами и пожарами приблизительно одинаково в диапазоне от -14 до -5 дней и от 7 до 14 дней, что говорит о том, что разряды в эти периоды, по всей видимости, не связаны с пожаром. Интервалы в диапазоне от -5 до 7 дней превышают средний уровень, здесь можно выделить два максимума шириной приблизительно в три дня, один находится перед нулевой от-

меткой времени (дата пожара), другой через пять дней после пожара. Несмотря на то что средний результат численных экспериментов находится на уровне случайных совпадений, дисперсия для отдельных экспериментов гипотетически может сформировать полученный результат. Чтобы исключить влияние флуктуаций, необходимо увеличить статистическую значимость исследуемой выборки. Поэтому для дальнейших тестов был задействован набор данных термальных точек.

Термальные точки могут быть вызваны как действующими лесными пожарами, так и разогретыми участками поверхности, лишенными растительности на фоне леса, или островами на водных объектах, неполадками аппаратуры или помехами при приеме спутниковых данных, или, наконец, антропогенными явлениями. Между тем количество термальных точек в привлеченной базе на два порядка выше количества зарегистрированных пожаров: $\sim 112\,000$ разрядов сопровождается $\sim 50\,000$ термальных точек. Поэтому существует вероятность, что этот набор данных более качественно проявит динамику молниевых разрядов относительно лесных пожаров. Карты термальных точек, молниевых разрядов, статистические распределения временных интервалов между возникновением разрядов и термальных точек, а также результаты численных экспериментов, проведенных на наборах данных, полученные таким же образом, как и для действующих пожаров, приведены на рис. 2.

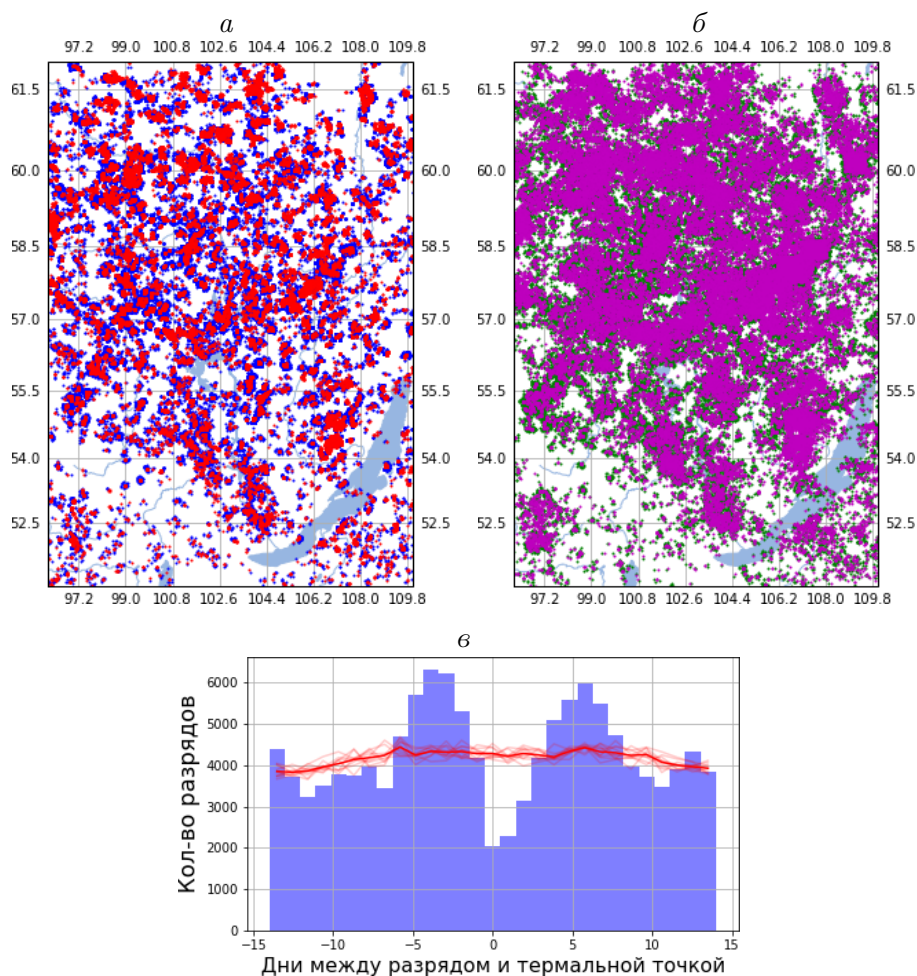


Рис. 2. То же, что и для рис. 1, но вместо данных о зарегистрированных пожарах использованы данные о термальных точках

Fig. 2. Same as for Fig. 1 but with thermal spots instead of registered fires

3. Обсуждение

Сопоставление динамики количества молниевых разрядов и зарегистрированных пожаров и термальных точек показывает, что отмеченные особенности статистических распределений проявились более отчетливо, похоже, что большинство термальных точек — это незарегистрированные пожары. По всей видимости, пожар вызывают разряды, произошедшие за 2–4 дня до момента его обнаружения на спутниковых данных. При этом за день до пожара и в день пожара число разрядов должно быть меньше обычного, это связано с тем, что горючий лесоматериал не должен подвергаться действию влаги для развития пожара. Полное количество разрядов за 5 дней до пожара составляет около 28 тыс. Количество случайных разрядов, не связанных с пожаром, полученных при помощи моделирования, составляет около 22 тыс.

Таким образом, можно сказать, что приблизительное количество разрядов, вызвавших пожар, около 6 тыс., что для полного количества пожаров 50 тыс. дает оценку вероятности возгорания от разряда молнии около 10 %. Однако в данном случае оценка может быть занижена, поскольку достаточно сложно оценить эффективность регистрации отдельного молниевых разряда грозопеленгационной сетью.

Проведенное моделирование случайных совпадений молниевых разрядов и пожаров показало наличие довольно устойчивой взаимосвязи молниевых разрядов и термальных точек (пожаров). Второй максимум молниевых разрядов после пожара может возникать вследствие выделения тепла, влаги, газовых компонентов и сажи во время горения. Эти компоненты атмосферы могут способствовать снижению статической устойчивости воздуха над очагом пожара с последующим развитием конвективной облачности, которая может привести к возникновению гроз, увеличивая количество регистрируемых разрядов. Присутствие аэрозольных частиц в воздухе оказывает значительное влияние на состояние электрических параметров атмосферы [8, 9]. Вариации электропроводности могут оказывать значительное влияние на параметры формирования электрического разряда. Так, присутствие аэрозольных частиц, на которых захватываются легкие аэроионы, будет способствовать снижению проводимости воздуха, что может привести к условиям, способствующим интенсификации молний. Это может быть еще одной причиной, которая объясняет возникновение второго пика в распределении молниевых разрядов относительно времени возникновения пожара на представленных статистических распределениях. Наконец, максимум развития грозовой активности над очагом пожара приходится на шестой день, это сопоставимо с длительностью естественного синоптического периода, в течение которого наблюдается повторяемость погодных условий, что также может привести к формированию статистических взаимосвязанных через этот интервал времени событий погоды. Вышесказанное указывает на необходимость продолжения исследований с привлечением дополнительных источников информации о разрядах молний, пожарах, атмосферном аэрозоле и погодных условиях.

Заключение

Полученные результаты демонстрируют устойчивую связь между временем возникновения пожара и молниевым разрядом. Эту информацию в дальнейшем можно использовать, например, для создания нейросети, которая на динамических картах метеопараметров и молниевых разрядов будет определять возможные места возникновения пожаров. Сведения, получаемые от грозопеленгационных сетей для прогнозирования

пожаров от гроз, необходимо расширить, дополнив их информацией о длительности импульса тока, поскольку именно длительные импульсы вызывают возгорания. Эти сведения можно получить, используя экспериментальные грозопеленгационные сети [10]. Задержанный относительно пожара максимум распределения временных интервалов, возможно, является индикатором отрицательной обратной связи в системе очаг пожара – атмосфера, которая гипотетически может приводить к гашению летних лесных пожаров индуцированными ими ливнями. Это достаточно интересные сведения, которые могут в значительной степени повлиять на параметризацию гроз и лесных пожаров в климатических моделях. Однако полученные предварительные выводы необходимо развивать на иных наборах данных с привлечением моделирования параметров атмосферы.

Благодарности. Работа проведена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект “Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории”).

Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Ангара” (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>).

Список литературы

- [1] **Romps D.M., Seeley J.T., Vollaro D., Molinari J.** Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*. 2014; (346):851–854. DOI:10.1126/science.1259100.
- [2] **Pérez-Invernón F.J., Gordillo-Vázquez F.J., Huntrieser H., Jöckel P.** Variation of lightning-ignited wildfire patterns under climate change. *Nature Communications*. 2023; (14):739. DOI:10.1038/s41467-023-36500-5.
- [3] **Тарабукина Л.Д., Кононова Н.К.** Циркуляция атмосферы, грозы и лесные пожары в Северной Азии в 2009–2016 гг. *Жизнь Земли*. 2018; 40(1):22–30.
- [4] **Safronov A.N.** Effects of climatic warming and wildfires on recent vegetation changes in the Lake Baikal basin. *Climate*. 2020; (8):57. DOI:10.3390/cli8040057.
- [5] **Cha D., Wang X., Kim J.W.** Assessing lightning and wildfire hazard by land properties and cloud to ground lightning data with association rule mining in Alberta, Canada. *Sensors*. 2017; (17):2413. DOI:10.3390/s17102413.
- [6] **Московенко В.М., Знаменщиков Б.П., Золотарев С.В.** Применение системы грозопеленгации “Верей-МР” в интересах электроэнергетики России. *Новое в российской электроэнергетике*. 2012; (2):15–23.
- [7] **Абушенко Н.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Тацилин С.А., Татарников А.В.** Автоматизированный алгоритм обнаружения лесных пожаров по многоспектральным данным прибора AVHRR/NOAA. Сборник докладов III Всероссийской научной конференции “Применение дистанционных радиофизических методов в исследованиях природной среды”. Муром, 1999: 210211.
- [8] **Морозов В.Н., Зайнетдинов Б.Г., Соколенко Л.Г., Палей А.А., Писанко Ю.В.** Экспериментальные и теоретические исследования влияния аэрозольных частиц субмикронного аэрозоля на электричество приземного слоя. *Труды ГГО*. 2018; (590):27–47.

- [9] **Зайнетдинов Б.Г., Занюков В.В., Соколенко Л.Г.** Результаты совместных многолетних наблюдений за концентрацией аэрозоля субмикронного диапазона и электрическими характеристиками атмосферы в п. Тикси. Материалы XV Международной Школы молодых ученых “Физика окружающей среды” им. А.Г. Колесника. Томск; 2022: 18–22.
- [10] **Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Белоусова Е.П.** Кластерный анализ молниевых разрядов по данным грозопеленгационной сети “Верея-МР”. Солнечно-земная физика. 2021; 7(4):91–98. DOI:10.12737/szf-74202109.

Вычислительные технологии, 2023, том 28, № 6, с. 37–45. © ФИЦ ИВТ, 2023
Computational Technologies, 2023, vol. 28, no. 6, pp. 37–45. © FRC ICT, 2023

ISSN 1560-7534
eISSN 2313-691X

MATHEMATICAL MODELLING

DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.004

Comparison of the dynamics of hot spots and claimed forest fires with the dynamics of lightning discharges over the Baikal natural territory

R. V. VASILYEV*, M. A. TASHILIN, A. V. TATARNIKOV

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 664033, Irkutsk, Russia

*Corresponding author: Roman V. Vasilyev, e-mail: roman_vasilyev@iszf.irk.ru

Received October 10, 2023, accepted October 17, 2023.

Abstract

Purpose. Study of the timing of lightning discharges relative to a forest fire, to determine the likelihood of fire as a result of a lightning discharge.

Methodology. The dynamics of thunderstorms were assessed using information on the lightning discharges recorded on the Vereya-MR VHF range receiver network. The Vereya-MR database contains information regarding the coordinates and time of occurrence of a lightning discharge on the territory of the Russian Federation from 2012 to 2018.

The dynamics of fires was assessed from data on the coordinates and time of fires of the Regional Dispatch Service of the OSAU “Irkutsk Base of Aviation and Ground Forest Protection”, covering the territory of the Irkutsk region for the period 2012–2018 and the database of thermal spots obtained from satellite observations by the AVHRR (POES) instrument.

A statistical analysis of the histogram of time intervals between the date of the fire and the dates of lightning discharges that occurred in a circle with a radius of 10 km centered at the fire location was carried out. The dates of lightning discharges within the specified area were chosen in the interval of ± 14 days from the date of the fire.

Testing the possible influence of the structure of the data set on the result of the statistical sample was carried out using numerical experiments in which the coordinates of the fire were shifted within a circle with a radius of 20 km, and its time was shifted by an interval of ± 14 days, randomly relative to the registered fire.

Findings. The fire is caused by discharges that occurred 2–4 days before it was detected on satellite data. The estimate of the probability of a fire from a lightning discharge is about 10%, but in this case the estimate may be underestimated, since it is quite difficult to assess the effectiveness of recording an individual lightning discharge by a lightning direction network.

The second maximum of lightning discharges after a fire may occur due to the initiation of showers over fires by increased temperature and emanation of combustion products. The second reason may be atmospheric aerosol, which reduces conductivity and increases the likelihood of

discharges. Finally, it is necessary to comprehensively study the autocorrelation properties of weather variability, which can also shape the shown temporal dynamics of thunderstorms.

Value. The maximum for the distribution of time intervals, delayed relative to the fire, may be an indicator of negative feedback in the “fire source – atmosphere” system, which could hypothetically lead to the extinguishing of summer forest fires by the rainstorms they induced. This is quite interesting information that can significantly influence the parameterization of thunderstorms and forest fires in climate models. However, the preliminary conclusions obtained need to be developed on other data sets, involving modelling of atmospheric parameters.

Keywords: atmospheric electricity, lightning detection, AVHRR, hot spots, forest fires.

Citation: Vasilyev R.V., Tashilin M.A., Tatarnikov A.V. Comparison of the dynamics of hot spots and claimed forest fires with the dynamics of lightning discharges over the Baikal natural territory. Computational Technologies. 2023; 28(6):37–45. DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.004. (In Russ.)

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of grant No. 075-15-2020-787 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the implementation of a large scientific project in priority areas of scientific and technological development (project “Fundamental principles, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the environmental situation of the Baikal natural territory”).

The results were obtained using the equipment of the “Angara” Center for Collective Use (<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>).

References

1. **Romps D.M., Seeley J.T., Vollaro D., Molinari J.** Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science*. 2014; (346):851–854. DOI:10.1126/science.1259100.
2. **Pérez-Invernón F.J., Gordillo-Vázquez F.J., Huntrieser H., Jöckel P.** Variation of lightning-ignited wildfire patterns under climate change. *Nature Communications*. 2023; (14):739. DOI:10.1038/s41467-023-36500-5.
3. **Tarabukina L.D., Kononova N.K.** Atmospheric circulation, thunderstorms and forest fires in North Asia in 2009–2016. *Life of the Earth*. 2018; 40(1):22–30.
4. **Safronov A.N.** Effects of climatic warming and wildfires on recent vegetation changes in the Lake Baikal basin. *Climate*. 2020; (8):57. DOI:10.3390/cli8040057.
5. **Cha D., Wang X., Kim J.W.** Assessing lightning and wildfire hazard by land properties and cloud to ground lightning data with association rule mining in Alberta, Canada. *Sensors*. 2017; (17):2413. DOI:10.3390/s17102413.
6. **Moskovenko V.M., Znamenshchikov B.P., Zolotarev S.V.** Application of the Vereya-MR lightning direction detection system in the interests of the Russian electric power industry. *Novoe v Rossiyskoy Elektroenergetike*. 2012; (2):15–23. (In Russ.)
7. **Abushenko N.A., Minko N.P., Semenov S.M., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V.** Automated algorithm for detecting forest fires using multispectral data from the AVHRR/NOAA instrument. *Sbornik Dokladov III Vserossiyskoy Nauchnoy Konferentsii “Primenenie Distantsionnykh Radiofizicheskikh Metodov v Issledovaniyakh Prirodnoy Sredy”*. Murom; 1999: 210211. (In Russ.)
8. **Morozov V.N., Zainetdinov B.G., Sokolenko L.G., Paley A.A., Pisanko Yu.V.** Experimental and theoretical studies of the influence of aerosol particles of submicron aerosol on the electricity of the ground layer. *Trudy GGO*. 2018; (590):27–47. (In Russ.)
9. **Zaynetdinov B.G., Zanyukov V.V., Sokolenko L.G.** Results of joint long term observations of submicron aerosol concentrations and electrical characteristics of the atmosphere in the village of Tiksi. *Materialy XV Mezhdunarodnoj Shkoly Molodykh Uchenykh “Fizika Okruzhayushchey Sredy” im. A.G. Kolesnika*. Tomsk; 2022: 18–22. (In Russ.)
10. **Tkachev I.D., Vasilyev R.V., Belousova E.P.** Cluster analysis of lightning discharges: based on Vereya-MR network data. *Solar-Terrestrial Physics*. 2021; 7(4):85–91. (In Russ.)