

Управление в организационных системах (2.3.4. технические науки)

Научная статья

УДК 630; 502.45; 630*426.1

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.30.95.001

Современные тенденции изменения повторяемости гроз над Сибирью и смещение Северного магнитного полюса

Александр Вадимович Холопцев¹

Наталья Юрьевна Проскова²

Роман Геннадьевич Шубкин³

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,

¹<https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

²<https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

³<https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

Автор ответственный за переписку: Наталья Юрьевна Проскова, knd@sibpsa.ru

Аннотация. Выявление причин изменений повторяемости гроз, являющихся одной из причин ландшафтных пожаров, - актуальная проблема управления организационными системами. Известно, что значимое влияние на эти изменения во многих регионах оказывают перемены их термического режима. Управляют ими также вариации потоков космических лучей, проникающих в тропосферу, которые вызывают ионизацию воздуха. Такие потоки, как правило, повышены в районах, расположенных вблизи магнитных полюсов. За время осуществления наблюдений за положением Северного магнитного полюса выявлено его смещение из района Канадского арктического архипелага (территория Нунавут (Канада)), в направлении полуострова Таймыр (Сибирь) почти на 2500 км. В XXI веке это смещение ускорилося, а повторяемость гроз над многими пунктами Сибири увеличилась, что позволяет предположить значимость причинной связи между изучаемыми процессами. Целью данной работы являлось осуществление такой проверки. При этом изучены изменения повторяемости гроз над пунктами Красноярского края, Якутии, а также территории Нунавут, которые расположены между параллелями 60° с.ш. и 65° с.ш. Установлено, что скорость увеличения средней повторяемости гроз для всех рассматриваемых пунктов территории Сибири в XXI веке значимо превосходила этот показатель для любых пунктов территории Нунавут. Так как потепление местного климата в изучаемых пунктах Сибири и Канады было практически одинаковым, полученный результат доказывает, что влияние смещения Северного магнитного полюса на изменения повторяемости гроз над изучаемыми пунктами являлось значимым. Следовательно, при дальнейшем смещении полюса в том же направлении, повторяемости гроз над упомянутыми регионами Сибири, а значит и количества ландшафтных пожаров, возникающих на их территориях, существенно возрастут.

Ключевые слова: повторяемость гроз, пожароопасность, Северный магнитный полюс, потепление климата, Сибирь, территория Нунавут, тенденция

Для цитирования: Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г. Современные тенденции изменения повторяемости гроз над Сибирью и смещение Северного магнитного полюса // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С.8-17. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.30.95.001>.

Original article

CURRENT TRENDS IN THE FREQUENCY OF THUNDERSTORMS OVER SIBERIA AND THE DISPLACEMENT OF THE NORTH MAGNETIC POLE

*Alexander V. Kholoptsev*¹

*Natalya Yu. Proskova*²

*Roman G. Shubkin*³

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,

¹<https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

²<https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

³<https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

Corresponding author: *Natalya Yu. Proskova, knd@sibpsa.ru*

Abstract. Identification of the causes of changes in the recurrence of thunderstorms, which are one of the causes of landscape fires, is an urgent problem of management of organizational systems. It is known that these changes in many regions are significantly influenced by changes in their thermal regime. They are also controlled by variations in the fluxes of cosmic rays penetrating the troposphere, which cause air ionization. Such fluxes are usually increased in the regions located near the magnetic poles. During the period of observations of the position of the north magnetic pole, its displacement from the Canadian Arctic Archipelago (territory of Nunavut (Canada)) to the Taimyr Peninsula (Siberia) by almost 2500 km has been revealed. In the 21st century, this displacement has accelerated and the recurrence of thunderstorms over many points in Siberia has increased, which suggests the significance of a causal relationship between the processes under study. The purpose of this work was to carry out such a check. Changes in the frequency of thunderstorms over points in Krasnoyarsk Krai, Yakutia, and Nunavut, which are located between the parallels 60° N and 65° N, were studied. It was found that the rate of increase in the average thunderstorm frequency for all studied locations in Siberia in the 21st century was significantly higher than for any locations in Nunavut. Since the warming of the local climate in the studied points of Siberia and Canada was almost the same, the obtained result proves that the influence of the shift of the northern magnetic pole on the changes in the frequency of thunderstorms over the studied points was significant. Consequently, at further displacement of the pole in the same direction, the recurrence of thunderstorms over the mentioned regions of Siberia, and hence the number of landscape fires occurring in their territories, will increase significantly.

Keywords: thunderstorm recurrence, fire hazard, North magnetic pole, climate warming, Siberia, Nunavut Territory, trend

For citation: Kholoptsev A.A., Proskova N.Yu., Shubkin R.G. Current trends in the frequency of thunderstorms over Siberia and the displacement of the North Magnetic Pole // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 8-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.30.95.001>.

Введение

Выявление причин и современных тенденций изменений средней повторяемости гроз (далее СПГ) над теми или иными участками земной поверхности является актуальной проблемой физической географии, а также безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение этой проблемы в России представляет для регионов: Республики Саха (Якутия), Красноярского края и Иркутской области, расположенных в Сибири, значительная территория которых покрыта лесом.

Согласно существующим представлениям о причинах изменений СПГ над той или иной местностью [1,2], к наиболее существенным факторам этого процесса относятся перемены ее термического режима, а также степени ионизации находящегося над ней тропосферного воздуха [3,4].

Над регионами Северного умеренного климатического пояса грозы образуются в месяцы с мая по сентябрь. Грозовые разряды возникают в облаках вертикального развития Сб, которые

формируются в результате термической или динамической конвекции, приводящей к ионизации воздуха, разделению и накоплению электрических зарядов. Поэтому следствием потепления климата любой местности является увеличение над ней СПГ.

Существенным фактором ионизации воздуха также являются частицы космических лучей, проникающие в тропосферу. Поэтому межгодовые изменения СПГ над той или иной местностью, как правило, значимо и положительно коррелированы с вариациями их потоков (далее ПКЛ).

Изменения ПКЛ в основном обусловлены вариациями характеристик солнечной активности [5,6]. Поэтому как показатель СПГ, в данной работе рассматривается среднее количество гроз, которое возникает над изучаемой местностью за год, относящийся к временному интервалу продолжительностью 11 лет (что совпадает с длительностью цикла Швабе) [7,8].

Значимое влияние на ПКЛ оказывают также изменения характеристик геомагнитного поля, которое защищает земную атмосферу от воздействия на нее заряженных частиц, не обладающих энергией, достаточной для преодоления этой защиты. Магнитное поле Земли препятствует вхождению в атмосферу частиц, относящихся в основном к солнечному ветру [3,4,8,9].

Солнечная активность модулирует средний поток и скорость частиц солнечного ветра, что, вследствие Форбуш-эффекта [10], приводит к соответствующим изменениям ПКЛ. Поскольку Солнечная активность изменяется квазициклически, такие же циклы наблюдаются и в вариациях ПКЛ [3,4,8].

Минимальные энергии частиц космических лучей, которые способны проникать в тропосферу над той или иной местностью, определяются характеристиками магнитного поля Земли и взаимодействующего с ней солнечного ветра.

Важной характеристикой магнитного поля Земли, определяющей ПКЛ для каждого рассматриваемого участка поверхности Северного полушария, является расположение этого участка относительно Северного магнитного полюса [11]. Чем ближе изучаемая местность находится к этому полюсу, тем меньше энергия упомянутых частиц, способных войти над ней в тропосферу и, при прочих равных условиях, больше ПКЛ.

Координаты Северного магнитного полюса в 1831 году впервые установил Джеймс Росс, обнаруживший его у северного побережья острова Кинг Вильям (Канадский арктический архипелаг), который относится ныне к территории Нунавут (Канада).

Территория Нунавут полностью расположена в зоне вечной мерзлоты и относится, как и северные районы Красноярского края (Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский) а также Якутии, к Арктической и Субарктической климатической зоне.

Дальнейшие исследования пространственно-временной изменчивости геомагнитного поля показали, что магнитные полюса нашей планеты с течением времени изменяют свое расположение. Причины этого процесса не установлены, что на его динамику не влияет. Схема движения Северного магнитного полюса в период 1831 – 2020 гг. показана, согласно [12], на Рис.1.



Рис.1. Схема движения Северного магнитного полюса в период 1831 – 2020 гг.

Из Рис.1 видно, что в XIX, XX и XXI веке Северный магнитный полюс смещался из указанного выше района в направлении полуострова Таймыр. В 2017 году он пересек линию перемены дат и переместился в Восточное полушарие нашей планеты.

К настоящему времени Северный магнитный полюс преодолел уже почти 2500 км [12]. В результате этого его удаление от полуострова Таймыр и территорий Красноярского края и Якутии значительно сократилось, а расстояние от его исходного расположения (на территории Нунавут) увеличилось.

Скорость перемещения Северного магнитного полюса за период наблюдений возросла. Наиболее существенное ее увеличение произошло в XXI веке (с 15 км/год в 2000 году до 55 км/год в 2019 году [13]).

Как следует из изложенного, в 2024 году территории многих районов Якутии, а также Таймырского (Долгано-Ненецкого) Автономного района Красноярского края расположены значительно ближе к Северному магнитному полюсу, чем в начале XXI века. Учитывая это, допустимо предположить, что уменьшение расстояния между ними привело в XXI веке к значимому увеличению СПГ.

Выдвинутая гипотеза тривиальной не является, так как в указанные годы изменения СПГ были вызваны совместным действием изучаемого фактора и ряда других процессов, среди которых важнейшим являлось потепление климата. Некоторое влияние могло оказывать также уменьшение средней напряженности геомагнитного поля, которое за период от начала наблюдений превысило 9 % [8].

Если выдвинутая гипотеза окажется справедливой, то дальнейшее смещение Северного магнитного полюса на территорию Таймырского (Долгано-Ненецкого) Автономного района Красноярского края, может привести к существенному увеличению здесь ПКЛ, ускоренному потеплению местного климата, а также возрастанию количества ландшафтных пожаров, уже в ближайшие десятилетия.

Следовательно, проверка справедливости данной гипотезы представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Мониторинг изменений повторяемости гроз, возникавших за год на территориях тех или иных регионов России, в некоторых их пунктах систематически осуществляют специалисты соответствующих подразделений Росгидромета. Полученные результаты, охватывающие весь период современного потепления климата, представлены на сайте [14].

Тем не менее, справедливость выдвинутой гипотезы ранее не проверялась. Учитывая данное обстоятельство, целью работы являлась проверка выдвинутой гипотезы.

Материалы и методы

Как уже отмечалось выше, существенное влияние на изменения СПГ над той или иной территорией оказывают вариации ее термического режима.

Следовательно, для подтверждения значимости влияния смещения Северного магнитного полюса на вариации СПГ, целесообразно проанализировать изменения значений этого показателя для местностей, удаления которых от полюса изменяются в противоположных направлениях, в то время как их термические режимы меняются однонаправленно.

Как уже отмечалось выше, в XXI веке расстояние от Северного магнитного полюса до полуострова Таймыр сокращается с наибольшей скоростью, а до любого пункта территории Нунавут оно столь же быстро увеличивается. Поэтому для проверки выдвинутой гипотезы осуществлено сопоставление зависимостей от времени СПГ над репрезентативными пунктами республики Саха (Якутия) и Красноярского края, с аналогичными зависимостями для репрезентативных пунктов территории Нунавут.

При выборе таких пунктов учитывалось, что чем дальше от Северного магнитного полюса они расположены, тем слабее его перемещение способно влиять на вариации ПКЛ и СПГ. Учитывалось также, что над территориями, относящимися к ландшафтной зоне Арктических пустынь, гроз практически не бывает, вследствие чего выявить изменения СПГ для них невозможно.

Вследствие этого в качестве репрезентативных выбраны пункты упомянутых регионов Сибири и территории Нунавут, которые расположены между параллелями 60° с.ш. и 65° с.ш. и относятся либо к ландшафтной зоне тайги (бореальных лесов), либо к подзоне лесотундры.

Перечень и координаты таких пунктов, где мониторинг грозовой активности начал осуществляться не позднее 1982 года представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Перечень и координаты репрезентативных пунктов Сибири и территории Нунавут

Красноярский край					
Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)
Байкит	61,66	96,36	Ванавара	60,33	102,26
Республика Саха (Якутия)					
Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)
Оймякон	63,25	143,15	Амга	60,9	131,98
Территория Нунавут					
Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)	Наименование пункта наблюдения	Широта (° с.ш.)	Долгота (° в.д.)
Baker Lake	64,3	-96,08	Coral Harbor	64,2	-83,36
Iqaluit	63,75	-68,53	Rankin-Inlet	62,81	-92,11

Как видно из Таблицы 1, оба репрезентативных пункта Красноярского края относятся к его Эвенкийскому Автономному району и расположены в ландшафтной зоне тайги.

Рассматриваемые пункты территории Якутии, как и пункт Rankin-Inlet территории Нунавут также находятся в зоне бореальных лесов.

Прочие территории Нунавут относятся к подзоне лесотундры. Поэтому средние значения СПГ для изучаемых пунктов различались, несмотря на то, что среднегодовые потоки солнечной радиации, входящей в атмосферу над ними были практически одинаковы.

Как источник информации об изменении СПГ в указанных пунктах использован электронный ресурс [14], сформированный, основываясь на сведениях, полученных при фактических наблюдениях за грозовой активностью. Из него также получены сведения об изменениях термических режимов в изучаемых пунктах, произошедших за период современного потепления климата (включая 2023 год).

Из этих сведений, а также из [15], следует, что во всех изучаемых пунктах за период современного потепления климата их термические режимы изменялись в одинаковых направлениях и с приблизительно одинаковой скоростью, что должно было вызвать повсеместное изменение СПГ в сторону увеличения.

Решение о том, что влияние движения Северного магнитного полюса на вариации СПГ на рассматриваемых территориях Сибири, в XXI веке являлось значимым, принималось, если для ее репрезентативных пунктов линейный тренд, присутствующий в этих вариациях являлся значимым и возрастающим, а для таких же пунктов территории Нунавут он был значимым и убывающим.

Решение о значимости изучаемого влияния принималось, если достоверность такого статистического вывода превышала 0,95. Для этого использовано допущение о том, что отклонения значений рассматриваемого показателя от соответствующего линейного тренда в период после 2000 года подчиняются нормальному закону. Справедливость этого допущения проверялась с применением критерия Пирсона.

Использование этого допущения позволило принимать решение о значимости изучаемого влияния, если имело место:

$$14 * \text{УКЛТ} > 1,65 * \text{СКО}$$

где УКЛТ – угловой коэффициент линейного тренда временного ряда изучаемого показателя для периода 2000 – 2013 гг.;

СКО – соответствующее среднеквадратическое отклонение.

Нетрудно видеть, что в действительности возможен случай, когда такое решение принять невозможно, поскольку выявленный тренд изучаемого процесса значимым не являлся.

В таком случае влияние смещения Северного магнитного поля признавалось значимым, если для периода 2000 – 2023 гг. средняя скорость увеличения СПГ для пунктов Сибири была существенно больше, чем для пунктов территории Нунавут. Последнее имеет место, если линейные тренды, присутствующие в зависимостях от времени отношений значений СПГ, соответствующих рассматриваемым пунктам Сибири, к значениям СПГ для таких пунктов территории Нунавут являются значимыми и возрастающими.

При принятии решения о значимости таких трендов применялся указанный выше критерий.

Как известно, критерий Пирсона на выборках малой длины не вполне надежен. Поэтому выводы, полученные с применением изложенной методики, следует рассматривать как носящие качественный характер.

Результаты исследования и их анализ

Как показали исследования, за период 2000 – 2013 гг. во всех рассматриваемых пунктах территории Сибири значения СПГ существенно увеличились. Увеличение рассматриваемых показателей имело место и для некоторых пунктов территории Нунавут. Соответствующие зависимости от времени СПГ для изучаемых пунктов показаны на Рис.2.

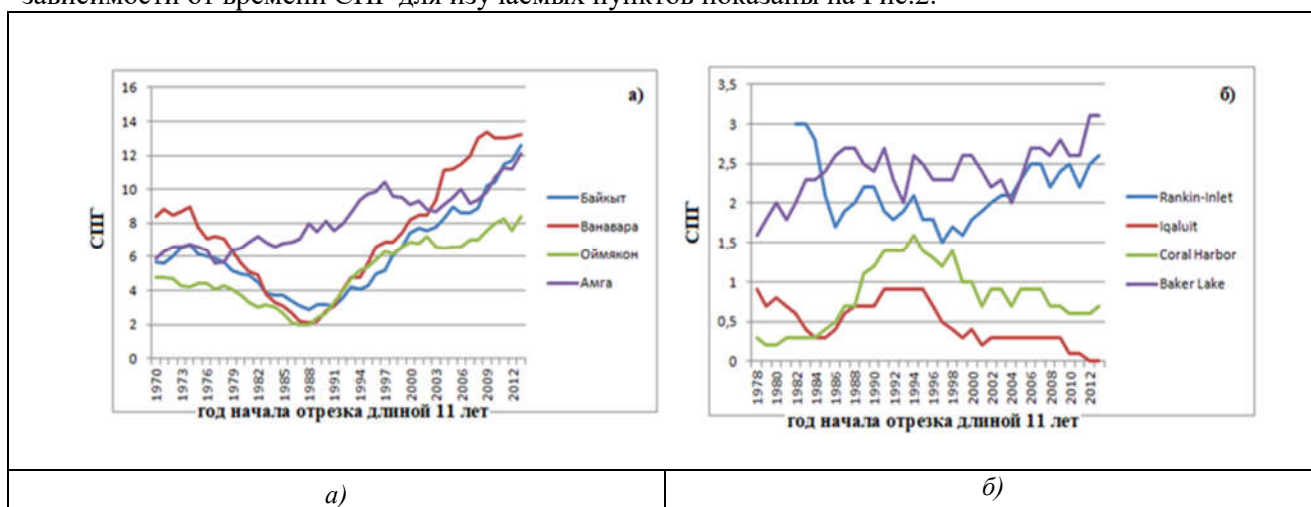


Рис.2. Зависимости от времени значений СПГ для рассматриваемых пунктов территории: а) Сибири; б) Нунавут

Из Рис.2а видно, что для всех изучаемых пунктов территории Сибири за период 1990 – 2013 гг. значения СПГ устойчиво и значимо возрастали по закону, близкому к линейному. При этом такое увеличение для п. Амга имело место за период 1970 – 2013 гг.

Рис.2б свидетельствует о том, что для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake территории Нунавут в период 1990 – 2013 гг. значения СПГ также несколько увеличились.

Для пунктов Coral Harbor и Iqaluit за тот же период времени значения СПГ значимо снизились, не смотря на происходившее потепление их климата [23]. При этом для пункта Iqaluit – столицы территории Нунавут, в период 2012 – 2023 гг. ни одной грозы не произошло. Единственным возможным объяснением этому может служить значимость влияния на СПГ над этими пунктами, которое оказывает увеличение расстояния от них до Северного магнитного полюса.

Таким образом, результаты рассматриваемых исследований, полученные для всех репрезентативных пунктов Сибири, а также пунктов Coral Harbor и Iqaluit свидетельствуют о том, что влияние на СПГ смещения Северного магнитного полюса в 2000 – 2023 гг. было значимым. Вместе с тем результаты, полученные для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake, свидетельствуют о необходимости подтверждения справедливости такого вывода.

Для получения такого подтверждения были вычислены упомянутые выше значения отношения СПГ для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake, а также всех рассматриваемых пунктов Сибири. Полученные при этом результаты представлены на Рис.3.

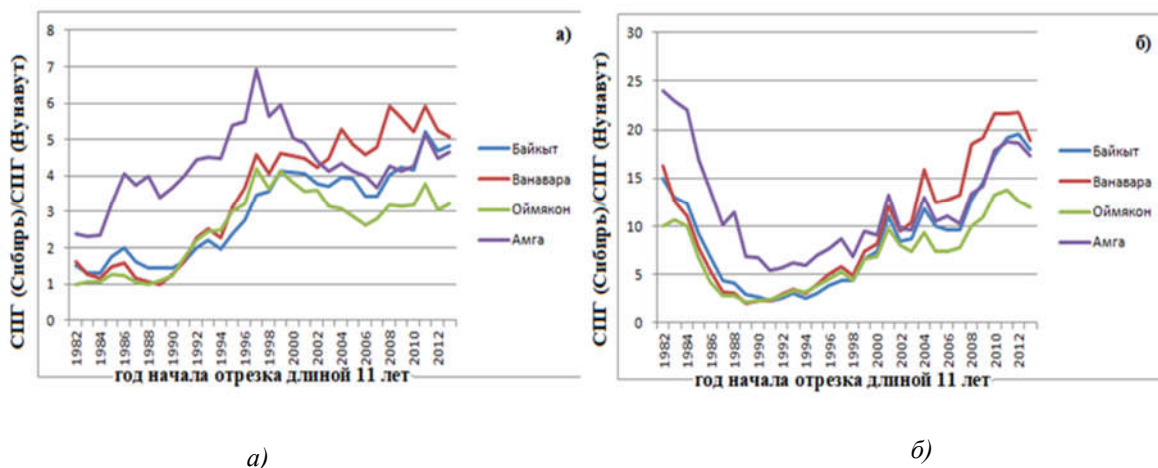


Рис.3. Зависимости отношений СПГ для репрезентативных пунктов Сибири к значениям этого показателя для пунктов территории Нунавут: а) Rankin-Inlet; б) Baker Lake

Как следует из Рис.3а и 3б, за период 1990 – 2013 гг. значения отношений СПГ для всех рассматриваемых пунктов Сибири к аналогичным показателям для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake территории Нунавут значительно увеличились. Возросли они и для периода 2005 – 2013.

Как видим, значимость влияния смещения Северного магнитного полюса подтверждена с учетом наблюдений, выполненных и в указанных пунктах.

Следовательно, полученные результаты доказывают, что смещение Северного магнитного полюса в период после 1990 года привело к значимому увеличению СПГ для всех репрезентативных пунктов территории Сибири, которое усилилось в результате произошедшего потепления их климата.

Для территории Нунавут тот же процесс оказал на изменения СПГ не менее значимое, но противоположное влияние. Для пунктов Coral Harbor и Iqaluit он вызвал уменьшение СПГ, несмотря на потепление их климата, а для пунктов Rankin-Inlet и Baker Lake его влияние существенно ослабило рассматриваемое последствие потепления климата.

Таким образом, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена.

Установлено, что смещение Северного Магнитного полюса в сторону полуострова Таймыр в XXI веке являлось одной из значимых причин увеличения СПГ на рассматриваемых территориях Сибири.

Последнее позволяет утверждать, что дальнейшее приближение полюса к территориям северных районов Красноярского края и Республики Саха (Якутии) вызовет на них, а вероятно, и на территориях Иркутской области и Ямало-Ненецкого Автономного округа, еще большее увеличение СПГ.

В результате этого темпы потепления климата в указанных регионах, по сравнению с регионами, более удаленными от Северного магнитного полюса, возрастут, что в значительной степени увеличит пожарные риски.

При сохранении современного значения средней скорости движения Северного магнитного полюса, он достигнет территории полуострова Таймыр к 2050 году.

Тем не менее, упомянутые опасные последствия этого процесса могут наступить значительно ранее, так как полюс движется ускоренно.

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты в полной мере соответствуют существующим представлениям о причинах изменения СПГ [1,3,16], происходящих вариациях солнечной активности [5,6,8], а также характеристик геомагнитного поля. Вместе с тем в статье установлены некоторые факты, обладающие существенной научной новизной.

Одним из них является доказательство того, что смещение в сторону полуострова Таймыр Северного магнитного полюса оказывает значимое влияние на изменение СПГ как на территории регионов Сибири, к которым он приближается, так и на территории регионов Канады, от которых он удаляется.

Так как одной из непосредственных причин происходящих изменений СПГ являются синхронные, по отношению к ним, вариации ПКЛ, из этого следует, что приближение к Сибири Северного магнитного полюса вызывает значимое увеличение этого потока.

Так как увеличение ПКЛ приводит к снижению общего содержания стратосферного озона в атмосфере и увеличению интенсивности образования в ней космогенных радионуклидов, дальнейшее приближение полюса к полуострову Таймыр вызовет здесь увеличение потоков биологически активной ультрафиолетовой радиации, а также повышение радиационного фона. Все это может вызвать значительное увеличение заболеваемости населения Красноярского края и Якутии саркомой и меланомой, а также оказать негативное влияние на состояние природных биоценозов Сибири.

Следует учитывать, что смещение магнитных полюсов отражает изменения состояний мощнейших процессов, происходящих во внешнем ядре, а также, вероятно, и в мантии нашей планеты, которые могут служить причиной наблюдающейся в современном периоде активизации вулканизма и землетрясений. Поэтому усиление грозовой активности в Сибири является всего лишь одним из не самых существенных последствий этих процессов.

Для предотвращения ущерба, наносимого такими процессами и смещением Северного магнитного полюса, необходимо принимать управленческие решения превентивного характера.

Актуальной проблемой поддержки принятия решений по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях и предотвращении их возникновения является развитие технологий прогнозирования ландшафтных пожаров и других опасных природных явлений в Сибири, а также мер по защите и восстановлению лесов ее лесов. Важную роль в ее решении могло бы сыграть, например, создание на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) Автономного района Красноярского края системы наземного и спутникового геофизического и гидрометеорологического мониторинга их предвестников, а также кардинальное реформирование государственной политики в области лесопользования и лесовосстановления.

Выводы

Таким образом, установлено:

1. Смещение Северного Магнитного полюса Земли в направлении полуострова Таймыр вносит значимый вклад в увеличение средней повторяемости гроз, вызванное потеплением климата, на территориях регионов России, к которым он приближается.
2. Рассматриваемый процесс противодействует увеличению средней повторяемости гроз на территориях, от которых полюс удаляется.
3. Смещение Северного магнитного полюса оказывает указанное влияние на грозовую активность благодаря зависимости от его расположения среднего потока космических лучей, проникающего в тропосферу над той или иной местностью, который достигает абсолютного максимума непосредственно в районе этого полюса.

4. Так как рассматриваемый процесс в современном периоде стремительно ускоряется, предотвратить грандиозный ущерб, который может быть нанесен им населению и экономике России, можно лишь отреагировав на выявленную угрозу оперативно и адекватно.

Список источников

1. Горбатенко В.П. Синоптические условия образования и развития гроз над территорией Западной Сибири и Казахстана / Горбатенко В.П. // Вестник Томского государственного университета. – 2001. – № 274. – С. 148-154. – EDN OXHSHF. электрон. версия. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17698510> (дата обращения 20.08.2024).
2. Лощенко К.А. Исследование гроз на территории Иркутской области / Лощенко К.А., Латышева И.В., Лыков С.С. // Российская цивилизация: история, проблемы, перспективы: Материалы XXVI региональной молодежной научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 12 декабря 2021 года. – Иркутск: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Оттиск», 2022. – С. 222-226. – EDN GOOIKB. электрон. версия. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48402566> (дата обращения 20.08.2024).
3. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Космические лучи в механизме образования грозových облаков // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2003. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kosmicheskie-luchi-v-mehanizme-obrazovaniya-grozovyh-oblakov> (дата обращения: 17.08.2024).
4. Стожков Ю.И., Махмутов В.С., Свиржевский Н.С. Исследования комических лучей на баллонах в Физическом институте имени П.Н. Лебедева РАН // Успехи физических наук. – 2022. – Т. 192. – №9. – С. 1054 – 1063. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.06.039215>.
5. Константиновская Л.В. Солнечная активность. // Москва, ООО «ИСПО-ПРИНТ», 2019. – 240 с.
6. Хейг Дж.Д. Солнечная изменчивость и климат / Хейг Дж.Д. – Космическая погода. – Спрингер – под ред. Дж. Ливенстона – 2007. – Р. 65 – 81.
7. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. СПб: Изд-во «Logos», 2009. 197 с.
8. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. / LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 333 p. – ISBN:978-3-659-41130-4.
9. Кузнецов В.В., Кузнецова Н.Д. Влияние космического излучения и вековых вариаций геомагнитного поля на климат и эволюцию жизни на Земле. URL: <http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf> (дата обращения: 17.08.2024).
10. Тодд М.С., Найвтон Д.Р. Изменения в облачном покрове, связанные с резким уменьшением галактических космических лучей // J. Geophys. Res. – 2001. – v. 106. N D 23. – P. 32031 – 32041. DOI: 10.1029/2001JD000405.
11. Долгопрудненская научная станция имени Вернова С.Н. Лаборатория физики Солнца и космических лучей. Физический институт имени Лебедева П.Н. РАН. URL: https://sites.lebede3v.ru/DNS_FIAN.
12. Схема перемещения Северного магнитного полюса в XIX-XXI веке. URL: <https://www.digimap.ru/publications/item/27> (дата обращения 17.08.2024).
13. Смещение геомагнитных полюсов. Национальный центр геофизических данных. NOAA. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/products/wandering-geomagnetic-poles> (дата обращения 17.08.2024).
14. Банк данных об изменениях метеоусловий в различных регионах мира. URL: <https://tutiempo.net/climate/> (дата обращения 17.08.2024).
15. Изменение климата: Основы физической науки. (2013) URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/23 (дата обращения: 17.08.2024).
16. Петрова С.Д., Апросимов В.Л., Фомин Н.Ф. [и др.] Итоги первого этапа исследования влияния грозовой активности на возникновение лесных пожаров в Центральной Якутии // Второй региональной летней научной школы молодых ученых-космофизиков, посвященной 50-летию радиофизических наблюдений на полигоне, Якутск, 04–05 августа 2022 года. – Якутск: Государственное казенное учреждение Республики Саха (Якутия) "Национальная библиотека Республики Саха (Якутия)", 2023. – С. 167-174. – EDN ETXMHZ.

References

1. Gorbatenko V.P. Synoptic conditions of formation and development of thunderstorms over the territory of Western Siberia and Kazakhstan / Gorbatenko V.P. // Bulletin of Tomsk State University. - 2001. - № 274. - С.148-154.
2. Loschenko K.A. Study of thunderstorms on the territory of the Irkutsk region / Loschenko K.A., Latysheva I.V., Lykov S.S. // Russian civilization: history, problems, prospects: Proceedings of the XXVI regional youth scientific-practical conference with international participation, Irkutsk, December 12, 2021. - Irkutsk: Limited Liability Company “Publishing House ‘Ottisk’”, 2022. - С.222-226. - EDN GOOIKB. electronic version. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48402566> (date accessed 20.08.2024).
3. Ermakov V.I., Stozhkov Yu.I. Cosmic rays in the mechanism of thunderstorm clouds formation. thunderstorm clouds // Short messages on physics of FIAN. 2003. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kosmicheskie-luchi-v-mehanizme-obrazovaniya-grozovyh-oblakov> (date of reference: 17.08.2024).
4. Stozhkov Yu.I., Makhmutov V S., Svirzhevskiy N.S. Investigations of comic rays on balloons at the Lebedev P.N. Physical Institute of the Russian Academy of Sciences. of comic beams on balloons at the P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences // Uspekhi Physical Sciences. - 2022. - Т. 192. - №9. - С.1054 - 1063. <https://doi.org/10.3367/UFNr.2021.06.039215>.
5. Konstantinovskaya L.V. Solar activity. // Moscow, ООО “SPES-PRINT”, 2019. - 240 с.
6. Haigh J.D. Solar variability and climate / Haigh J.D. – Space Weather. – Springer. – ed. J. Livenston. – 2007. – P. 65 – 81.
7. Abdusamatov H.I. The Sun dictates the Earth's climate. St. Petersburg: Logos Publishing House, 2009. 197 с.
8. Kholoptsev A.V.V., Nikiforova M.P. Solar activity and forecasts of physical and geographical processes. / LAP LAMBERT Academic Publishing. - 2013. - 333 p. - ISBN:978-3-659-41130-4.
9. Kuznetsov V.V., Kuznetsova N.D. Influence of cosmic radiation and secular variations of the geomagnetic field on climate and evolution of life on Earth. URL: <http://kcs.dvo.ru/ikir/Russian/Science/2004/3-11.pdf> (date accessed: 17.08.2024).
10. Todd M.C., Kniveton D.R. Changes in cloud cover associated with Forbush decreases of galactic cosmic rays // Geophys J. Res. – 2001. – v. 106. N D 23. – P. 32031 – 32041. DOI:10.1029/2001JD000405.
11. Vernova S.N. Dolgoprudny Research Station. Laboratory of solar and cosmic ray physics. Lebedev P.N. Physical Institute of the Russian Academy of Sciences. URL: https://sites.lebede3v.ru/DNS_FIAN.
12. Scheme of movement of the North Magnetic Pole in the XIX-XXI century. URL: <https://www.digimap.ru/publications/item/27> (date accessed: 17.08.2024).
13. Wandering of the Geomagnetic Poles. National Geophysical Data Center. NOAA. URL: <https://www.ncmi.noaa.gov/products/wandering-geomagnetic-poles> (date accessed: 17.08.2024).
14. Data Bank on Changes in Meteorological Conditions in Different Regions of the World. URL: <https://tutiempo.net/climate/> (date accessed: 17.08.2024).
15. Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/23 (date accessed: 17.08.2024).
16. Petrova S.D., Aprosimov V.L., Fomin N.F.. [et al.] Results of the first stage of the study of the influence of thunderstorm activity on the occurrence of forest fires in Central Yakutia // Second Regional Summer Scientific School of Young Scientists-Cosmophysicists, dedicated to the 50th anniversary of radiophysical observations at the test site, Yakutsk, August 04-05, 2022. - Yakutsk: State Kazennoe Institution of the Republic of Sakha (Yakutia) “National Library of the Republic of Sakha (Yakutia)”, 2023. - С. 167-174. - EDN ETXMZH.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.07.2024; одобрена после рецензирования 20.08.2024; принята к публикации 30.08.2024.

The article was submitted 27.07.2024, approved after reviewing 20.08.2024, accepted for publication 30.08.2024.