

Научная статья
УДК 551.594.221
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.6.009

АНАЛИЗ МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В 2022 Г.

**Василий Николаевич Селиванов¹, Антон Владимирович Бурцев²,
Александр Николаевич Кизенков³, Александр Александрович Сулоев⁴**

^{1,2}Центр физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра
Российской академии наук, Апатиты, Россия

³Производственное отделение «Северные электрические сети» Мурманского филиала
«Россети Северо-Запад», Мурманск, Россия

⁴Производственное отделение «Центральные электрические сети» Мурманского филиала
«Россети Северо-Запад», Апатиты, Россия

¹v.selivanov@ksc.ru

²a.burtsev@ksc.ru

³kizenkov@ses.kolenergo.ru

⁴suloev@ces.kolenergo.ru

Аннотация

Представлены результаты анализа молниевой активности в 2022 г. на территории Мурманской области по данным некоммерческой сети грозопеленгации Blitzortung. Приводятся данные о длительности грозового сезона, количестве грозовых дней, числе молниевых разрядов и их распределении по территории. Исследована статистика аварийных отключений воздушных линий электропередачи, вызванных ударами молний в электрические сети Кольской энергосистемы. Представлен пример анализа интенсивности грозовой деятельности по трассе воздушной линии.

Ключевые слова:

молниевая активность, Мурманская обл., грозопеленгация, линии электропередачи

Благодарности:

работа выполнена в рамках государственного задания Центра физико-технических проблем энергетики Севера Кольского научного центра Российской академии наук (FMEZ-2022-0014).

Для цитирования:

Селиванов В. Н., Бурцев А. В., Кизенков А. Н., Сулоев А. А. Анализ молниевой активности в Мурманской области в 2022 г. // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 6. С. 73–83. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.6.009.

Original article

ANALYSIS OF THE 2022 LIGHTNING ACTIVITY IN THE MURMANSK REGION

Vasilii N. Selivanov¹, Anton V. Burtsev², Aleksandr N. Kizenkov³, Aleksandr A. Suloev⁴

^{1,2}Northern Energetics Research Centre of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences,
Apatity, Russia

³Production Department "North Electric Networks" of the Murmansk branch of "Rosseti North-West",
Murmansk, Russia

⁴Production Department "Central Electric Networks" of the Murmansk branch of "Rosseti North-West",
Apatity, Russia

¹v.selivanov@ksc.ru

²a.burtsev@ksc.ru

³kizenkov@ses.kolenergo.ru

⁴suloev@ces.kolenergo.ru

Abstract

The article analyses lightning activity in 2022 on the Murmansk region territory according to the data of the non-commercial lightning detection network — Blitzortung. Data on the duration of the thunderstorm season, the number of thunderstorm days, the number of lightning discharges and their distribution over the territory are given. The statistics of emergency failures of overhead power lines caused by lightning strikes in the power grids of the Kola power system are investigated. An example of an analysis of the intensity of lightning activity along the overhead line route is presented.

Keywords:

lightning activity, Murmansk region, lightning location, overhead transmission lines

Acknowledgments:

The work was carried out within the framework of the State Research Program of the Northern Energetics Research Centre of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (FMEZ-2022-0014).

For citation:

Selivanov V. N., Burtsev A. V., Kizenkov A. N., Suloev A. A. Analysis of the 2022 lightning activity in the Murmansk region // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 6. P. 73–83. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.6.009.

Введение

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН с 2013 г. ежегодно выпускает обзоры молниевой активности на территории Мурманской области [1–4] на основе данных общедоступной некоммерческой сети грозопеленгации Blitzortung [5]. В обзорах приводятся сведения о длительности грозового сезона, количестве грозовых дней, числе грозовых разрядов и их распределении на территории Мурманской области. Для анализа молниевой активности используется информационный ресурс собственной разработки «E-GRID Power Network DB – Электрические сети: База данных» (<http://egrid.iem.kolasc.net.ru>). База данных ресурса содержит информацию о воздушных линиях электропередачи (ВЛ) и подстанциях Кольской энергосистемы, а также координаты ударов молнии в землю на территории Мурманской области. Для обработки данных грозопеленгации создано собственное программное обеспечение, позволяющее анализировать молниевую активность в заданном регионе и вычислять уровень воздействия грозовых разрядов на конкретную ВЛ [6, 7].

Анализ грозовой активности

Грозовой сезон 2022 г. начался 16 мая, последняя гроза отмечена 28 августа. Данные о грозовой деятельности за последние 6 лет представлены в табл. 1. Стоит отметить, что 2021 и 2022 гг. демонстрируют относительно высокую молниевую активность, но грозовой сезон стал короче, чем в предыдущие годы, когда он заканчивался в сентябре. За шесть лет (с 2017 по 2022 гг.) зарегистрирован 231 день с грозой, из них свыше 50 с относительно высокой интенсивностью (более 100 разрядов в день).

В табл. 2 представлены данные о распределении разрядов по месяцам в течение грозовых сезонов. Максимум грозовой деятельности в 2022 г. был в июле, на который пришлось 74 % зарегистрированных разрядов. Хотя в целом максимальная грозовая активность отмечается в самый жаркий месяц года — июль, однако в 2018 г. максимум пришелся на август, в 2019 г. конец мая — начало июня были жаркими и дождливыми, с большим числом гроз, а в июле, напротив, гроз практически не было, 2022 г. в Мурманской обл. был очень теплым. По оценке ФГБУ «Мурманское УГМС» [8], средняя годовая температура воздуха превысила климатическую норму на 1,4 °С. Более высокие значения средней годовой температуры воздуха в области отмечались только в 1938 и 2020 гг. Сумма осадков, выпавших за лето 2022 г. в среднем по области, превысила климатическую норму почти на треть.

Таблица 1

Показатели грозовой активности на территории Мурманской области
Lightning activity in Murmansk region

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Первая гроза	10 июня	14 мая	11 мая	02 июня	18 мая	16 мая
Последняя гроза	24 сентября	22 сентября	13 сентября	11 сентября	31 августа	28 августа
Грозовых дней	38	32	28	38	47	48
Всего разрядов	2555	7476	4287	1440	2944	8005

Результаты регистрации ударов молнии в землю на территории Мурманской области в грозовой сезон 2022 г. отображены на рис. 1. Наибольшая плотность разрядов наблюдается на юго-западе области — на границе с Республикой Карелия. Плотность закономерно снижается продвижением

на север и к морскому побережью на востоке. На карте показаны линии электропередачи и построенная в 2022 г. Кольская ветроэлектростанция. Как показал анализ молниевой активности за последние 10 лет, Кольская ВЭС расположена в очень благоприятном районе с низкой молниевой активностью. Грозовой сезон 2023 г. должен показать, насколько изменится грозовая деятельность в этом районе после возведения 57 объектов высотой до 140 м на площади 257 га.

Таблица 2

Распределение разрядов по месяцам года
Distribution of discharges by months of the year

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
2017	0/0	5/83	19/1834	11/452	3/186
2018	5/312	6/805	11/2922	8/3430	2/7
2019	3/317	10/3127	5/27	6/799	4/17
2020	0/0	8/488	16/623	12/326	2/3
2021	4/290	13/634	16/1351	14/669	0/0
2022	1/1	10/1212	24/5889	13/903	0/0

Примечание. В числителе — число грозových дней, в знаменателе — количество разрядов в месяце.
Note. Thunderstorm days / discharges per month.

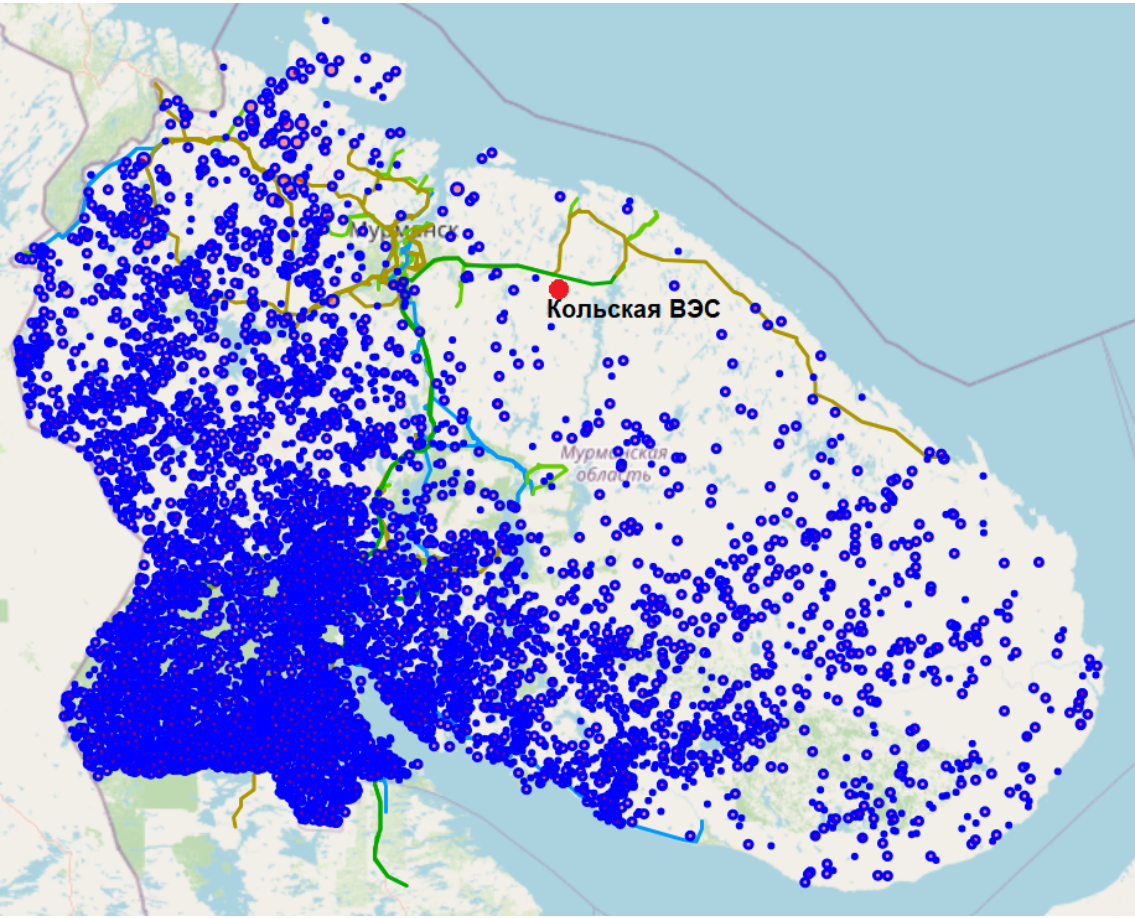


Рис. 1. Молниевые разряды в Мурманской обл. в 2022 г.
Fig. 1. Lightning discharges in the Murmansk region in 2022

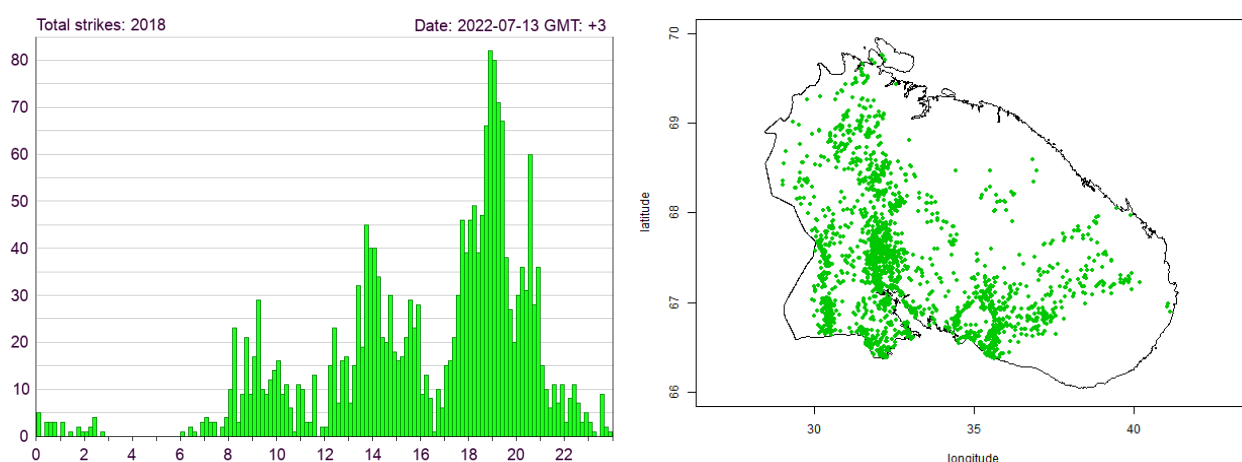


Рис. 2. Распределение разрядов 13 июля 2022 г.
Fig. 2. Discharge distributions July 13, 2022

Четверть всех грозовых разрядов пришлось на один день — 13 июля 2022 г., когда было зарегистрировано 2018 ударов молний в землю. На рис. 2 показан график распределения разрядов во времени и карта распределения по территории Мурманской области в течение этого дня. Приведем данные по двум важнейшим показателям молниевой активности — число дней с грозой и плотность разрядов молнии в землю.

По определению термина, день с грозой — это сутки, когда на метеостанции наблюдалась гроза. С внедрением инструментальных средств грозопеленгации стало возможным учитывать все молниевые разряды на обширной территории. В данной статье день с грозой — это сутки, когда на территории Мурманской области был зарегистрирован хотя бы один удар молнии в землю, например, в мае 2022 г. был отмечен единственный разряд, поэтому 16 мая 2022 г. стал днем начала грозового сезона, хотя следующая гроза произошла только 3 июня 2022 г.

Результаты расчета распределения числа грозовых дней на территории Мурманской обл. за 2022 г. представлены на рис. 3. За день с грозой принимается любой день с одним или более разрядами молнии в землю. Расчеты выполнены для ячеек земной поверхности 20×20 км, что приблизительно соответствует области наблюдения за грозовой деятельностью с помощью визуально-слухового метода на гидрометеорологических станциях и постах. На рис. 4 показаны результаты расчета плотности грозовых разрядов — число разрядов в 1 км^2 земной поверхности. Эта величина также показана для квадратных областей размером 20×20 км, поэтому для получения плотности число в ячейке необходимо разделить на 400. В отличие от предыдущей характеристики, значение плотности разрядов напрямую зависит от эффективности системы грозопеленгации. Сам факт наличия грозовых разрядов фиксируется достаточно надежно, что позволяет идентифицировать данный день как день с грозой. В то же время число зарегистрированных грозовых разрядов зависит от общей чувствительности грозопеленгационной сети, определяемой количеством датчиков, запеленговавших конкретный разряд на данной территории, а также настройками программного обеспечения сети. Таким образом, следует ожидать, что представленные на рис. 4 значения удельной плотности грозовых разрядов в несколько раз преуменьшены, но общая картина распределения плотности вряд ли сильно отличается от реальной.

Анализ аварийности по причине гроз

Как видно из анализа, грозовая активность на Кольском полуострове характеризуется крайне низкими показателями. Несмотря на то, что в 2022 г. разрядов молний в землю и грозовых дней зарегистрировано больше, чем в грозовые сезоны предыдущих пяти лет, максимальная плотность разрядов едва превысила 0,5 единицы на 1 км^2 территории в год. В России максимальная грозовая активность наблюдается в районе Черноморского побережья Кавказа и составляет примерно 7–8 единиц.

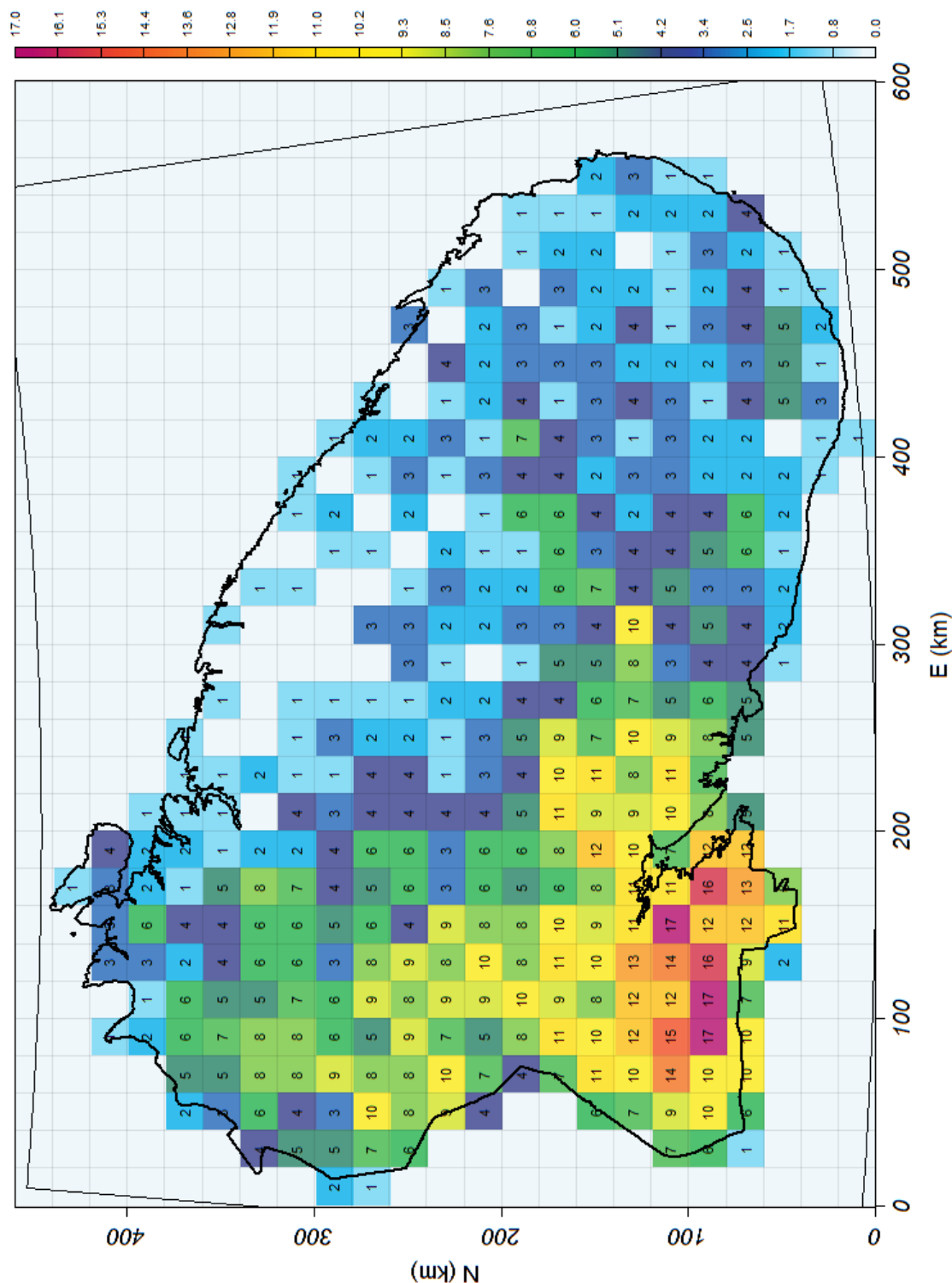


Рис. 3. Суммарное количество грозных дней в ячейке 20×20 км² в 2022 г.
Fig. 3. Total number of thunderstorm days in a 20×20 square km cell in 2022.

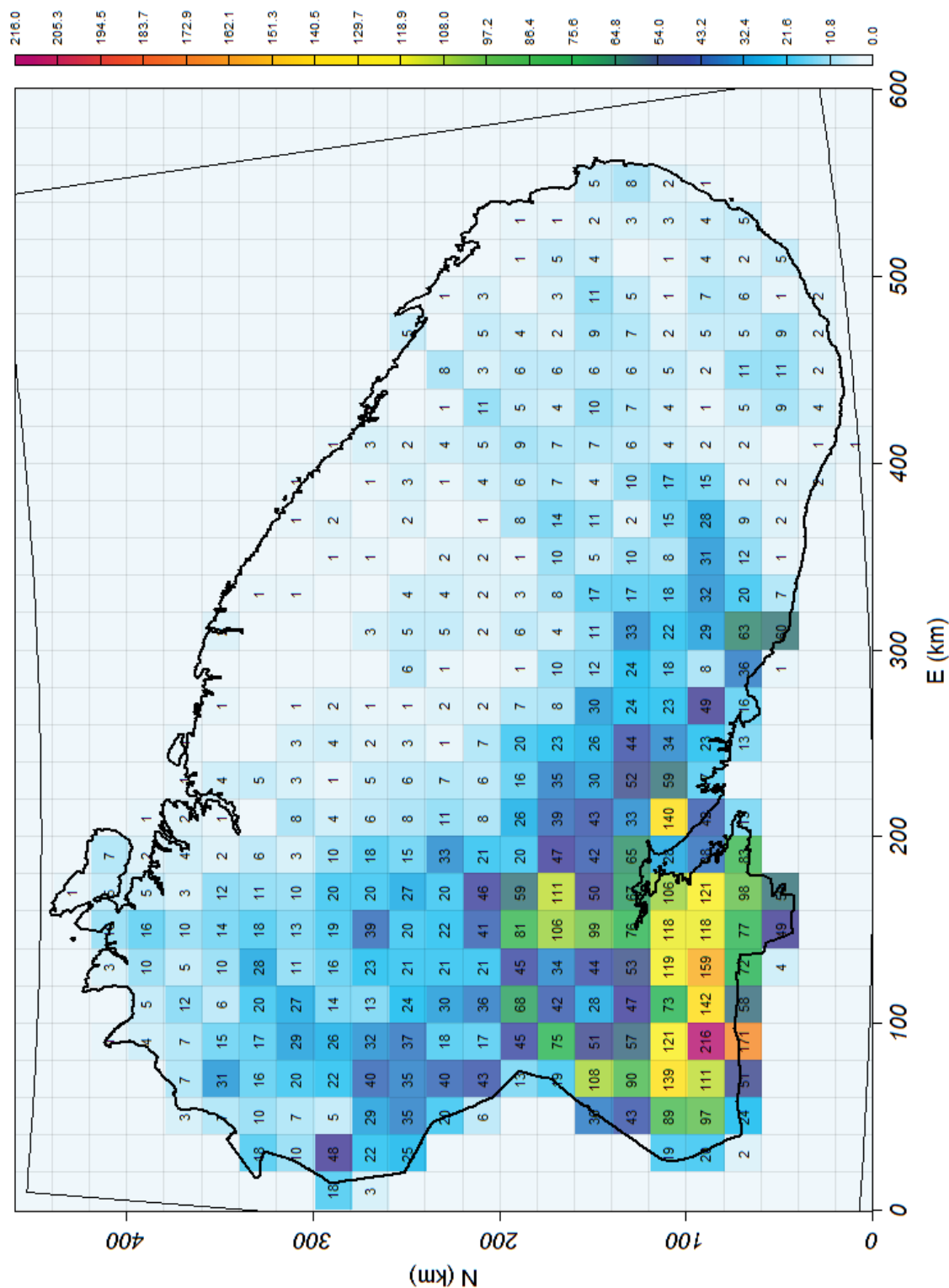


Рис. 4. Суммарное количество грозových разрядов в землю в ячейке 20×20 км² в 2022 г.
Fig. 4. The total number of lightning discharges into the ground in a 20×20 square kilometer cell in 2022.

Тем не менее, несмотря на тот факт, что грозовая активность на Кольском полуострове низкая, доля отключений линий электропередачи по причине атмосферных перенапряжений выше, чем в регионах с высокой грозовой активностью, и достигает 30 % от общего числа отключений. Причиной этого является высокое удельное сопротивление грунта. С одной стороны, это ограничивает значение тока молнии, но с другой — препятствует отводу энергии разряда в землю, что приводит к перекрытию линейной изоляции.

По информации, полученной от служб линий энергетических предприятий Мурманской области, в 2022 г. «грозовые» отключения воздушных линий электропередачи произошли 158 раз, это в три раза больше, чем в 2020 г., что подтверждает статистику по молниевой активности, полученную от сети Blitzortung. В табл. 3 представлены сравнительные данные по молниевой активности и числу отключений за период с 2013 по 2022 гг., а на рис. 5 эти же данные проиллюстрированы графиком, который демонстрирует явный периодический характер молниевой активности. Для подтверждения этого тренда и выявления параметров периодичности молниевой активности требуются более длинные ряды наблюдений.

Таблица 3

Молниевая активность и грозовые отключения ВЛ в Мурманской области в 2013–2022 гг.
Lightning activity and lightning outages in the Murmansk region in 2013–2022.

Источник	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Число разрядов по Blitzortung	1057	2006	416	8036	2555	7476	4287	1440	2944	8005
Суммарное число отключений ВЛ	50	133	9	108	26	120	76	23	50	158

В 2022 г. зафиксировано 656 событий, в результате которых в зону действия грозового разряда попали объекты классов напряжений 35–330 кВ, из них в 60 событиях в зону действия попали подстанции. В 46 случаях центр зоны действия удара молнии в землю находился на расстоянии менее 100 м от подстанции или опоры линии электропередачи.



Рис. 5. Молниевая активность и грозовые отключения ВЛ в Мурманской обл. в 2013–2022 гг.
Fig. 5. Lightning activity and lightning outages in the Murmansk region in 2013–2022

В 2023 г. планируется выполнение работ по организации молниезащиты одной из ВЛ Кольской энергосистемы. Одним из направлений использования сетей грозопеленгации является оптимизация

молниезащитных мероприятий путем анализа и выявления наиболее грозопоражаемых участков воздушных линий. Наибольшее влияние на распределение разрядов по трассе ВЛ имеют орографические факторы и удельная проводимость грунта в месте расположения опор. Разработанное нами программное обеспечение позволяет строить продольный профиль высот по трассе ВЛ [9]. На рис. 6 показан пример такого профиля для вышеупомянутой линии электропередачи класса напряжения 150 кВ, протяженностью 117,5 км и количеством опор 423 шт.

Для расчета грозопоражаемости ВЛ использован алгоритм оценки интенсивности воздействия молнии на опоры ЛЭП, который описан в работе [7]. Так как координаты грозовых разрядов вычисляются с погрешностью до 4 км, то вокруг ВЛ устанавливается заданный коридор — буферная зона и подсчитываются разряды, попавшие в эту зону. Под интенсивностью воздействия молнии на опору принимается значение, равное единице при прямом попадании в опору и уменьшающееся до нуля по мере приближения молнии к границе буферной зоны ВЛ. Для заранее заданного радиуса буферной зоны вычисляется интенсивность воздействия. На рис. 7 показано распределение интенсивности воздействия разрядов молний для заданного радиуса буферной зоны ВЛ за пятилетний период наблюдений. Как видно из сравнения рис. 6 и 7, профиль интенсивности грозовых воздействий на ВЛ в общих чертах повторяет ее продольный профиль высот.

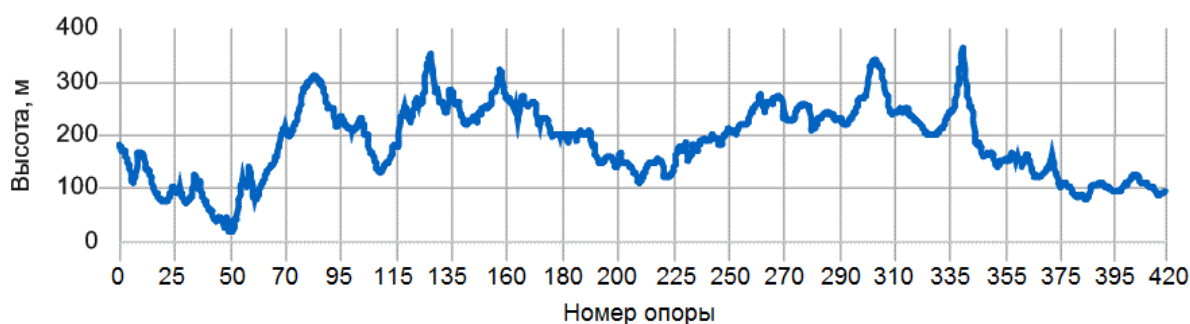


Рис. 6. Продольный профиль ВЛ

Fig. 6. Longitudinal profile of the overhead line

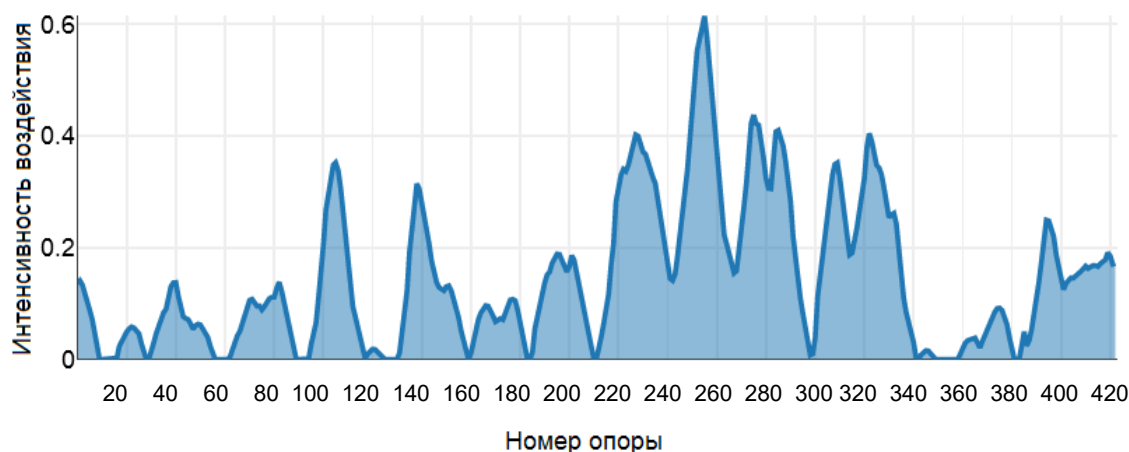


Рис. 7. Грозопоражаемость ВЛ за период с 2018 по 2022 гг.

Fig. 7. The lightning performance of overhead lines for the period from 2018 to 2022

На рис. 8 показан маршрутный план воздушной линии, где наглядно цветом выделены участки, в которые наиболее часто попадают в зону действия молний и соответствующие пикам на рис. 7. Контур вокруг ВЛ — буферная зона линии, окружности — разряды молний, попавшие в заданную буферную зону ВЛ.

Анализ интенсивности молниевой деятельности за продолжительный период времени по трассе ВЛ позволяет выявлять наиболее поражаемые участки и именно на них проводить следующие молниезащитные мероприятия:

- снижение сопротивления заземляющих устройств опор;
- установка защитных аппаратов;
- организация тросовой защиты, координация линейной изоляции двухцепных линий электропередачи.

Такая «точечная» защита ВЛ позволяет сэкономить значительные средства и сократить время выполнения работ в условиях короткого ремонтного периода, что особенно актуально в районах Крайнего Севера.

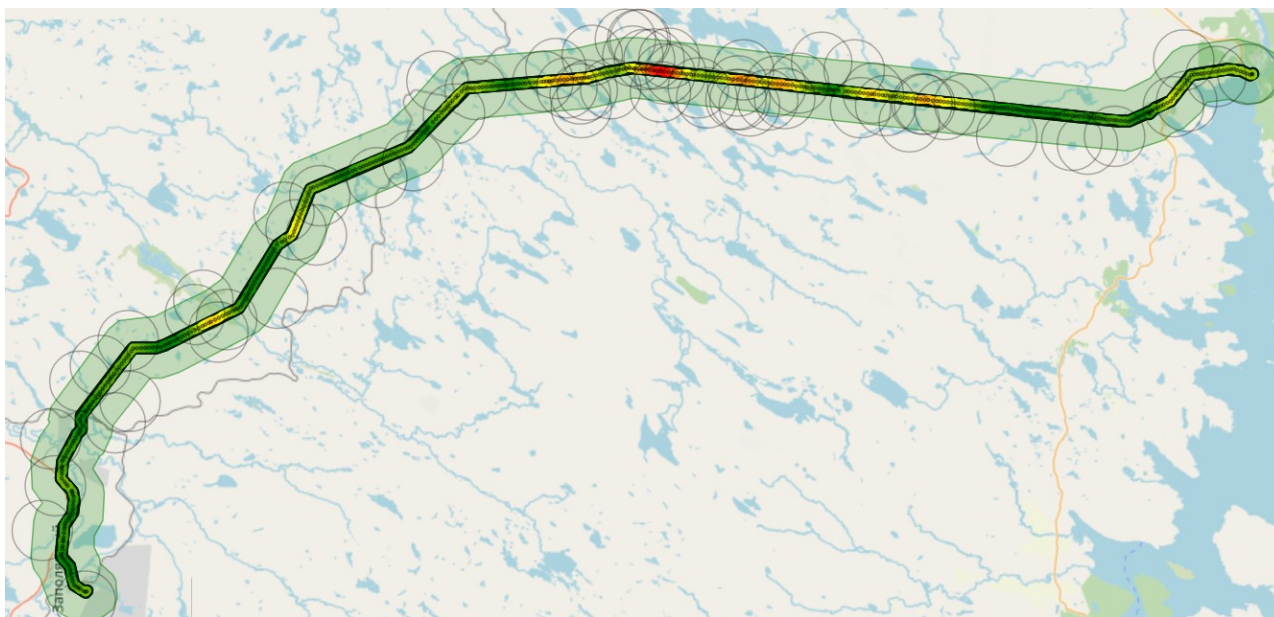


Рис. 8. Карта интенсивности молний по трассе ВЛ за период с 2018 по 2022 гг.

Fig. 8. Map of lightning intensity along the overhead line for the period from 2018 to 2022

Заключение

Развитие инструментальных систем грозопеленгации и вычислительной техники, применение современных методов анализа грозопоражаемости сосредоточенных и протяженных объектов предоставляют возможность для внедрения новых методик анализа аварийности в электрических сетях. Выявление наиболее уязвимых для молний участков воздушных линий в реальном масштабе времени позволяет оперативно находить и устранять повреждения, вызванные разрядами молний, а также оптимизировать молниезащитные мероприятия.

Список источников

1. Бурцев А. В., Невретдинов Ю. М. Анализ результатов регистраций грозовой активности на Кольском полуострове в 2013–2014 гг. // Труды Кольского научного центра РАН. 2015. Т. 6, № 6 (32). С. 34–40.
2. Анализ результатов регистрации грозовой активности на Кольском полуострове за 2014–2016 годы / А. В. Бурцев [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 8, № 8–15. С. 50–56.
3. Селиванов В. Н., Бурцев А. В., Колобов В. В. Анализ молниевой активности на Кольском полуострове в 2019–2020 гг. // Труды Кольского научного центра РАН. 2020. Т. 11, № 7 (19). С. 40–52.

4. Анализ молниевой активности в Мурманской области в 2021 году / В. Н. Селиванов [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13, № 3. С. 59–67.
5. Wanke E., Andersen R., Volgnandt T. World-Wide Low-Cost Community-Based Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network. 2016. URL: <http://www.blitzortung.org/> (дата обращения: 02.05.2023).
6. Бурцев А. В. Практическое применение метода расчета уровня воздействия молнии на воздушные линии электропередачи // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 6. С. 66–72.
7. Burtsev A. V., Selivanov V. N. Method for calculating of lightning impact level on overhead transmission line // Appl. Sci. 2021. Vol. 11, No. 14.
8. ФГБУ «Мурманское УГМС»: офиц. сайт. URL: <http://kolgimet.ru> (дата обращения: 02.05.2023).
9. Программа расчета промежуточных географических координат и построения продольного профиля протяженного объекта с заданным шагом: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619255 / Бурцев А. В., Селиванов В. Н.; заявитель и правообладатель ФИЦ КНЦ РАН. №2020618400; заявл. 27.07.2020; опубл. 13.08.2020. Бюл. № 8. 1 с.

References

1. Burcev A. V., Nevretdinov Yu. M. Analiz rezul'tatov registracij grozovoj aktivnosti na Kol'skom poluostrove v 2013–2014 gg. [Analysis of lightning activity registration results on the Kola Peninsula in 2013–2014]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kola Scientific Centre RAS], 2015, Vol. 6, No. 6 (32), pp. 34–40 (In Russ.).
2. Burcev A. V., Yaroshevich V. V., Fastij G. P., Karpov A. S. Analiz rezul'tatov registracii grozovoj aktivnosti na Kol'skom poluostrove za 2014–2016 gody [Analysis of lightning activity registration results in the Kola Peninsula in 2014–2016]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kola Scientific Centre RAS], 2017, Vol. 8, No. 8–15, pp. 50–56 (In Russ.).
3. Selivanov V. N., Burcev A. V., Kolobov V. V. Analiz molnievoj aktivnosti na Kol'skom poluostrove v 2019–2020 gg. [Analysis of lightning activity on the Kola Peninsula in 2019–2020]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of Kola Scientific Centre RAS], 2020, Vol. 11, No. 7 (19), pp. 40–52 (In Russ.).
4. Selivanov V. N., Burcev A. V., Ivonin V. V., Kolobov V. V. Analiz molnievoj aktivnosti v Murmanskoj oblasti v 2021 godu [Analysis of Lightning Activity in the Murmansk Oblast in 2021]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Transactions of Kola Scientific Centre RAS. Series: Engineering Sciences], 2022, Vol. 13, No. 3. pp. 59–67 (In Russ.).
5. Wanke E., Andersen R., Volgnandt T. World-Wide Low-Cost Community-Based Time-of-Arrival Lightning Detection and Lightning Location Network, 2016. Available at: <http://www.blitzortung.org> (accessed 02.05.2023).
6. Burcev A. V. Prakticheskoe primenenie metoda rascheta urovnya vozdejstviya molnii na vozdushnye linii elektropredachi [Practical Application of the Method for Calculation of Lightning Impact Level on Overhead Power Lines]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences], 2023, Vol. 14, No. 6, pp. 66–72 (In Russ.).
7. Burtsev A. V., Selivanov V. N. Method for calculating of lightning impact level on overhead transmission line. *Applied Sciences*, 2021, Vol. 11, No. 14.
8. FGBU Murmanskoe UGMS [Federal State Budgetary Institution “Murmansk Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring”]. Available at: <http://kolgimet.ru/> (accessed 02.05.2023). (In Russ.).
9. Burcev A. V., Selivanov V. N. *Programma rascheta promezhutochnyh geograficheskikh koordinat i postroeniya prodol'nogo profilya protyazhennogo ob'ekta s zadannym shagom. Svidetel'stvo*

o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM No. 2020619255 [Program for Estimation of Intermediate Geographical Coordinates and Construction of Longitudinal Profile of an Extended Object with a Set Step. Certificate of state registration of computer program No. 2020619255], No. 2020618400, zayavl. 27.07.2020; opubl. 13.08.2020, Byul. No. 8, 1 p. (In Russ.).

Информация об авторах

В. Н. Селиванов — кандидат технических наук, директор;
А. В. Бурцев — научный сотрудник;
А. Н. Кизенков — начальник службы воздушных линий электропередачи;
А. А. Сулоев — начальник службы воздушных линий электропередачи.

Information about the authors

V. N. Selivanov — PhD (Engineering), Director;
A. V. Burtsev — Researcher;
A. N. Kizenkov — Chief of Overhead Power Line Service;
A. A. Suloev — Chief of Overhead Power Line Service.

Статья поступила в редакцию 25.04.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 29.05.2023.
The article was submitted 25.04.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 29.05.2023.