

## **Динамика локальной грозовой активности на примере территории Хангаласского района в центральной Якутии**

Тарабукина Л.Д., Козлов В.И.

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю. Г. Шафера, г. Якутск

*E-mail: ivanov@yandex.ru*

*Представлена оценка динамики грозовой активности за 2009–2023 гг. по имеющимся архивам радиотехнических наблюдений, метеорологических данных и реанализу. Проведен предварительный анализ вариаций метеопараметров, характеризующих неустойчивое конвективное состояние атмосферы. По данным мировой сети грозопеленгации вариации средней годовой плотности грозových разрядов (скорректированной за каждый час на коэффициент относительной эффективности детектирования сети), а также количества часов с грозой на территории 60,5–62 С, 124,4–130,3 В с 2009 по 2023 гг. демонстрировали положительную тенденцию с максимумом в 2022 г. преимущественно в юго-западной части района, что согласуется с наблюдениями на метеостанции в с. Исит ([URL: rp5.ru](http://rp5.ru)). При этом длительность грозового сезона росла с 2005 г по 2023 г. за счет смещения дат последних гроз к концу августа. В северо-восточной части района тенденции параметров не наблюдались и по инструментальным данным, и по аудиовизуальным наблюдениям (г. Покровск).*

*Ключевые слова:* гроза, грозовой разряд, грозопеленгационная система, WWLLN, Хангаласский улус.

Грозовая активность – неблагоприятное явление погоды, при котором могут наблюдаться молниевые разряды, опасные для технической сферы и наземных объектов, ливни, град, шквал и т.п. Такие явления представляют собой экономические риски и могут нести угрозу жизни. Гроза характеризуется интенсивной конвекцией в неустойчивой атмосфере. Прогнозирование грозовой активности является сложной климатической задачей, где играет большую роль фактическая информация о грозových событиях, то есть база многолетних инструментальных наблюдений. Для уточнения моделей и методов важным вопросом остается взаимосвязь грозовой активности с синоптическими процессами в пределах отдельных регионов. Как было показано в [1], макроциркуляционные атмосферные процессы проходят длительными эпохами. Поэтому в целях установления наиболее полной связи процессов необходимо актуализировать решение проблемы в современный период. В последнее десятилетие наблюдаются положительные тенденции в вариациях уровня грозовой активности в северных регионах и повышение частоты возникновения гроз за полярным кругом [2-3]. Таким образом, цель данной работы была определена в изучении динамики локальной грозовой активности в центральной Якутии на примере Хангаласского района (улуса).

В работе использованы сведения о наблюдениях гроз на станциях Якутского УГМС, неverified и опубликованные на сайте [rp5.ru](http://rp5.ru) за 2005–2023 гг. [4]. На рассматриваемой площади Хангаласского района располагаются два наблюдательных пункта: в с. Исит (~60°48' с.ш. 125°19', 270 км до г. Якутска) и г. Покровске (~61°29' с. ш. 129°09' в. д., 70 км до г. Якутска). Для предварительного описания барических образований и общей картины циркуляции приземной атмосферы привлекался реанализ ERA5 (приземная температура на уровне 2 м и скорость ветра на разных уровнях геопотенциала) с разрешением 0,1 градуса.

Инструментальные данные радиоимпульсов грозových разрядов были получены с помощью мировой грозопеленгационной сети World Wide Lightning Location Network (WWLLN), в которую ИКФИА СО РАН вошел в 2009 г., установив один датчик сети в г. Якутске. Работа системы основана на приеме дальних (более 2 тыс. км) радиосигналов от

молний и анализе разностей времени прихода волновых пакетов в очень низкочастотном (ОНЧ) диапазоне частот (6–22 кГц) до, как минимум, 5 станций [5]. Система детектирует оба типа молний – «облако-облако» (в среднем частота возникновения этого типа в 3–10 раз выше по сравнению со следующим типом) и «облако-земля», однако из-за ОНЧ диапазона приемного тракта в основном регистрируются более мощные импульсы грозовых разрядов типа «облако-земля». В 2010–2012 гг. абсолютная эффективность детектирования молний сети оценивалась около 11–15%, при этом эффективность повышалась для более сильноточных молний, например, с током более 40 кА – около 25% [6-7]. Количество датчиков возросло с 11 в 2004 г. до 70 датчиков в 2017 г. Инструментальные данные с 2009 по 2023 гг. соответствовали показаниям на метеостанциях, кроме случаев в зимний период.

Грозовая активность по данным метеонаблюдений сильно отличается между двумя пунктами. Число дней с грозой за год в г. Покровске, который находится ближе к центральной части Якутии, варьировало около от 9 дней (мода – 4 года из 19 лет) с размахом от 2 дней в 2007 г. до 14 дней в 2006 г. (рис. 1а).

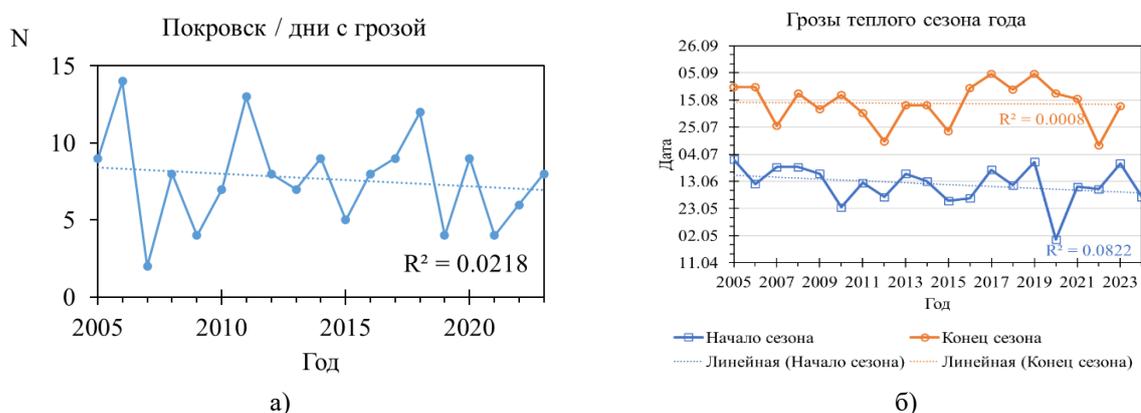


Рисунок 1. Годовое число дней с грозой в г. Покровске (а), начало и завершение грозового сезона (б) [4]

Начало сезона грозовой активности приходилось в среднем на первую декаду июня, и лишь в 2020 г. – на конец апреля (рис. 1б). Сезон завершался в среднем в середине августа, реже в начале сентября. Грозы около г. Покровска чаще происходили в июле, частота гроз в июне на 26% ниже, чем в июле. Среднесуточный ход представляет стандартную картину с повышением частоты гроз около 15ч и максимумом в вечернее время. Частота послеполуденных гроз в процентном соотношении несколько снижается относительно частоты ночных гроз (рис. 2а).

В с. Исите наблюдается положительный (0,47 число дней/год,  $R^2=0.44$ ) тренд числа дней с грозой за период 2005–2023 гг. с максимум в 19 дней в 2022 г. (рис. 3а). По 3 года соответствуют частотам в 7 и 10 дней с грозой в году. Сравнительно равнозначны частоты возникновения гроз в июне и июле, частота в августе понижалась на 44% по сравнению с июнем. Начало сезона приходится на первую-вторую декаду июня с минимумом 2 июня 2006 г. (рис. 3б), что сравнительно поздно для юго-западных районов Якутии, когда теплые воздушные массы затекают с юго-западной области в мае и даже ранней весной [8, 9], даже по сравнению с началом грозового сезона вокруг г. Покровска. Завершение сезона гроз

около с. Исита имеет тенденцию (1,75 день/год,  $R^2=0,4$ ) к смещению даты на первую неделю сентября к 2015–2020 гг. от конца июля или начала августа в 2005–2010 гг.

Интересно отметить, зимние грозы [4] в с. Исите 21 января 2016 г. и в г. Покровске 1 января 2006 г. и 11 февраля 2014 г., которые не подтвердились радиотехническими измерениями с помощью грозопеленгационных систем.

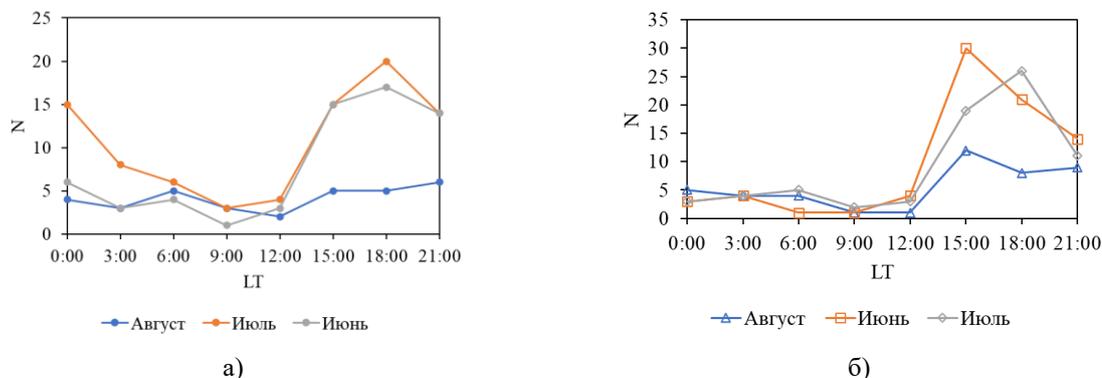


Рисунок 2. Интегральный суточный ход за 2005–2023 гг. в: а) г. Покровске; б) с. Исите [4]

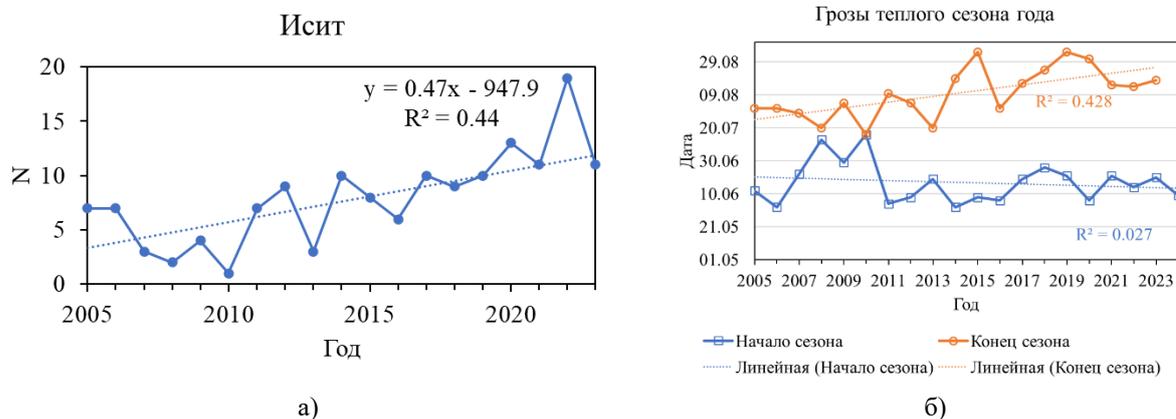


Рисунок 3. Годовое число дней с грозой в с. Исите (а), начало и завершение грозового сезона (б) [4]

Среднесуточный ход в с. Исите по метеонаблюдениям в июне смещен на послеполуденные часы более, нежели на вечерние (рис. 2б). Суточный ход в июле имеет общепринятый вид. В августе частота ночных гроз становилась сравнима с вечерним максимумом.

Данные грозопеленгационных систем ограничивались на условную территорию  $60,53\text{--}62,02^\circ$  с.ш.,  $124,43\text{--}130,32^\circ$  в.д., покрывающую Хангаласский район. Среднее суммарное за год количество зарегистрированных грозовых разрядов по всей площади до 2016 г. в 2,6 раза ниже по сравнению со средним значением за 2017–2023 гг. (рис. 4а).

Сезонный ход числа импульса в рассматриваемый период представлял картину, характерную и для остальной территории Якутии: 1–3 пиков за сезон и резкий минимум (длительностью неделя и более) после пика. Плотность грозовых разрядов отмечалась в среднем выше в окрестности и западнее р. Синяя (около  $126,5$  в.д.,  $61,3$  с.ш.) до с. Исит (рис. 4б) и интенсивные грозы в этой местности отмечались в 2017, 2018, 2019, 2022 гг. Треки интенсивных гроз на местности показывали относительно стабильную повторяемость в указанные годы, что и дало вклад в область повышенной плотности грозовых разрядов на западе, юго-западе Хангаласского района (рис. 5б).

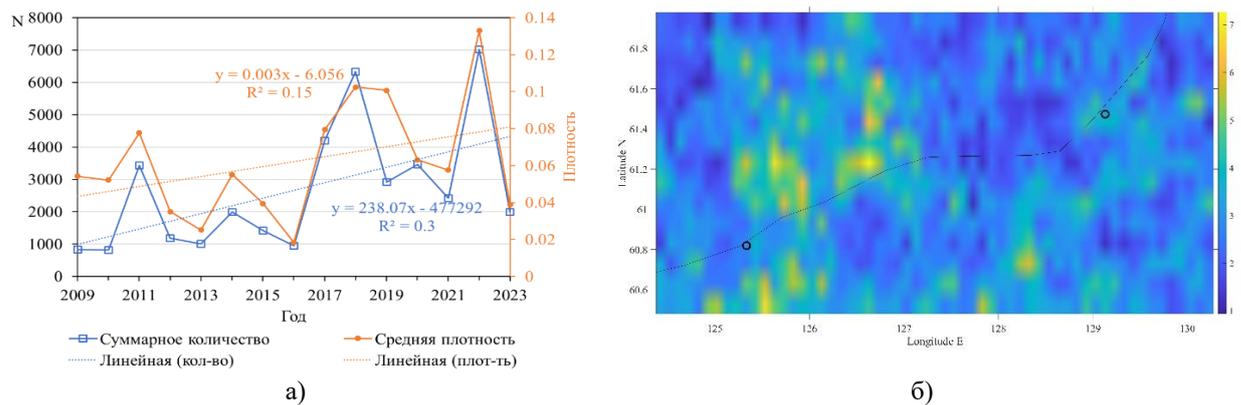


Рисунок 4. а) Суммарное количество и средняя плотность грозовых разрядов за год, б) среднее за 2009–2024 гг. количество зарегистрированных импульсов с разрешением 0,1 градус по данным WWLLN для условных границ; круглый маркер – г. Покровск, с. Исит.

Таким образом значимый положительный тренд годовых значений за 2009–2023 гг. наблюдался в окрестности с. Исит, а также с севера г. Покровска (рис. 5а). Области повышенной плотности грозовых разрядов, в основном, соответствуют орографическим особенностям местности (рис. 5б), в частности градиенту высот.

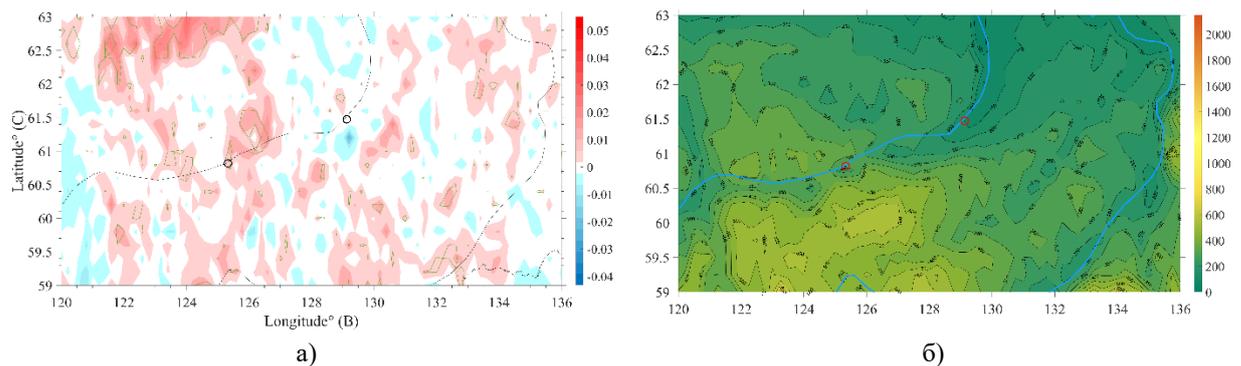


Рисунок 5. а) Тренд в плотности грозовых разрядов в центральной Якутии с разрешением 0,2 градуса по данным WWLLN (зеленой линией отмечены области, где  $p < 0,05$ ); б) модель рельефа с разрешением 0,25 градуса [10]. Круглый маркер – г. Покровск, с. Исит.

По данным реанализа ERA5 усредненные по выделенной области месячные значения приземной температуры на высоте 2 м коррелируют с вариациями годового суммарного по территории количества грозовых разрядов выше (~0,4) в июле, когда чаще наблюдаются наиболее интенсивные грозы (рис. 6). Значения приземной температуры в июле определяли наибольший вклад в среднее значение за летние месяцы, при этом средние за лето значения температуры хуже коррелировали с грозовой активностью (0,3) по сравнению с июлем. Линейный тренд приземной температуры, рассчитанный робастным методом наименьшего абсолютного остатка (least absolute residual) на сетке с разрешением 0,1°, принимал положительные значения в западной части района до 126° в.д. (рис. 6в), что соответствовало положительному тренду в плотности грозовых разрядов (рис. 5а).

В среднем летние значения количества осадков были выше (в ~1,5 раза) к северо-западу выделенного района с четким разделением вдоль р. Лены. На пространственное

распределение осадков отмечается орографическое влияние. В среднем количество осадков отрицательно коррелировало с приземной температурой летом (-0,43).

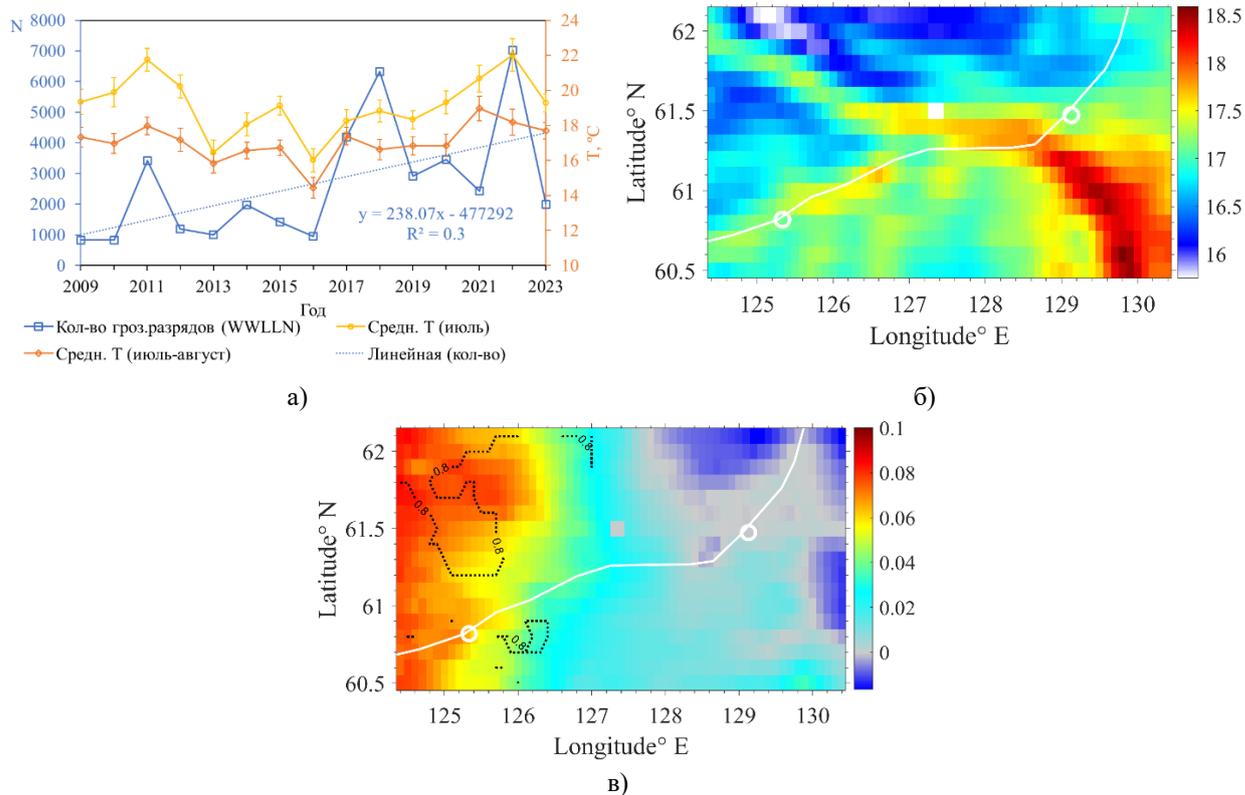


Рисунок 6. а) Скорректированное суммарное количество грозовых разрядов за год в выделенной области по данным WWLLN и средние значения приземной температуры за летние месяцы и в июле; б) средние значения приземной температуры (2 м) за летние месяцы (круглый маркер – г. Покровск, с. Исит, белая линия – р. Лена); в) линейный тренд средних значений летней приземной температуры, штриховая линия – коэффициент детерминации выше 0,8.

В рассматриваемом районе в среднем наблюдался западный перенос воздуха (рис. 7а), в среднем летом доминировала положительная зональная компонента ветра на уровне 500 гПа. Некоторый средний градиент компоненты в 1 м/с на 2 геогр. градуса каждый год чаще отмечался вдоль р. Лены, и только 3 летних сезона перпендикулярно течению р. Лены.

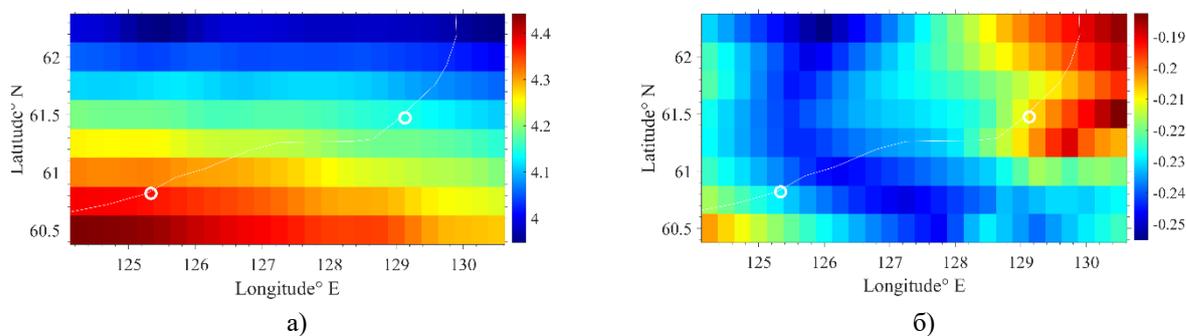


Рисунок 7. а) Средние летние значения, б) линейный тренд усредненных месячных значений скорости зональной компоненты ветра на уровне 500 гПа (положительные значения – направление с запада на восток). Круглый маркер – г. Покровск, с. Исит, белая линия – р. Лена.

В меридиональной компоненте ветра на уровне 500 гПа в среднем отмечается, что в среднем некоторый градиент в основном имел долготное распределение, и только 3 летних сезона отмечался вдоль р. Лены за период 2009-2023 гг. Не наблюдается преобладание какого-либо направления, как в зональной компоненте, однако в большинстве летних сезонов в меридиональной компоненте ветра наблюдался переход через нулевое значение в пространстве между метеостанциями в окрестности р. Синей: скорее всего граница между барическими образованиями часто располагалась над рассматриваемой областью. Такое положение границы соответствовало наблюдаемому пространственному распределению повышенной грозовой активности. В среднем заток теплых воздушных масс с юго-западного направления производил повышение грозовой активности в юго-западной части района соответственно орографическим особенностям территории.

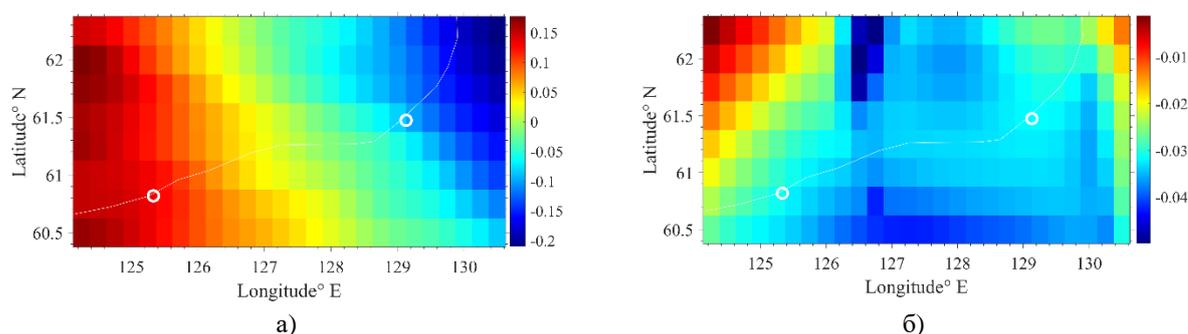


Рисунок 8. а) Средние летние значения, б) линейный тренд усредненных месячных значений скорости меридиональной компоненты ветра на уровне 500 гПа. (положительные значения – направление с юга на север). Круглый маркер – г. Покровск, с. Исит, белая линия – р. Лена.

*Исследование выполнено в рамках гранта ВОО «Русское географическое общество» №17/2024-Р «Молодёжная научная школа «Изменения климата и современные методы исследования». Использование инструментальной базы и данных – в рамках государственного задания (номер госрегистрации № 122011700182-1).*

## Литература:

1. Кононова, Н. К. Изменения циркуляции атмосферы Северного полушария в XX-XXI столетиях и их последствия для климата / Н.К. Кононова // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2015. – Т. 1. – №. 1. – С. 133-162.
2. Holzworth R.H., Brundell J.B., McCarthy M.P., Jacobson A.R., Rodger C.J., Anderson T.S. Lightning in the Arctic // *Geophysical Research Letters*. – 2021. – V. 48, №. 7. – P. e2020GL091366.
3. Popykina, A., Ilin, N., Shatalina, M., Price, C., Sarafanov, F., Terentev, A., & Kurkin, A. Thunderstorms near the North Pole // *Atmosphere*. 2024. V. 15(3). P. 310.
4. Расписание Погоды. URL: <http://rp5.ru> (Дата обращения: 7.07.2024)
5. Dowden, R.L. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites / R.L. Dowden, J.B. Brundell, C.J. Rodger // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. – 2002. – V. 64, № 7 – P. 817-830.

6. Abarca, S.F. An evaluation of the Worldwide Lightning Location Network (WWLLN) using the National Lightning Detection Network (NLDN) as ground truth / S.F. Abarca, K.L. Corbosiero, T.J. Galarneau Jr. // *Journal of Geophysical Research*. – 2010. – V. 15. – D18206.
7. Connaughton, V. Associations between Fermi Gamma-ray Burst Monitor terrestrial gamma ray flashes and sferics from the World Wide Lightning Location Network / V. Connaughton, M.S. Briggs, R.H. Holzworth, M.L. Hutchins, G.J. Fishman, C.A. Wilson-Hodge, V.L. Chaplin, P.N. Bhat, J. Greiner, A. von Kienlin, R.M. Kippen, C.A. Meegan, W.S. Paciasas, R.D. Preece, E. Cramer, J.R. Dwyer, D.M. Smith // *Journal of Geophysical Research*. – 2010. – V. 115. – A12307.
8. Козлов, В.И. Грозовая активность в Якутии / В.И. Козлов, В.А. Муллаяров. – ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. – 103 с.
9. Tarabukina L., Kozlov V. Seasonal variability of lightning activity in Yakutia in 2009–2019 // *Atmosphere*. – 2020. – V. 11, Iss. 9. – P. 918.
10. Amante C. ETOPO1 1 arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis / C. Amante, B.W. Eakins // NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. – Boulder: National Geophysical Data Center, NOAA, 2009. – V. 10. – P. V5C8276M.