

В.П. Горбатенко

Структура временных рядов числа дней с грозой

НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете

Поступила в редакцию 12.10.2000 г.

Представлены результаты статистического анализа временных рядов грозовой активности на территориях Западной Сибири, Казахстана, Германии за период с 1936 по 1995 г. Для выявления периодических составляющих в метеорологических рядах использованы данные визуальных наблюдений, представленные гидрометслужбой. Периодические изменения (циклы) в рядах грозовой активности обнаружены над каждой из исследуемых территорий. Выявлены долгопериодные циклы (продолжительностью 18 лет и более), среднепериодные (7–10 лет) и циклы короткого периода (от 2 до 6 лет).

Грозовая активность, наблюдаемая визуально на метеорологических станциях, характеризуется числом дней с грозой и суммарной продолжительностью гроз в году. Методика регистрации грозы как явления в период с 1912 г. по настоящее время не претерпела существенных изменений, хотя с 1966 г. грозы не подразделяются на близкие и отдаленные. Необходимо отметить, что в ряде пунктов ЕТР, в Восточной Сибири, в некоторых районах Западной Сибири и Казахстана проводились и инструментальные наблюдения над грозами, однако надежные данные о результатах непосредственного определения плотности разрядов молнии в землю пока не получены, поскольку наблюдения эти не были продолжительными. Следовательно, при решении задач мониторинга грозовой активности как элемента глобальной электрической цепи в атмосфере анализ многолетних данных визуальных наблюдений над грозами не имеет альтернативы.

Периодические изменения во временном ходе метеорологических величин подтверждены множеством исследований природных явлений, не является исключением и грозовая деятельность. В то же время структура многолетних колебаний таких метеорологических элементов, как температура воздуха, атмосферные осадки, атмосферная циркуляция, изучена весьма детально и используется в практике долгосрочного прогнозирования, чего нельзя сказать о грозовой активности. Временные ряды характеристик грозовой активности характеризуются сложной статистической структурой. Из основных работ по структуре временных рядов можно выделить работы З.П. Клейменовой [1], Г.П. Павловой [2], в которых временная изменчивость числа дней с грозой исследуется в связи с 11-летним циклом солнечной активности. Разнообразие выявленных ранее периодов во временных рядах грозовой активности и применяемых для ее выявления методов не позволяет сделать однозначные выводы о наличии или отсутствии в метеорологических рядах грозовой активности одинаковой цикличности над различными географическими районами.

В результате сравнения экспериментов, проведенных для различных территорий [1–5], можно сделать вывод, что над разными территориями наблюдаются циклы различной периодичности. Более того, циклы одинакового периода наблюдаются в рядах далеко не всех станций, расположенных в пределах даже территории мезомасштаба (в радиусе около 100 км) [6]. На территории одной области

или района в рядах наблюдений над грозами могут наблюдаться периоды с различной амплитудой. Наличие корреляционной связи временного хода грозовой и солнечной активности наблюдается также не для всех территорий. Для того чтобы понять причину таких различий, необходимы детальные исследования временных изменений грозовой деятельности на плотной сети станций, расположенных в различных физико-географических условиях.

В данной статье рассмотрена статистическая структура временных рядов числа дней с грозой на территориях, различных по своему географическому положению и физико-географическим условиям, выявлены общие закономерности, которые можно связывать с космическими факторами, и местные особенности, обусловленные циркуляцией атмосферы либо какими-то другими факторами.

Рассматриваемые здесь исследования выполнены для территорий юго-востока Западной Сибири (Томская область и прилегающие к ней территории), северной, центральной, южной и восточной частей Казахстана (10 областей) и южной части Германии. При исследовании временных изменений характеристик грозовой деятельности над Западной Сибирью были использованы данные 17 метеостанций за 1936–1995 гг. и 23 метеостанций за 1966–1995 гг. На территории южной части Германии анализировались высококачественные данные 41 штатной метеостанции за период 1951–1997 гг., предоставленные немецкой службой погоды. На территории Казахстана были использованы данные 74 станций (17 станций Северного, 22 – Центрального, 15 – Восточного, 20 – Южного Казахстана) за 1936–1985 гг.

Для выявления периодической составляющей в рядах многолетних колебаний числа дней с грозой применялись прикладные методы корреляционной теории стационарных случайных процессов. Нами была проведена проверка гипотезы о стационарности реализации анализируемого процесса с помощью критерия инверсий [7]. После устранения нестационарности для обнаружения периодических колебаний в исследуемых временных рядах были рассчитаны оценки автокорреляционной и спектральной функций [8].

В случае оценивания спектральных плотностей на исследуемых территориях мы располагаем совокупностью независимых реализаций процесса (ряды числа дней с грозой на каждой из метеостанций, при вычитенном среднем и удаленном тренде), полученных в сравнительно одинаковых условиях, поскольку синоптические процессы, обу-

словливающие грозовую активность внутри каждой из рассматриваемых территорий, одинаковы. В этом случае, рассматривая значения всех реализаций в одни и те же моменты времени, можно получить независимую выборку случайных величин и, следовательно, состоятельную и асимптотически несмещенную оценку [9] для спектральной плотности. Нормированная стандартная ошибка оценивания спектральных плотностей для каждой из территорий была рассчитана по формуле, приведенной в [10], и составила 23% – Западная Сибирь, 15% – Германия, 12% – Казахстан.

Ряды каждой из станций при необходимости были приведены к стационарному виду, а также было вычтено среднее из значений ряда. В качестве спектрального окна использовалось окно Хемминга. Периодограммы (и их доверительные интервалы при $\alpha = 0,05$) годового числа дней с грозой для исследованных территорий представлены на рис. 1, где показаны пики периодограммы, которые для Томской области приходятся на 2,9; 3,4; 4,9; 8,8; 22 года (рис. 1, а). Следовательно, наименьший из наблюдаемых циклов грозовой активности для Томской области составляет 3 года, вероятны также 5-, 10-летние и цикл около 18 лет. Для территории южной части Германии (рис. 1, б) пики периодограммы соответствуют 3,8; 4,6; 5,8; 9,2; 23 годам. Следовательно, наименьший из циклов составляет 4–5 лет, вероятна также 6- и 9-летняя периодичность и цикл около 22–23 лет. Для территории Казахстана (рис. 1, в) наименьший из наблюдаемых циклов грозовой активности также составляет около 3 лет, возможны 4-, 5-летние циклы, а также 8- и 17-летний цикл.

Прежде чем приступить к обсуждению полученных нами результатов, необходимо остановиться на краткой характеристике циклов, обнаруженных во временном ходе большинства метеорологических процессов.

Квазидвухлетние вариации обнаруживаются во временном ходе практически всех метеозлементов. Цикл этот и его возможные причины являются предметом широкого обсуждения [11], хотя в статистике он относится к «красному шуму», поскольку характерен для случайных процессов.

Одним из самых мощных циклов в гидрометеорологических процессах считается 5–6-летний цикл, который связывают с солнечной активностью (с половиной 11-летнего цикла) [12].

Циклы длительностью 10–12 лет также обнаружены в режиме многих атмосферных процессов и явлений: температуры воздуха, осадков, давлении воздуха, циркуляционных характеристик. Практически не подлежит сомнению, что это – результат проявления в земных процессах общеизвестного 11-летнего цикла солнечной активности. Однако отметим, что цикл этот чаще всего уступает по амплитуде как 5–6-летнему, так и 22–23-летним [11]. Кроме того, существуют районы, где этот цикл не обнаруживается вообще.

22-летний цикл солнечной активности проявляется в знаке полярности магнитных полей солнечных пятен и обнаружен в рядах температуры воздуха [13], форм атмосферной циркуляции [14], давления [15]. По мнению авторов [12], смена магнитной полярности на Солнце оказывается более существенным фактором, чем просто уровень запятненности Солнца.

Циклические колебания климата продолжительностью 30–35 лет установлены рядом исследований [16], но на них, как и на структуре вековых и сверхвековых циклов, останавливаться не будем, поскольку на основе располагаемых нами рядов чисел дней с грозой выявить их все равно не удастся.

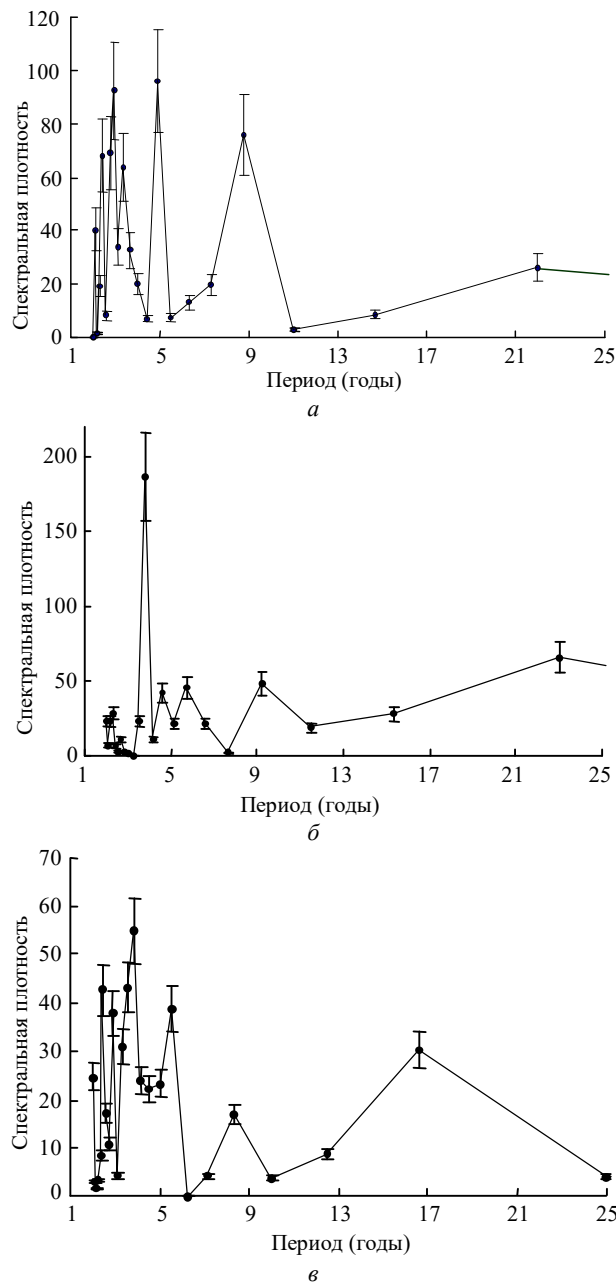


Рис. 1. Периодограммы годового числа дней с грозой для юга Западной Сибири (а), юга Германии (б), Казахстана (в)

Необходимо отметить, что хотя 11- и 5–6-летний циклы в рядах грозовой деятельности также связывают с циклами солнечной активности [1–5], а о возможной природе других циклов, чаще всего, просто умалчивается, вопрос о влиянии солнечной активности на процессы, происходящие в атмосфере, остается открытым.

Анализируя периодограммы, представленные на рис. 1, заметим, что на исследуемых нами территориях присутствует набор циклическостей различного периода. Общим для всех территорий является среднепериодный цикл – 9 лет (для Германии – 8 лет), долгопериодный цикл для Казахстана не превышает 19 лет, в то время как для двух других территорий он составляет 22–23 года. Наибольшие различия наблюдаются в короткопериодных

циклах: на территории Казахстана обнаруживаются циклы, схожие с наблюдаемыми над Западной Сибирью (5 лет) и над территорией Германии (4 года). По амплитуде значений спектральной плотности 3–4-летний цикл на всех территориях выражен наиболее ярко и обусловлен, скорее всего, наличием циклической составляющей в повторяемости синоптических процессов, обуславливающих грозы. Анализ многолетних рядов числа дней с грозой для станций Восточной Сибири [4, 5], выполненный аналогичными методами, позволил выявить наличие 5- и 11-летних циклов.

Следовательно, 5–6-летний цикл, который связывают с половиной 11-летнего цикла солнечной активности, характерен для метеорологических рядов грозовой активности над территориями Западной и Восточной Сибири и некоторых частей Казахстана. Над территорией Германии он составляет 4 года. В рядах грозовой активности над территорией Казахстана 22-летний цикл солнечной активности не проявляется. Для территории Казахстана характерны циклы с продолжительностью, кратной 4 годам.

Наряду с разнообразием проявления форм циклической активности существует большое количество методов ее исследования. Поскольку анализируемые нами ряды грозовой активности не особенно велики, для подтверждения существования обнаруженных нами циклов необходимо воспользоваться и другими методами исследования метеорологических рядов по обнаружению в них циклической активности. Поэтому наличие циклической активности в рядах числа дней с грозой на каждой из станций выявлялось с помощью расчета оценок автокорреляционной функции, которая, как известно, является функцией временного сдвига (значения оценки автокорреляционной функции представляют собой коэффициенты корреляции для членов временного ряда, разделенных промежутком времени). Для 47 значений (45 степеней свободы) наибольшее значение эмпирического коэффициента корреляции составило 0,28, при 50 значениях – 0,27 и т.д.

Сравнение периодов циклической активности в рядах чисел дней с грозой, регистрируемых над различными территориями

Территория исследований	Период (число лет)							
	2–3	3–4	5–7	8–9	10–13	14–17	18–22	
Красноярский край [4,5]	3	4	–	–	11	–	–	
Прибайкалье [4, 5]	3	4	–	–	11	–	–	
Якутия [5]	–	–	5	8	–	–	–	
Байкал [5]	–	–	5	8	–	–	–	
Западная Сибирь	–	3	5	–	10	–	19	
Северный Казахстан	2	–	–	9	–	–	18	
Центральный Казахстан	–	4	6	–	11	17	–	
Южный Казахстан	–	4	7	–	10	16	–	
Восточный Казахстан	–	–	–	8	–	15	–	
Южная часть Германии	–	4	6	9	–	–	22	

В таблице приведены периоды различной продолжительности во временных рядах числа дней с грозой, наблюдаемых над различными территориями. В таблицу включены как результаты наших исследований, так и литературные данные [4, 5], но только те, что получены на основе одинаковых с используемыми в данной работе методами выявления циклической активности. Кроме того, временные ряды станций исследуются не для территории всего Казахстана, а отдельно, для каждой из его частей, поскольку территория очень большая и синоптические процессы, обуславливающие грозы, различны. Анализируя

данные, представленные в таблице, можно заметить, что короткопериодные циклы в рядах чисел дней с грозой присущи практически всем территориям. Набор циклов с различной периодичностью для территории Европы ближе всего сопоставим с набором для Сибири. Самые существенные отличия наблюдаются в отношении средне- и долгопериодных циклов.

Необходимо отметить, что при этом на любой из территорий методом автокорреляционной функции установлено наличие других периодов циклической активности, в отличие от тех, что приведены в таблице. Например, в рядах пяти станций, расположенных на юге Западной Сибири, длительностью 60 и более лет и девяти станций Казахстана длительностью 40–46 лет циклическую активность выявить не удалось. Несмотря на заметное различие в результатах исследования, можно выявить основные закономерности. Циклической активности малого периода от 2 до 7 лет отмечены в рядах более чем половины станций каждой из исследуемых территорий (60% Томская область, 45% Германия и 70% Казахстан). Циклической продолжительностью 9–13 лет обнаруживают 35% станций Западной Сибири, 53 – Северного Казахстана, 30 – Центрального, 40 – Южного, 50 – Восточного Казахстана и 40% станций южной Германии. Циклы продолжительностью 20–25 лет выявлены в метеорологических рядах чисел дней с грозой 60% станций Западной Сибири, 70% станций Германии и 20% станций Северного Казахстана. В то же время 65% станций обнаруживают циклы продолжительностью 16–18 лет. Относительно локализации циклической активности одного и того же периода можно отметить, что из всей территории Казахстана наиболее сильно выделяется Кызыл-Ординская область: обнаруживаются циклы с периодом 4 года и 16 лет. В рядах станций Восточного Казахстана нет циклов короткого периода.

Метеостанции, в рядах грозовой активности которых наличие циклической активности обнаружить не удалось, преимущественно, в южной и восточной частях Казахстана. Выявить локализацию циклической активности одного и того же периода на территориях Западной Сибири и Германии не удалось. Станции с различным набором циклической активности могут располагаться недалеко друг от друга. Считать полученный результат издержками визуального метода наблюдений над грозами нельзя, поскольку все сомнительные данные из анализа исключались. Различные возможности для реализации грозовой ситуации чаще всего обеспечивают особенности подстилающей поверхности, причем не только орография, но и неравномерность температурно-влажностного состояния подстилающей поверхности [17]. Вероятно, в этом следует искать причину наличия циклов разного периода на соседних метеостанциях.

Проведенные исследования позволяют предполагать, что если циклы солнечной активности оказывают влияние на грозовую активность, то не непосредственно (или не везде непосредственно?), а трансформированно, через циркуляционные или какие-то иные процессы.

Итак, над территориями исследования можно выделить циклы короткого, среднего и длинного периодов, хотя продолжительности этих периодов над различными территориями не совпадают.

По амплитуде значений спектральной плотности на всех территориях наиболее ярко выражен 3–4-летний цикл, который обусловлен, скорее всего, наличием циклической составляющей в повторяемости синоптических процессов, обуславливающих грозы над той или иной территорией.

Циклы длительностью 5–6 лет, 11–12, 22–23 года, которые чаще всего связывают с солнечной активностью, обнаруживаются далеко не над всеми районами.

Цикличности среднего периода составляют преимущественно 5 и 8 лет, причем оба цикла одновременно могут присутствовать в рядах грозовой активности одной территории, следовательно, один из периодов обусловлен не влиянием солнечной активности, а другими причинами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (грант № 97-0-12.0-10).

1. Клейменова З.П. Об изменении грозовой активности в солнечном цикле // *Метеорология и гидрология*. 1967. № 3. С. 64–68.
2. Павлова Г.П. // *Труды ГГО*. 1969. Вып. 242. С. 118–124.
3. Алехина Н.М. // *Труды Зап. Сиб. РНИГМИ*. 1979. Вып. 45. С. 120–124.
4. Филиппов А.Х., Хуторянская Д.Ф. // *Труды Сиб. регионального ГМИ*. 1975. Вып. 16. С. 122–128.
5. Филиппов А.Х. Исследование взаимосвязи электрических процессов в атмосфере с метеорологическими и геофизическими явлениями: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск: Иркутский государственный университет, 1980. 40 с.
6. Горбатенко В.П., Дульзон А.А., Решетько М.В. Пространственные и временные вариации грозовой активности над Томской областью // *Метеорология и гидрология*. 1999. № 12. С. 21–28.
7. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир, 1976. 756 с.
8. Боровиков В.И., Боровиков И.П. Статистика: Статистический анализ данных и обработка данных в среде Windows. М.: Финансы и статистика, 1999. 384 с.
9. Боровиков В.И., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. М.: Финансы и статистика, 1999. 382 с.
10. Бендат Дж., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа. М.: Мир, 1983. 312 с.
11. Ривин Ю.Р. Циклы земли и Солнца. М.: Наука, 1989. 162 с.
12. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 352 с.
13. Логинов В.Ф. Характер солнечно-атмосферных связей. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 48 с.
14. Вительс Л.А. // *Труды ГГО*. 1960. Вып. 90. С. 95–115.
15. Болотинская М.Ш. // Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С. 80–86.
16. Сазонов Б.И., Логинов В.Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 84 с.
17. Горбатенко В.П. Изменения грозовой активности над антропогенно преобразованной подстилающей поверхностью // *География и природные ресурсы*. 2000. № 2. С. 139–142.

V.P. Gorbatenko. The structure of temporal series of thunderstorm days.

This paper presents the results of statistical analysis of the temporal changes of thunderstorm activity in Siberia, Kazakhstan, and Germany. The data cover the period 1936–1995. The data on thunderstorm days were taken from the weather stations and examined for periodicity fluctuations. Thunderstorm activity exhibits a strong year-to-year variability. Significant periodicity was found in each region. Most of regions exhibit long-term periodicity (greater than 18 years), medium (7–10 years) and short one (2–6 years).