

Грозы в Москве и их влияние на состав приземного воздуха

**Локощенко М.А.¹, Еланский Н.Ф.²,
Богданович А.Ю.^{1,3}, Алексеева Л.И.¹,**

- **¹МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии. Москва, Россия;**
- **²ИФА имени А.М. Обухова РАН. Москва, Россия;**
- **³Институт глобального климата и экологии имени Ю.А. Израэля. Москва, Россия.**
- *Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-27-00279.*

Насущность данной работы:

Важность изучения опасных природных явлений, включая грозы;

Недостаток знаний о грозах и их влиянии на метеорологические величины;

Отсутствие климатологических обобщений о грозах в Московском регионе за последние десятилетия.

Задачи работы:

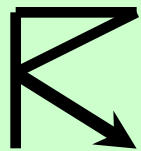
Изучение закономерностей гроз в Москве (климатологический анализ, включающий уточнённые оценки суточного и годового хода их повторяемости, продолжительности и пр.).

Исследование влияния гроз на состав приземного воздуха в больших городах, включая возможные изменения содержания озона и двуокиси азота.

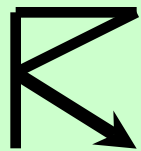
Исследование ветрового режима в атмосферном пограничном слое при грозах.

Источники данных:

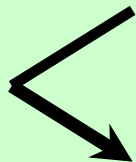
- 1. База данных наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова с 1954 года;**
- 2. Содарные данные о ветровом режиме и температурной стратификации в Метеорологической обсерватории МГУ с 1988 года;**
- 3. Данные измерений приземного содержания малых атмосферных газов совместной Экологической станции ИФА РАН и Географического факультета МГУ на территории Метеорологической обсерватории МГУ с 2002 по 2014 гг.**



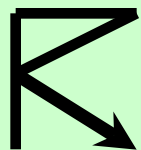
Гроза – электрические разряды в атмосфере, сопровождающиеся вспышкой света (молнией) и звуком (раскатами грома).



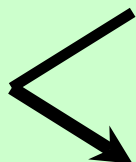
Гроза – электрические разряды в атмосфере, сопровождающиеся вспышкой света (молнией) и звуковым явлением (раскатами грома).



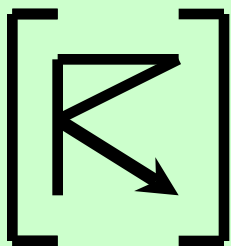
Зарница («тихая гроза») – световые явления при далёкой грозе: молний не видно и грома не слышно; различается лишь освещение молниями облаков.



Гроза – электрические разряды в атмосфере, сопровождающиеся вспышкой света (молнией) и звуковым явлением (раскатами грома).



Зарница («тихая гроза») – световые явления при далёкой грозе: молний не видно и грома не слышно; различается лишь освещение молниями облаков.



Удалённая гроза (*устаревшее явление, отмечавшееся метеорологической сетью СССР до 1970 г.*) – гроза, при которой промежуток времени между молнией и последующим раскатом грома превышает 10 сек, либо слышен только гром, но молния не видна.

До 1970 г. удалённые грозы составляли 72%, близкие грозы - 28%.

Грозы в мире – географические закономерности

Данные наземной метеорологической сети, 1953 г.

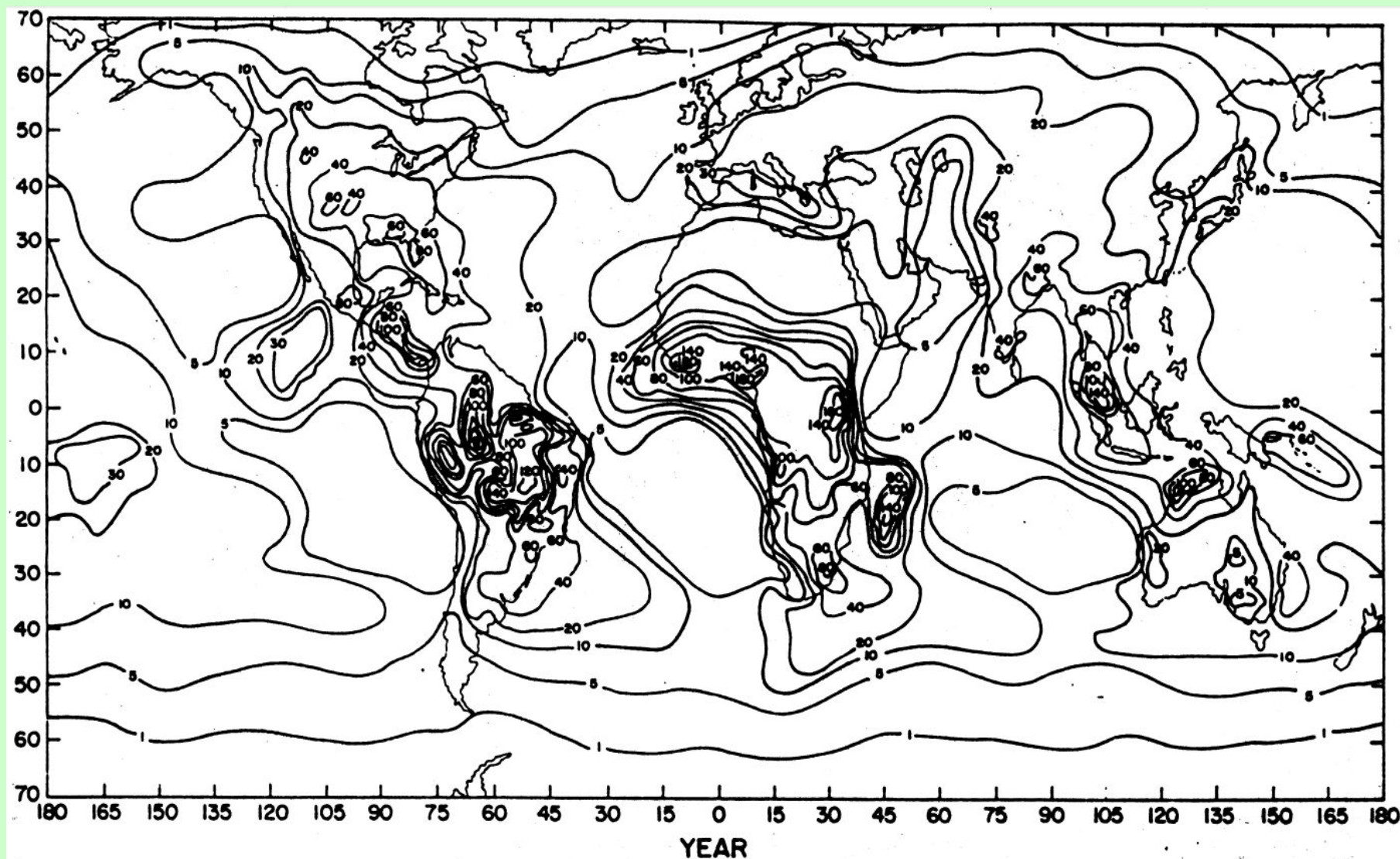


Fig. 1. World distribution of thunderstorm days (WMO Publication 1953)

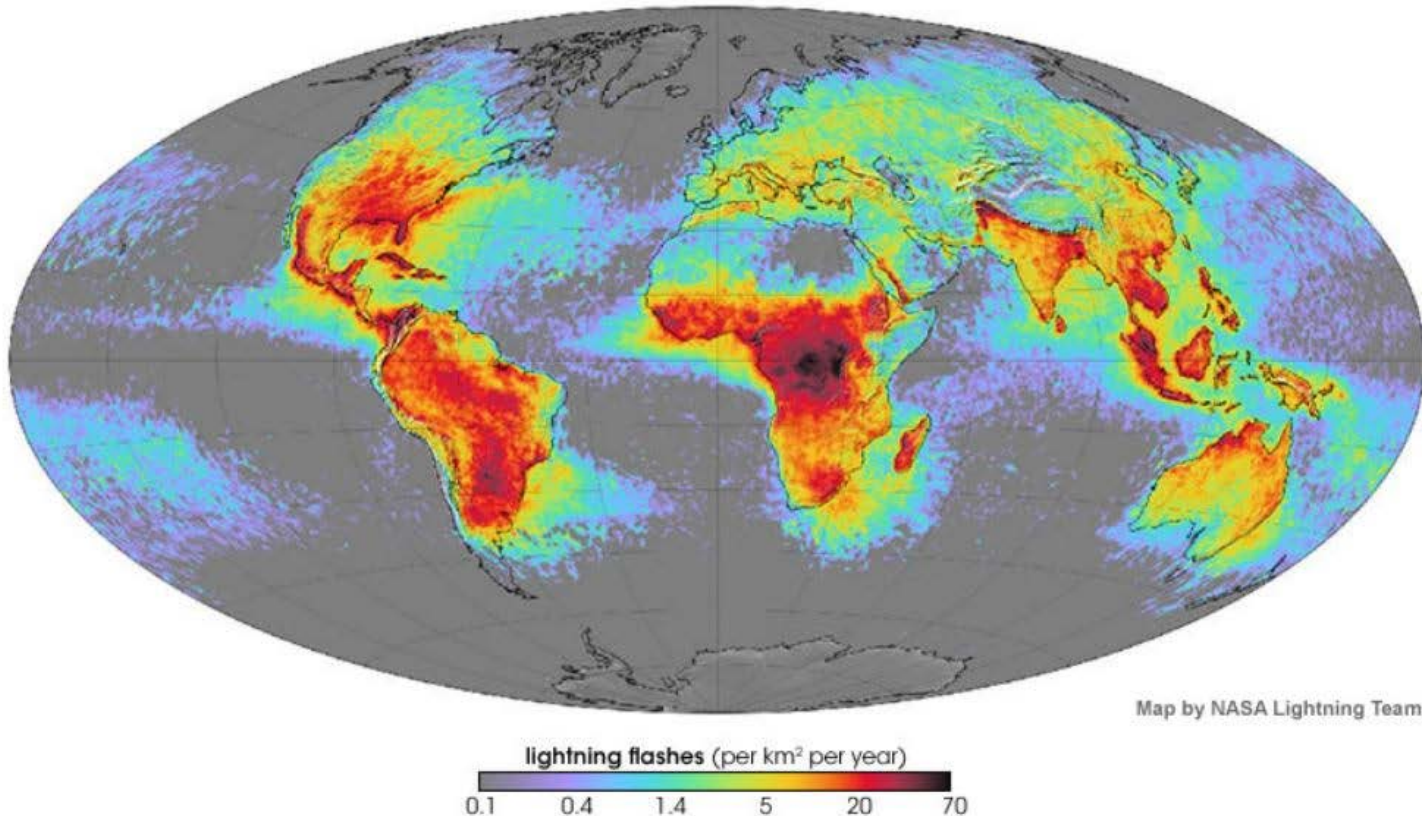
Грозы в мире – географические закономерности

Данные спутников, 1995–2002.

World Lightning Map

Lightning is not uniformly distributed across the Earth.

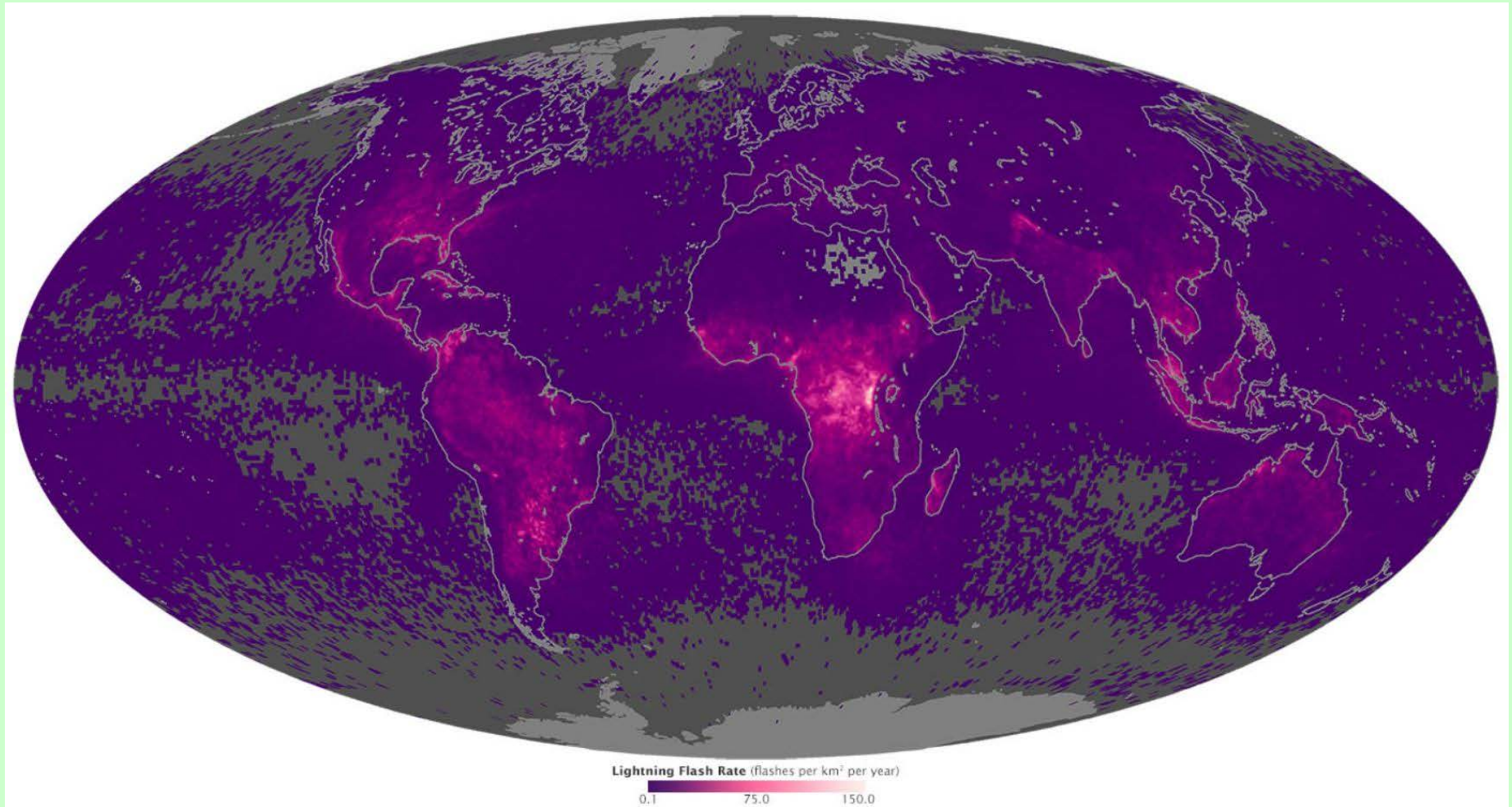
Article by: [Hobart M. King](#), Ph.D., RPG



World Lightning Map: The map above shows the average yearly counts of lightning flashes per square kilometer based on data collected by NASA's Lightning Imaging Sensor on the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite between 1995 and 2002. Places where less than one flash occurred (on average) each year are gray or light purple. The places with the largest number of lightning strikes are deep red, grading to black. [Enlarge](#).

Грозы в мире – географические закономерности

Данные спутников, 1998–2013.



Global Lightning Activity Map: A portion of the Global Lightning Activity Map produced by NASA in 2015 using data collected between 1998 and 2013 by the Lightning Imaging Sensor on NASA's Tropical Rainfall Measuring Mission satellite

Спутниковый снимок Москвы



Сильная гроза в Москве 13 июля 2016 г.



Метеорологическая обсерватория МГУ имени М.В. Ломоносова



Содары в Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова



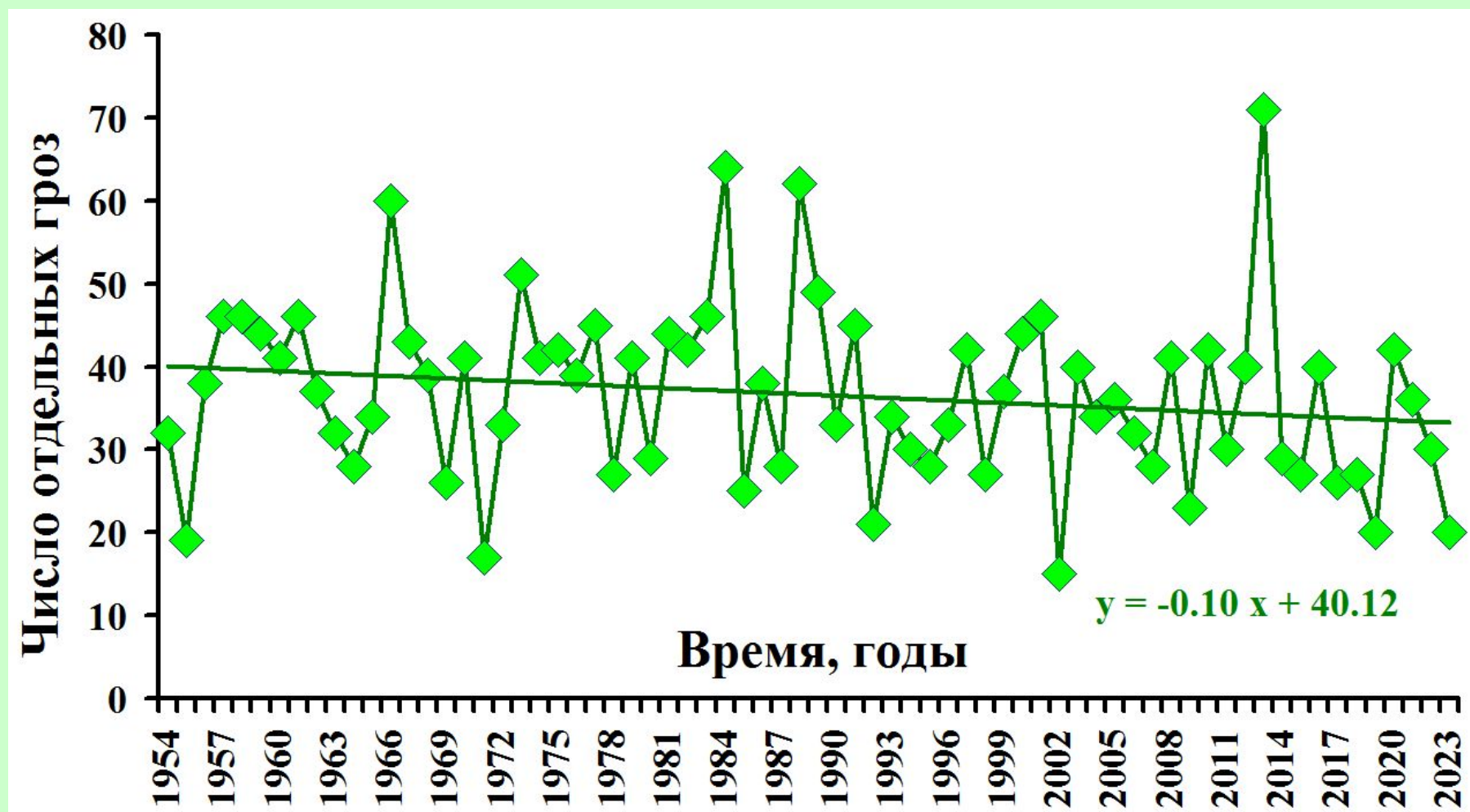
- 1 – Вертикальный одноканальный содар «ЭХО-1» производства ГДР; работает с 1988 г.
2 – Доплеровский содар «MODOS» производства МЕТЕК (Германия); работает с 2004 г.

Число дней с грозами. Москва, МГУ, 1954–2023.



В среднем за год – 26 дней с грозами;
Наибольшее число – 45 в 1984 г.;
Наименьшее число – 13 в 2002 г.

Число отдельных гроз. Москва, МГУ, 1954–2023.

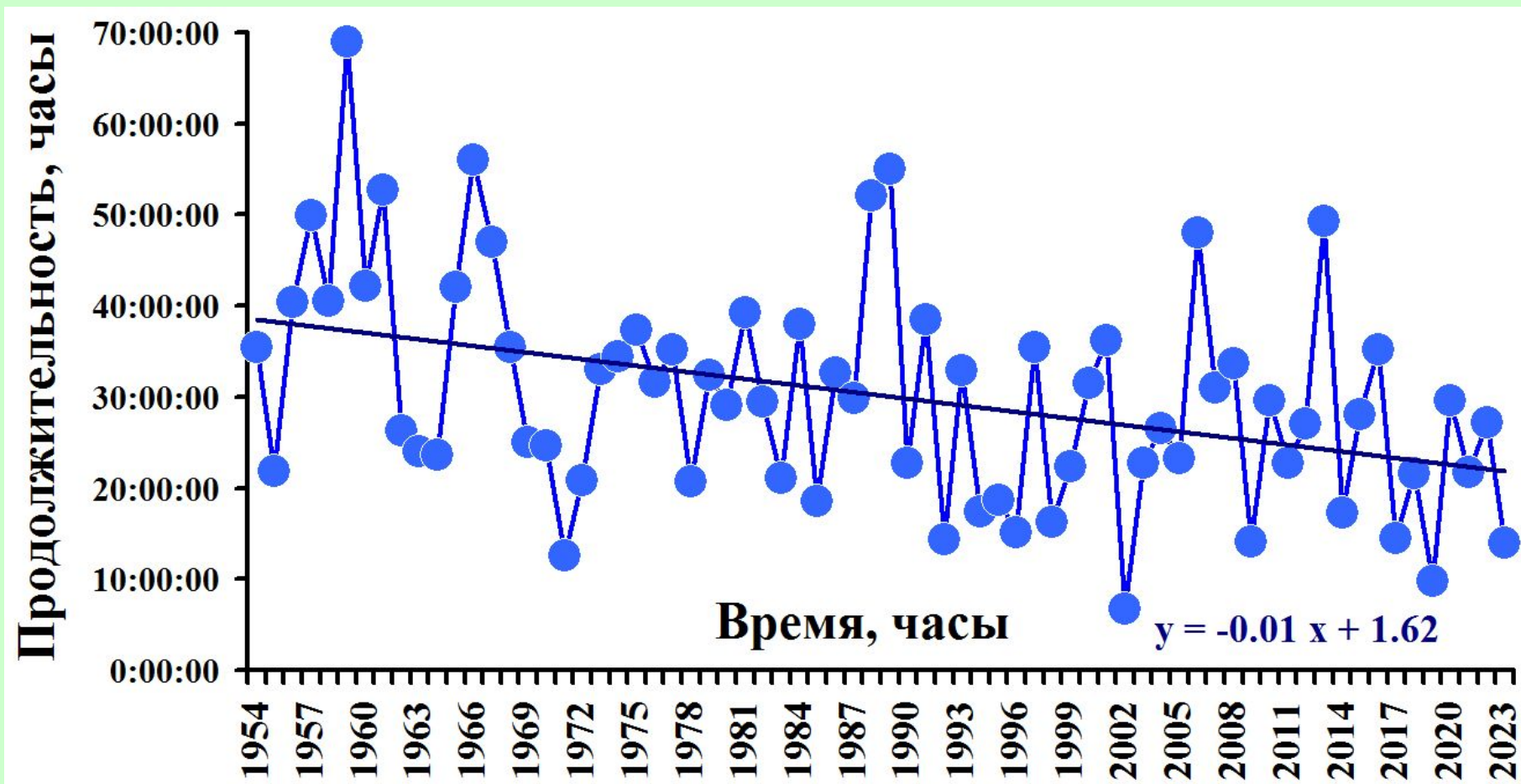


Среднее число гроз в году: 37;

Наибольшее число гроз: 71 в 2013 г.;

Наименьшее число гроз: 15 в 2002 г.

Продолжительность гроз. Москва, МГУ, 1954–2023.

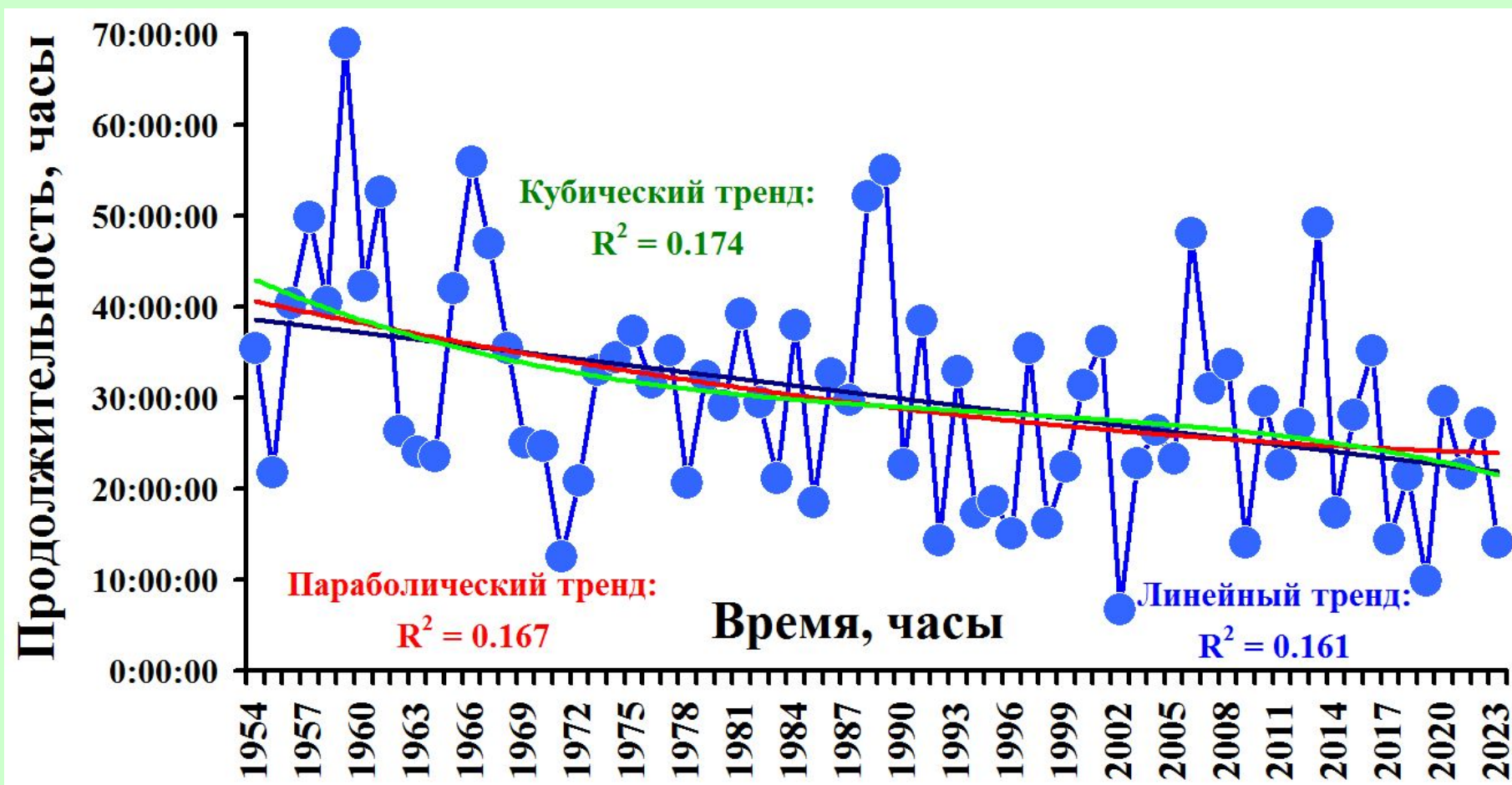


Средняя продолжительность гроз за год – 30 ч 12 мин;

Наибольшая продолжительность гроз за год – 68 ч 56 мин в 1959 г.;

Наименьшая продолжительность гроз за год – 6 ч 44 мин в 2002 г.

Продолжительность гроз. Москва, МГУ, 1954–2023.

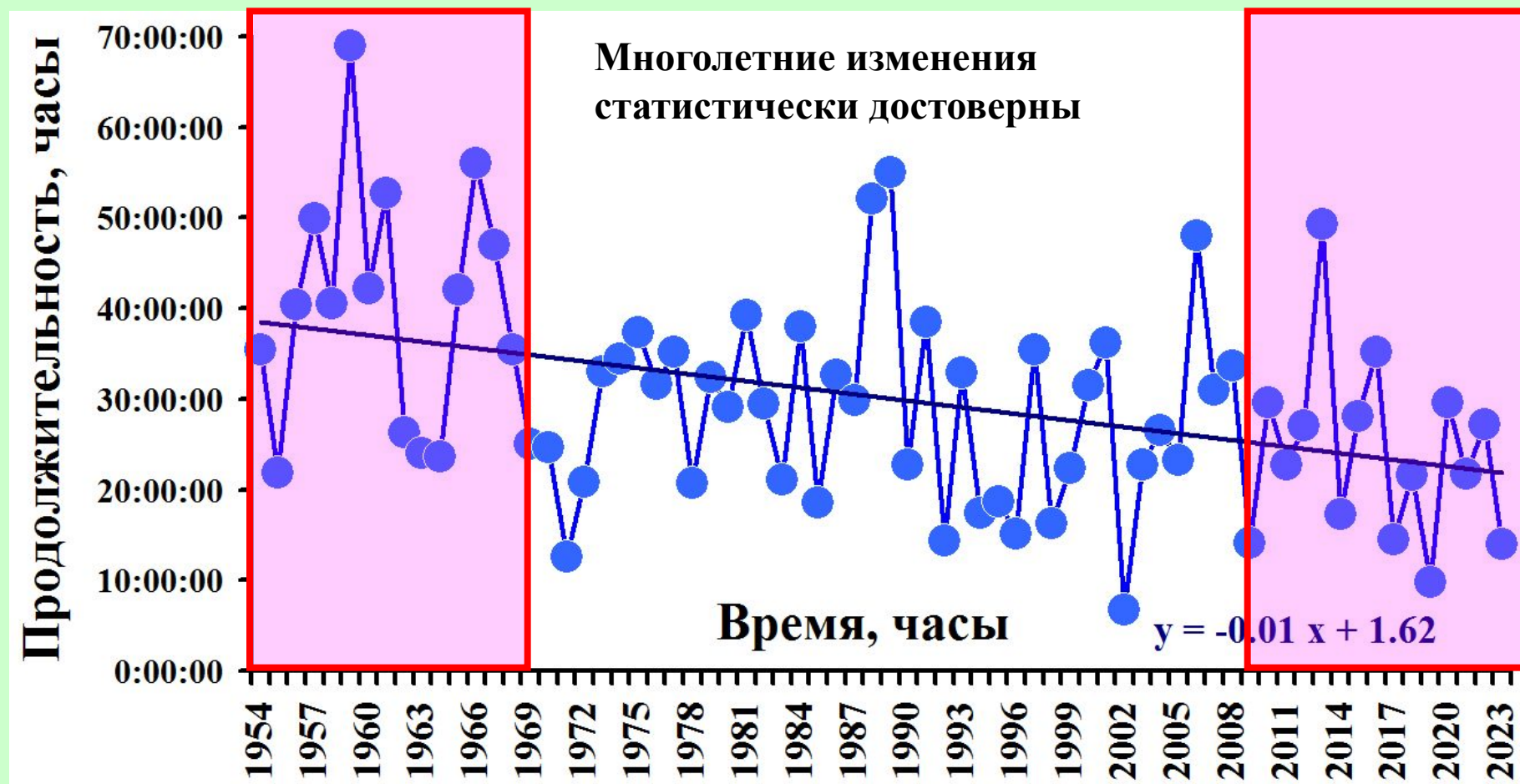


Средняя продолжительность гроз за год – 30 ч 12 мин;

Наибольшая продолжительность гроз за год – 68 ч 56 мин в 1959 г.;

Наименьшая продолжительность гроз за год – 6 ч 44 мин в 2002 г.

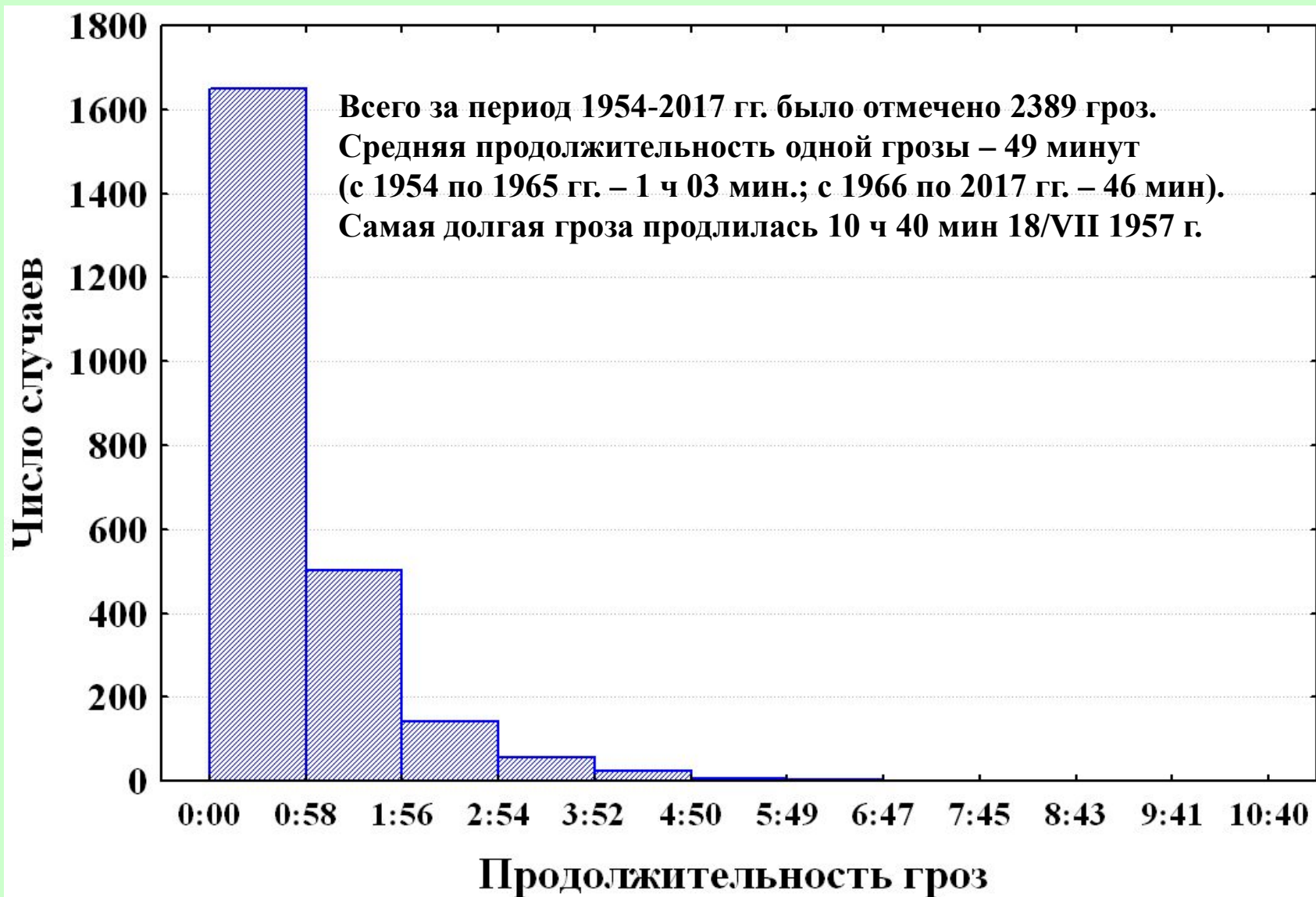
Продолжительность гроз. Москва, МГУ, 1954–2023.



Сравнение первых и последних 15 значений по критерию Стьюдента: $Z = 3,78$, что означает статистически значимое уменьшение со временем с доверительной вероятностью 0,999 (критическое значение $Z = 3,67$).

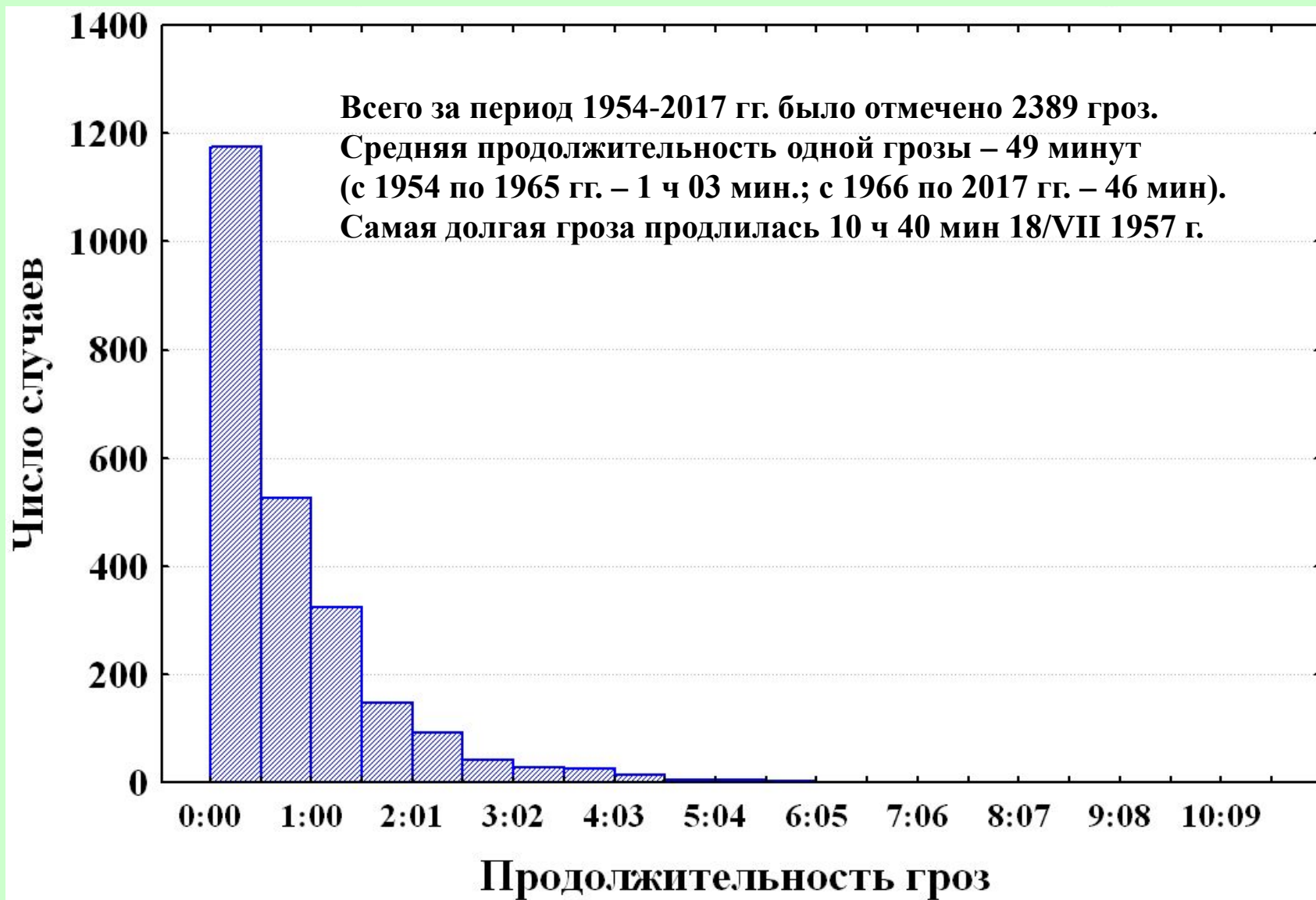
$$Z = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{\sigma^2(X)}{n} + \frac{\sigma^2(Y)}{m}}}$$

Функция распределения продолжительности гроз в Москве.



Средняя продолжительность – 49 минут.

Функция распределения продолжительности гроз в Москве.

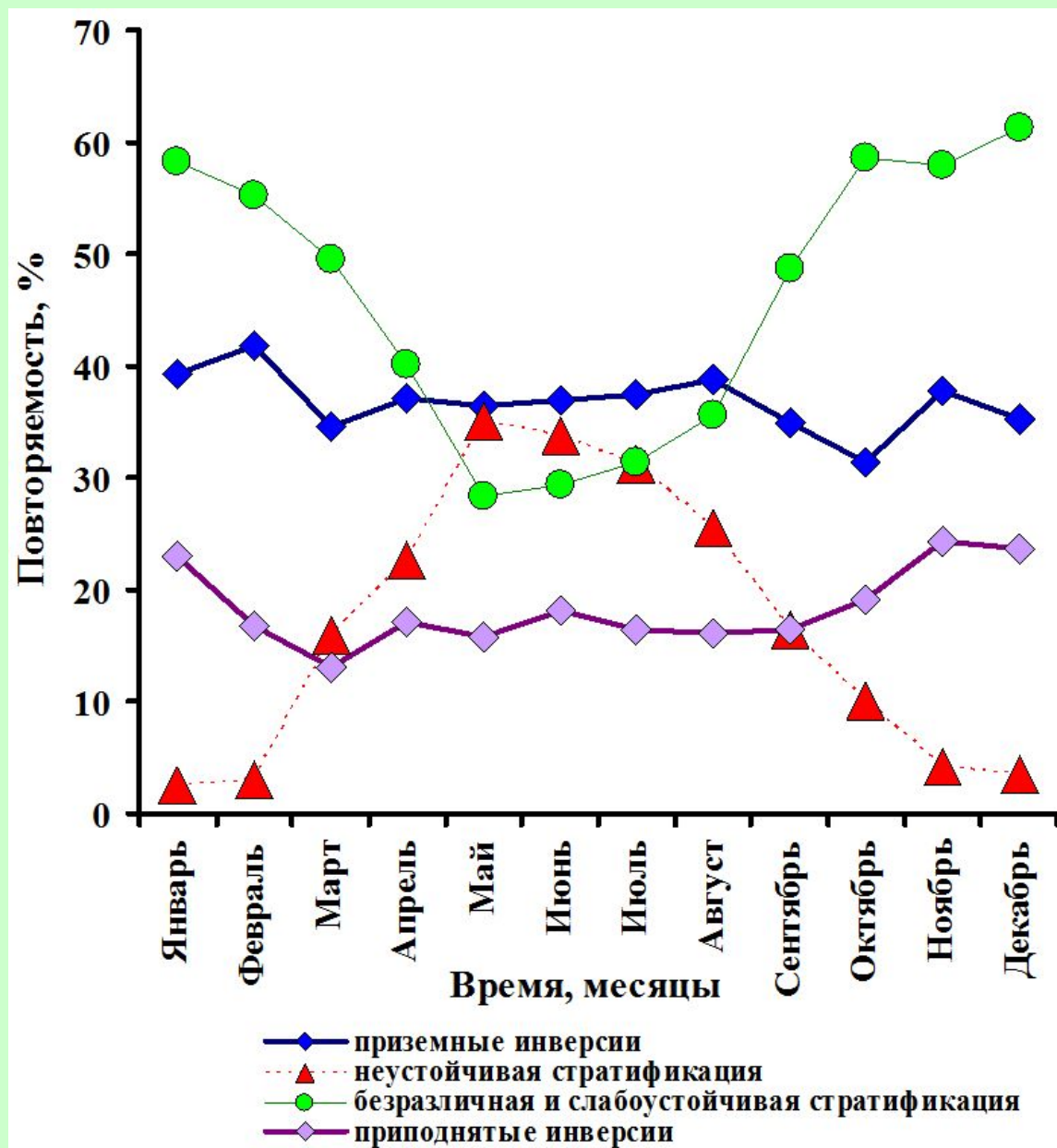


Средняя продолжительность – 49 минут.

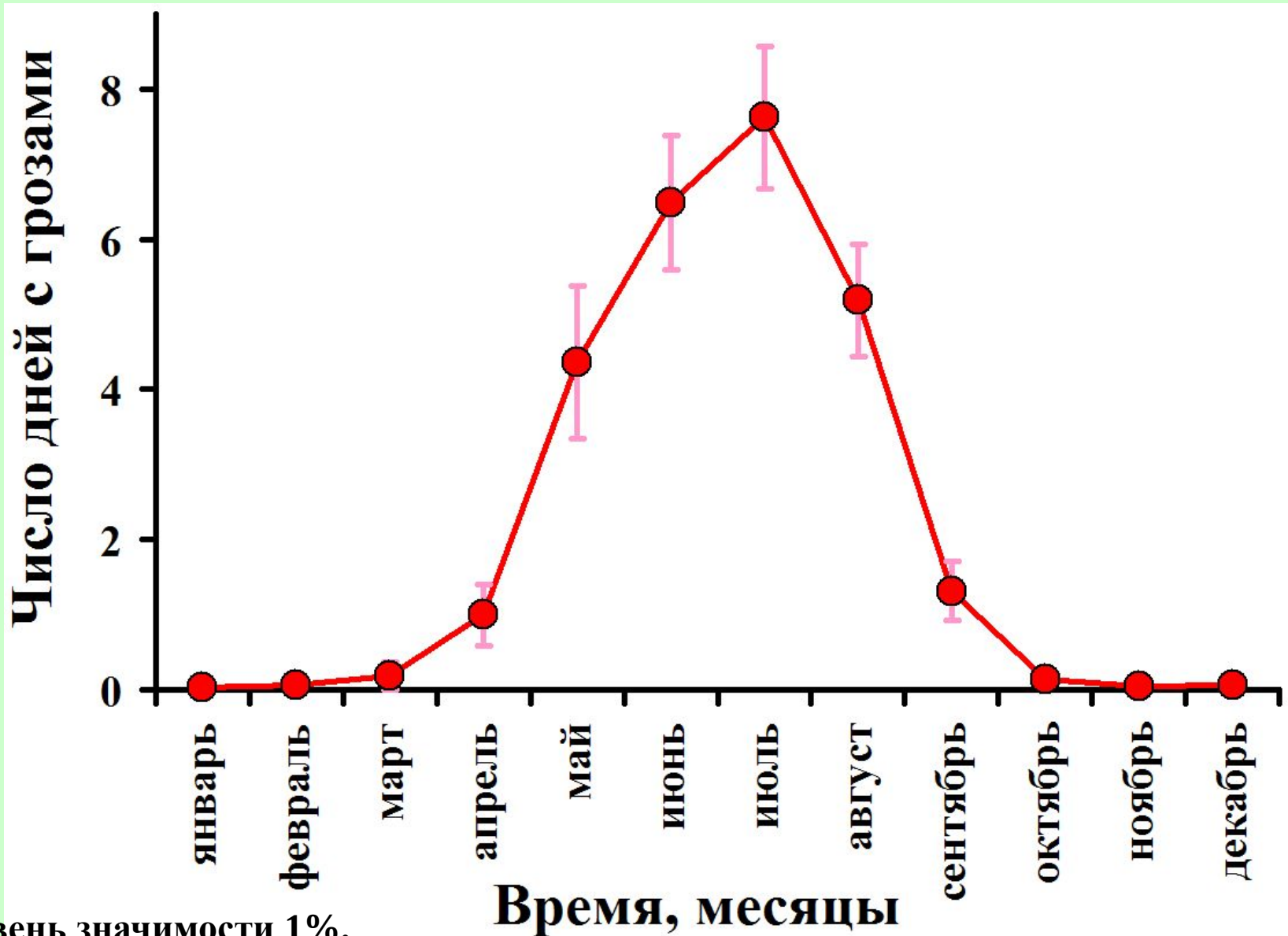
Самые долгие грозы за 70 лет в МО МГУ:

	18.07.1957	10:40	
	03.07.1959	8:45	
	18.08.1961	8:05	
	02.08.1954	6:05	
	19.07.2000	5:50	
	08.06.1997	5:28	
	09.06.1961	5:20	
	04.09.1965	5:15	
	10.07.2006	5:13	
	10.06.1959	5:07	
	27.06.1997	5:06	
	25.07.2001	5:03	
	24.07.2001	4:46	
	08.08.1959	4:45	
	22.08.2000	4:45	
	31.07.1957	4:40	
	09.06.1954	4:36	
	28.07.1986	4:34	
	16.05.1959	4:30	
	15.06.1995	4:30	
	01.06.2006	4:30	
	18.06.2016	4:25	

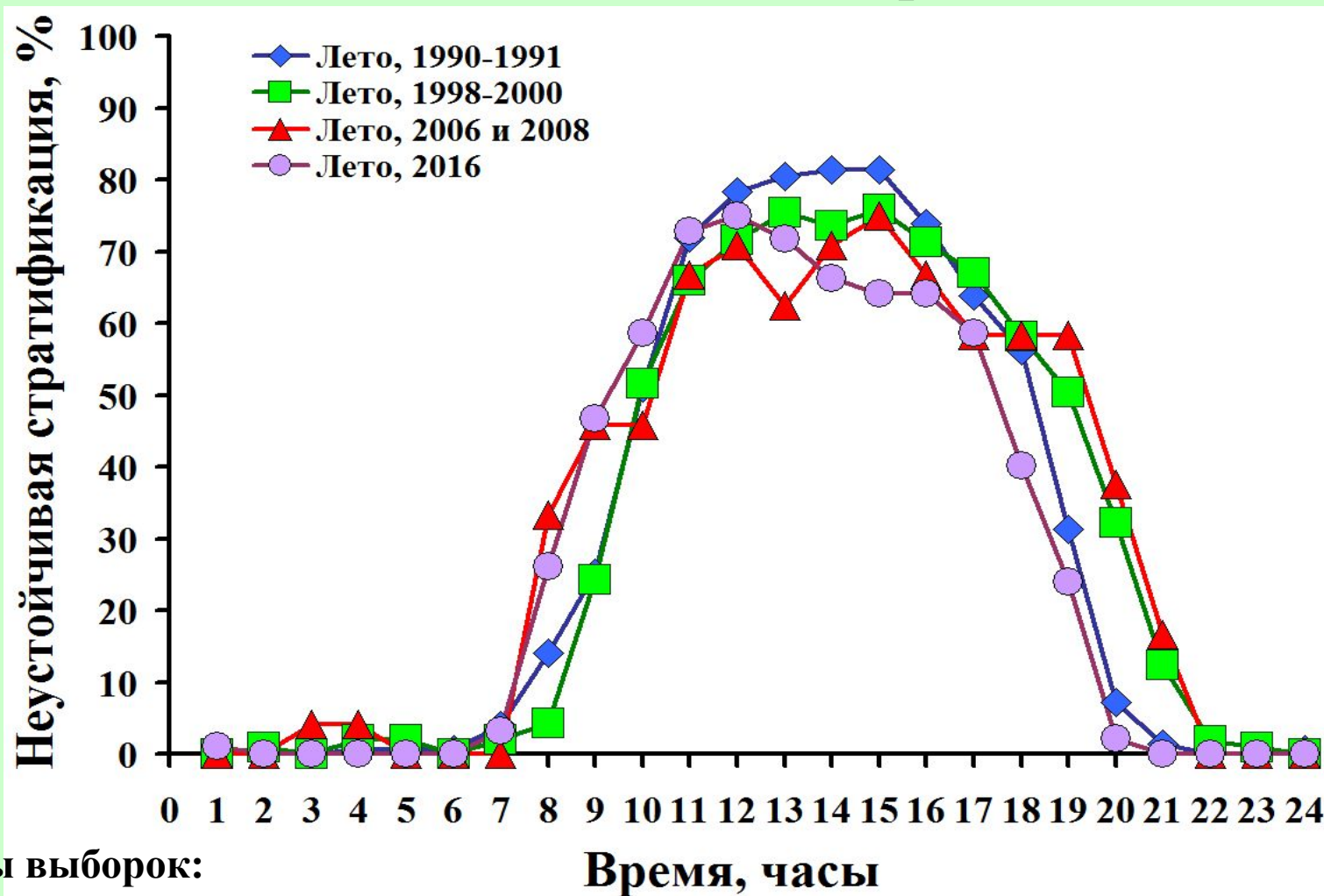
Многолетние данные о стратификации в слое воздуха до 800 м по данным содара «ЭХО-1» в Москве с 1988 г.



Годовой ход числа дней с грозами. Москва, МГУ, 1954–2017.



Суточный ход повторяемости неустойчивой стратификации летом в Москве по данным содара «ЭХО-1»



Размеры выборок:

Лето, 1990-1991 – 3653 ч;

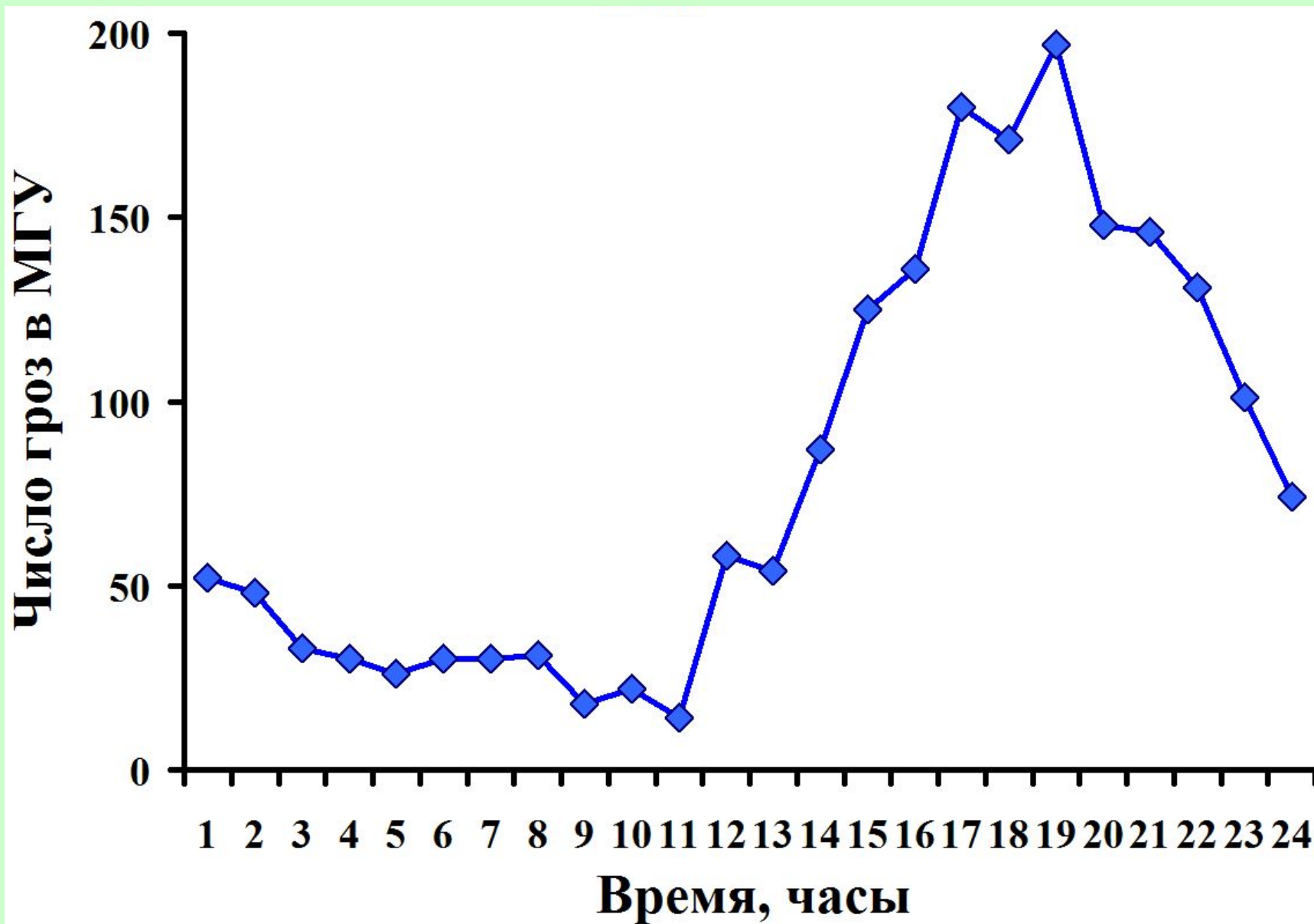
Лето 1998–2000 – 2530 ч;

Лето 2006 и 2008 – 521 ч;

Лето 2016 – 2040 ч.

Нет явной тенденции в изменениях
повторяемости неустойчивой
стратификации летом

Суточный ход числа отдельных гроз. МО МГУ, 1966–2017.



**В Москве регулярные
измерения состава
воздуха были начаты
в середине 1950-х гг.
в МО МГУ.**



**Совместная Экологическая станция ИФА РАН и
Географического факультета МГУ действовала на
территории МО МГУ с 2002 по 2014 гг.**

Приборная база:

- **Озон (O_3):** Dasibi 1008-RS и 1008-AN газоанализаторы на основе регистрации вызванного озоном ослабления УФ излучения на длине волны 253 нм; погрешность: ± 1 млрд⁻¹.
- **Окись углерода (CO):** TE48S газоанализатор по поглощению инфракрасного излучения; погрешность: ± 50 млрд⁻¹.
- **Окислы азота (NO и NO₂):** TE42C-TL газоанализатор; метод хемолуминесценции по интенсивности инфракрасного излучения при реакции NO и O₃; погрешность: ± 1 млрд⁻¹.
- *Все приборы Экологической станции – тех же типов, что и на сети ГСА ВМО. Они регулярно калибровались с использованием международных стандартов и эталонных смесей, предоставленных Лабораторией диагностики и моделирования климата (США) и Институтом химии Макса Планка (Германия). В ИФА РАН с 2003 г. находится вторичный европейский стандарт ENV 0341M №1298, по которому калибровались газоанализаторы для измерений озона.*

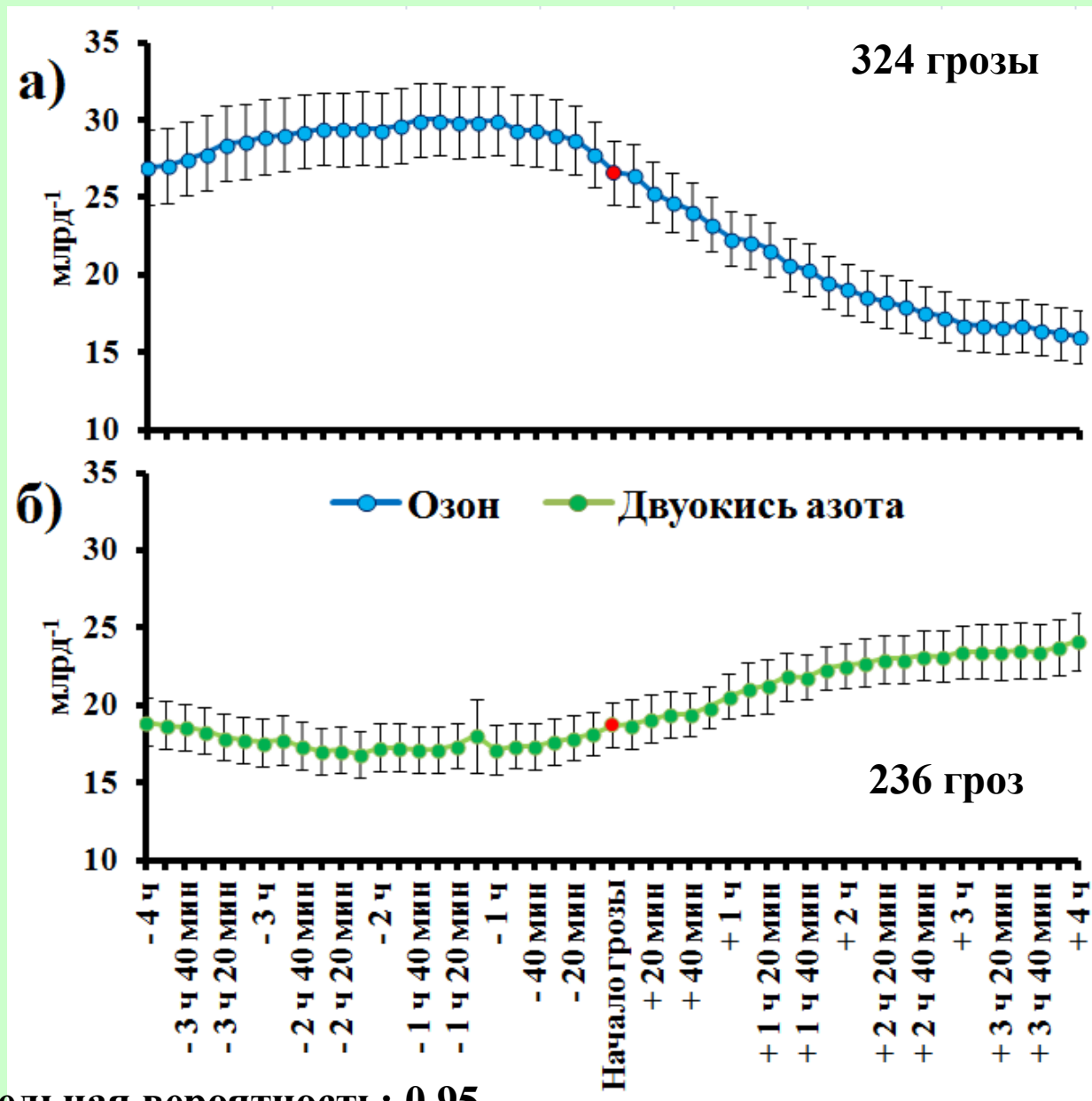
Возможные причины изменений приземного озона O_3 при грозах:

- 1. Химические реакции в каналах молний;**
- 2. Усиление вертикального перемешивания в облаках Сb и нисходящего переноса озона к поверхности из средней и верхней тропосферы;**
- 3. Изменение фоновых уровней приземного озона в условиях разных воздушных масс (для случаев фронтальных гроз).**

Химические реакции в атмосфере при грозе:

- $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}$
- $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$
- $\text{NO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HNO}_3$
- $3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{O}_3$

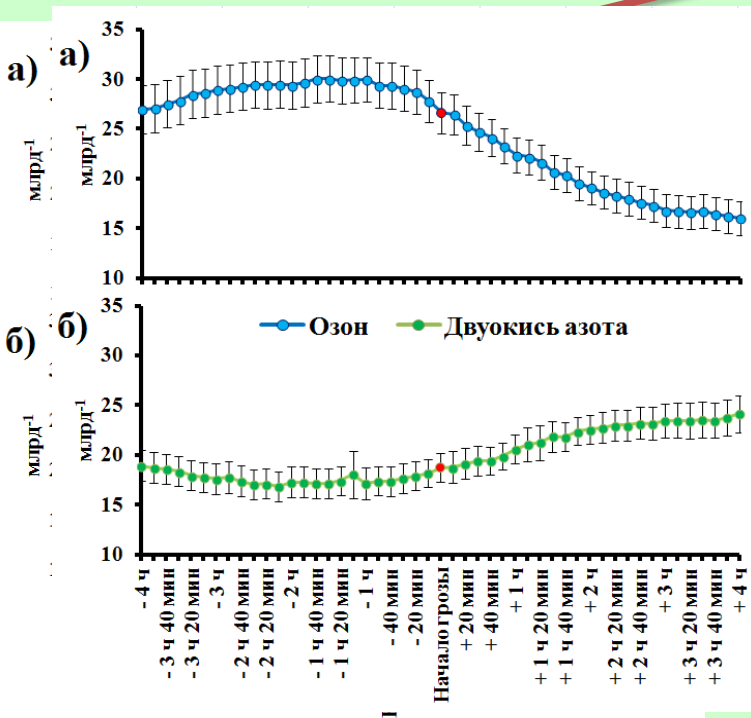
Изменения приземного содержания O_3 и NO_2 во время всех гроз, 2006–2014 гг.



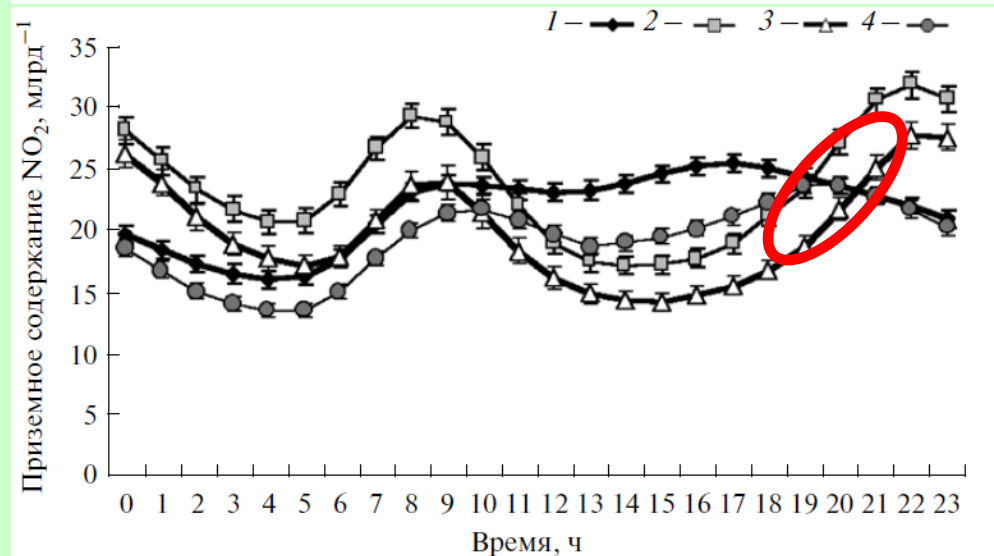
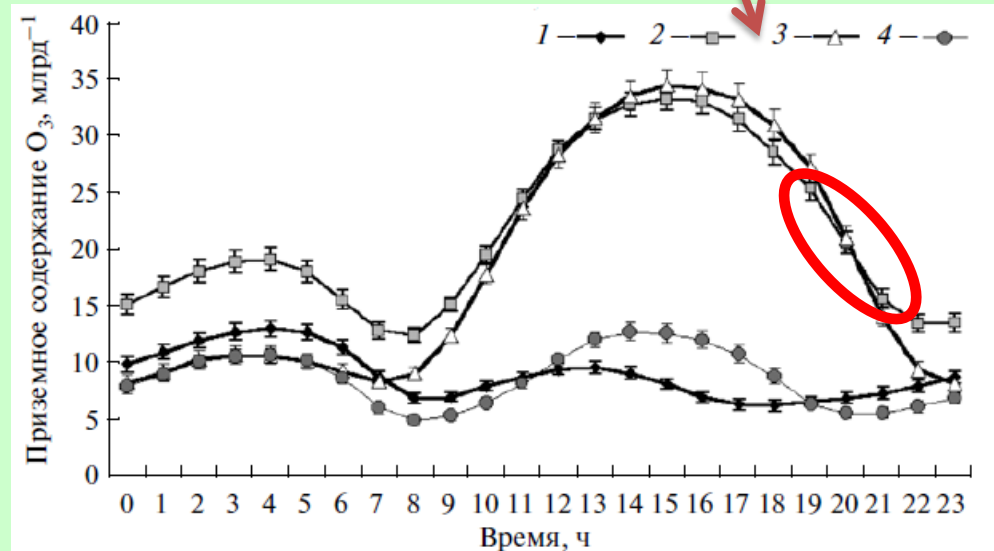
Доверительная вероятность: 0,95

Анализ полной выборки гроз

Причина динамики – суточный ход?

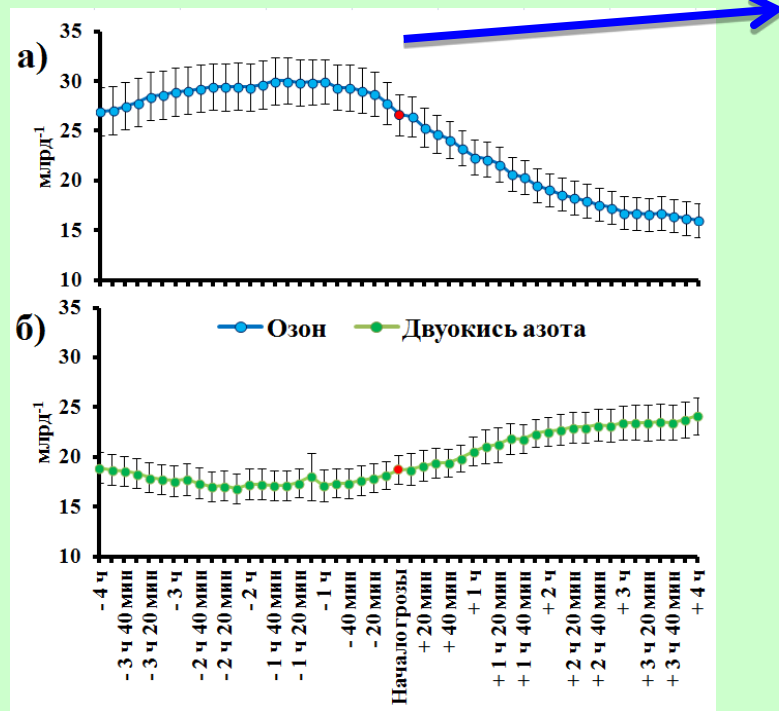


О содержании малых газовых примесей в приземном слое атмосферы над Москвой. Н.Ф.Еланский, М.А.Локощенко и др. // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана.* — 2015. — Т. 51, № 1. — С. 39–51.

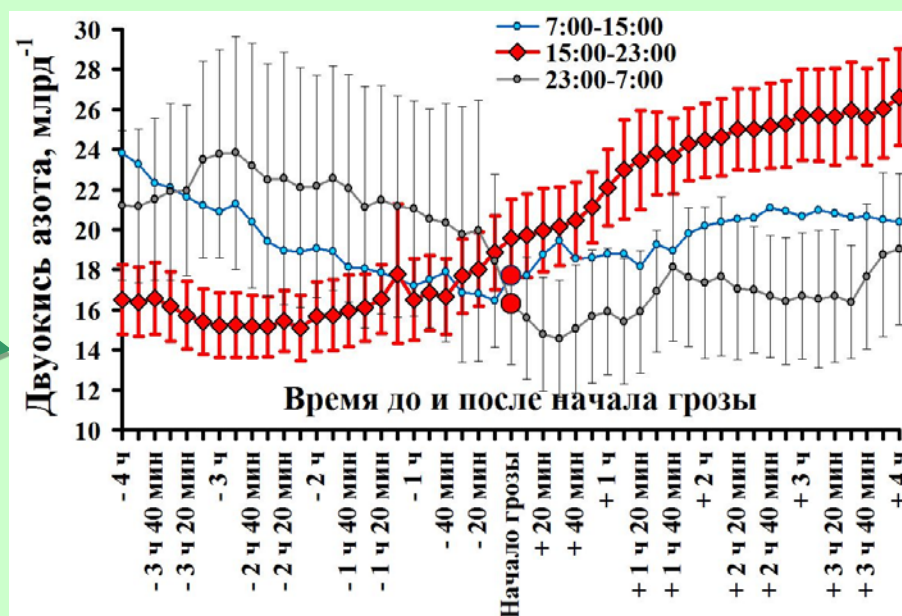
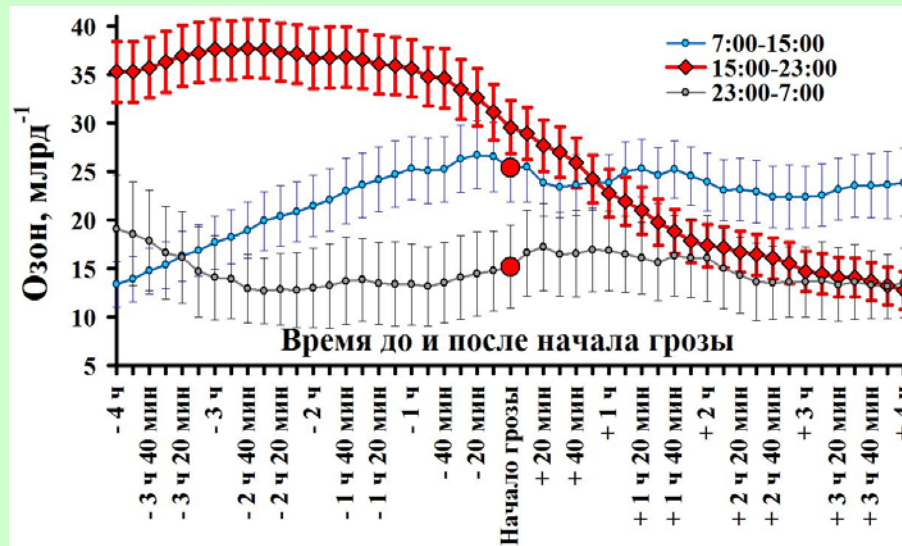


Суточный ход приземного содержания O_3 и NO_2 в Москве в среднем за период 2002–2010 гг. Доверительные интервалы рассчитаны с уровнем значимости 5%. 1–зима, 2–весна, 3–лето, 4–осень

Анализ полной выборки гроз



В изменениях содержания озона O₃ и двуокиси азота NO₂ во время прохождения всех гроз проявляется лишь суточный ход. В целом прохождение всех гроз (слабых, умеренных и сильных) не влияет на приземное содержание малых примесей.

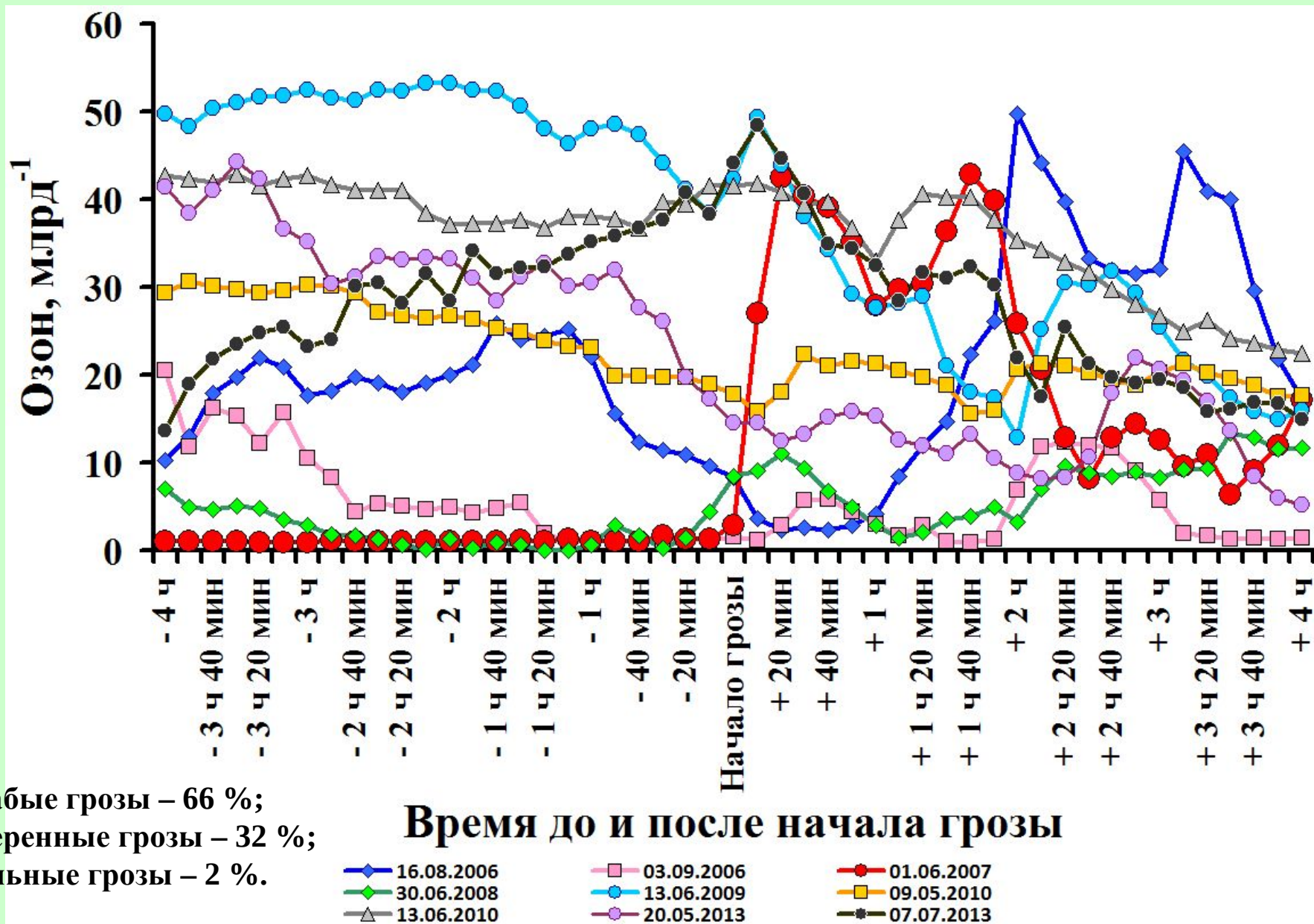


Динамика приземного озона O₃ и двуокиси азота NO₂ в пределах 8-часовых интервалов времени для всех случаев гроз по данным Экологической станции ИФА РАН и МГУ (2002–2014 гг.).

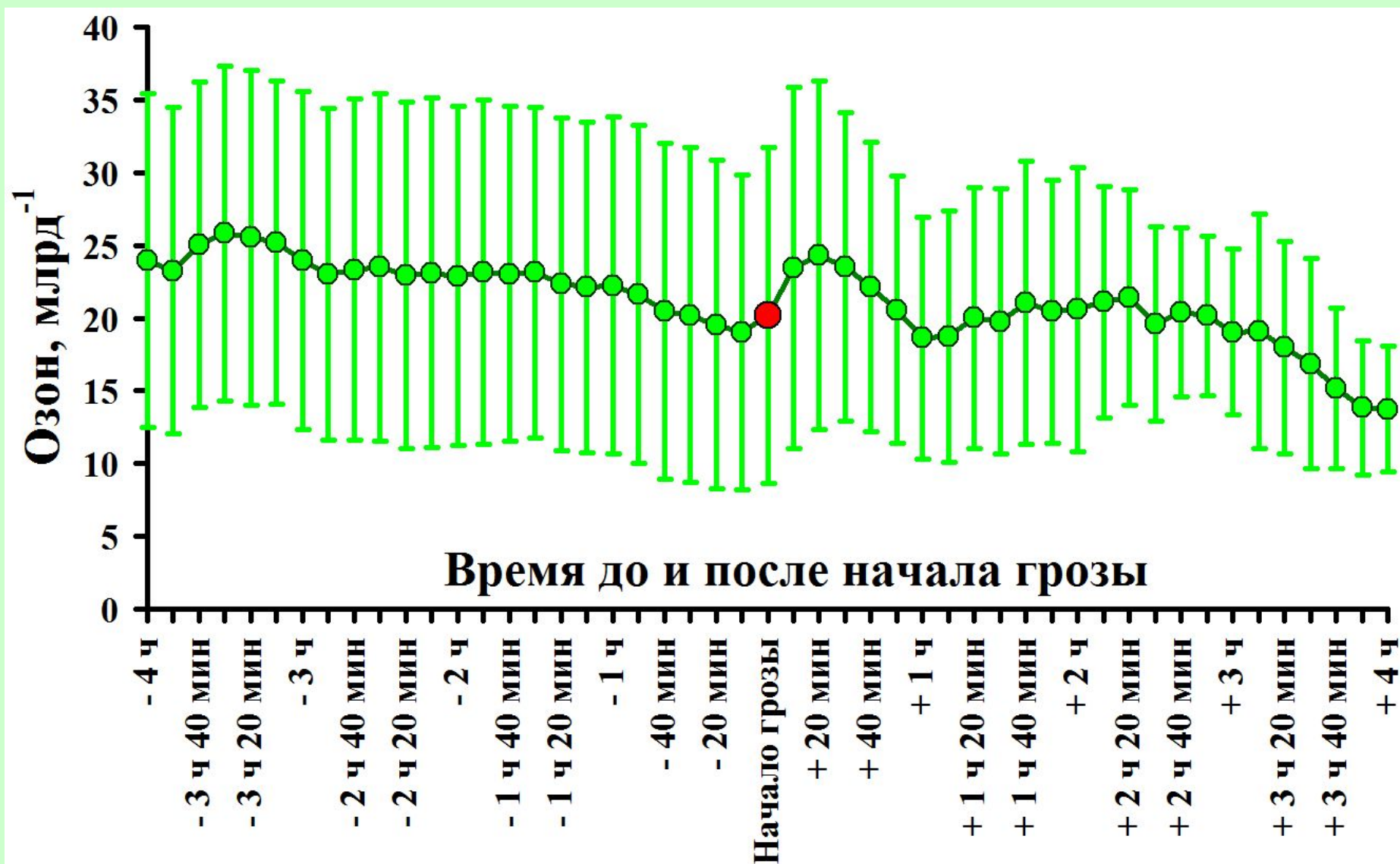
Красные кружки – начало грозы.

Доверительные интервалы рассчитаны с уровнем значимости 5%

Изменения приземного содержания озона во время экстремально сильных гроз, 2006–2014 гг.

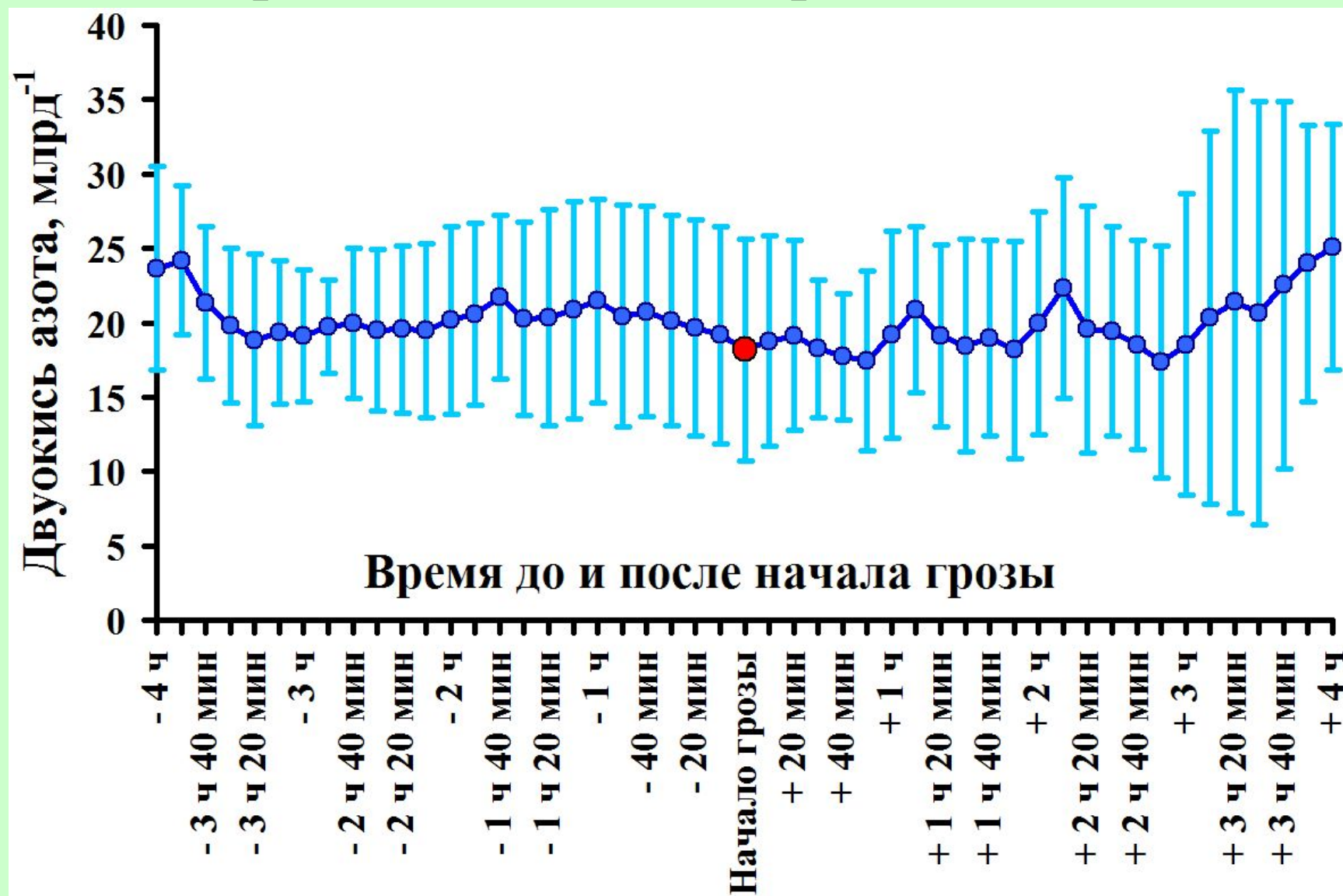


Изменения приземного содержания озона во время экстремально сильных гроз, 2006–2014 гг.



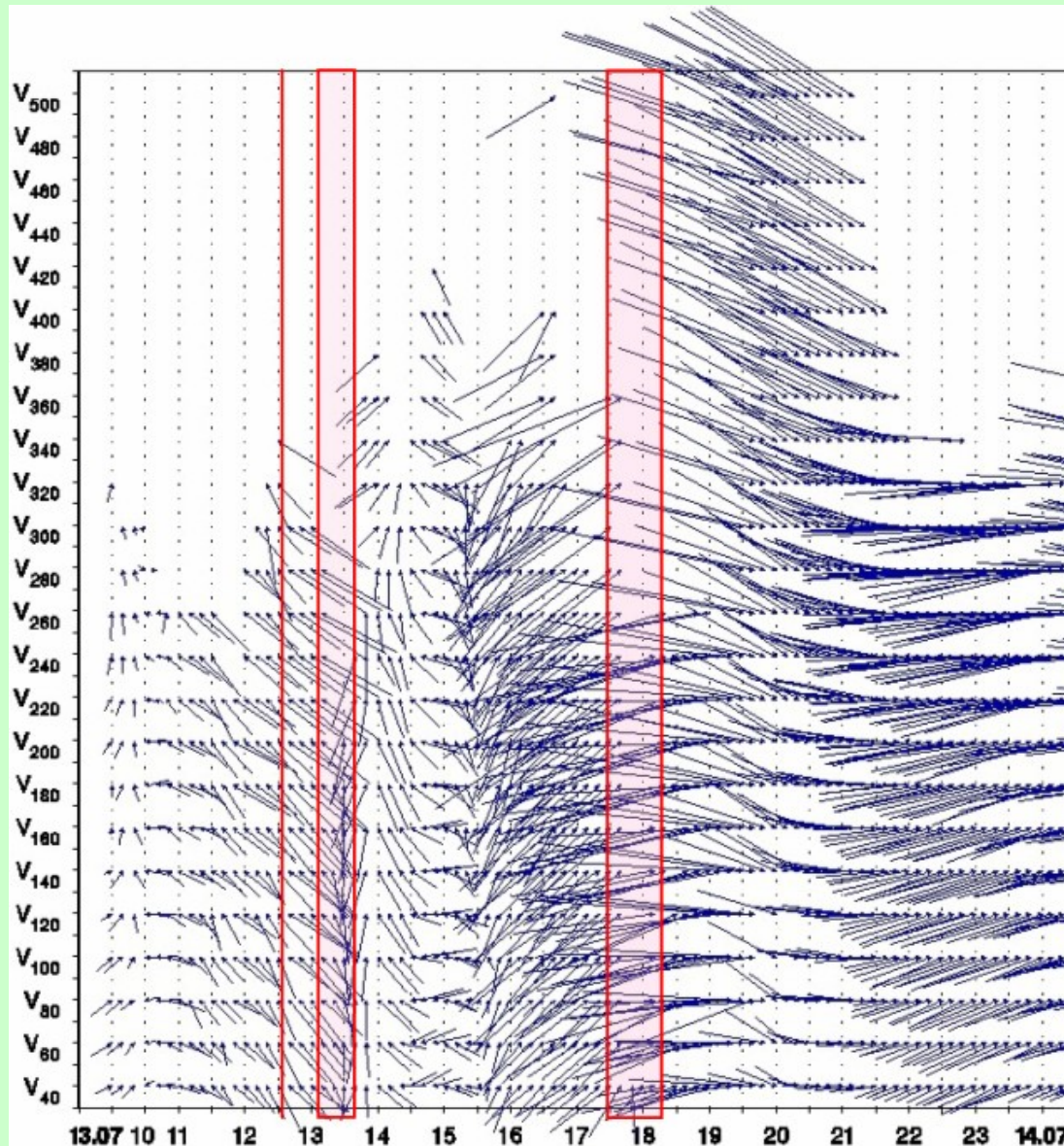
Доверительная вероятность: 0,95

Изменения приземного содержания NO_2 во время экстремально сильных гроз, 2006–2014 гг.



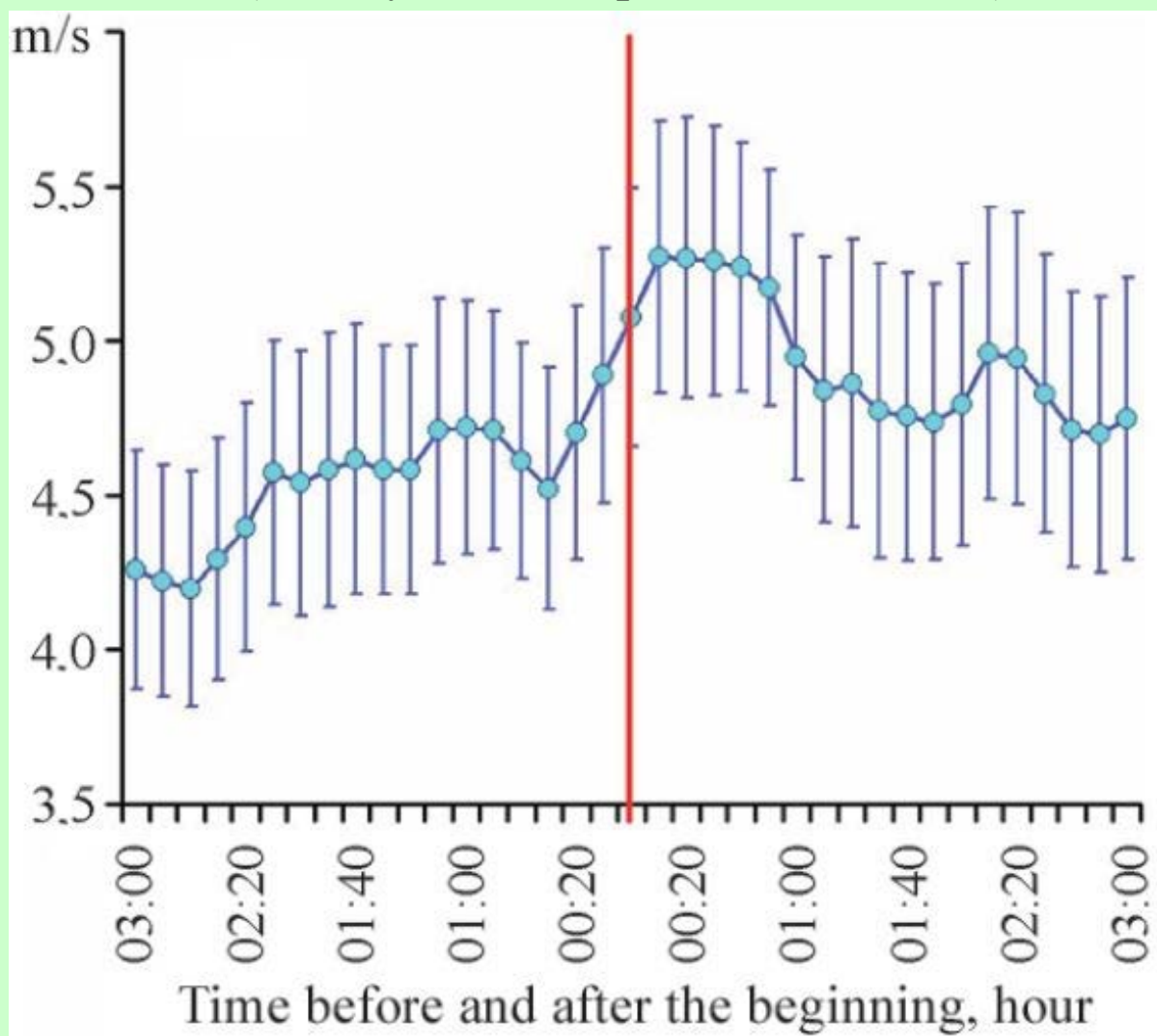
Доверительная вероятность: 0,95

Усиление ветра при грозе 13 июля 2012 г.



Розовый цвет – эпизоды грозы по стационарным данным МО МГУ

Средний ход скорости ветра по данным содара «MODOS» в слое воздуха от 40 до 200 м во время гроз в МО МГУ (137 случаев за период 2006–2012 гг.).



Уровень значимости – 5%.

Источник: Локощенко М.А., Алексеева Л.И., Ахиярова К.И. О связи ветрового режима нижней атмосферы с синоптическими условиями и явлениями погоды. М., Метеорология и гидрология, 2016, № 7, стр.15-28.

Основные выводы:

1. В среднем за год в Москве наблюдается 37 гроз в течение 26 дней. Средняя продолжительность отдельной грозы – 49 мин, общая продолжительность гроз за год – 30 часов.
2. Продолжительность гроз в течение года существенно сократилась за последние 70 лет; многолетние изменения числа гроз и грозовых дней статистически незначимы.
3. Повторяемость гроз в годовом ходе в Москве наибольшая с мая по август (от 4 до 8 дней). В суточном ходе грозы отмечаются чаще ранним вечером (с 17 до 19 ч).
4. В составе приземного воздуха при грозах не выявлено достоверных изменений. Слабый рост приземного озона после начала сильных гроз статистически незначимый.
5. Прохождение гроз связано с усилением ветра в слое воздуха до 200 м в течение 40 мин после начала грозы. Общая причина обоих явлений – развитие мощных облаков Св.

- **Спасибо за внимание!**