

ОПАСНЫЕ КОНВЕКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА

*Горбатенко Валентина Петровна,
д.г.н., профессор*

*Томский государственный университет,
г. Томск*

Научно-практическая школа-семинар молодых ученых и специалистов
в области гидрометеорологии
31 октября - 2 ноября 2012 г.
г. Новосибирск

Конвекция есть процесс разрешения статической неустойчивости, в котором частицы воздуха перемещаются по вертикали под действием силы плавучести, черпая кинетическую энергию из потенциальной энергии неустойчивой стратификации плотности.

В атмосфере в отсутствие фазовых переходов влаги стратификация статически или конвективно неустойчива, если

$$\frac{\partial T}{\partial z} < 0, \left| \frac{\partial T}{\partial z} \right| \equiv \gamma > \gamma_a = 0.98^\circ / 100 \text{ м},$$

или $\frac{\partial \theta}{\partial z} < 0$, где $\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.288}$ - потенциальная температура

Начальная стадия развития конвекции - рост малых возмущений в конвективно-неустойчивом слое – в целом, соответствует линейной теории неустойчивости:

- амплитуды возмущений малы, так что их взаимодействия с основным потоком пренебрежимы;**
- возмущения представлены в виде набора гармоник (ряда или интеграла Фурье) – т. наз. нормальных мод**

$$S' = S(z)e^{i(kx+ly-\omega t)}$$

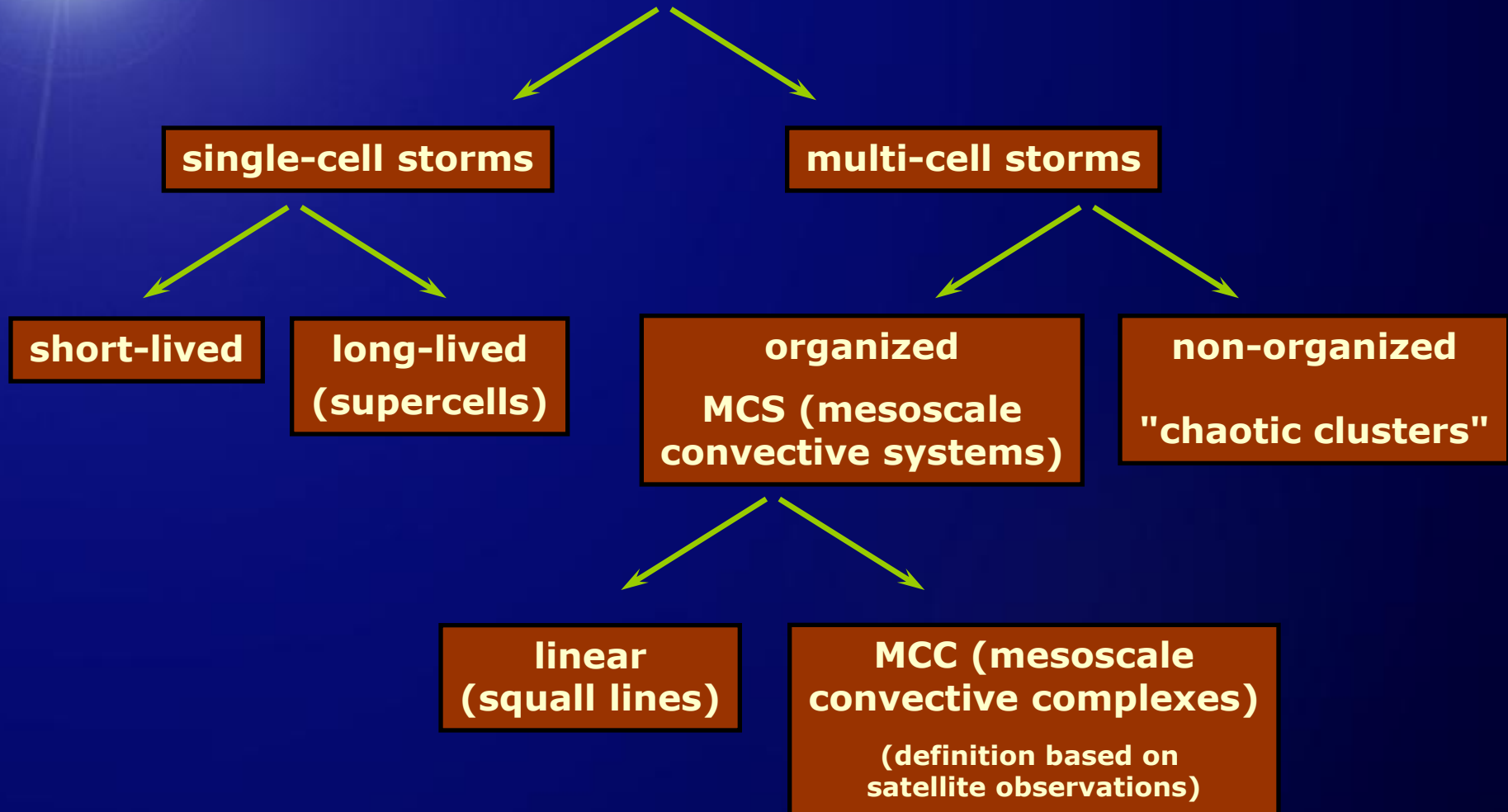
***С ростом амплитуд возмущений их взаимодействия с основным потоком и между собой (нелинейные члены уравнений) возрастают.
Развиваются нелинейные режимы***

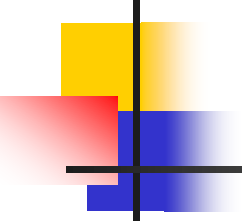
Нелинейные режимы атмосферной облачной конвекции:

- стационарные облачные ячейки или полосы (в неглубоких слабо-неустойчивых слоях над относительно однородной поверхностью);***
- Si hit – Si cong – Sb (в глубоких неустойчивых слоях);***
- колебания высот ансамблей кучево-дождевых грозовых и градовых облаков;***
- термическая турбулентность в пограничных слоях (обычно под устойчивыми задерживающими слоями).***



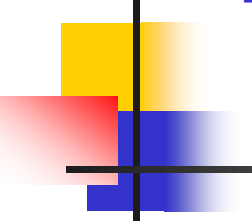
BASIC STORM TYPES



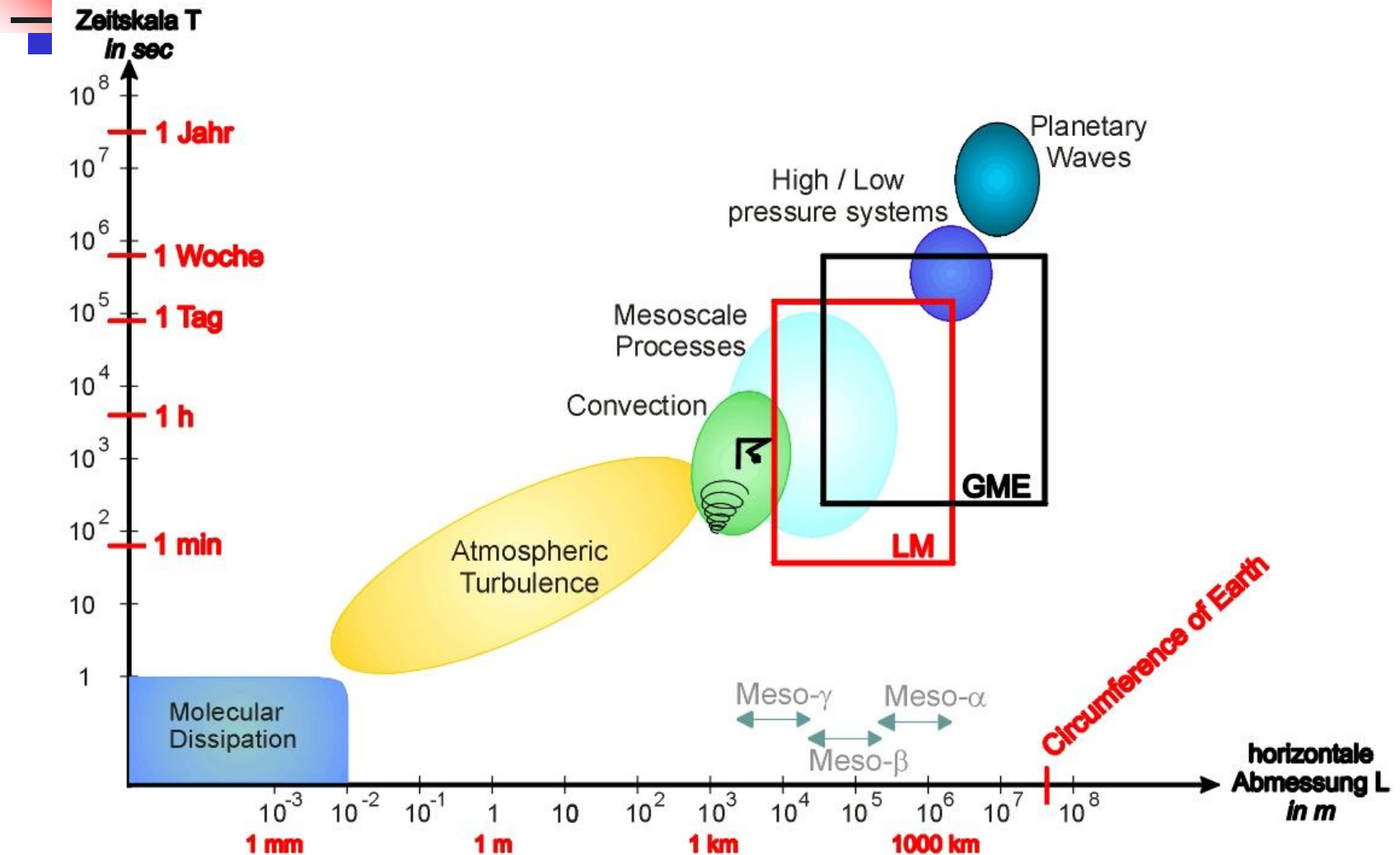


Актуальность

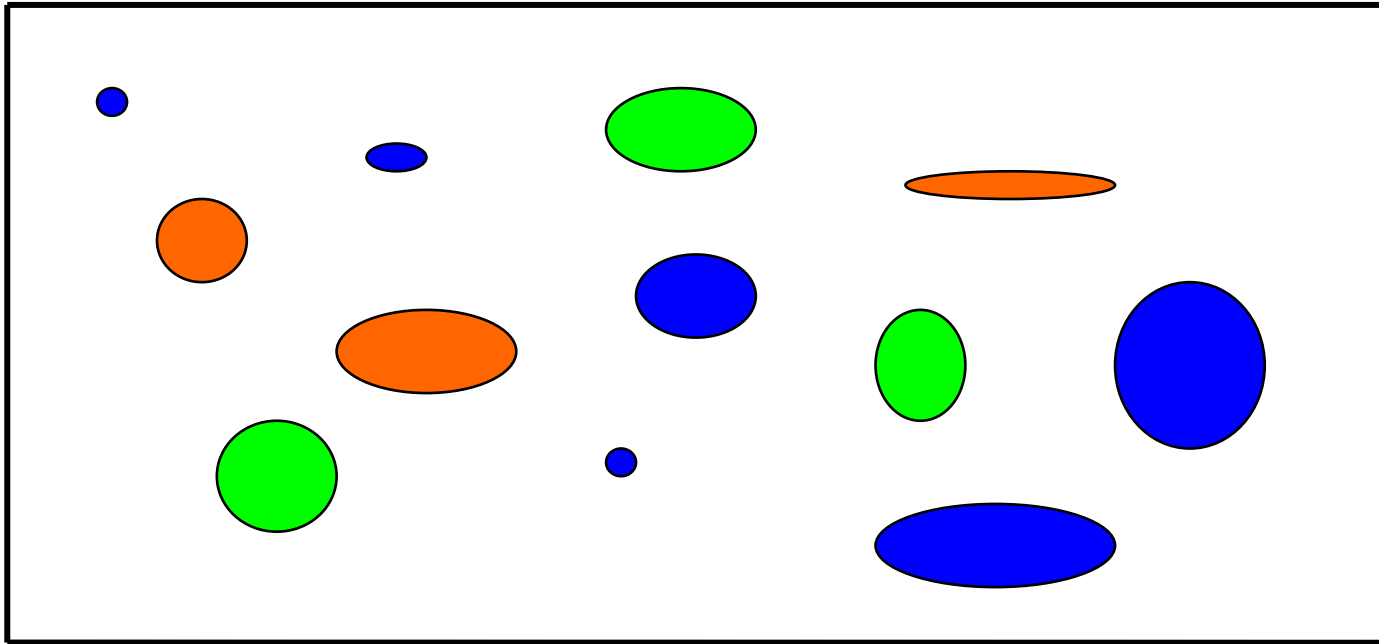
- В связи с проблемой глобального изменения климата, вопрос об изменении повторяемости экстремальных погодных явлений, таких как гроза, град, ливень и сильный ветер становится особенно актуальным.

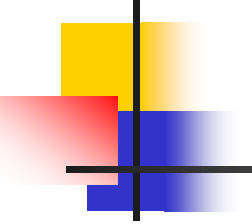
- 
- Известно, что горизонтальные размеры конвективных зон во много раз меньше расстояния между метеорологическими станциями, на которых они наблюдаются. Сравнительно невелика и продолжительность гроз и ливней. Все это и определяет трудности в регистрации, изучении и в прогнозировании опасных явлений погоды, связанных с зонами активной конвекции. На основе существующих методов прогноза гроз, града, шквалов, невозможно в высокой вероятностью предсказать их пространственную локализацию.

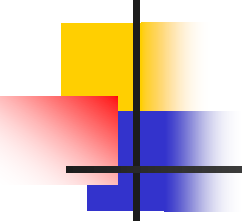
Processes in the atmosphere. The x-axis shows characteristic horizontal scales, the y-axis characteristic time-scales of the respective processes. The rectangles denote the processes resolved by a typical global model (GME) and a typical limited area model (LM), respectively.



A sub-grid scale process (e. g. convective cells) active in one grid element (bold rectangle) of a numerical model. The different colours denote, e. g., growing, decaying and stationary realisations of the process, respectively. Only the mean contribution of all these processes will influence the large scale flow.



- 
- В Сибири выявлены районы, где скорость потепления превышает $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, т.е. на порядок больше, чем для Северного полушария Земли в целом.
 - Поскольку грозовая активности является характеристикой конвективного потенциала региона, зависящего в большой степени от температуры воздуха, особый интерес представляет динамика грозовой активности в последние десятилетия.

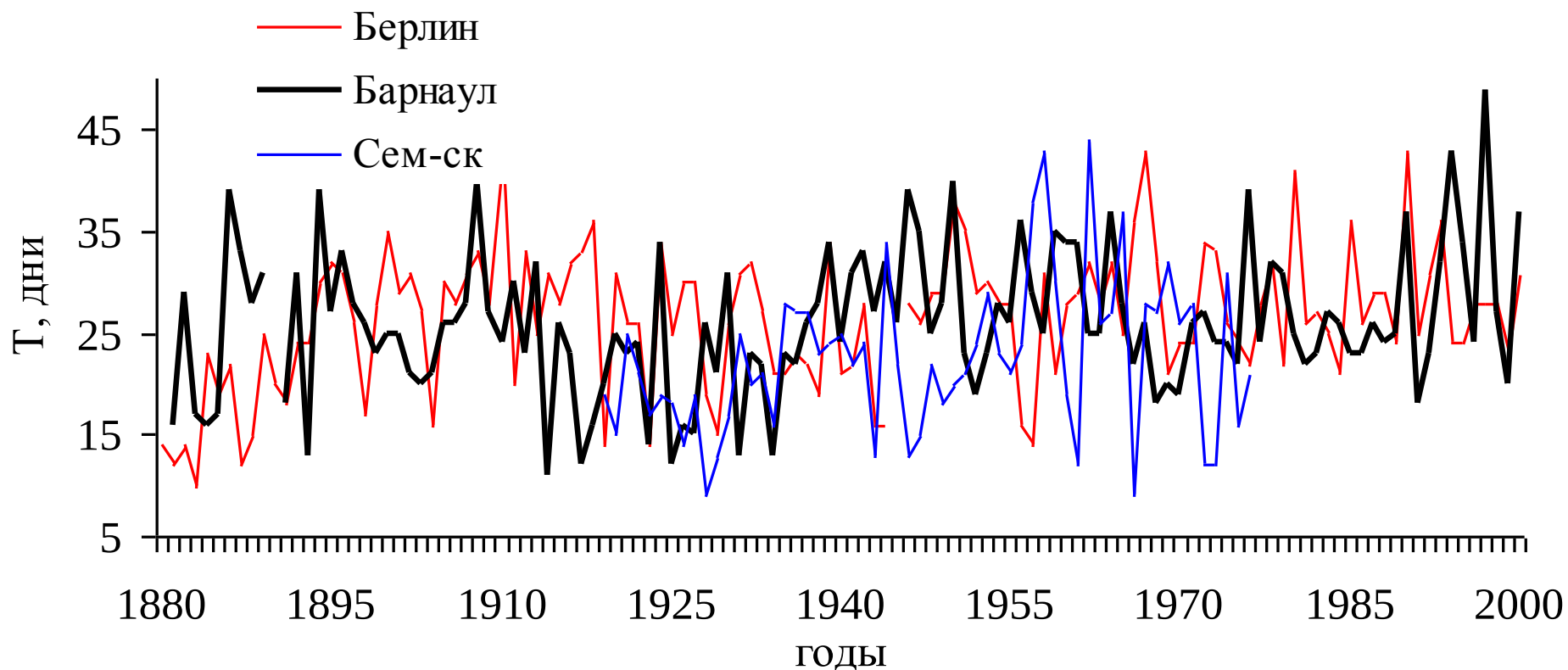


Первой целью настоящей работы

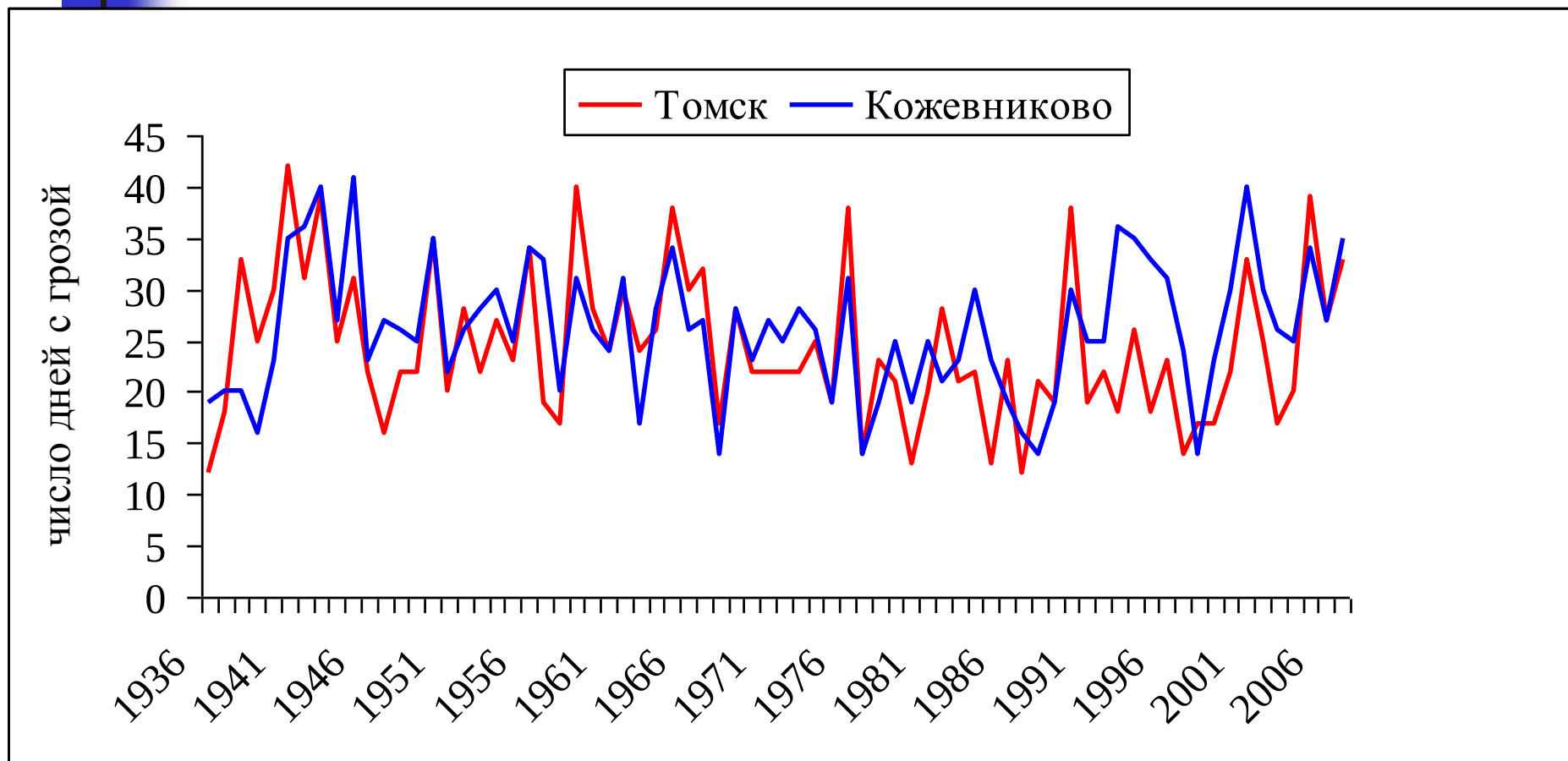
исследование периодической структуры многолетних рядов числа дней с грозой над территориями различными по своему географическому положению: юго-восток Западной Сибири и Алтай, Европа.

- Для исследований использованы данные метеорологических станций за период 1880-2011 гг.

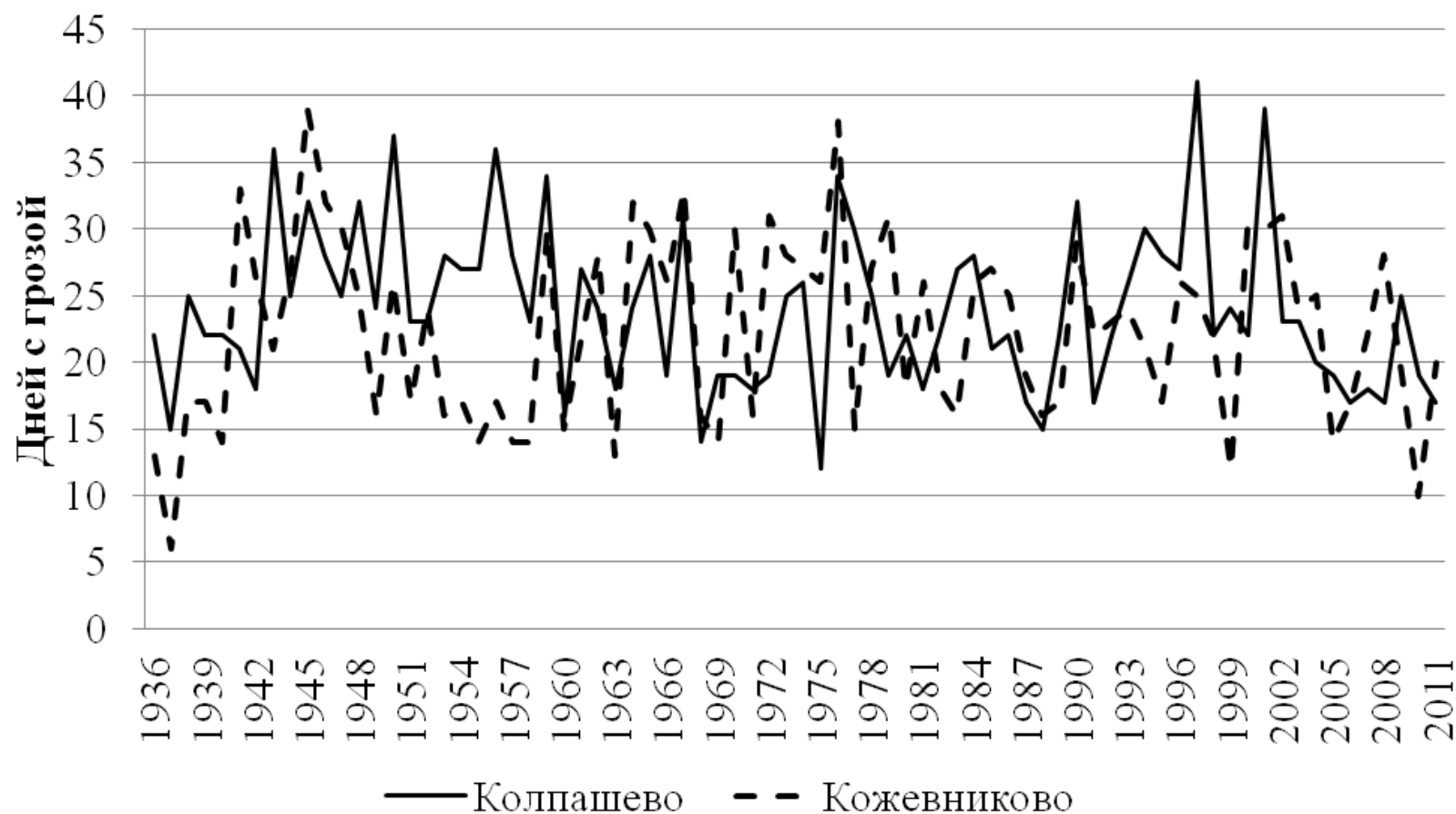
Временная изменчивость грозовой активности



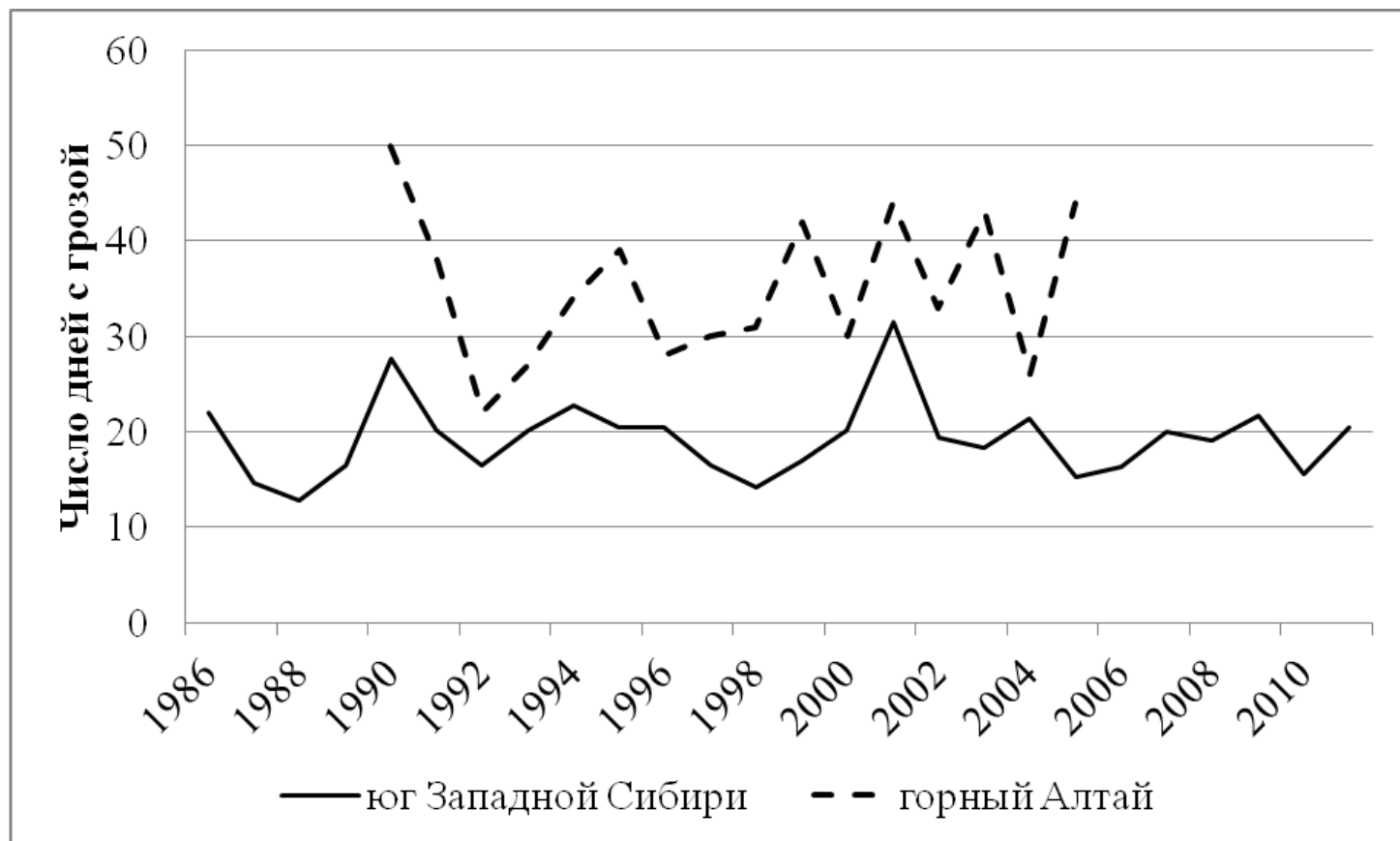
Временная изменчивость грозовой активности в Томской области

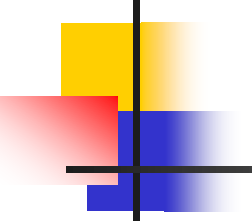


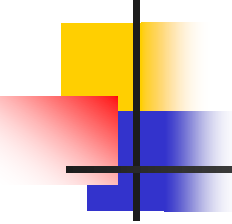
Грозовая активность над юго-востоком Западной Сибири



Юг Западной Сибири и Горный Алтай



- 
- В 20 веке максимальные значения грозовой активности (над северным полушарием) отмечались в 50 - 60 гг. После этого, почти до середины 80-х, наблюдалось повсеместное уменьшение грозовой активности.
 - В 90-е годы грозовая активность вновь достигла максимально высоких значений, на некоторых станциях был достигнут абсолютный максимум
 - В последние годы наблюдается снижение грозовой активности

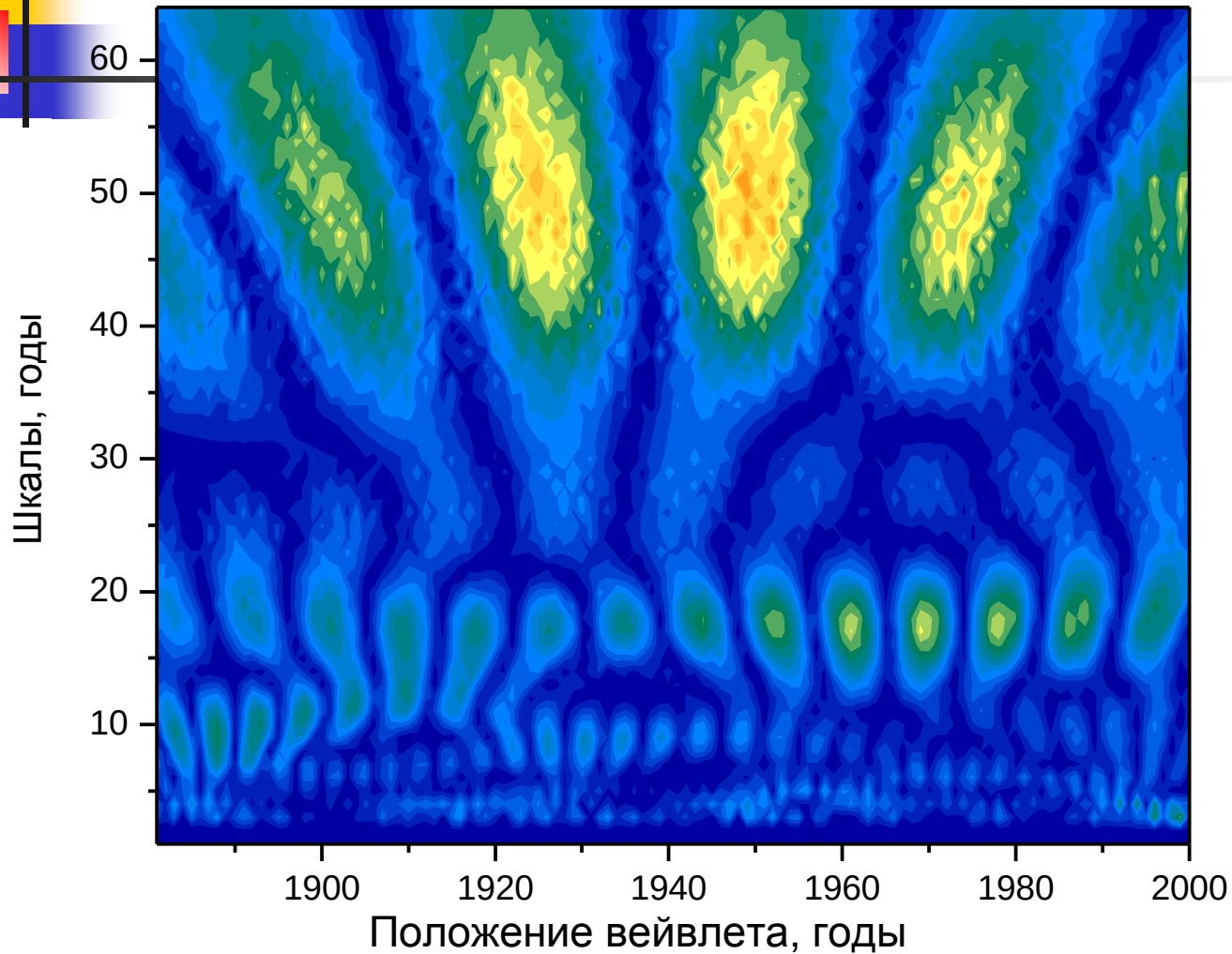


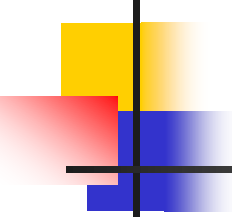
Методы анализа

Для выявления структуры исследуемых рядов применялись методы

- автокорреляционного анализа
- преобразования Фурье
- Вейвлет-анализ.

Результаты вейвлет анализа





Периоды

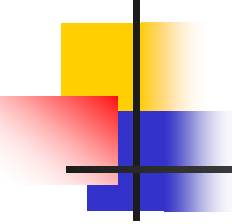
Таблица 2

Сравнение периодов цикличности в рядах числа дней с грозой,
регистрируемых над различными территориями

Территория Исследований	Обнаруженный период (число лет)							
	2-3	3-4	5-7	8-9	10- 14	15- 17	18- 24	25- 35
Красноярский край	3	4			11	-	-	-
Прибайкалье	3	4			11	-	-	-
Якутия			5	8		-	-	-
Байкал			5	8		-	-	-
Алтайский край		4	7		14	17	22	26, 34
Томская область		3	5		10	14	19	26
Северный Казахстан	2			9			18	-
Центральный Казахстан		4	6		11	17		-
Южный Казахстан		4	7		10	16		34
Восточный Казахстан			5	8	11	15	22	25
Южная часть Германии		4	6	9			22	-

Периоды

- выделяются циклы короткого (2-3, 3-4, 5-7, 8-9 лет), среднего (10-14, 15-17 лет), и длинного (18-24, 25-35, 50 лет) периодов. Одни и те же циклы на некоторых интервалах временной оси могут быть выражены более ярко, чем на всей остальной оси
- 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.
- Циклы, длительностью 10-12 лет также обнаружены в режиме многих атмосферных процессов и явлений (температура воздуха, осадки, давление воздуха, циркуляционные характеристики). являются результатом проявления в земных процессах общеизвестного 11-летнего цикла солнечной активности. Однако, по данным для грозовой активности этот цикл чаще всего уступает по амплитуде как 5-6-летнему, так и 22-23-летним. Кроме того, существуют районы, где 11-летний цикл не обнаруживается вовсе.
- 22-летний цикл солнечной активности проявляется в знаке полярности магнитных полей солнечных пятен и обнаружен в рядах температуры воздуха, форм атмосферной циркуляции, давления. Однако в рядах грозовой активности этот цикл обнаруживается не всегда.
- Циклы, продолжительностью 30-35 лет в рядах грозовой активности совпадают (для территории Евразии) с максимумом повторяемости западной формы циркуляции атмосферы в летний период [7].



Выводы

- В рядах грозовой активности обнаруживаются циклы разной продолжительности, но совпадают по продолжительности, в основном, долгопериодные.
- Направленных тенденций в изменении уровня грозовой активности над Сибирью, в регионе заметного повышения средних годовых температур воздуха, не выявлено.
- Замечено некоторое увеличение числа ранних гроз (в апреле, мае), но на структуре средних значений это увеличение пока не отразилось.

Изменчивость в течение суток

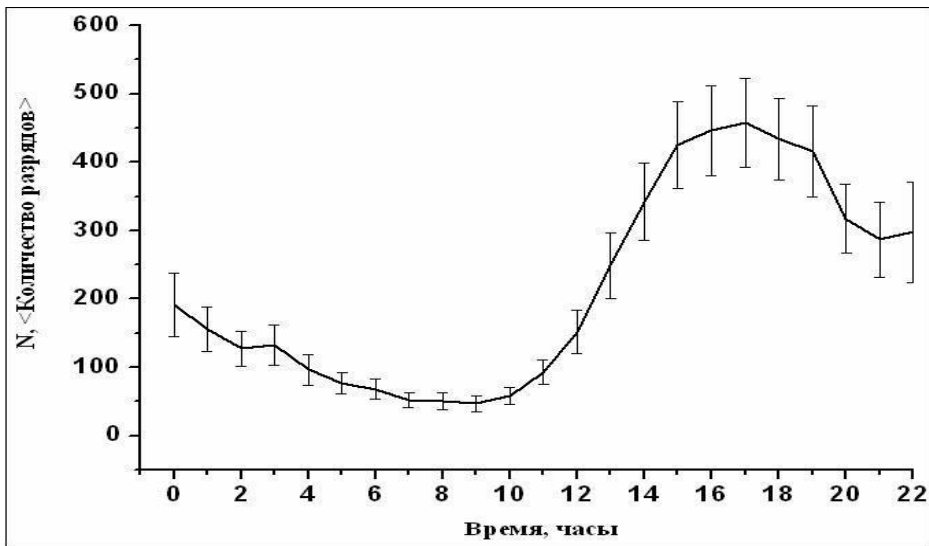
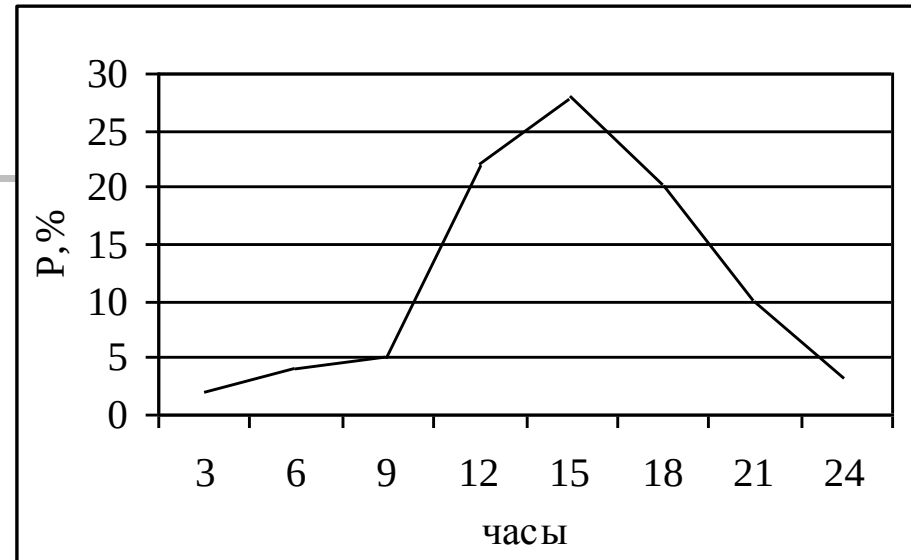


Рис. 1 Суточный ход количества разрядов молний

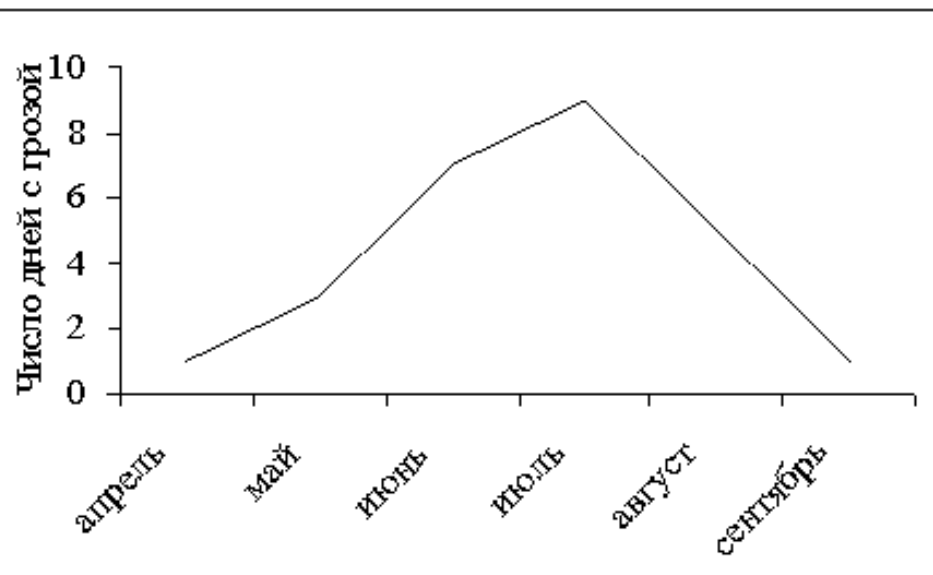
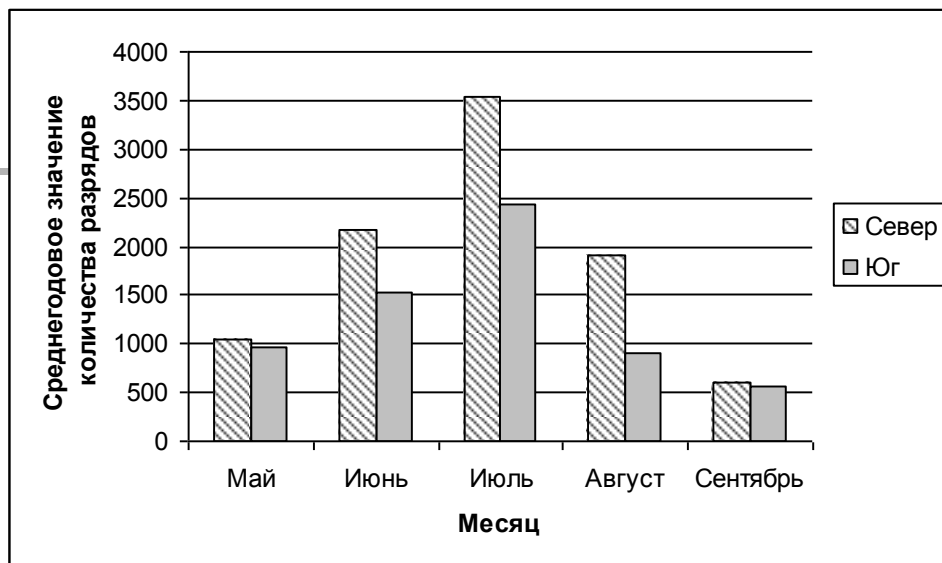


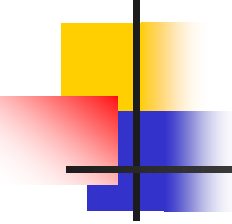
по данным
грозоотметчиков в
июле 2008-2010г
по 0,6 разр/1 кв.
км в год



Внутригодовой ход

Расстояние между двумя рассматриваемыми участками 720 км, площадь каждого из них около 35000 км²



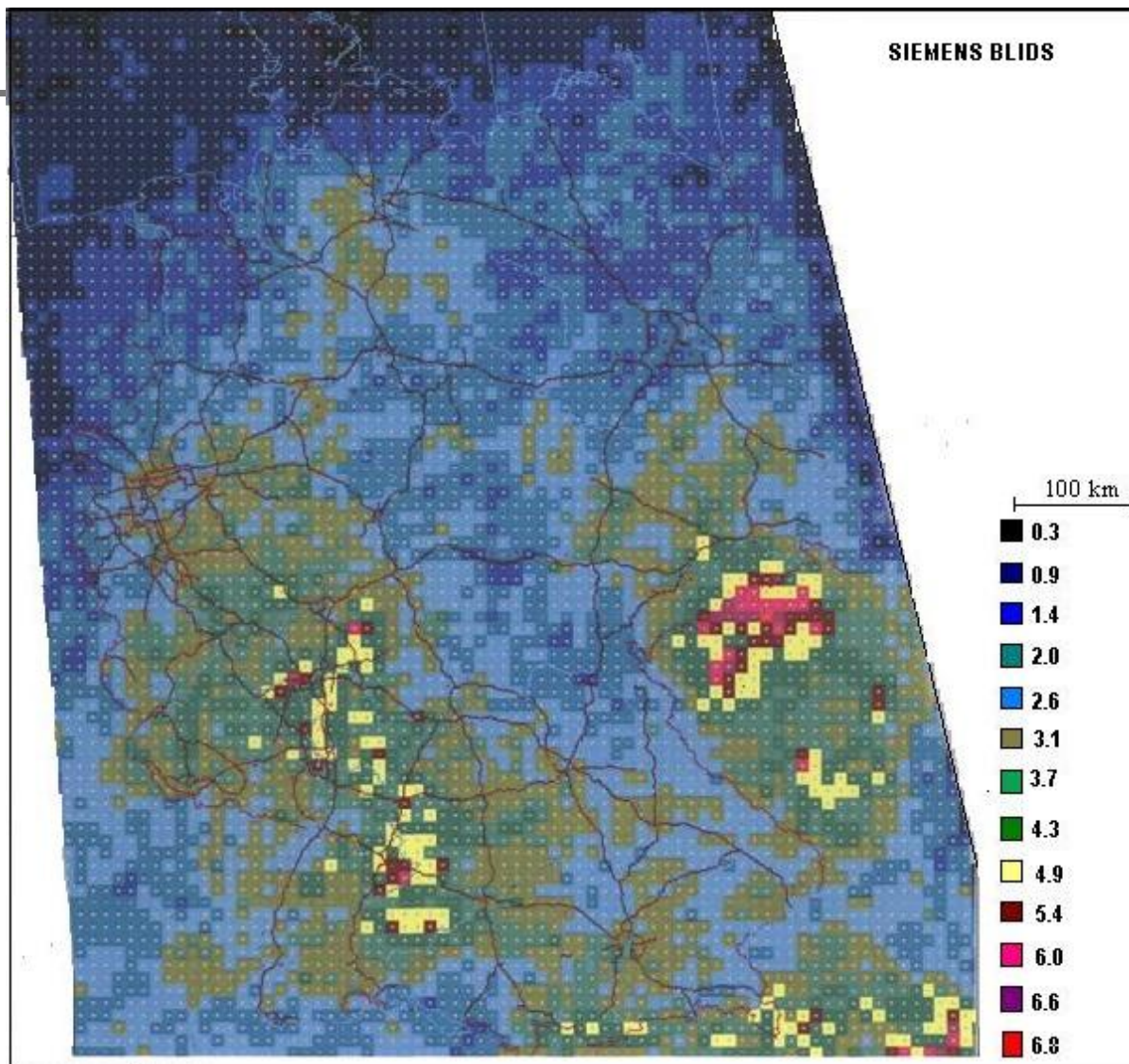


ВЫВОДЫ

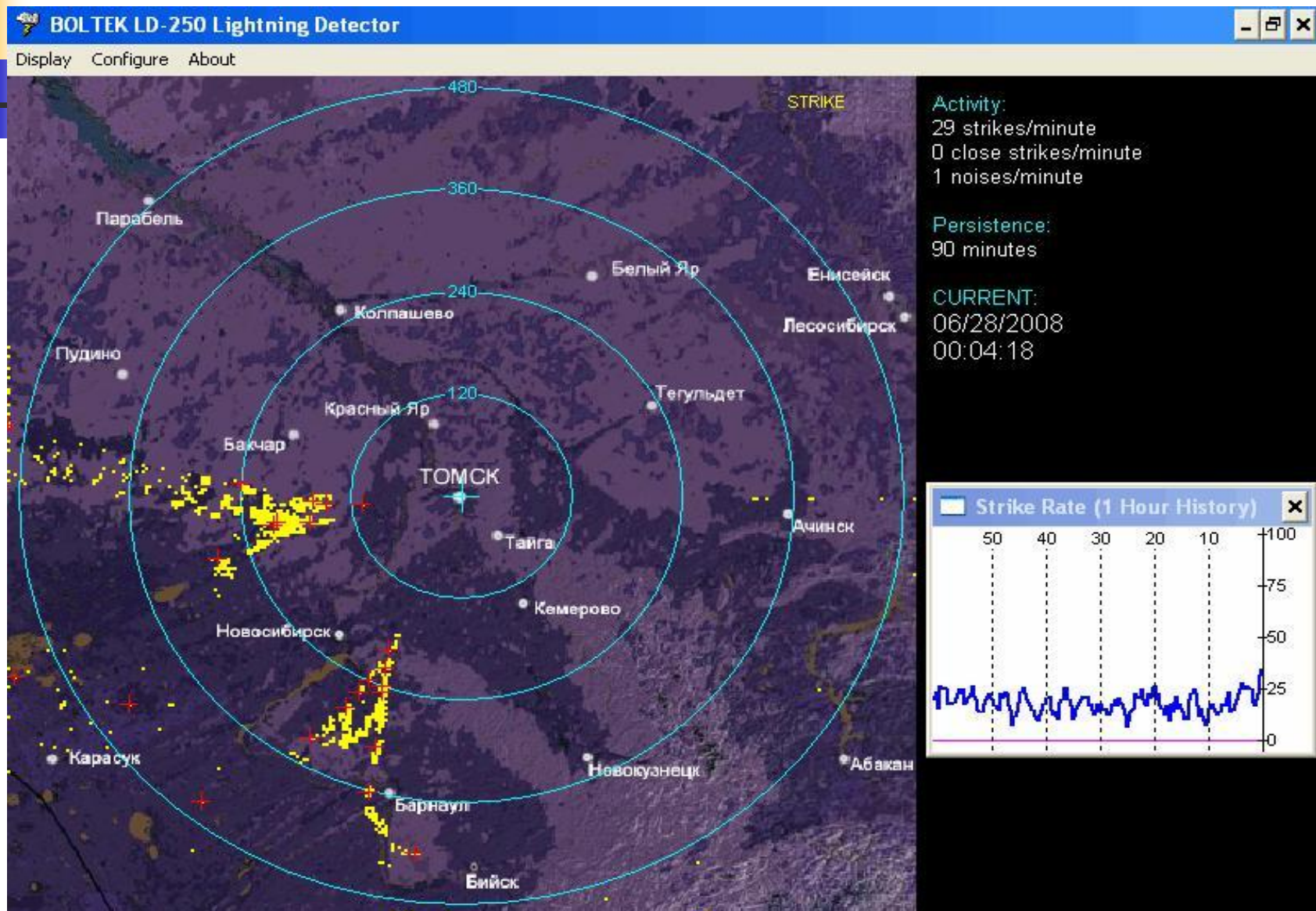
- Число разрядов молнии в умеренных широтах в период июнь-июль уменьшается на 3-4% на каждые 100 км в направлении на север;
- В июле число разрядов молнии на 30% больше, чем в июне и в августе, что полностью соответствует распределению числа дней с грозой;
- В мае и сентябре число молний составляет 10-20% от июльских (число дней с грозой 20-25%);
- В мае замечена тенденция на увеличение числа дней с грозой в районах с максимальной скоростью потепления. Потепление замечено в феврале, марте, мае и октябре

Пространственная неоднородность грозовой активности

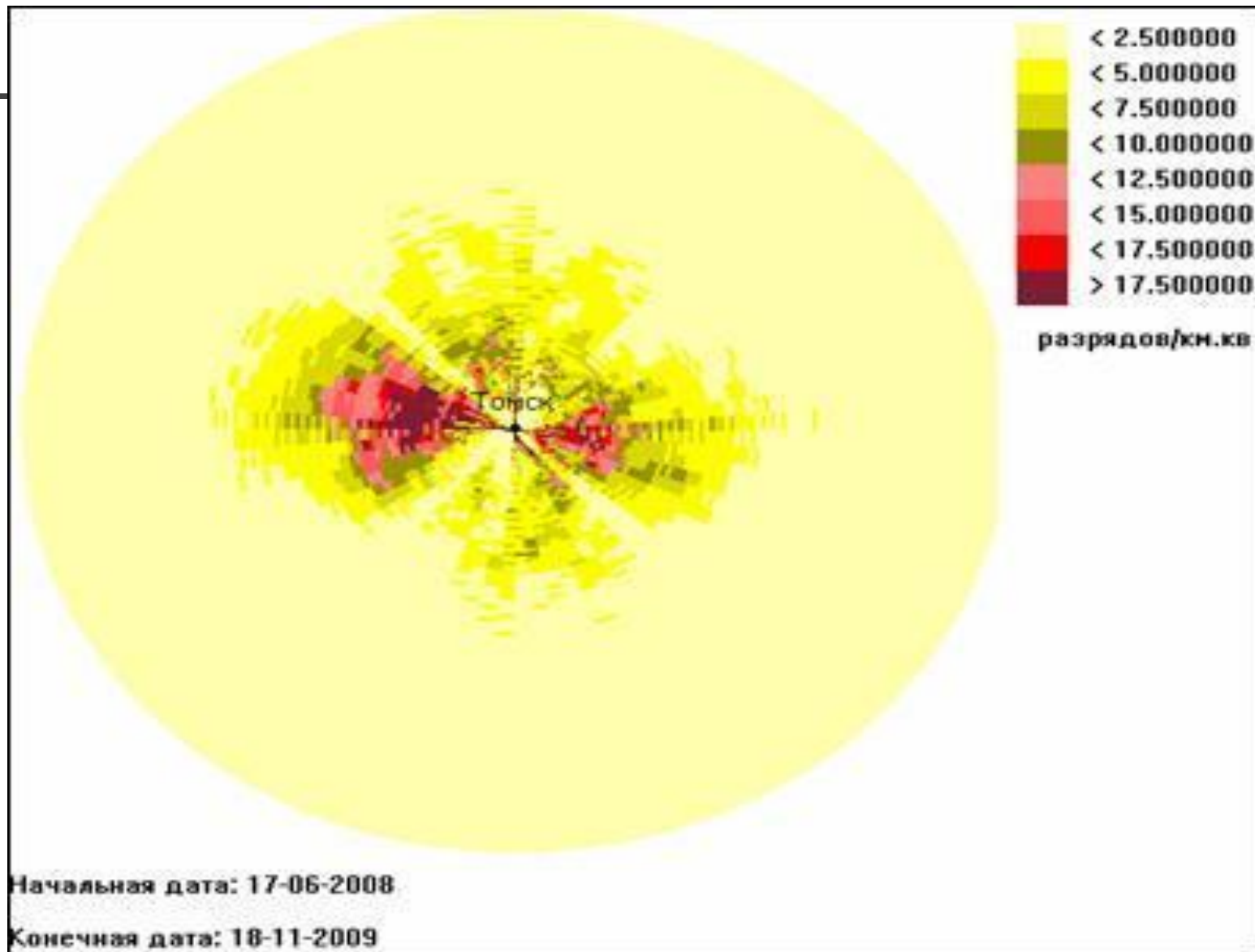
**Плотность
разрядов молнии
(N, разр. /км² год)
над территорией
Германии
за период с 1995
по 2006
для квадратов
10х10 км.**

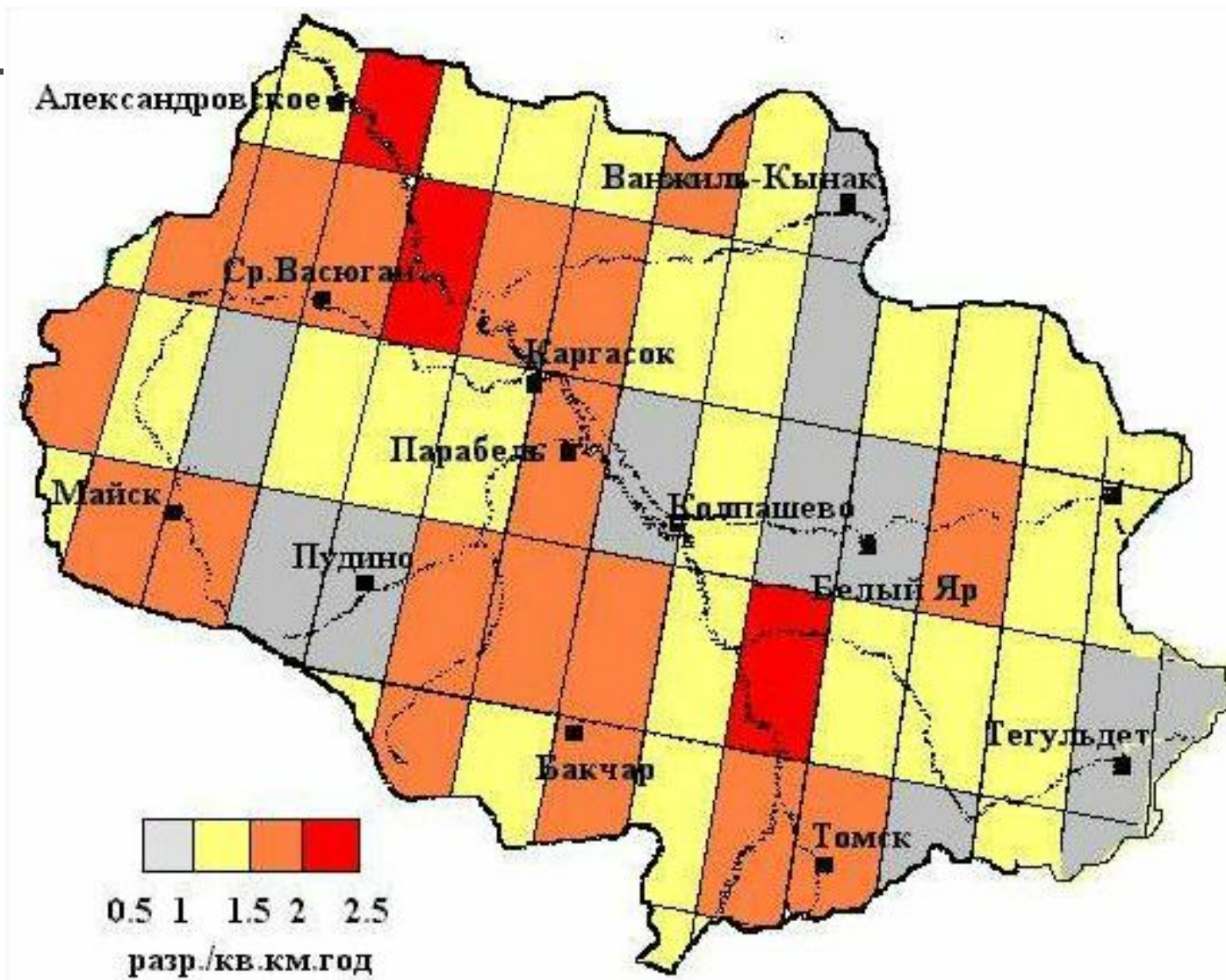


Молнии на экране монитора грозопеленгатора

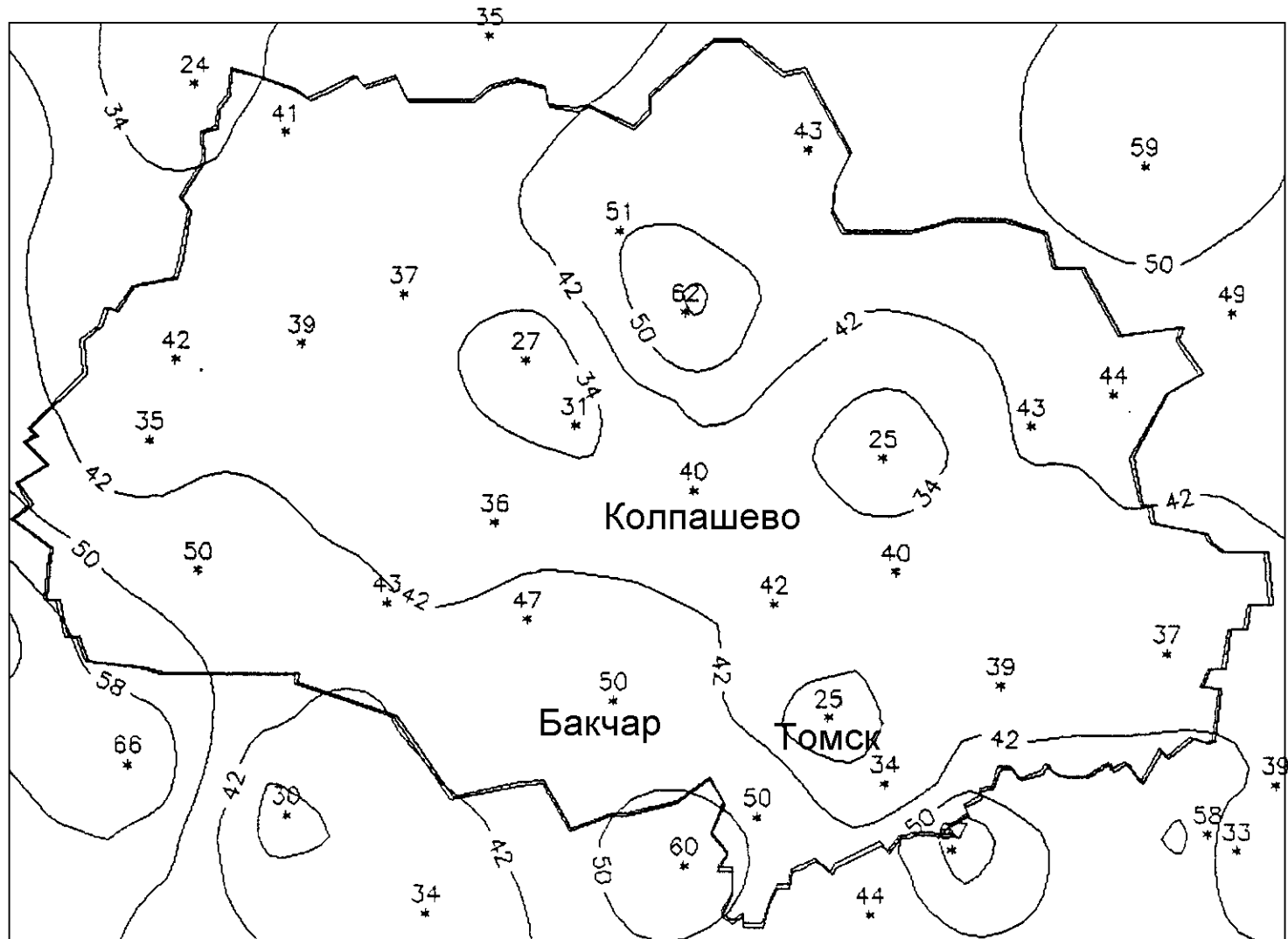


Карта плотности молний в радиусе 400 км от Томска

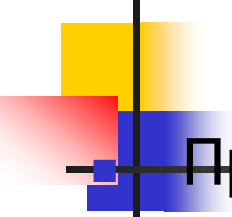


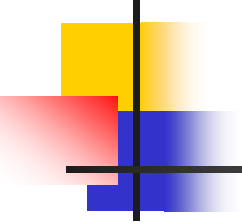


Число дней с грозой Томская область



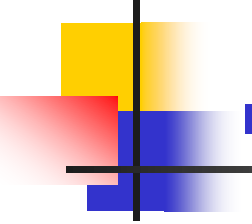
Выводы, часть 1

- 
- Пространственному распределению характеристик грозовой активности свойственна значительная мезомасштабная неоднородность и зависимость от состояния подстилающей поверхности.
 - Очаги ее повышенных (пониженных) значений сохраняются на протяжении всего периода наблюдений.
 - Организация полигонов, где кроме прочих методов определения грозоопасности будут установлены автоматические грозорегистраторы, как никогда актуальна. На фоне потепления климата неизбежно увеличится количество гроз, следовательно, будет возрастать ущерб от воздействия молний.



Исследование характеристик конвекции

- Основная проблема качественного прогноза развития конвективных явлений – трудности в создании физической основы для численного моделирования конвективных процессов.

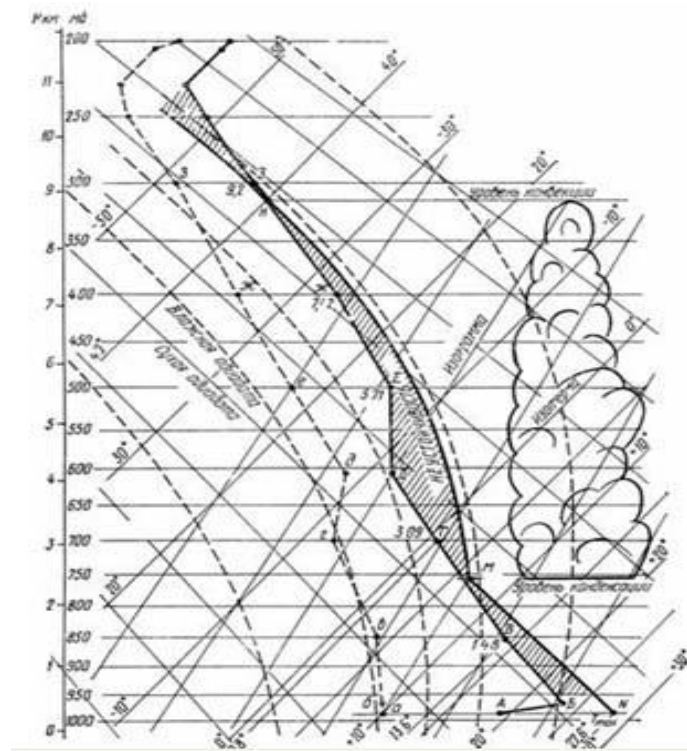
- 
- Для разработки методов прогноза развития конвекции применяется несколько подходов, из которых наиболее распространенным за рубежом является статистическая интерпретация численных характеристик прогностических полей по той или иной действующей модели.

В мезомасштабных моделях **MM5** и **WRF** для прогноза развития конвекции в целом и, например, грозы практикуется использование значений индексов, характеризующих конвекцию по ряду параметров

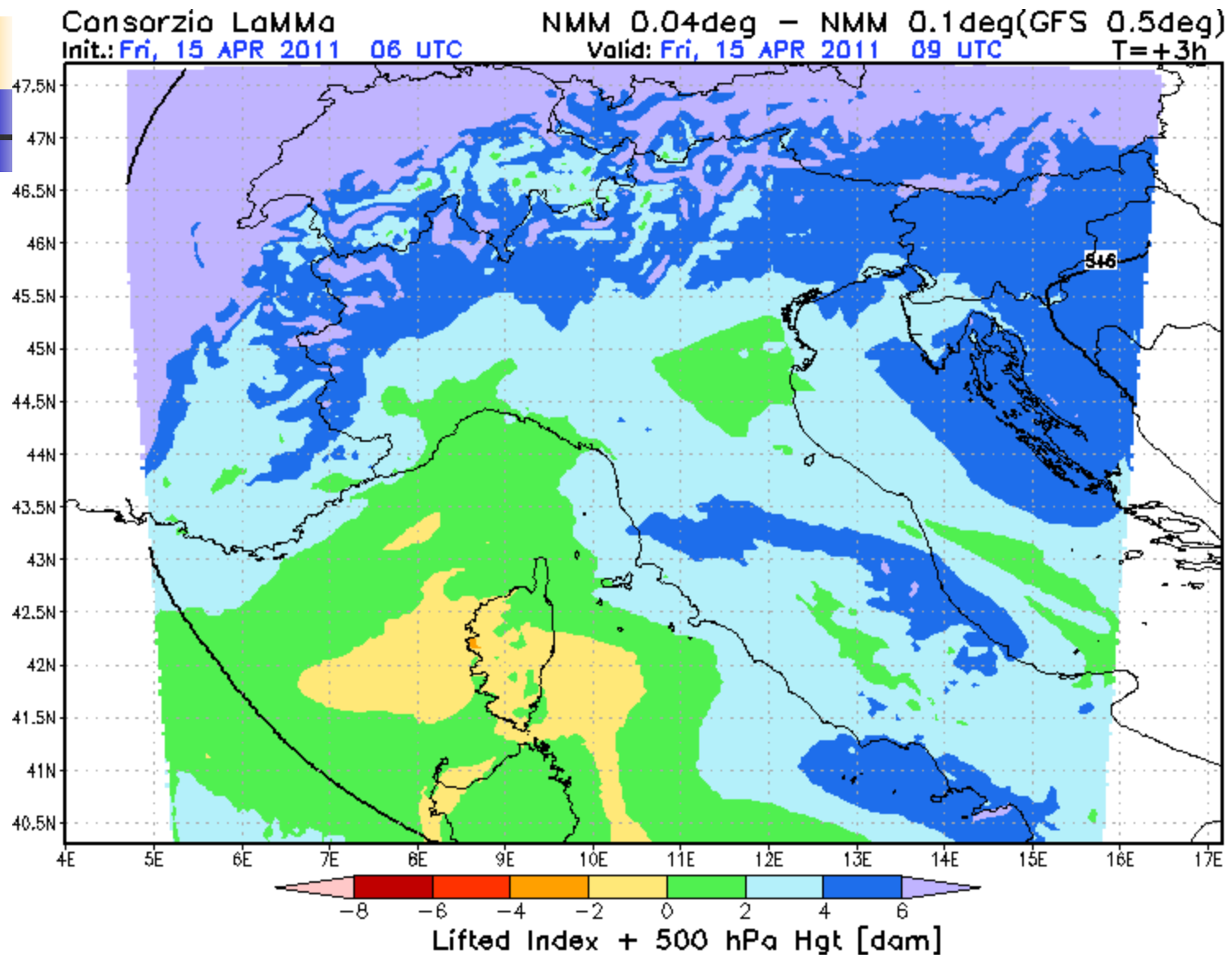
В первую очередь это индексы, характеризующие устойчивость атмосферы – Showalter, Lifting

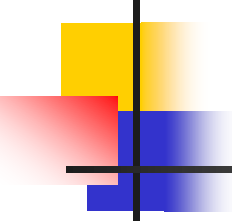
$$SHOW = T_{500} - T_{parcel}$$

$$LI = T_{500} - T_{parcel1}$$



Lifting index в WRF модели





Вторую группу индексов представляют индексы, в которых кроме стратификации температуры, присутствуют характеристики влажности:
K index, TOTL index.

$$\mathbf{KINX} = (T850 - T500) + TD850 - (T700 - TD700)$$

$$\mathbf{TOTL} = (T850 - T500) + (TD850 - T500)$$

Индекс TOTL одновременно характеризует и устойчивость и влагосодержание атмосферы в слое от 850 до 500 гПа. Если значения индекса TOTL изменяются в пределах

45-50 - развитие грозы возможно.

50-55 вероятность развития грозы высока и возможны интенсивные грозы.

55-60, то над территорией наиболее вероятны очень сильные грозы

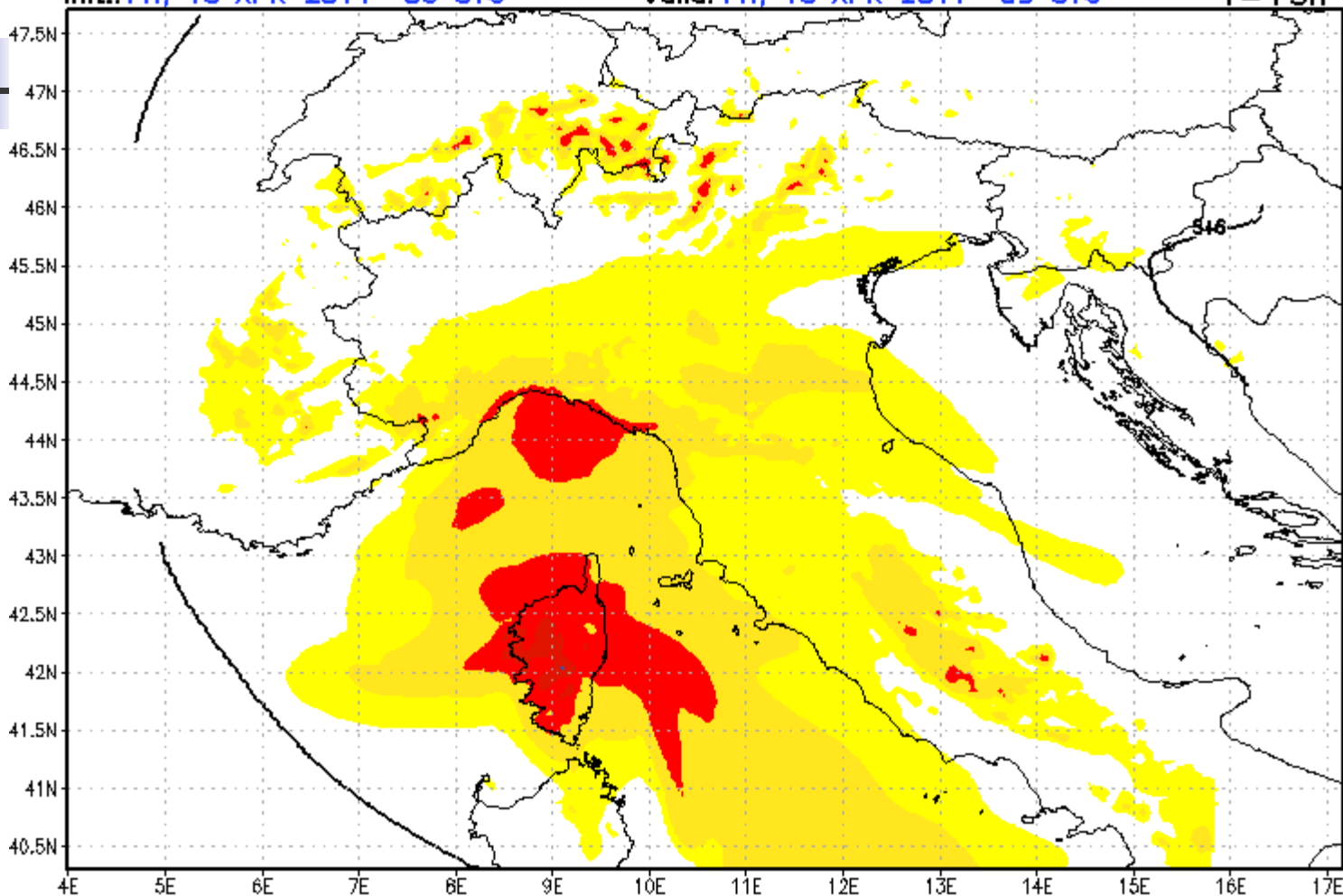
Consorzio LaMMA

Init.: Fri, 15 APR 2011 06 UTC

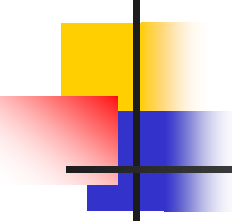
NMM 0.04deg - NMM 0.1deg(GFS 0.5deg)

Valid: Fri, 15 APR 2011 09 UTC

T=+3h



Total Totals + Sweat Index



Третья группа индексов —это индексы, оценивающие энергию конвективного потенциала атмосферы: CAPE, Convective Inhibition.

$$CAPE = g \int_{LFCT}^{EL} dz * (Tp - Te) / Te$$

$$CINS = g \int_{ML}^{LFCT} dz * (Tp - Te) / Te$$

Если значения CAPE принимают значения в пределах от 1000 до 2500 Дж/кг, то атмосфера неустойчива (вертикальные скорости при этом составляют около 50 м/с) и можно ожидать значительное развитие конвекции и связанных с нею опасных явлений погоды.

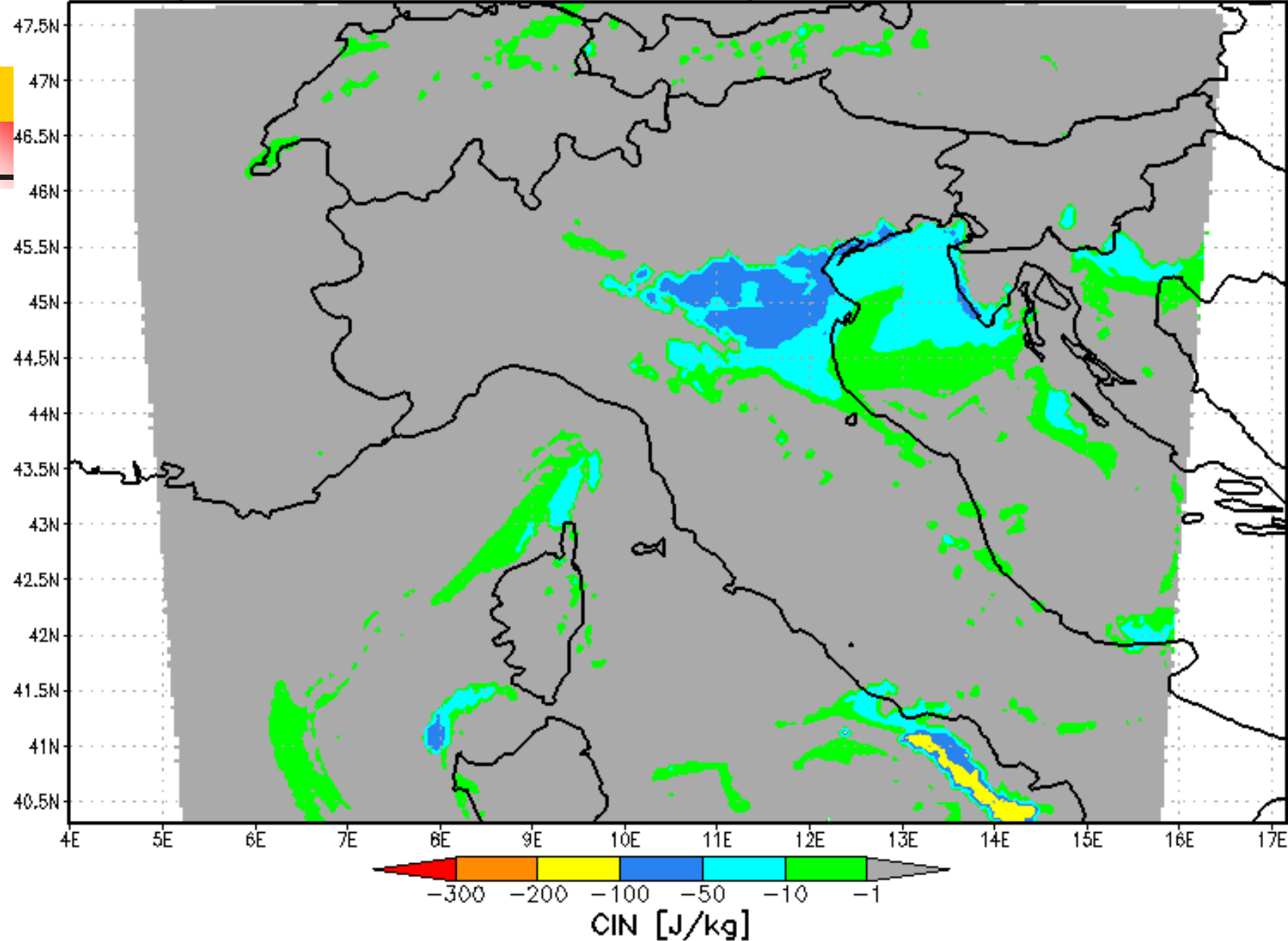
Consorzio LaMMA

Init.: Wed, 13 APR 2011 00 UTC

NMM 0.04deg - NMM 0.1deg(GFS 0.5deg)

Valid: Wed, 13 APR 2011 06 UTC

T=+6h



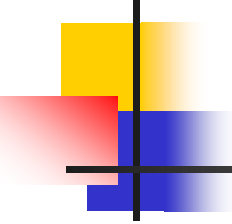
В четвертой группе индексов присутствуют характеристики сдвига ветра: SWET , BRNCH index

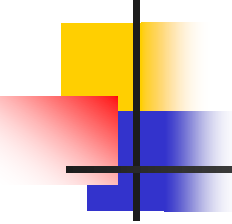
$$SWET = 12*TD850 + 20*(TOTL - 49,0) + 2*SKT850 + SKT500 + SHEAR,$$

- *TD850 – температура точки росы на уровне 850 гПа, °C;*
- *SKT850 – скорость ветра в узлах на уровне 850 гПа,*
- *SKT500 - скорость ветра в узлах на уровне 500 гПа,*
- *SHEAR=125*[SIN(DIR500 – DIR850)+0.2]*

$$BRCH = CAPE / (0.5*U**2),$$

BRCH (коэффициент Ричардсона) – CAPE, отнесенный к величине сдвига ветра на высотах между 500 м и 6000 м.

- 
-
- По европейским расчетам при значениях индекса SWET превышающих 300 наблюдаются грозы, а при значениях более 400 возможно развитие торнадо;
 - Значения индекса BRCH от 10 Дж/кг до 45 Дж/кг ассоциируется с развитием обширной конвективной «суперячейки»



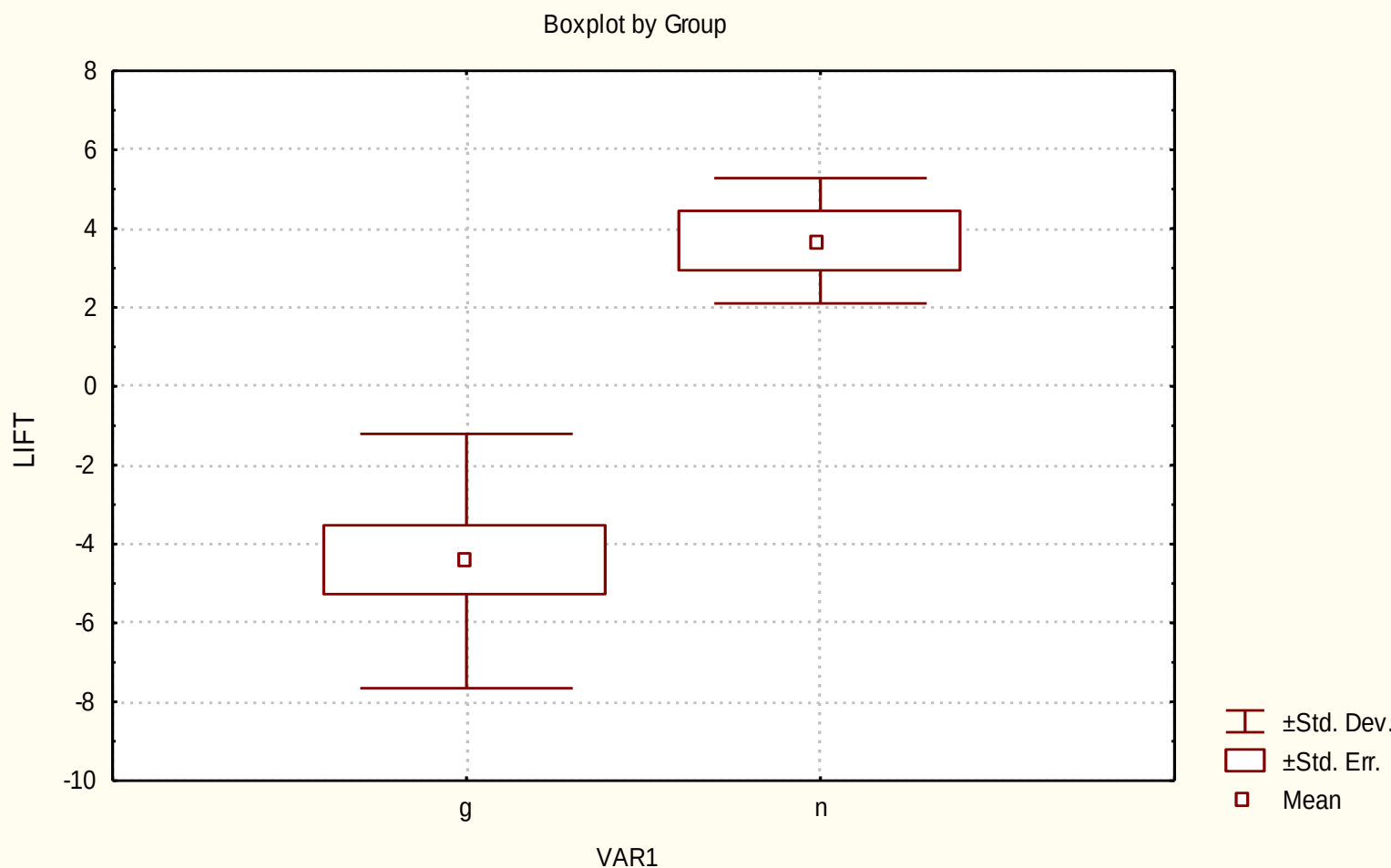
Статистические характеристики значений индексов в дни с грозой в июле в срок 12.00 ВСВ.

Станция	индекс	Статистические характеристики			
		Среднее	максимум	минимум	σ (ст. отклонение)
Александровское	LIFT	2,1	-	-6,8	3,5
	KINX	22	47	-4	10
	TOTL	43	53	22	5,2
Колпашево	LIFT	-0,5	8	-6,3	3,8
	KINX	23	38	5	8
	TOTL	47	52	36	5,0
Новосибирск	LIFT	-4,0	1,4	-9,2	3,0
	KINX	29	34	18	5,0
	TOTL	47	57	44	4,0

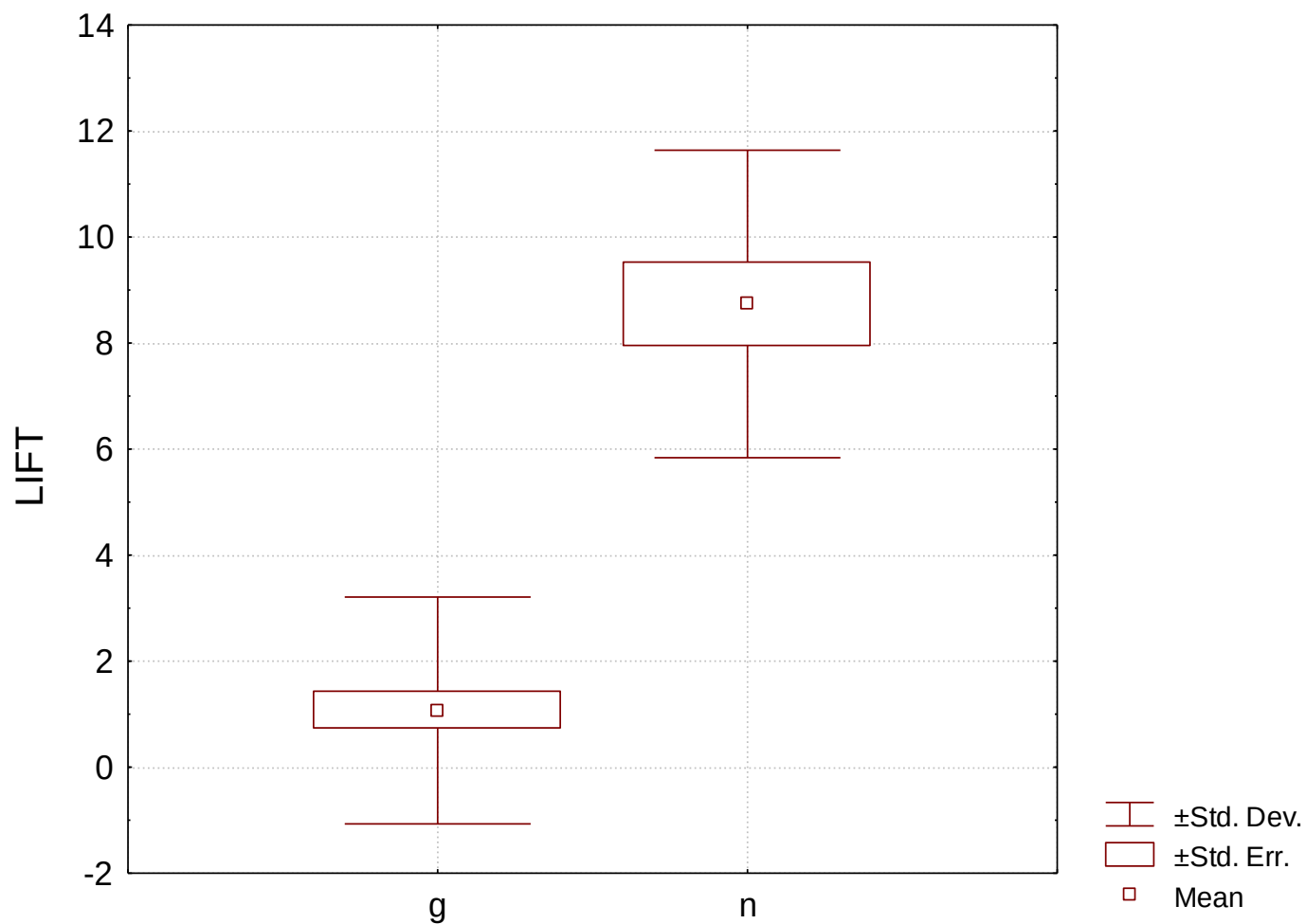
Интервалы значений индексов для различных состояний атмосферы

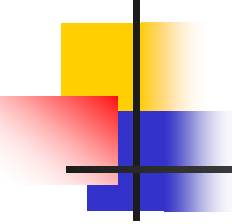
Состояние атмосферы	Значения индексов					
	SHOW	LIFT	SWEAT	KIND	TOTL	CAPE
слабо неустойчива (наличие ливней, отдельных гроз)	0÷3	-3÷0	100÷200	25÷30	40÷45	0÷1000
неустойчива (наличие ливней и гроз)	-3÷0	-6÷-3	200÷300	30÷35	45÷50	1000÷2000
сильно неустойчива (на всей территории регистрируются интенсивные грозы, град, ливни)	-6÷-3	-9÷-6	300÷400	35÷40	50÷55	2000÷2500
крайне неустойчива (гроза, град, смерч)	<-6	<-9	≥400	≥40	≥55	≥2500

Статистическое распределение индекса LIFT по данным зондирования ст.Новосибирска



Статистическое распределение для августа индекса LIFT по данным зондирования ст. Новосибирска

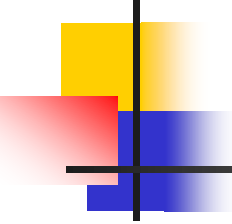




Conclusion

в дни с грозой над Томской областью:

- Значения индекса LIFT укладываются в интервал, характеризующий атмосферу как умеренно нестабильную. Крайняя нестабильность атмосферы над Западной Сибирью наблюдается только в южной ее части и очень редко (2 раза в 3 года).
- Грозы, сопровождаемые ливнями формируются при значениях KINX много ниже 30. Дней со значениями $KINX \geq 40$ над исследуемой территорией не встречается.
- Сильные грозы формируются при значениях индекса TOTL ниже 50. Дней со значениями $TOTL \geq 50$ над исследуемой территорией бывает не чаще, чем 2-3 раза в год.

- 
-
- В результате исследований определены соотношения значений индексов LIFT, TOTL, KINX позволяющих описать состояние атмосферы, благоприятное для развития гроз на территории юго-востока Западной Сибири в разные месяцы грозового сезона. Области значений перечисленных индексов в дни с грозой и без грозы имеют статистически значимые различия с высокой степенью надежности

Итоговые таблицы дискриминантного анализа для июня и июля

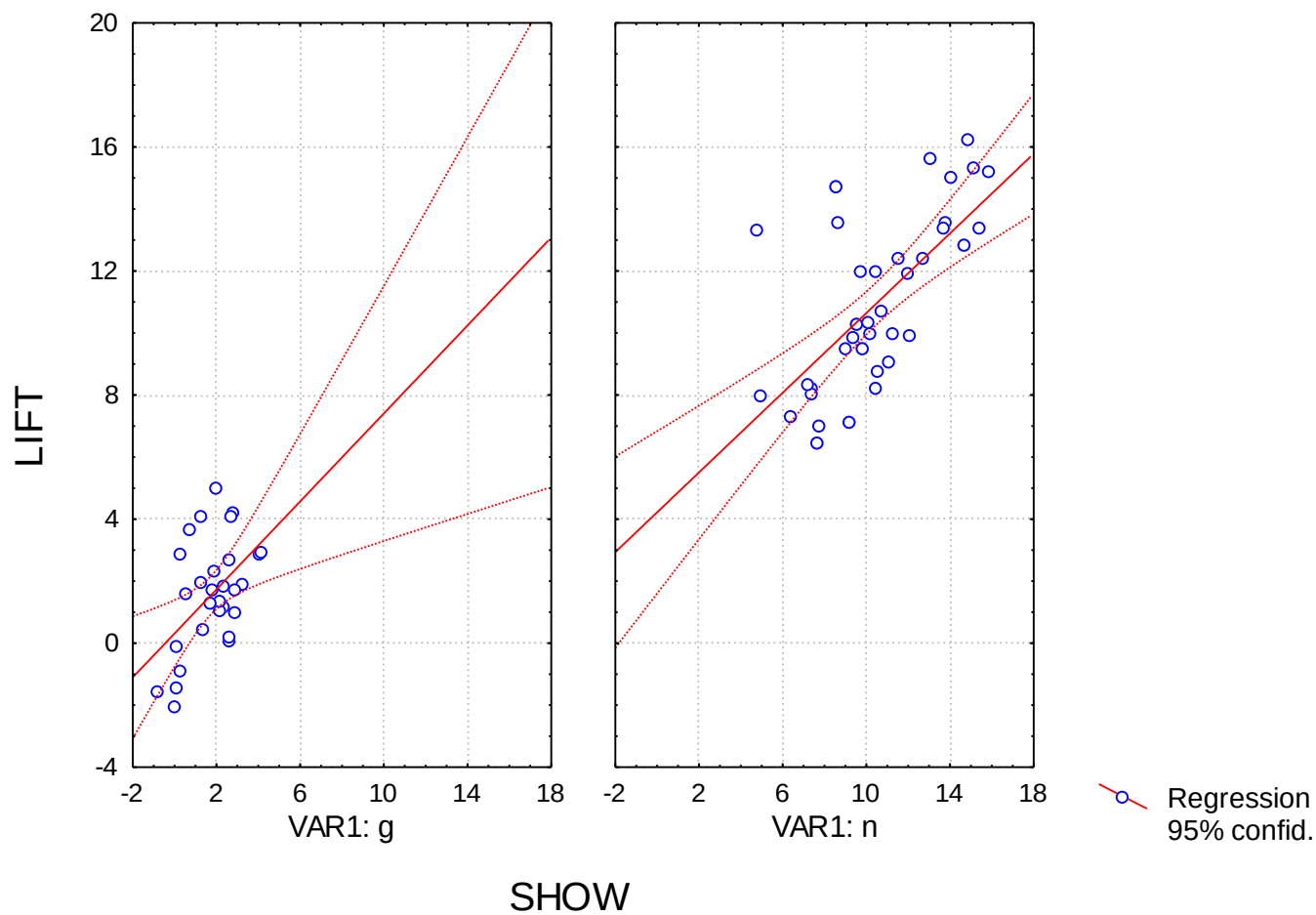
Wilks' Lambda: 0,14 $F(3,68)=129$ $p<0,00$ (июнь)

Wilks' Lambda: 0,26 $F(2,13)=177$ $p<0,00$ (июль)

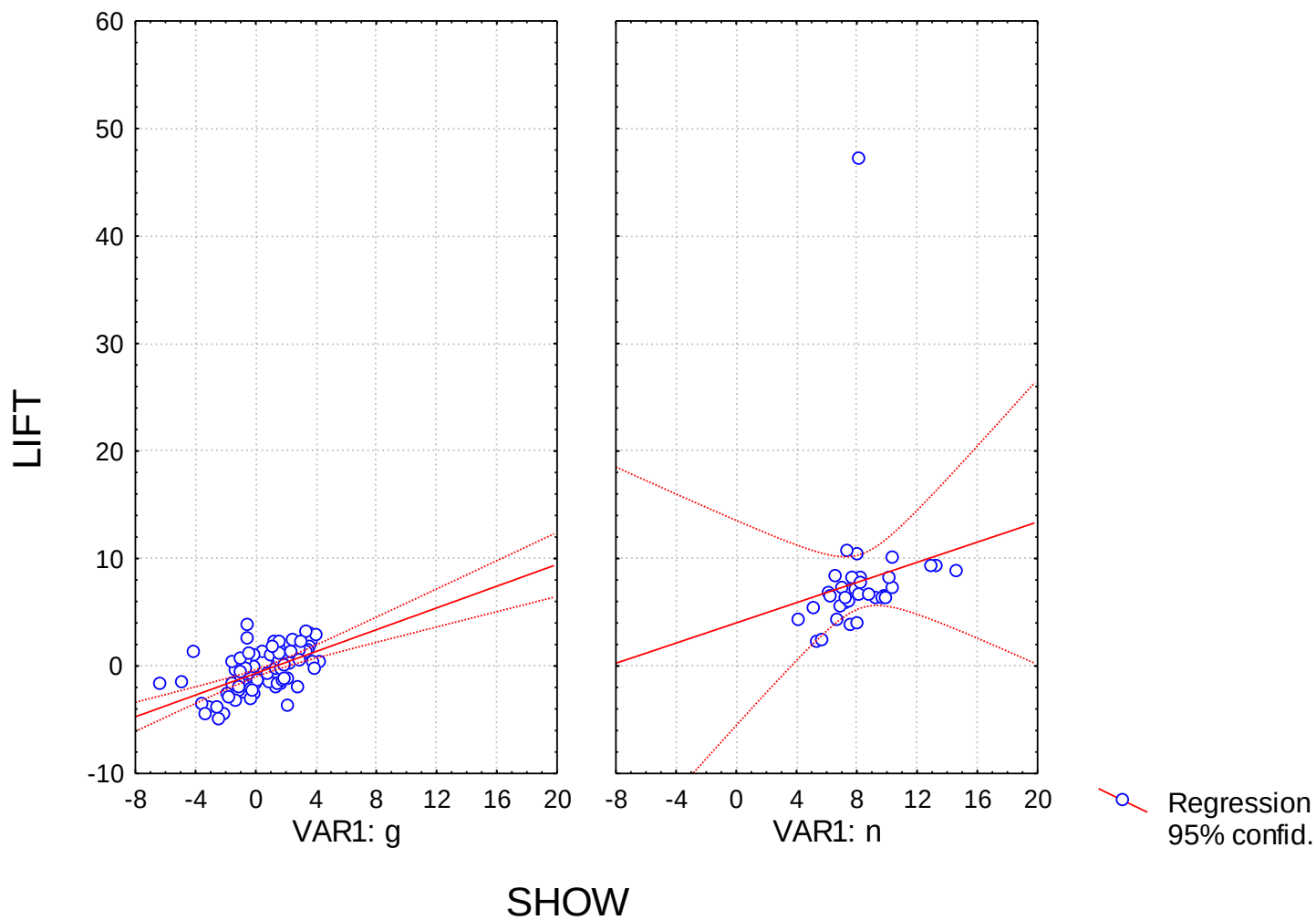
N=72	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove	P-level
SNOW	0,15	0,97	1,06	0,20
LIFT	0,19	0,75	22,3	0,00
SWET	0,18	0,79	17,6	0,00

N=131	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove	P-level
SNOW	0,54	0,48	134	0,00
LIFT	0,28	0,92	9,64	0,00

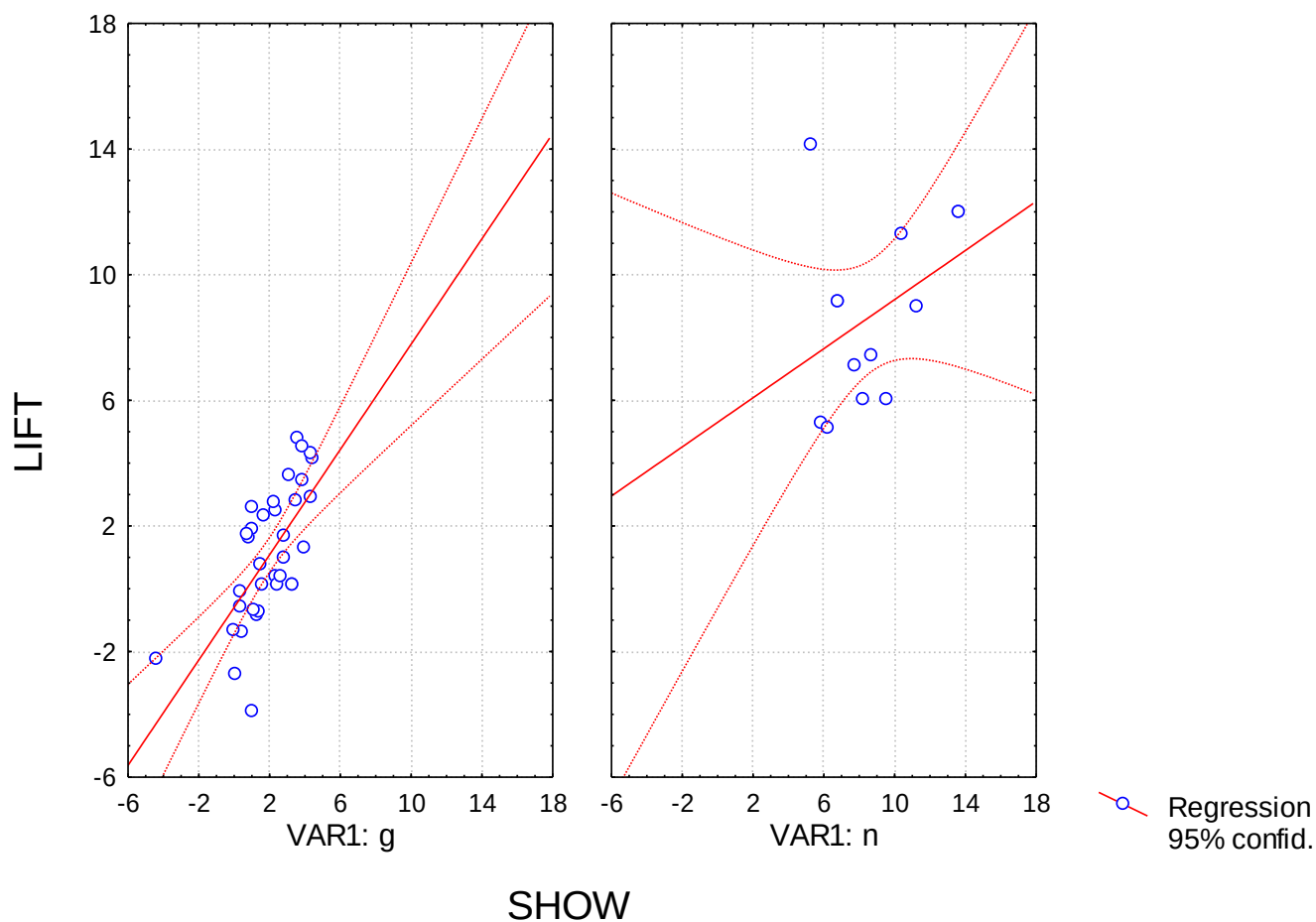
Вероятность грозы в июне в зависимости от величин индексов SNOW и LIFT



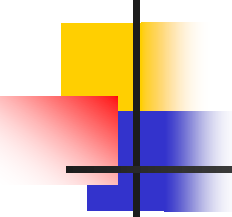
Соотношение индексов при грозе и без нее в июле

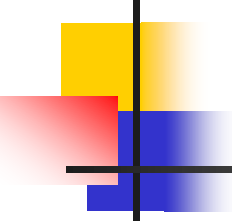


Вероятность грозы в августе в зависимости от величин индексов SNOW и LIFT



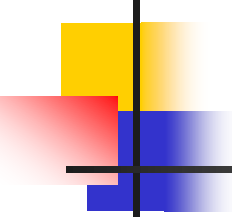
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- 
- Определены пределы изменчивости в атмосфере Западной Сибири ряда индексов, характеризующих ее по стратификации температуры, по влагосодержанию, энергетическому потенциалу и сдвигам ветра.
 - Значения индексов в дни с грозой, градом, шквалом существенно отличаются от значений, полученных для других регионов Земли.
 - Отсутствие информации о состоянии атмосферы в срок близкий к максимуму развития конвекции создает проблемы как в применении существующих методов прогноза опасных явлений погоды, так и в создании новых.
 - Использование значений индексов конвекции перспективно в альтернативных прогнозах грозы и града.



Следующей целью настоящей работы

- является сравнение значений индексов неустойчивости Lift, Show, K и Total totals , полученных с помощью спектрорадиометра MODIS, установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и рассчитанных по данным аэрологического зондирования для дней, когда метеорологическими станциями исследуемой территории были зарегистрированы грозы. В процессе выполнения работы была разработана схема извлечения данных продукта MOD07_L2 для точки с заданной координатой с помощью специализированных программ.



Район исследований

- В качестве реперных точек для проведения сравнительного анализа характеристик атмосферы в дни с грозой были выбраны территории возле аэрологических станций Колпашево (Томская область) и Новосибирск. Для анализа брали значения характеристик атмосферы в пикселе размером 5×5 км, в который попадает исследуемая станция. Маркером наличия мощной конвекции послужили грозы, зарегистрированные наблюдателями на метеорологических станциях, расположенных в непосредственной близости от аэрологических станций.

Статистические характеристики

индексов устойчивости атмосферы,
рассчитанные по данным радиозондов (P) и MOD07_L2 (M)

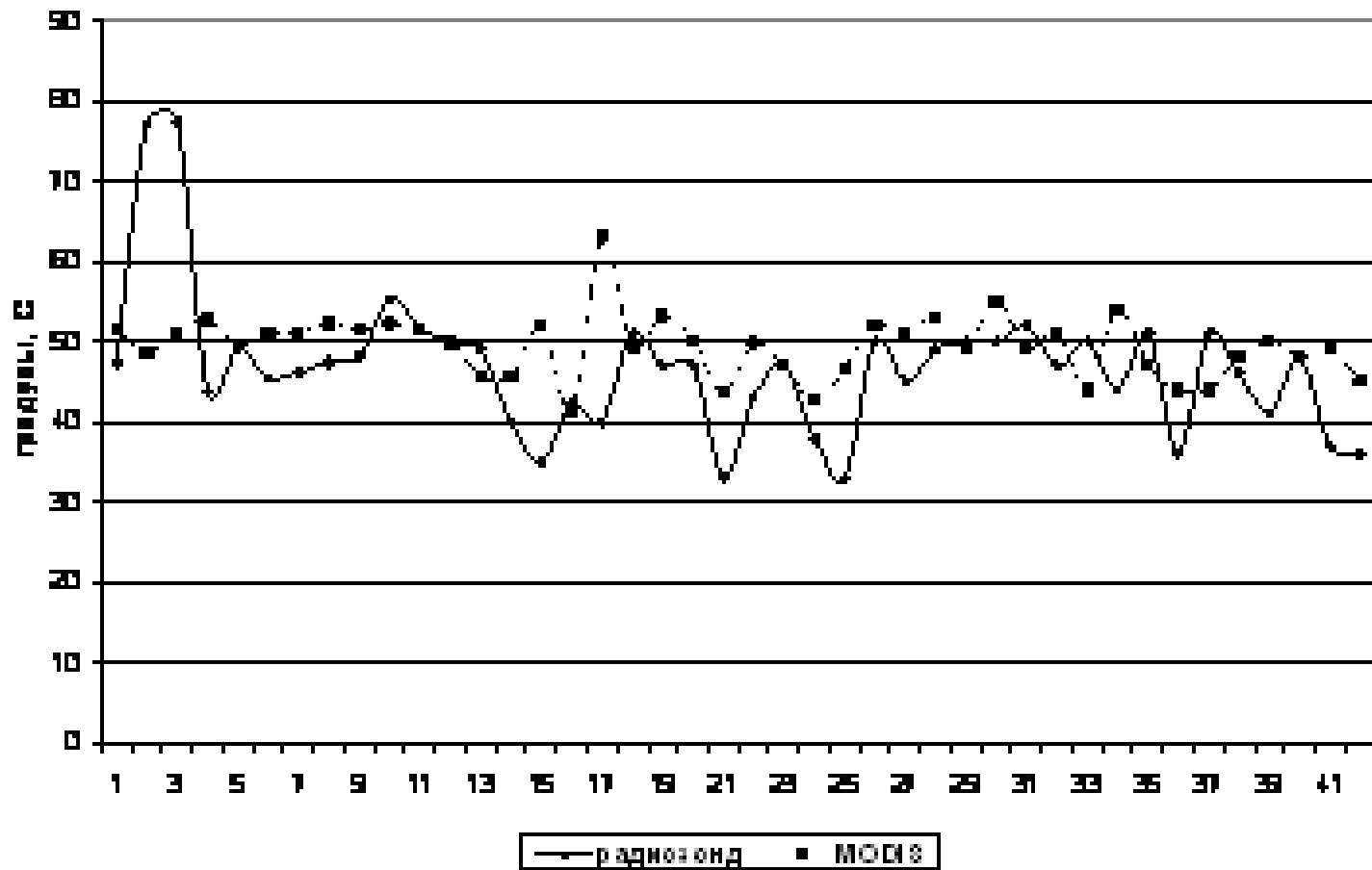
Параметры	TOTAL		LIFT		KIND	
	P	M	P	M	P	M
Среднее	46,7	49,4	3,3	0,8	23,7	24,5
Среднеквадратическое отклонение	8,9	3,9	5,5	3,6	9,7	7,9
Минимум	33	41,5	-14,2	-5	0	0
Максимум	77,5	63	14,7	9,5	41,5	36
Эмп значение t-критерия (уровень значимости)	-1,8 (при $p = 0,07$)		3,0 (при $p = 0,01$)		-0,57 (при $p = 0,6$)	
Эмп значение критерия Фишера (уровень значимости)	4,0 (при $p < 0,01$)		1,8 (при $p = 0,02$)		1,8 (при $p = 0,02$)	
Эмп значение критерия χ^2 (уровень значимости)	35,7 ($p < 0,05$)		44,7 ($p < 0,01$)		57,1 ($p < 0,05$)	



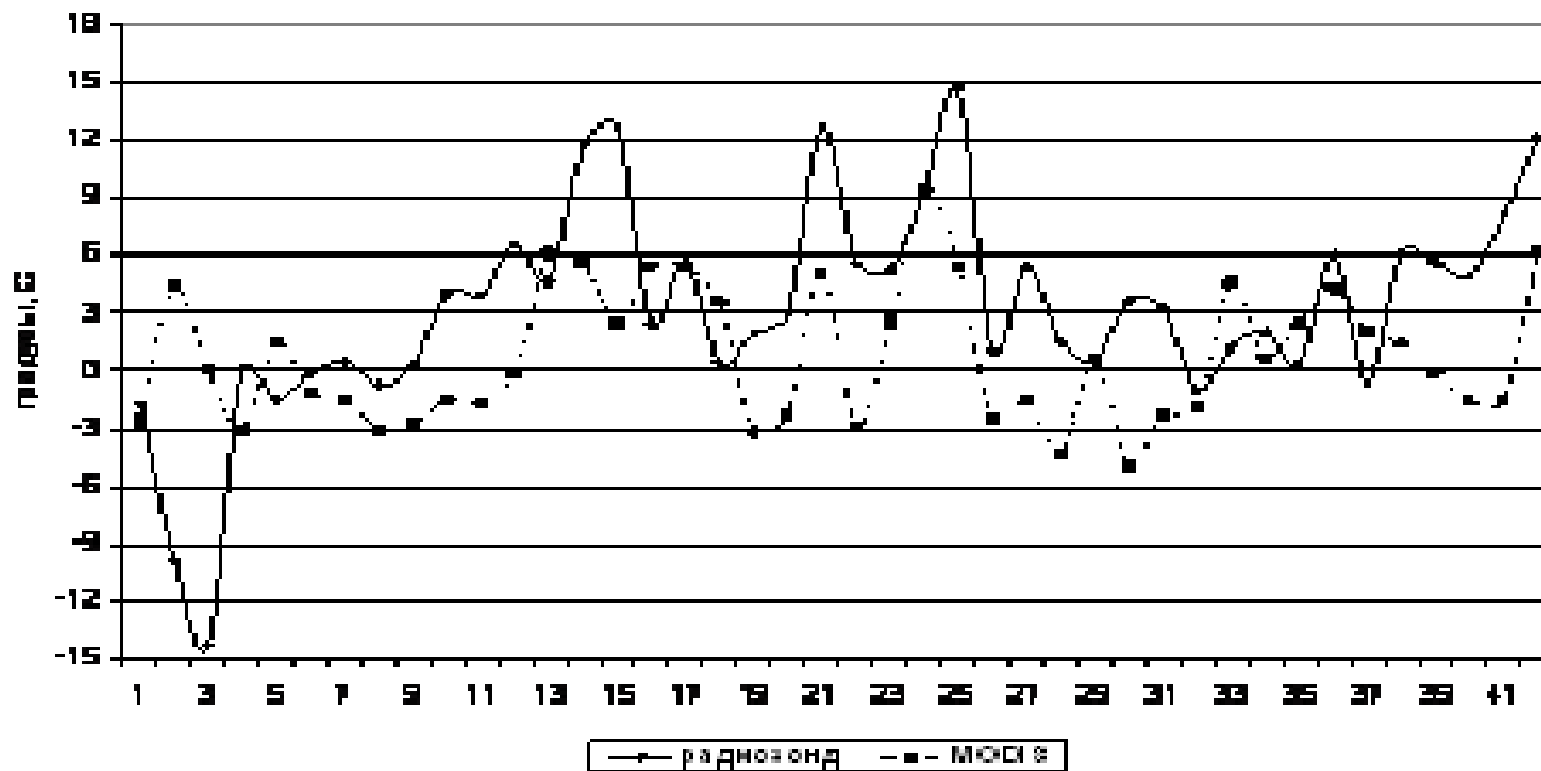
Значения коэффициента корреляции Спирмена между индексами устойчивости аэрологического зондирования и продукта MOD07_L2 на станции Колпашево

Индексы	Коэф.корреляции	Уровень значимости p-level
TOTAL (аэрологическое зондирование) & TOTAL (MOD07_L2)	0,4	0,01
LIFT (аэрологическое зондирование) & LIFT (MOD07_L2)	0,4	0,01
KIND (аэрологическое зондирование) & KIND (MOD07_L2)	0,19	0,22

ΤΟΤΙ

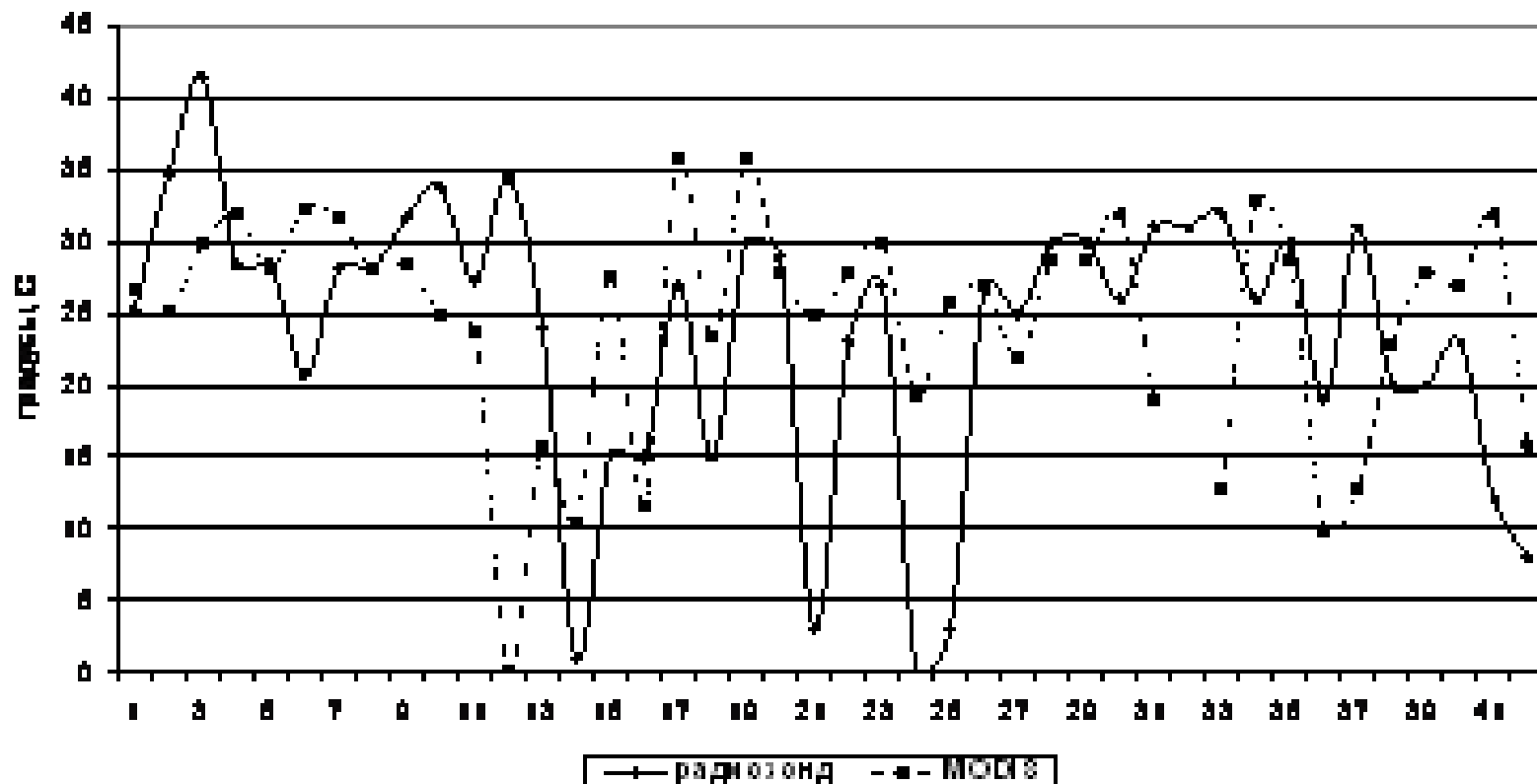


LIFT

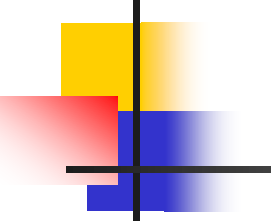




K index

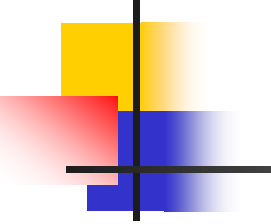


Распределение значений индексов ГИТ и в окрестностях станции
Колпашево 15 июля 2009 г.



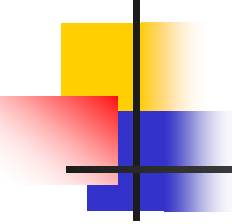
-3.6	-4.1	-3.5	-3.8	-2.7	-2.2	-1.8	-2.7	-4.1
-3.1	-3.2	-3.0	-2.9	-2.5	-1.7	-1.9	-1.8	-1.7
-2.7	-2.4	-2.5	-2.2	-2.3	-2.0	-0.9	-1.6	-0.8
-2.5	-2.7	-2.4	-2.1	-2.5	-2.3	-2.4	-1.9	-2.0
-2.9	-2.9	-2.3	-2.6	-2.7	-2.3	-2.6	-2.2	-2.7
-3.6	-3.2	-2.7	-2.9	-3.2	-3.2	-3.0	-3.5	-3.2
-3.6	-3.2	-2.7	-2.9	-3.2	-3.2	-3.0	-3.5	-3.2
-3.7	-3.5	-3.8	-3.1	-2.5	-3.2	-3.3	-3.5	-3.5
-4.0	-3.8	-3.1	-3.2	-3.0	-3.3	-3.4	-3.2	-3.8
-4.4	-3.9	-3.5	-3.6	-3.2	-3.3	-3.7	-3.6	-3.6

Распределение значений индексов TOTL (°K) в
окрестностях станции Колпашево 15 июля 2009 г.



53.1	53.4	53.0	53.1	52.1	51.6	51.3	52.1	53.9
52.3	52.2	52.2	52.5	51.7	50.8	51.0	50.9	50.3
51.9	51.3	51.6	51.3	51.4	51.0	49.8	50.4	49.2
51.7	51.8	51.4	51.0	51.3	51.2	51.4	50.4	50.7
52.0	51.9	51.1	51.5	51.7	51.2	51.4	50.7	51.4
52.8	52.4	51.6	51.9	52.1	52.2	51.9	52.1	52.0
52.8	52.4	51.6	51.9	52.1	52.2	51.9	52.1	52.0
53.2	52.8	53.2	52.1	51.5	52.4	52.5	52.3	52.5
53.5	53.1	52.1	52.3	51.9	53.0	52.7	52.6	53.0
54.0	53.1	52.8	52.6	52.2	52.5	53.0	52.7	52.7

В результате исследований получено



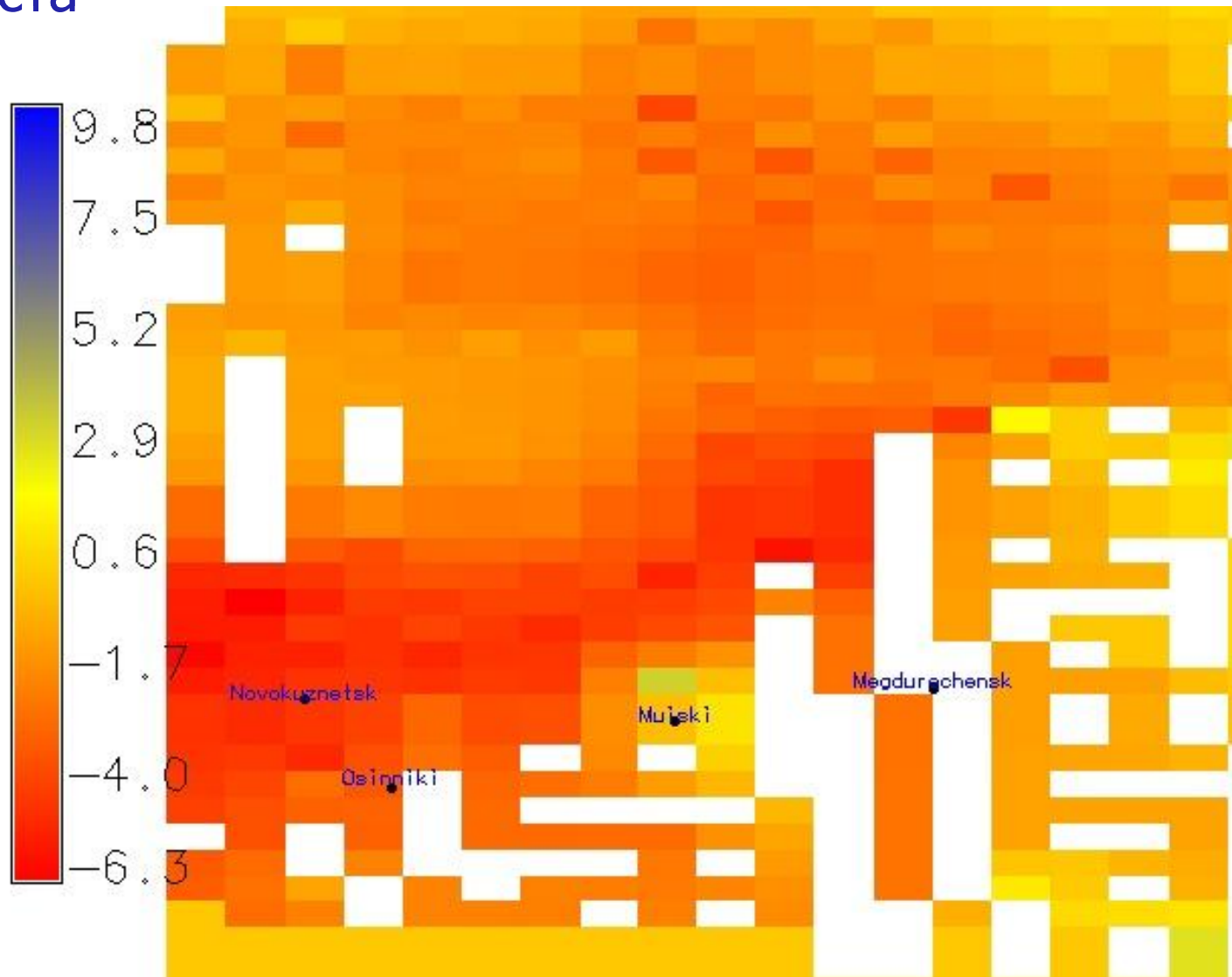
- данные спутникового зондирования достаточно хорошо описывают термодинамическое состояние атмосферы в дни с грозой. Это подтверждается хорошей согласованностью значений индексов, характеризующих неустойчивость атмосферы при условии разницы во времени между спутниковым и аэрологическим зондированием не более 0,5 часа. Следовательно, очаги пространственной локализации гроз можно достаточно надежно выявлять по спутниковым данным MODIS. Заметим, что MODIS позволят обнаружить как кластеры конвективных грозовых ячеек, связанных с линией фронта, так и отдельные ячейки. Если прогноз гроз по данным аэрологического зондирования дополнять картиной пространственного распределения значений LIFT и TOTAL, то можно формулировать детализированный по местности прогноз.



	-3.0	Null	-2.5	-2.0	-2.0	-2.4	-2.5	-2.4	-3.2	-3.5	-4.7	-4.7	-4.6	-4.9	Null	-1.7	Null
	-3.9	Null	-3.5	-4.0	-4.0	-3.1	-3.1	-3.3	-3.7	-4.0	-4.6	-4.6	-5.8	-5.1	Null	-1.4	Null
	-5.1	-5.0	-4.7	-4.0	-4.0	-3.8	-3.8	-4.3	-3.9	-5.2	-4.4	-4.4	Null	-4.4	Null	-1.4	-1.2
	-5.5	-6.3	-5.3	-4.4	-4.4	-4.6	-4.3	-4.2	-4.4	-4.4	-4.0	-4.0	-2.2	-3.3	Null	-1.3	Null
	-5.5	-5.5	-4.5	-4.8	-4.8	-4.2	-4.6	-5.0	-4.4	-4.0	-3.6	-3.6	Null	-2.8	Null	-1.3	Null
	-6.1	-5.3	-5.3	-4.8	-4.8	-5.1	-4.7	-4.6	-3.2	-2.4	-1.7	-1.7	Null	-2.7	Null	Null	-1.3
	-5.5	-5.2	-4.7	-4.6	-4.6	-4.8	-4.5	-4.6	-2.3	3.2	-0.3	-0.3	Null	-2.7	Null	Null	-1.3
	-4.8	-5.0	-4.6	-4.2	-4.2	-3.1	-3.9	-3.8	-1.9	-0.3	0.9	0.9	Null	Null	-2.7	Null	-1.3
	-4.8	-5.0	-4.6	-4.2	-4.2	-3.1	-3.9	-3.8	-1.9	-0.3	0.9	0.9	Null	Null	-2.7	Null	-1.3
	-4.7	-4.5	-5.1	-3.8	-3.8	-2.9	-3.4	Null	-2.0	Null	0.3	0.3	Null	Null	-2.7	Null	-1.2
	-4.5	-4.2	-2.9	-3.6	-3.6	Null	-3.1	-2.8	-2.4	-1.4	-0.5	-0.5	Null	Null	-2.7	Null	-1.2
	-4.3	-3.8	-3.3	-3.2	-3.2	Null	-3.0	Null	Null	Null	Null	Null	-0.5	Null	-2.7	Null	-1.2
	Null	-3.8	Null	-3.2	-3.2	Null	-3.0	-3.0	-3.0	-3.0	-1.7	-1.7	-1.1	Null	-2.7	Null	-1.2
	-3.5	-3.0	Null	-2.2	-2.2	Null	Null	Null	Null	-2.5	Null	Null	-1.4	Null	-2.7	Null	-0.1
	-3.4	-2.8	-1.1	Null	Null	-2.2	Null	-2.2	-2.4	-2.5	-2.1	-2.1	-1.8	Null	-2.7	Null	1.1

Значения индекса LIFT ¹⁴

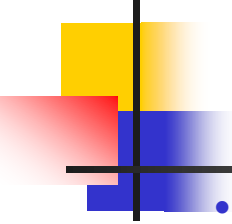
августа



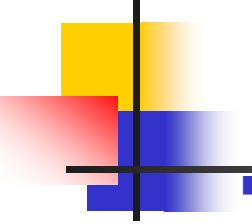
TOTL

49.2	Null	50.1	Null	Null	49.7	49.5	50.0	50.7	51.7	51.7	53.3	53.0	53.5	Null	51.6	51.6
49.4	Null	50.1	Null	Null	50.0	50.0	50.5	50.9	52.2	52.2	53.1	53.6	54.6	Null	51.3	51.3
51.0	Null	51.0	50.2	50.2	50.7	50.8	50.8	51.8	52.4	52.4	53.8	53.9	54.4	Null	51.3	51.3
52.0	Null	51.9	52.5	52.5	51.5	51.8	51.9	52.5	53.0	53.0	53.8	55.5	54.8	Null	51.2	51.2
53.5	53.2	53.2	52.4	52.4	52.3	52.3	53.4	53.0	54.5	54.5	53.6	Null	53.9	Null	51.2	51.2
53.9	55.0	54.2	53.0	53.0	53.4	53.0	53.2	53.6	53.6	53.6	53.3	51.5	52.7	Null	51.1	51.1
53.8	54.2	53.1	53.5	53.5	52.6	53.4	54.3	53.6	53.2	53.2	52.9	Null	52.1	Null	51.1	51.1
54.9	54.0	54.3	53.5	53.5	53.8	53.5	53.7	52.1	51.3	51.3	50.5	Null	52.1	Null	Null	Null
54.9	54.0	54.3	53.5	53.5	53.8	53.5	53.7	52.1	51.3	51.3	50.5	Null	52.1	Null	Null	Null
54.0	53.9	53.6	53.4	53.4	53.5	53.3	53.6	51.1	44.5	44.5	48.8	Null	52.1	Null	Null	Null
52.8	53.6	53.4	53.0	53.0	51.8	52.7	52.7	50.5	48.7	48.7	47.3	Null	Null	52.1	Null	Null
53.0	53.1	53.7	52.6	52.6	51.4	52.2	Null	50.8	Null	Null	48.0	Null	Null	52.1	Null	Null
52.6	53.0	52.6	52.6	52.6	Null	51.8	51.5	51.1	49.9	49.9	49.0	Null	Null	52.1	Null	Null
52.9	52.8	52.8	52.7	52.7	Null	51.7	Null	Null	Null	Null	Null	49.0	Null	52.1	Null	Null
Null	52.8	Null	52.8	52.8	Null	51.7	51.7	51.7	51.7	51.7	50.3	49.6	Null	52.1	Null	Null
51.9	51.1	Null	50.7	50.7	Null	Null	Null	Null	51.2	51.2	Null	50.0	Null	52.1	Null	Null
51.1	50.8	48.6	Null	Null	51.1	Null	51.5	51.4	51.3	51.3	50.8	50.4	Null	52.1	Null	Null

• ВЫВОДЫ

- 
- Параметры атмосферы, регистрируемые спектрорадиометром MODIS, имеют высокое пространственное разрешение и приемлемую для идентификации конвективных ячеек погрешность измерений.
 - Значения индексов, характеризующих степень неустойчивости атмосферы в дни с грозой, рассчитываемые по данным спутникового и аэрологического зондирования хорошо согласуются между собой.
 - Данные продукта MOD07_L2 позволяют обнаружить как кластеры конвективных грозовых ячеек, связанных с линией фронта, так и отдельные внутримассовые ячейки.
 - По значениям рассчитанных индексов неустойчивости можно получать картины пространственного расположения конвективных ячеек, продуцирующих грозы. Поэтому преимуществом информации, полученной с MODIS, является подробная пространственная локализация конвективных ячеек в районах с редкой сетью метеорологических наблюдений.
 - Исследованные индексы перспективны для прогноза гроз в мезомасштабных моделях, но пределы их изменчивости для территории России следует уточнить

В целом для развития настоящих направлений на сегодняшний день сделано:

- 
- По данным аэрологических станций, созданы базы данных по ряду индексов, характеризующих степень развития конвекции в дни с опасными конвективными явлениями;
 - Рассчитаны статистические характеристики индексов неустойчивости атмосферы в дни с грозой, градом, смерчем и без конвективных явлений;
 - Определены пороговые значения индексов, при достижении которых в атмосфере Западной Сибири развивается гроза и град (табл.2);
 - Создана базы данных по значениям индексов, рассчитанных по данным спектрорадиометра MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и EOS PM-1 (Aqua) в дни с грозой.

Спасибо за внимание

