

Концепция жизненного цикла природно-антропогенных систем как основа получения новых научных знаний

Абдуллаев С. М.

Кафедра системного программирования, ЮУрГУ

- Концепция жизненного цикла подразумевает, что любая природно-антропогенная система имеет свой жизненный цикл, и проходит стадии развития, стадию зрелости и диссипации. Любая система состоит из элементов, и в пределах любой стадии более крупной системы, можно выделить доминирующие элементы- подсистемы которые определяют интенсивность всей системы на данный момент времени.

Концепция разработана на основе опыт анализа и прогноза в следующих областях :

1. Мезомасштабная и радарная метеорология, другие дистанционные методы и разделы метеорологии: радиолокационные наблюдения с 1984 по сей день.

Результаты в двух диссертациях:

Эволюция и иерархия скоплений кучево-дождевой облачности. Диссертация кандидата физико-математических наук, рук. с.н.с., к., ф.-м. н. А. А. Желнин, Гидрометцентр РФ, Москва, 1992, 206 с.

Жизненный цикл мезомасштабных конвективных систем: концепция, климатология и прогноз. Диссертация доктора географических наук, Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва , 2010, 400 с.

Главный результат – заложены основы новой науки о Земле МЕЗОКЛИМАТОЛОГИИ, базирующейся на концепции жизненного цикла мезомасштабных систем и имеющей свой инструмент мезоклиматические реконструкции жизненного цикла метеорологических объектов.

Концепция разработана на основе опыт анализа и прогноза в следующих областях :

2. Численное моделирование и прогноз: линий шквала, опасных явлений и неблагоприятных условий окружающей среды, несколько работ в 1996-98 году, постоянно с 2010 года (совместно с О.Ю.Ленской).

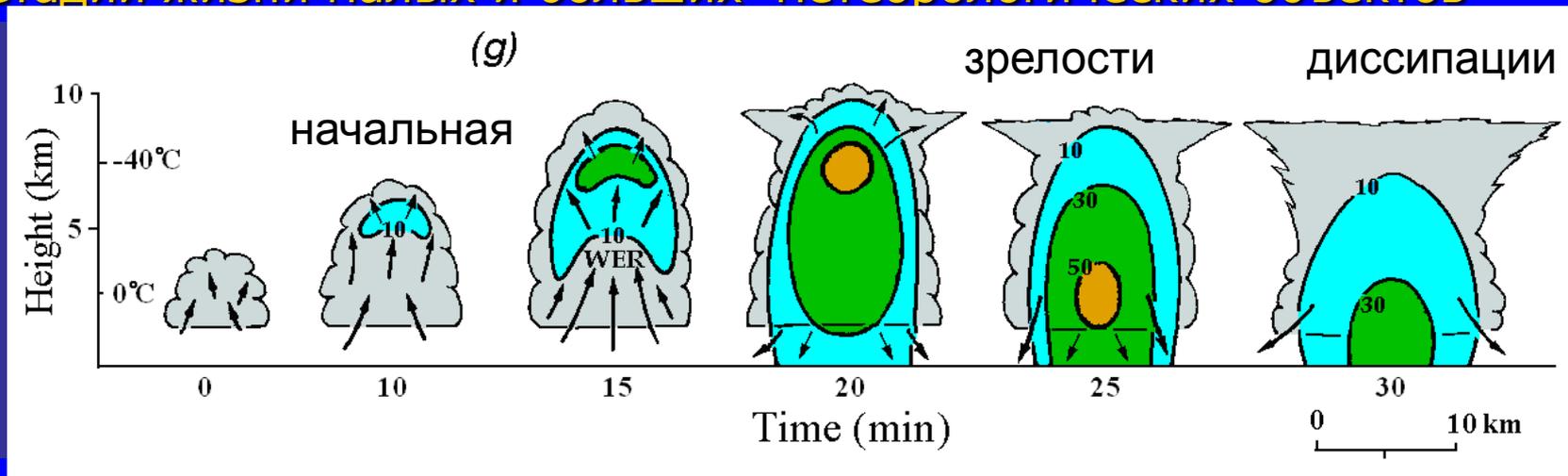
Разработка объектно-ориентированных методов анализа, моделирования и прогноза эволюции сложных систем. Разработан и частично внедрен универсальный алгоритм прогноза и оценки качества моделирования.

3. Прикладные исследования в климатологии, природопользовании, экологии и других науках о Земле: эпизодически с 1982, постоянно с 2000-х годов.

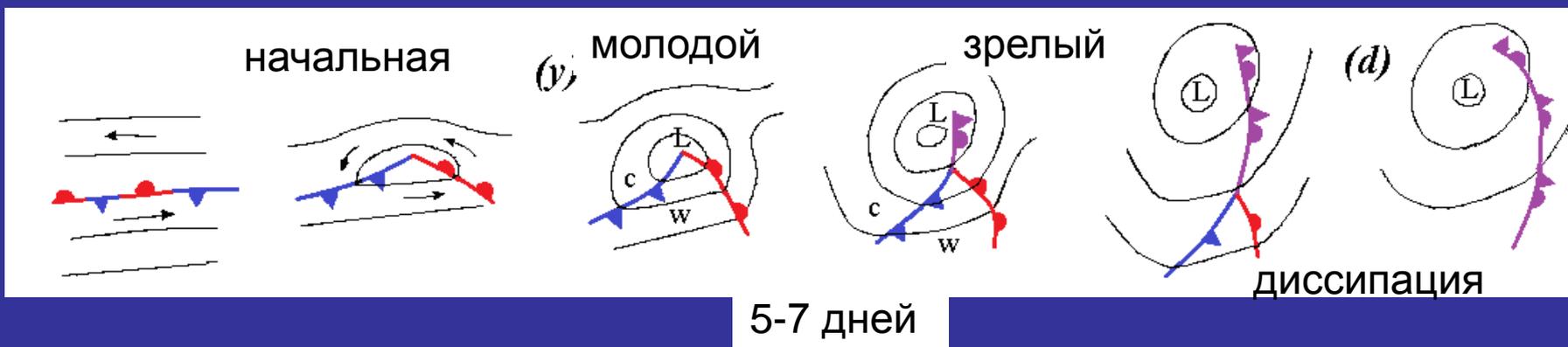
Результаты – концепция и ее методы, распространены на другие разделы естественных, гуманитарных и технических наук, проведены реконструкции жизненного цикла природно-антропогенных систем Челябинской области.

Жизненный цикл объекта природы состоит из последовательных этапов - стадий: начальной фазы, зрелости и диссипации.

Стадии жизни малых и больших метеорологических объектов

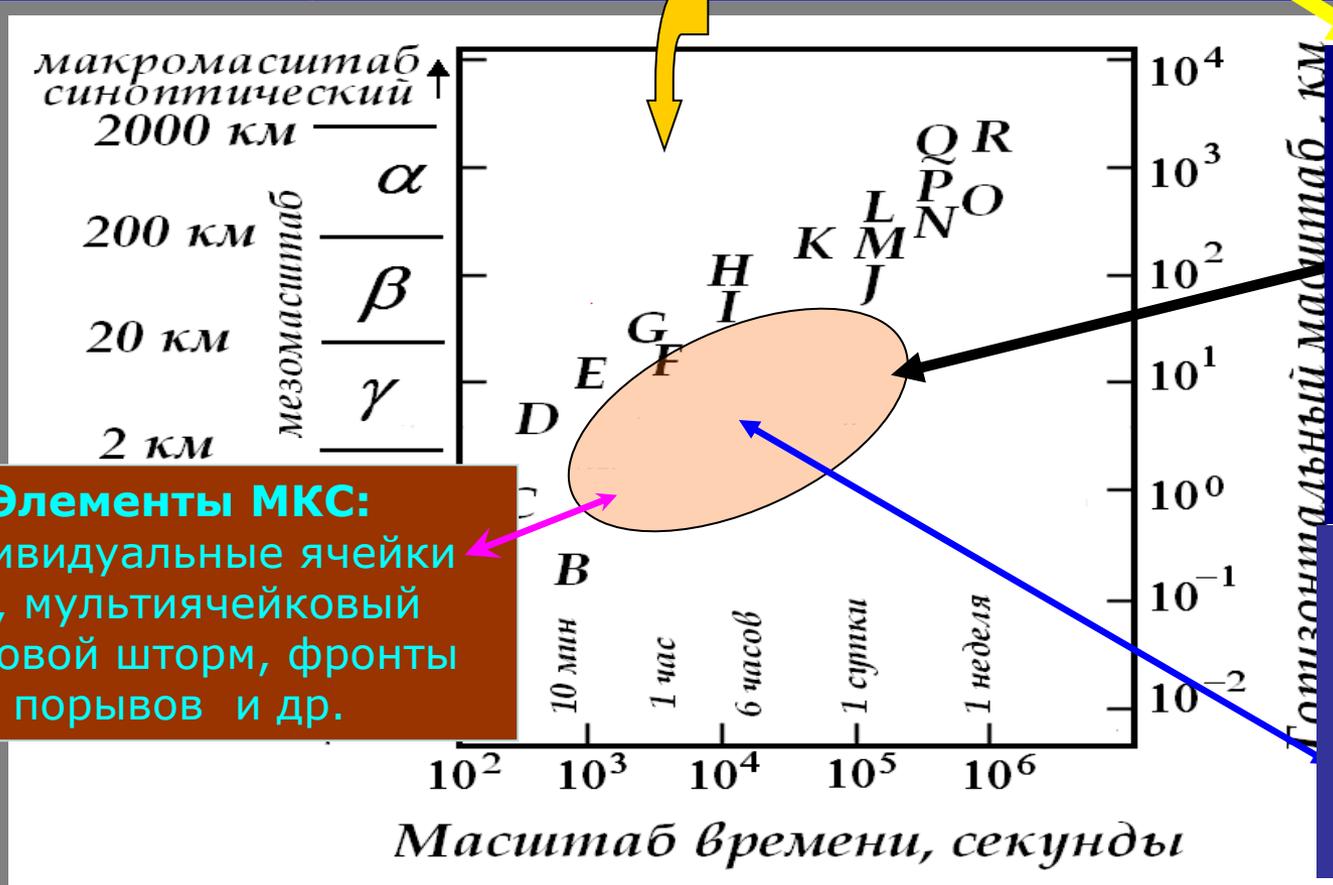


Эволюция ячейки кучево-дождевого облака. Начальная фаза до зрелости (g) иногда называется стадией роста. P/л отражаемость, dBZ



Эволюция внетропического циклона. L- центр низкого давления. Иногда вводят фазу (y) - молодой циклон. (d) диссипация = окклюзия

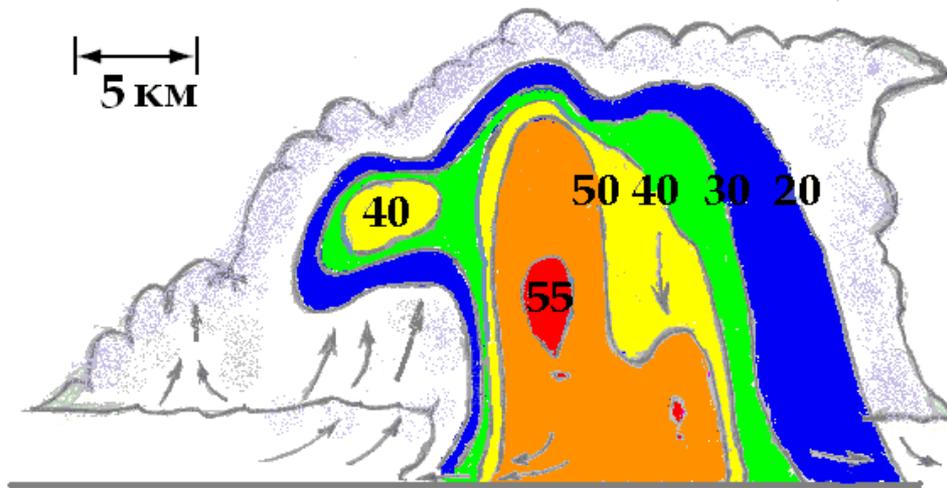
Мезомасштабная конвективная система (МКС), определяемая как система облачности, связанная с ансамблем грозовых штормов и производящая зону непрерывных осадков длиной 100 и более километров (Houze, 2004).



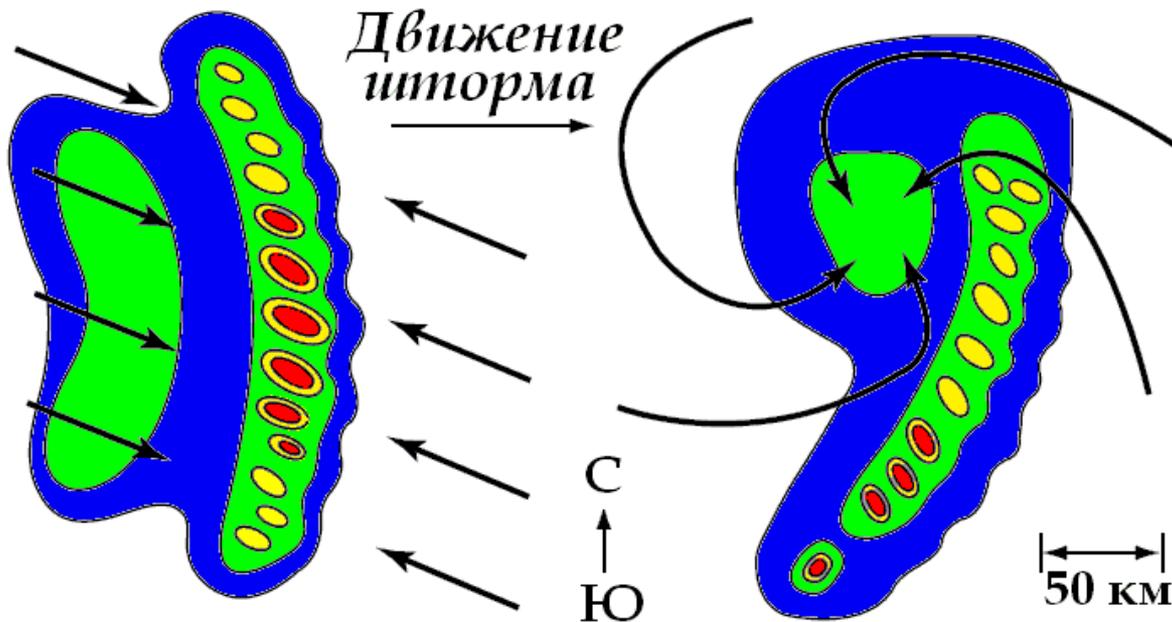
Элементы МКС:
Индивидуальные ячейки Сb, мультячейковый грозовой шторм, фронты порывов и др.

ТИПЫ МКС:
Мезо-масштабные конвективные комплексы, линии шквала, полосы осадков фронтов и циклонов и др.

На МКС влияют местные циркуляции: Струи нижних уровней, бризовые и горно-долинные циркуляции, городская зона конвергенции



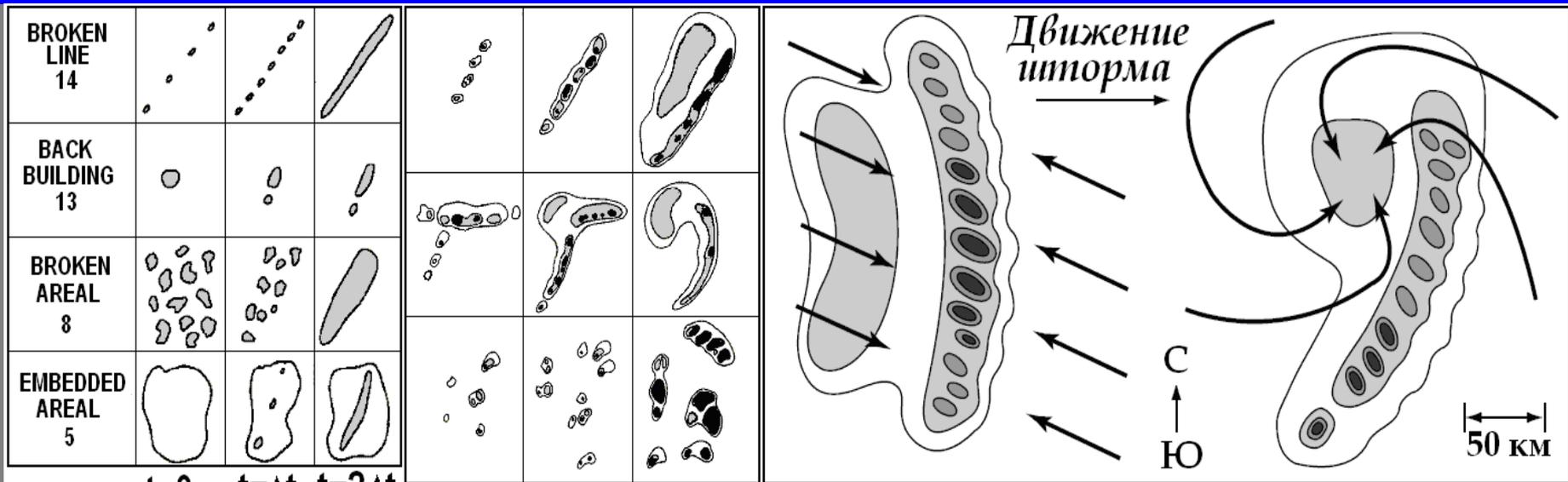
Мультиячейковый шторм



Скопления штормов и ячеек

Основная идея диссертации: представить жизненный цикл МКС, как последовательность развития и взаимодействия её элементов: ячеек, штормов и их скоплений.

Основная идея работы: представить жизненный цикл МКС, как последовательность развития и взаимодействия её элементов: ячеек, штормов и их скоплений и ответить на спектр научных и прикладных вопросов мезометеорологии возникших в последние десятилетия. Несколько примеров таких вопросов.



а)

$t=0$ $t=\Delta t$ $t=2\Delta t$

б)

в)

Как долго длятся стадии формирования и развития?

Каковы масштабы линий шквалов?

Хаотические процессы или упорядоченные МКС? Какие формы МКС наиболее часты? Интенсивность связана с формой?

Как формируются симметричные и асимметричные линии шквала? Какова роль циркуляций региона слоистообразных осадков? Когда и как наступает зрелость и диссипация МКС? Как опасные явления погоды связаны со стадиями МКС?

АКТУАЛЬНОСТЬ:

Общенаучная, методическая и прогностическая значимость комплексного обобщения радиолокационных и других наблюдений жизненного цикла мезомасштабных конвективных систем.

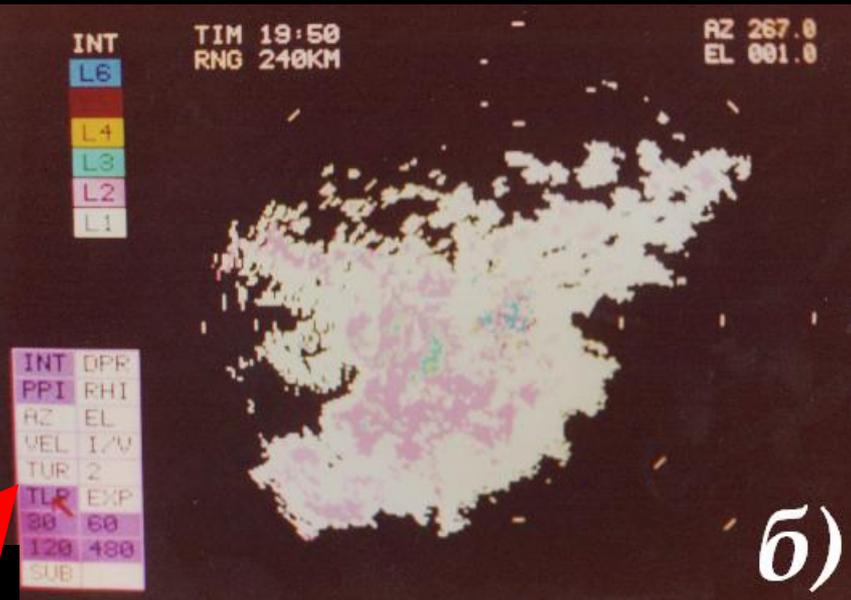
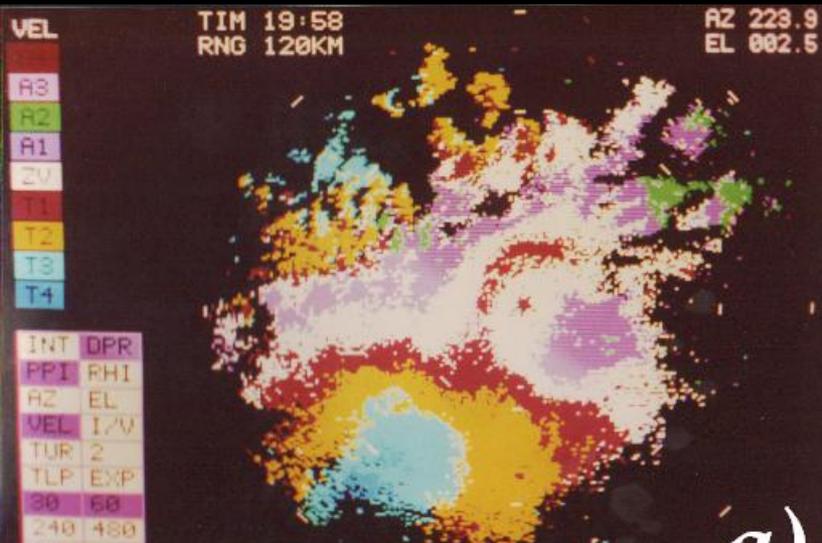
Комплексное обобщение включает:

- ✓ описание иерархии элементов МКС и её типичной эволюции;
- ✓ анализ стадий, организации, типов осадков и систем циркуляций МКС обоих полушарий;
- ✓ оценку прогнозируемости опасных явлений погоды.

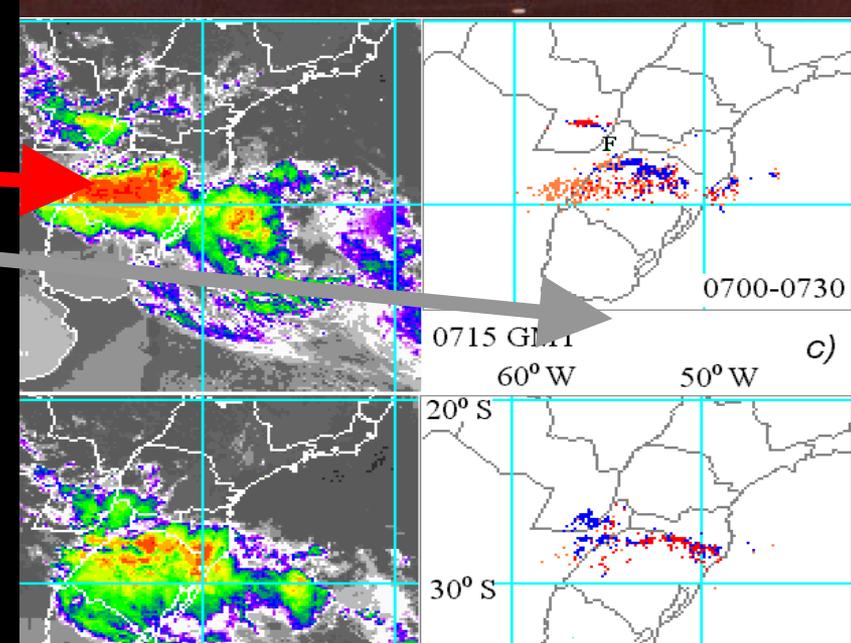
Основные цели первой части доклада:

представить концепцию жизненного цикла МКС, как способ обобщения закономерностей развития мезомасштабных конвективных систем и их элементов;
продемонстрировать научный и методический и практический потенциал этой концепции.

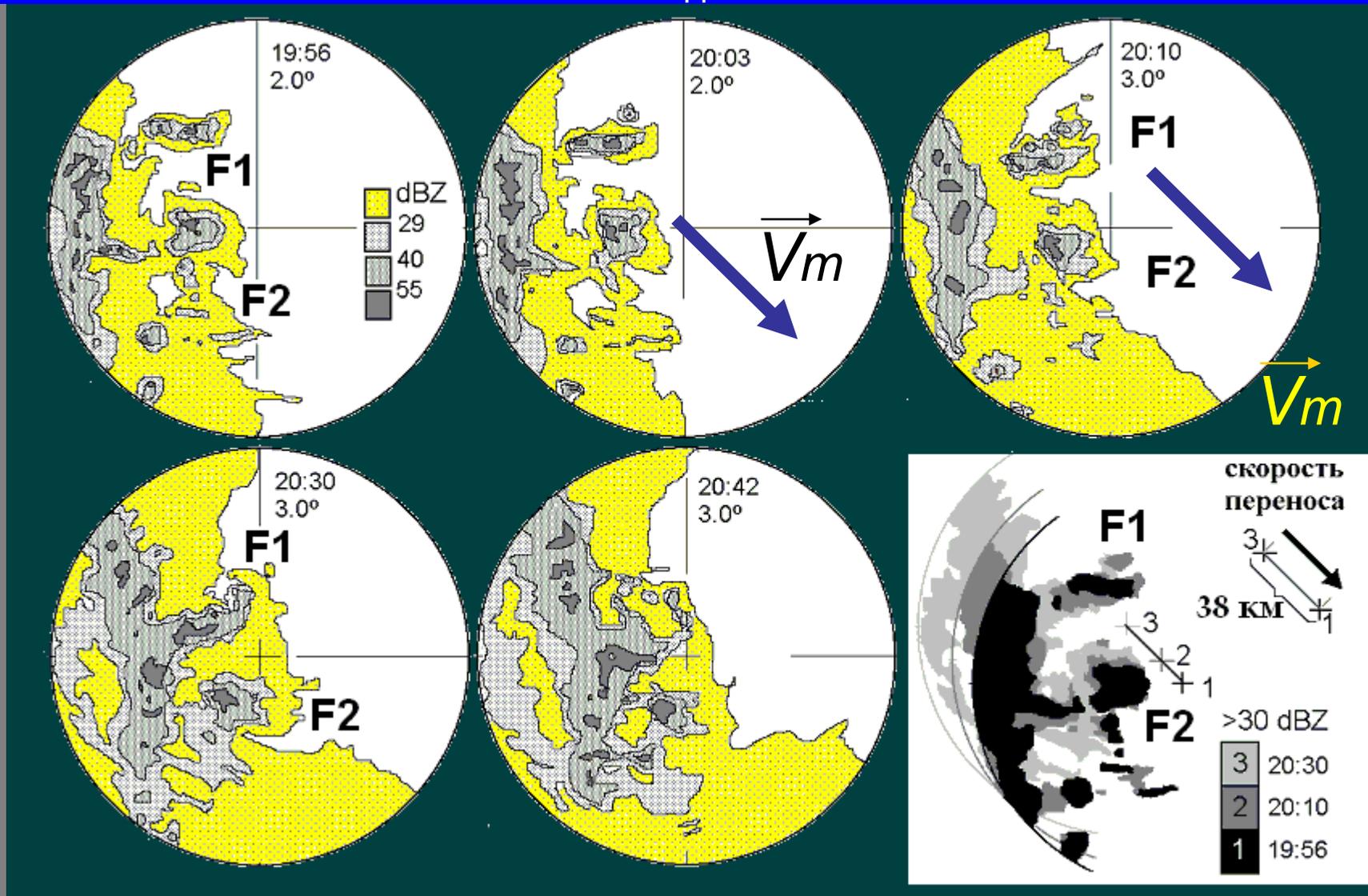
Предмет исследования - жизненный цикл МКС- определяет требования к базе данных и методам их анализа



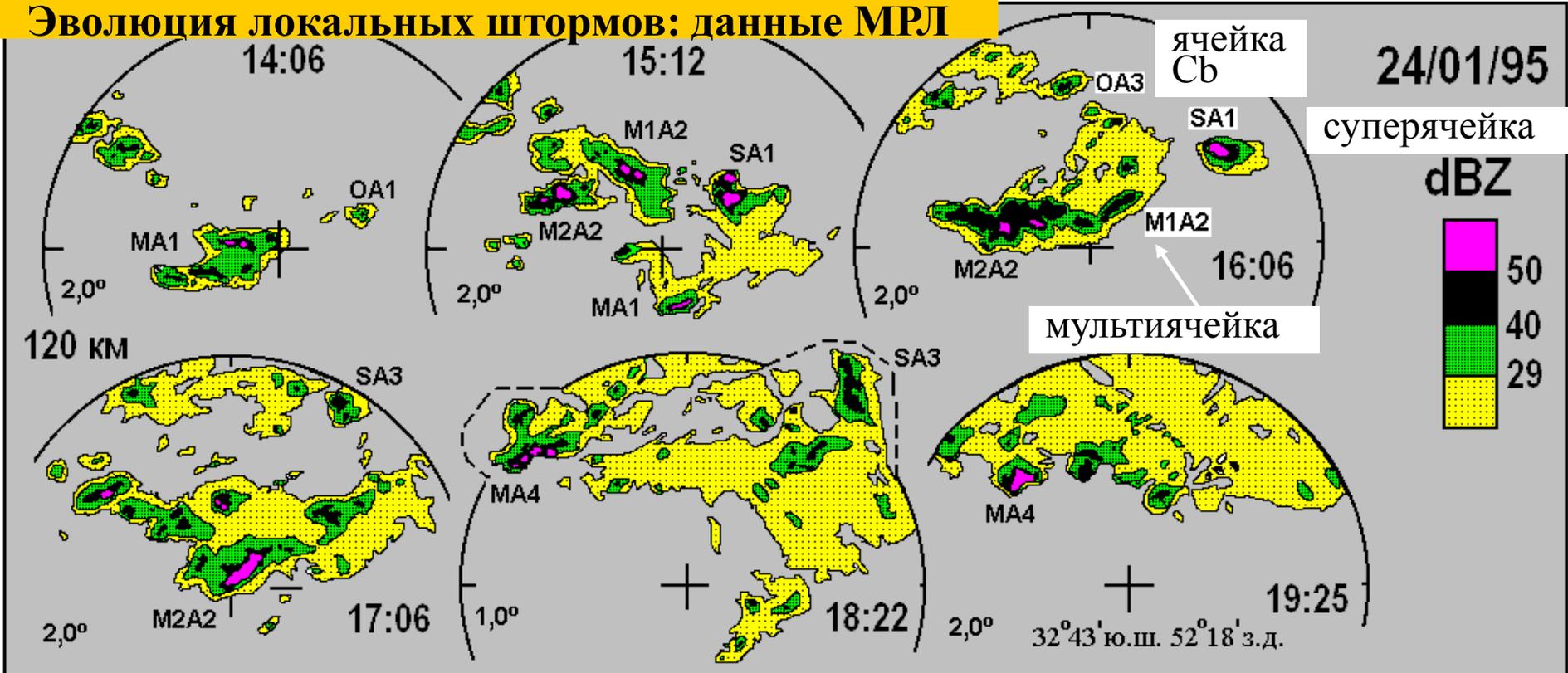
База данных используемая в работе содержит информацию: обычных и когерентных МРЛ, геостационарных спутников, систем грозопеленгации; сети приземных метеостанций. За >30 лет наблюдениями охвачены все типы и масштабы систем осадков умеренных и субтропических климатических зон северного и южного полушарий.



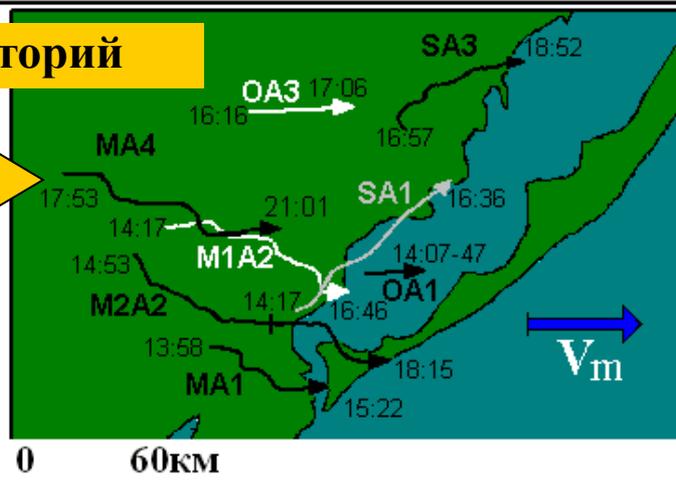
Жизненный цикл ячейки Сb и консервативность скорости её трансляция V_m , основа методов работы. Показано, что с этой скоростью пассивно переносится вся мезомасштабная система. Трансляция системы может производиться по средней скорости ячеек или методом сохраняющихся фрагментов F поля осадков.



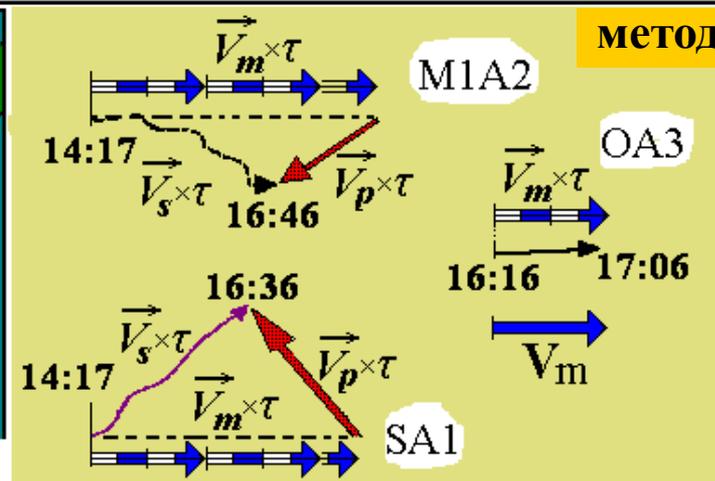
Эволюция локальных штормов: данные МРЛ



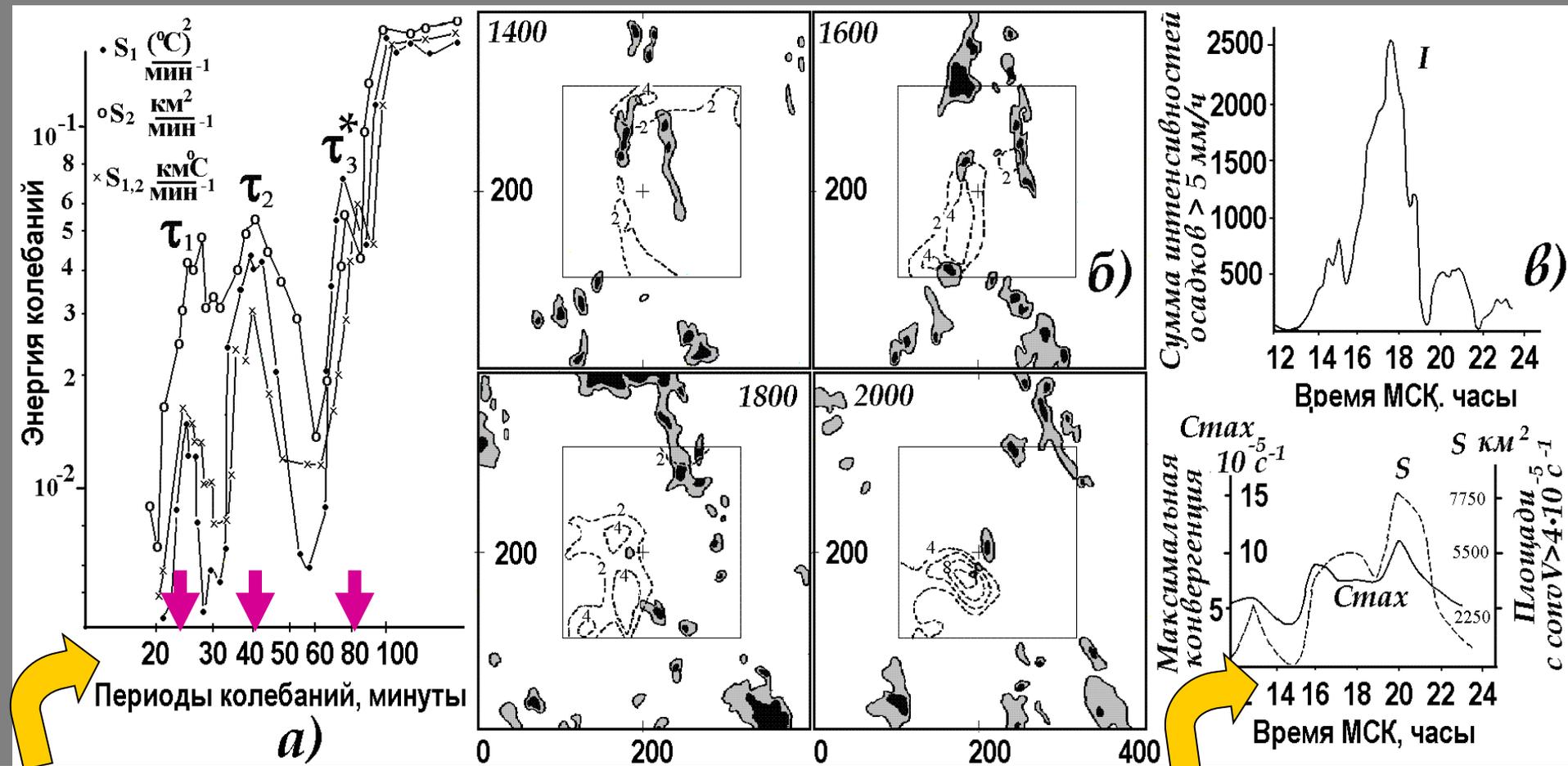
метод траекторий



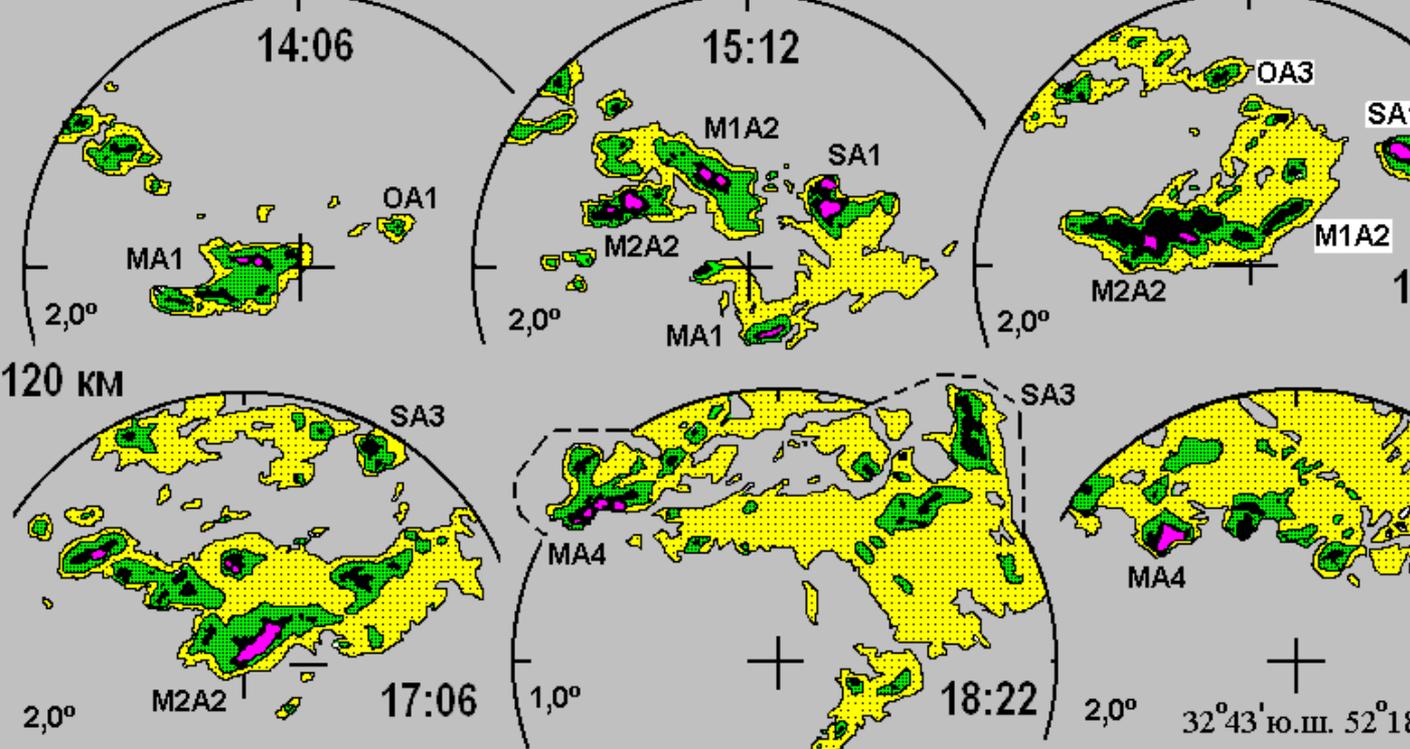
метод векторов



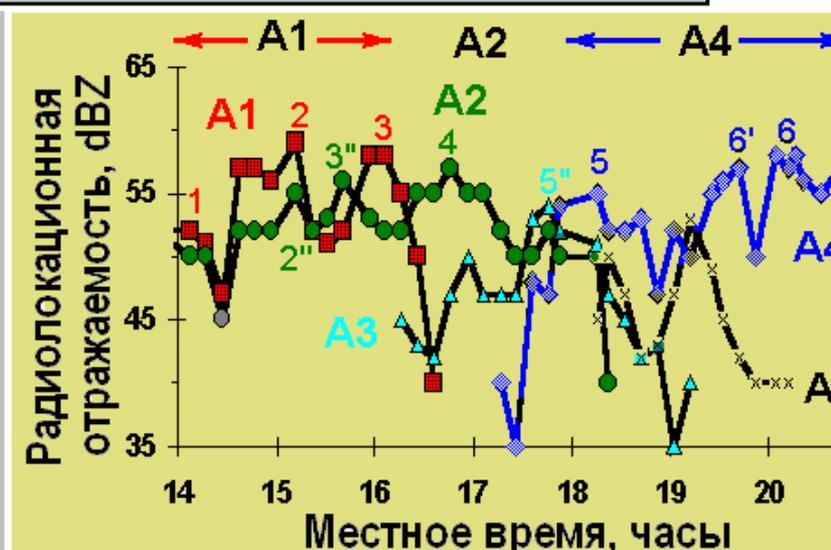
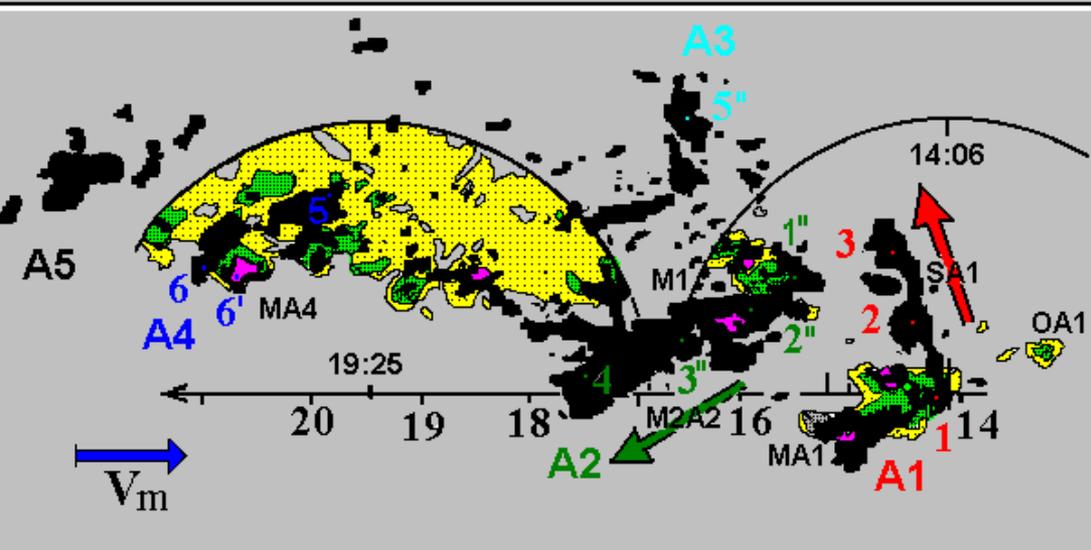
Мезомасштабные поля при развитии МКС испытывают квазипериодические колебания с $\tau_1 = 20$ минут, $\tau_2 = 1$ и $\tau_3 = 3$ часов



Колебания обнаружены в высотах верхних границ облачности, осадках и полях приземных температур и влажности, конвергенции ветра.



Осадки ячеек
Cb аккумуля-
лированные в
транслируемой
системе
координат
организуют
скопления ~
30, 100 и 300
км, эволюция
мезоскоплений
циклична

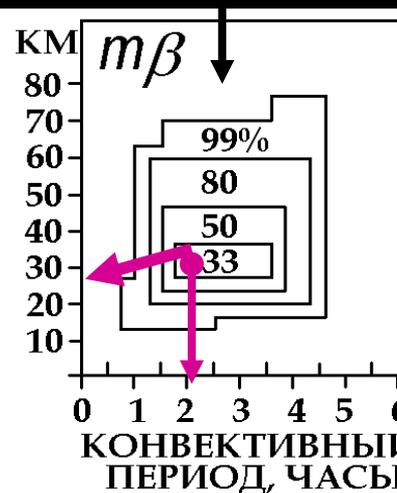
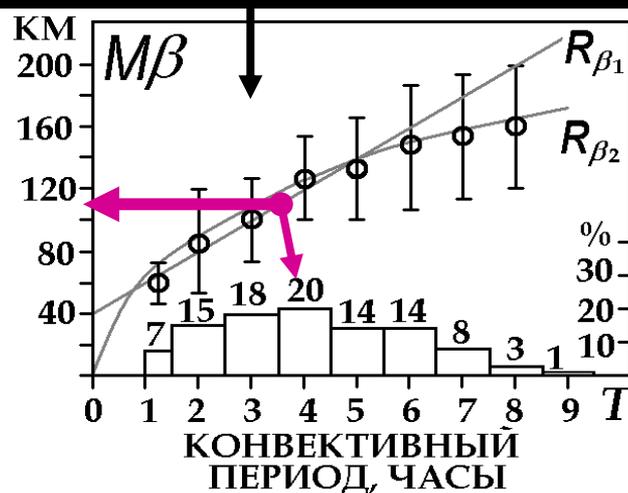
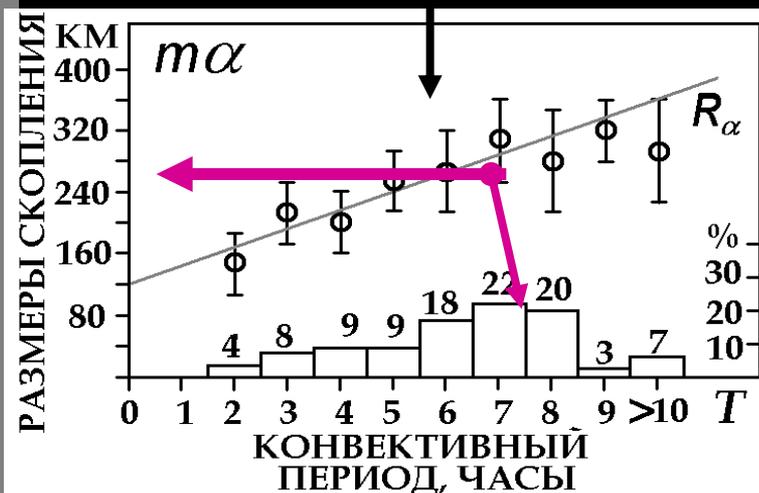


Аккумуляция радиозеха в координатах движущихся со скоростью трансляции V_m

Временной ход: цикличность доминирования скоплений

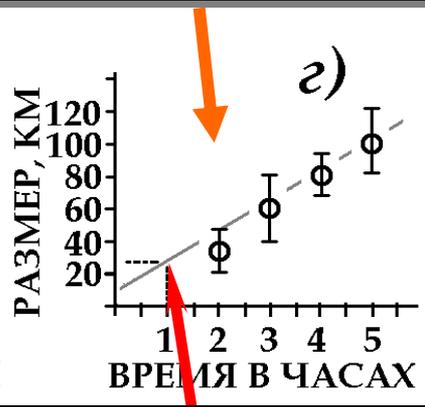
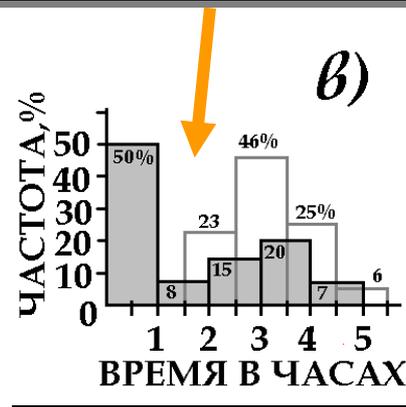
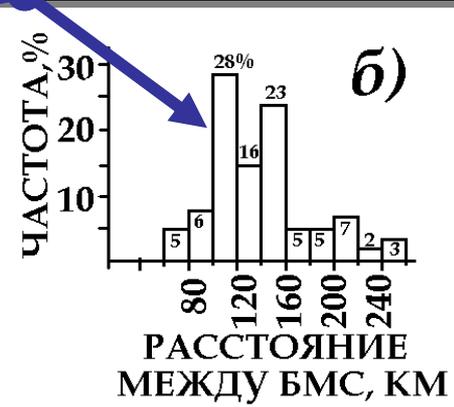
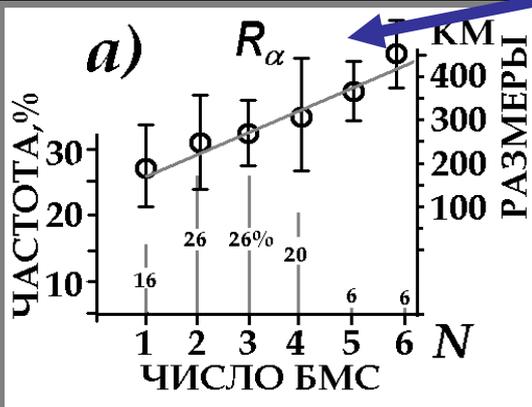
На композиционных аккумуляциях полей осадков фронтальных и не фронтальных МКС выделяется следующая пространственно-временная иерархия скоплений кучево-дождевой облачности:

α -кластер **большое мезо- β** **малое скопление- β**



Структура и форма α -кластера

Эволюция и доминирование большого- β



зависят от числа и ориентации БМС

Доминирующий элемент ансамбля М β линейный шторм размером 25 км и временем доминирования 1 час

Закономерности эволюции полей кучево-дождевой облачности

Жизненный цикл индивидуальных кучево-дождевых облаков и их трансляция с ветром

Сохранение характерных размеров и времени развития мезомасштабных скоплений Сb

Квазипериодические колебания полей влажности, конвергенции ветра, верхней границы облачности, интенсивности осадков и гроз

«Предельный» масштаб кластера 300 км по данным ИСЗ и сетей грозопеленгации

Линейность форм доминирующих скоплений в различных условиях

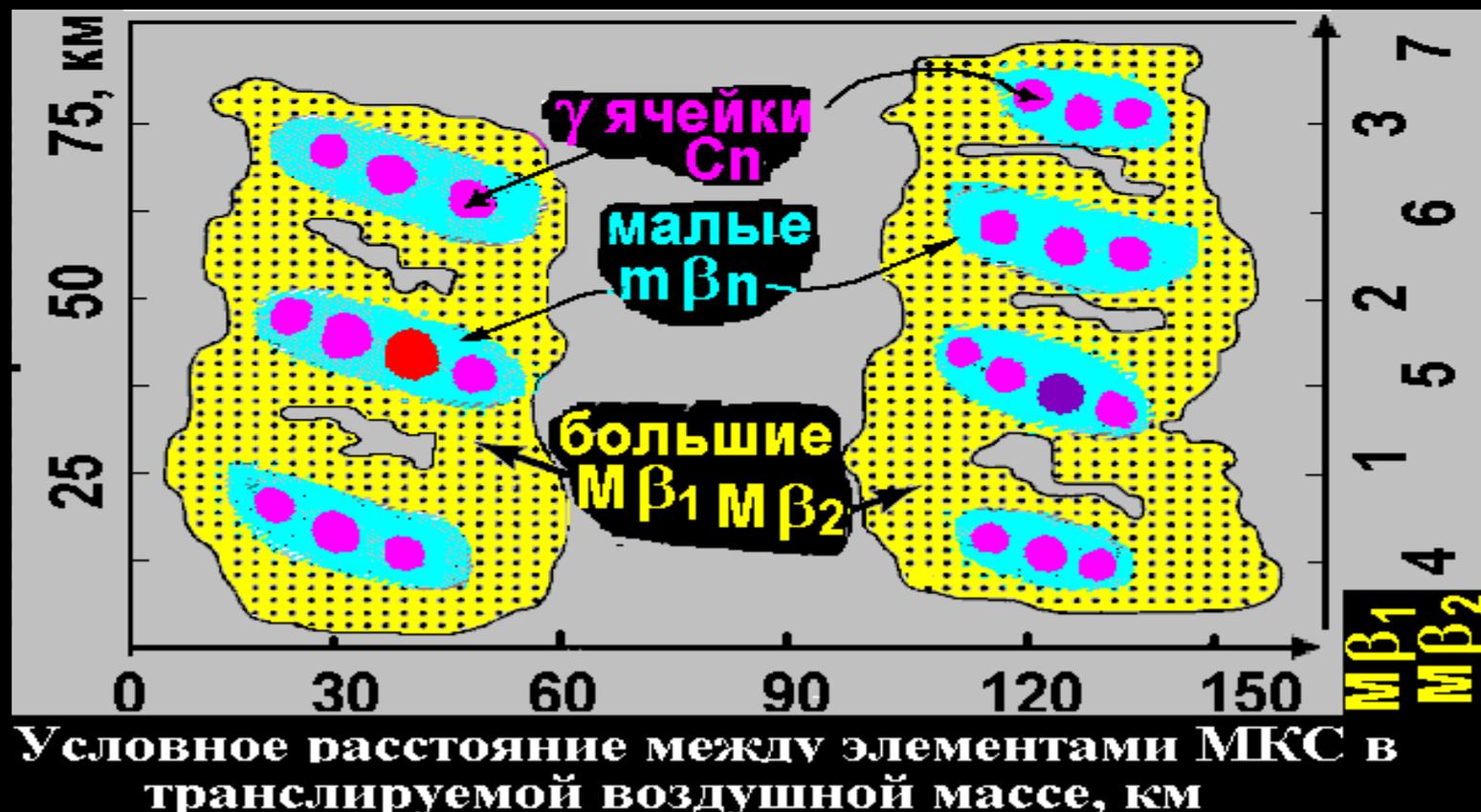
*Концепция Жизненного Цикла
Мезомасштабной
Конвективной Системы*

Концепция Жизненного Цикла Мезомасштабной Конвективной Системы:

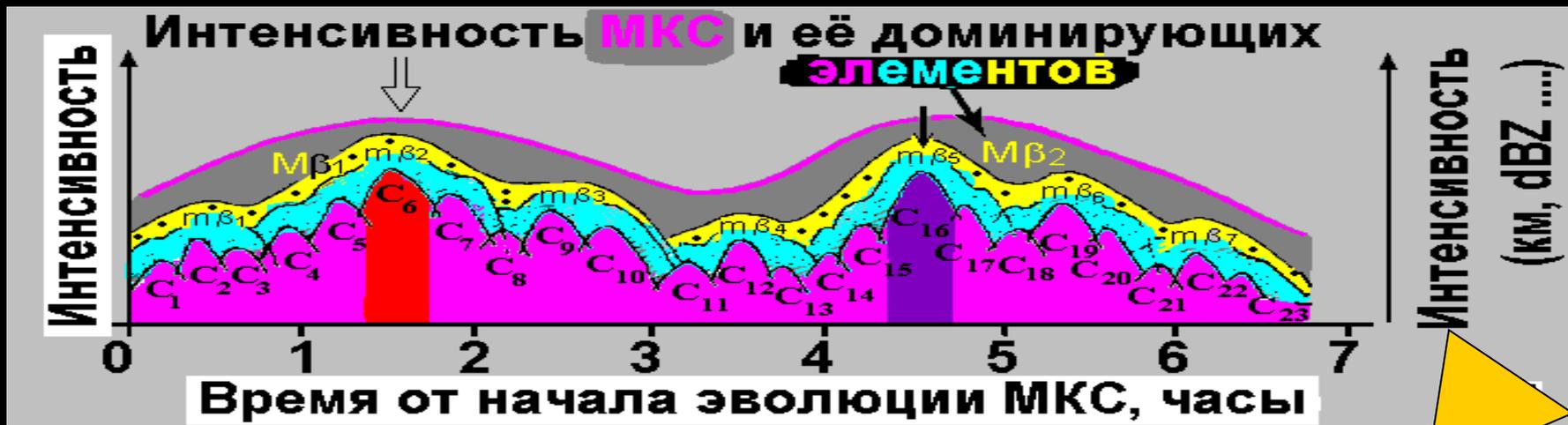
индивидуальные ячейки кучево-дождевые облаков масштаба мезо- γ (C_n) организуются в иерархически-соподчиненные мезо- β -масштабные скопления малого ($m\beta$ -шторма) и большего ($M\beta$ -ансамбли штормов), возникающие и проходящие свой жизненный цикл в определенных местах транслируемой с единой скоростью циркуляционной системы движений мезо- α -кластера.

Расстояние между элементами скоплений

скоплений



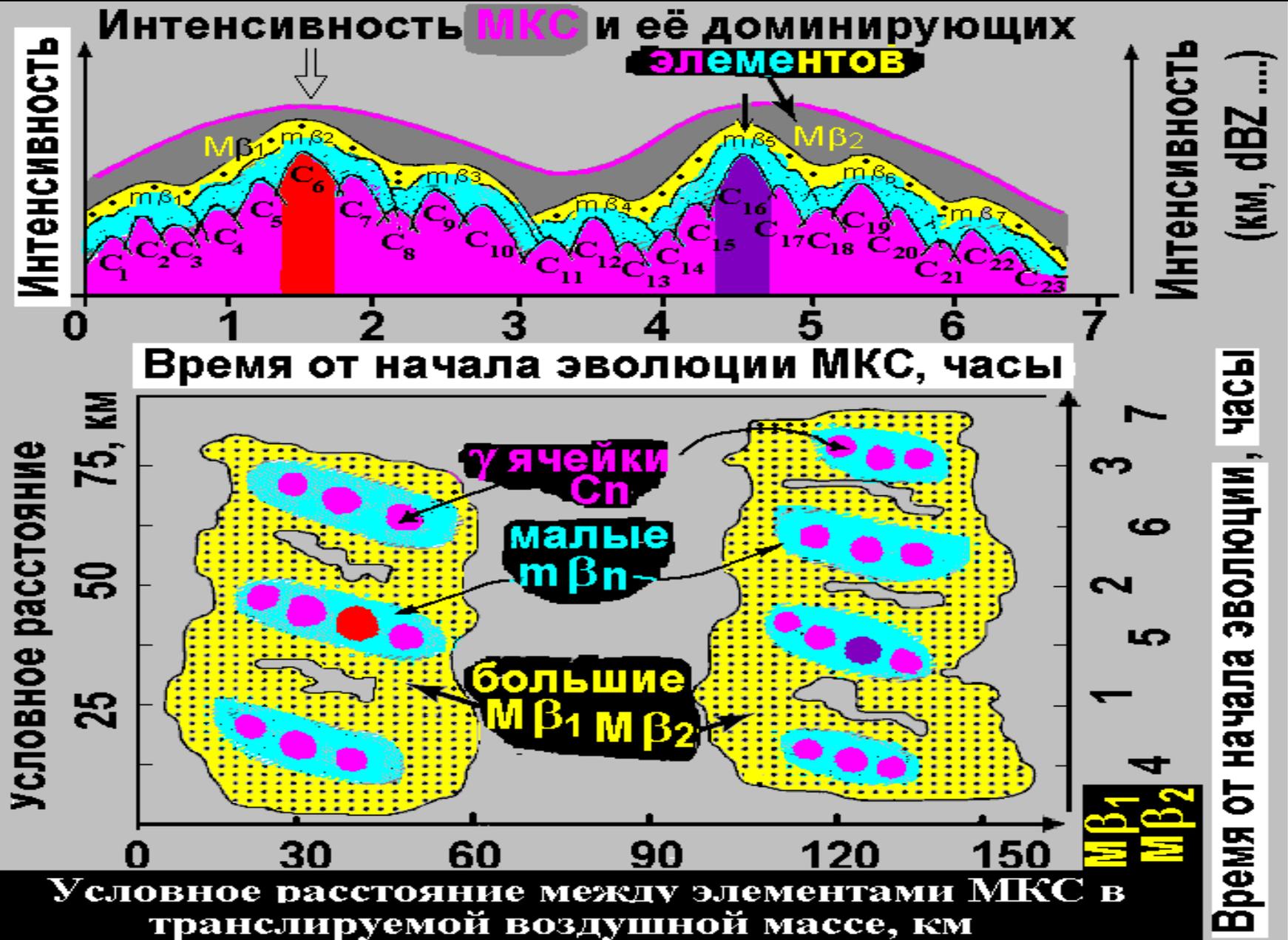
Время начала эволюции осадков МКС, часы



Концепция Жизненного Цикла Мезомасштабной Конвективной Системы:

появление доминантных **ячеек**, **штормов** и их **ансамблей** приводит к квазипериодическим колебаниям максимальной интенсивности системы и её волноподобной пространственной структуре.

ЭВОЛЮЦИЯ МЕЗО α - КЛАСТЕРА



закономерности эволюции



КОНЦЕПЦИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА



МОРФОЛОГО-ЭВОЛЮЦИОННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ



ЭВОЛЮЦИЯ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ЛИНИЙ ШКВАЛА
И КОМПЛЕКСОВ ЛОКАЛЬНЫХ ШТОРМОВ

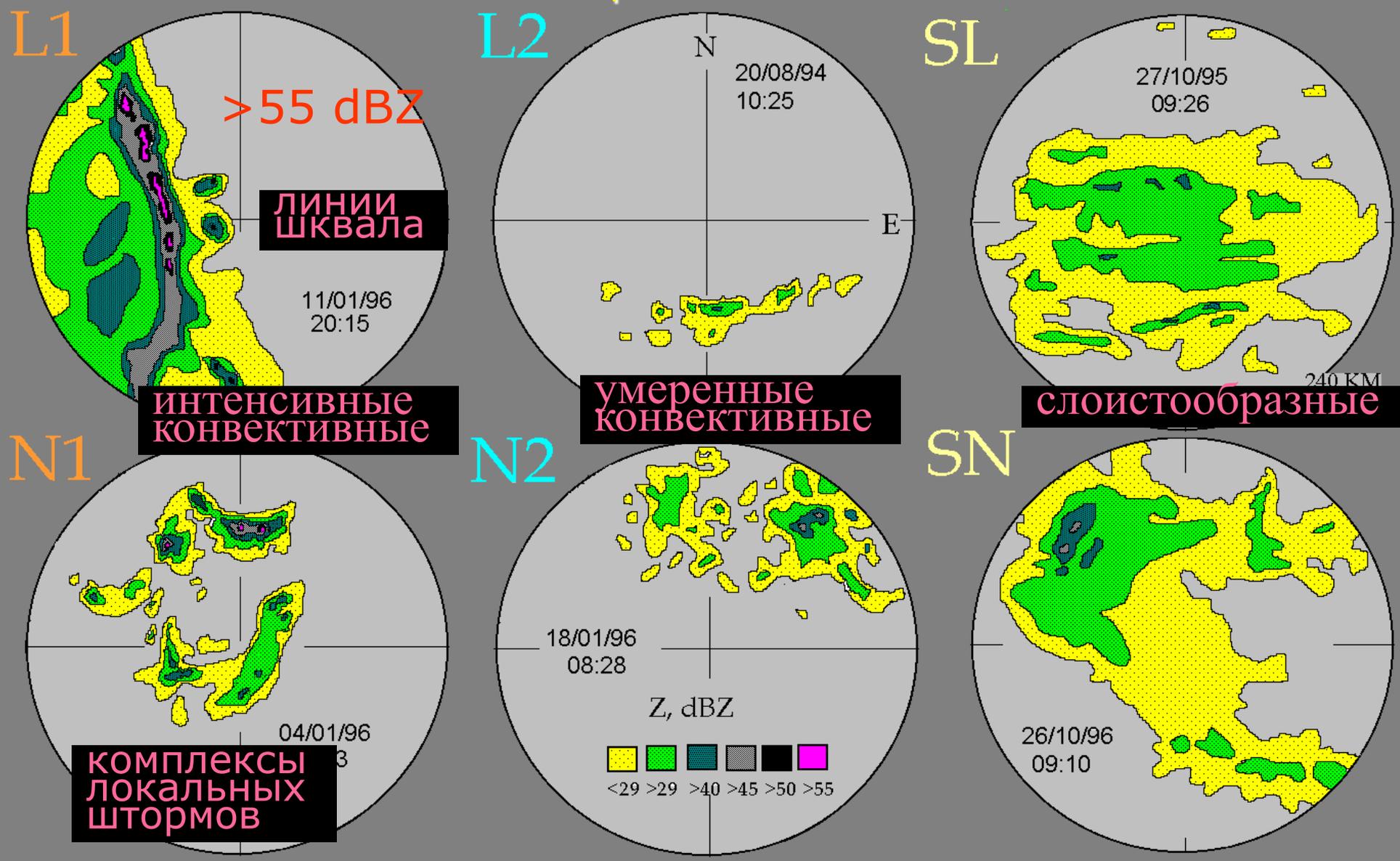


ПРИНЦИПЫ МЕЗОКЛИМАТИЧЕСКИХ
РЕКОНСТРУКЦИЙ

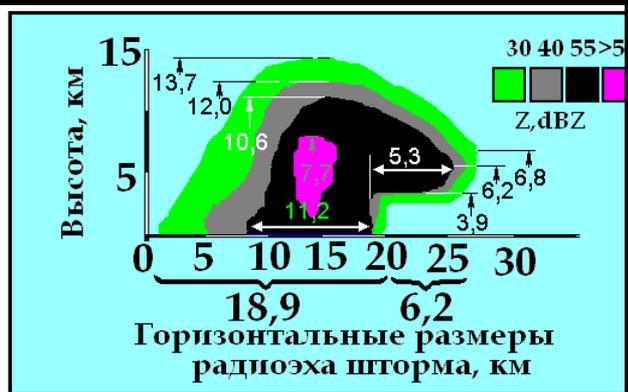
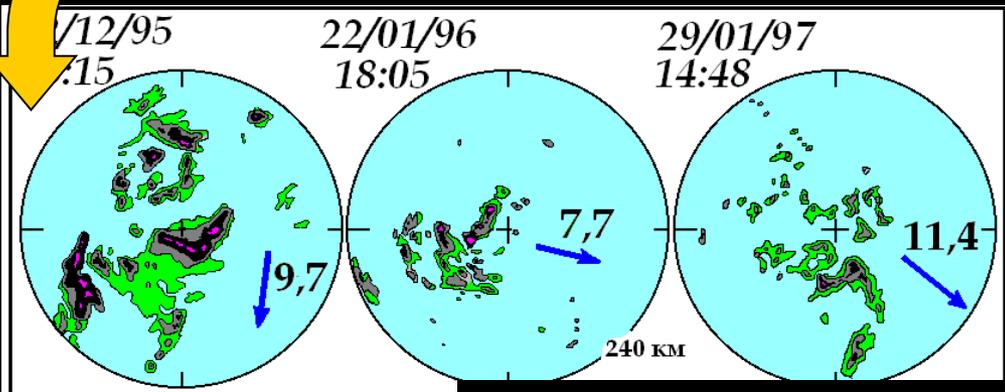


МЕЗОМАСШТАБНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

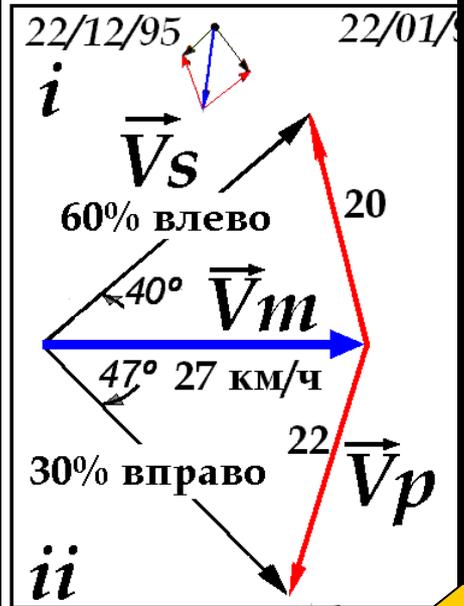
Единая морфолого-эволюционная классификация систем осадков по радиолокационным данным на шесть типов в зависимости от интенсивности и структуры радиоэха на стадии максимального развития



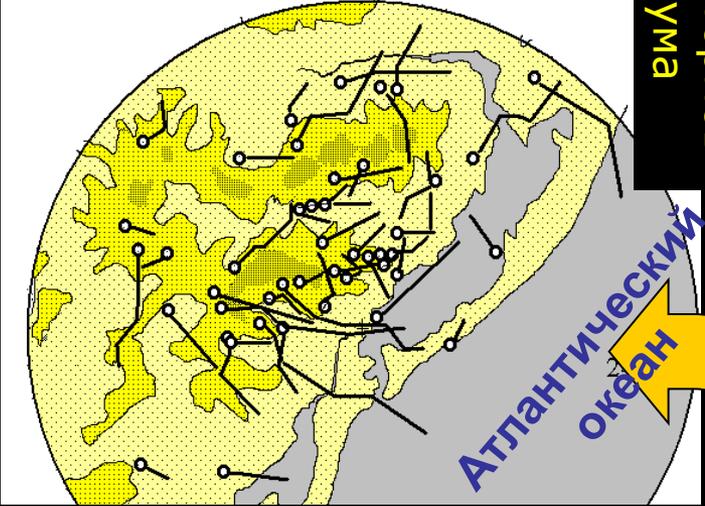
Мезомасштабные комплексы локальных штормов объективно ранжированы по интенсивности их доминирующих штормов (1). Изучена морфология (2), эволюция и частоты появлениядельных типов доминирующих штормов (3) и их траектории (4)



(2) Осредненная структура доминирующих штормов на стадии максимума

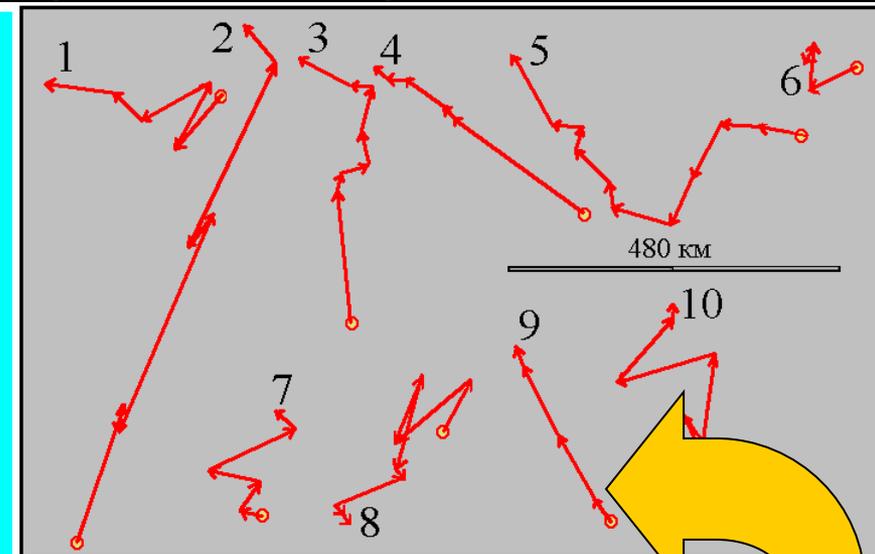
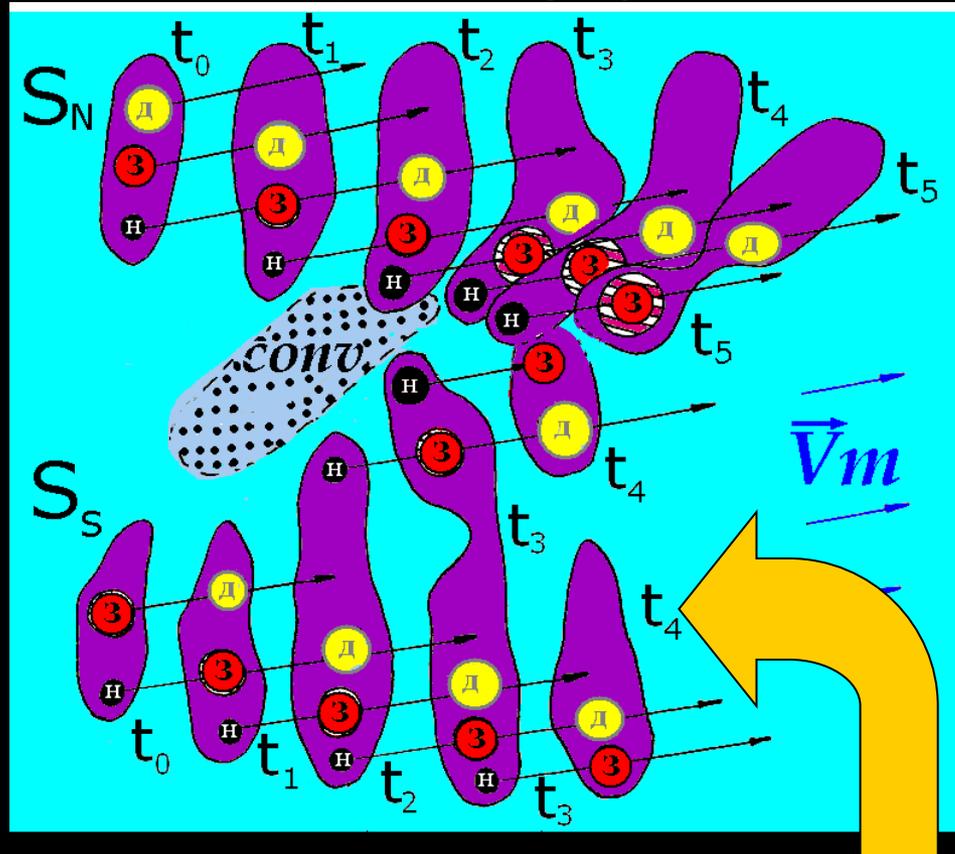


(3) Метод векторов (разложение движения на трансляцию и развитие) показал, что треть доминирующих штормов нарушает «правило полушария», отклоняясь вправо от трансляции в южном и влево в северном полушарии



(4) Метод траекторий доминирующих штормов показал, что места появления и диссипации доминирующих штормов и искривление их траекторий отражает особенности ландшафтов региона

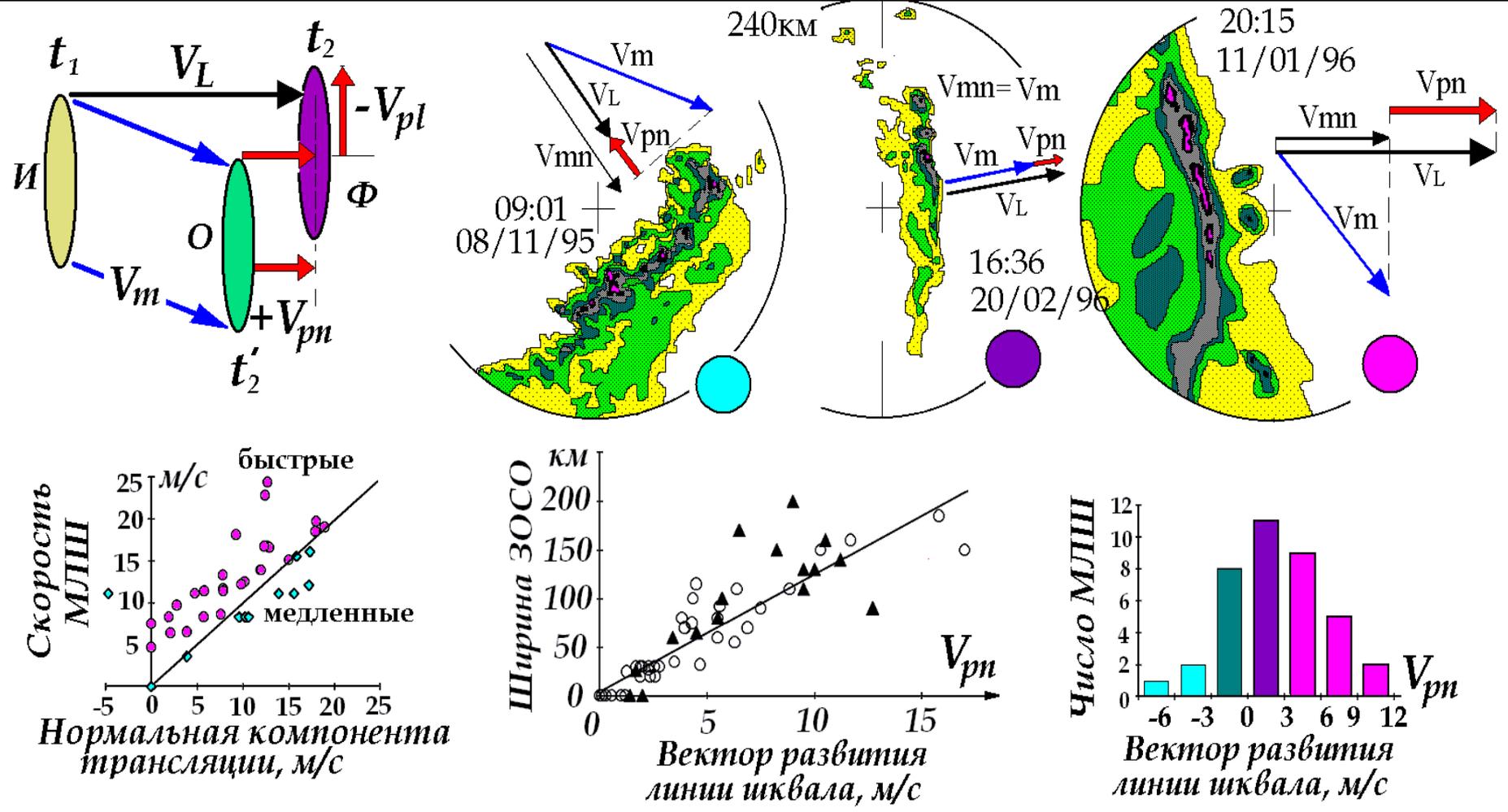
Комплекс локальных штормов. На основе наблюдений, разработана модель эволюции доминирующих штормов (5) вблизи стационарных зон конвергенции, объясняет «аномальную» эволюцию локальных штормов: слияние, разделение, стационарирование, появление пропорции 2/3 между право-леводвигущимися штормами



(6) Исследование появления доминирующих скоплений в движущейся системе координат показало наличие скрытой линейной структуры во многих комплексах штормов

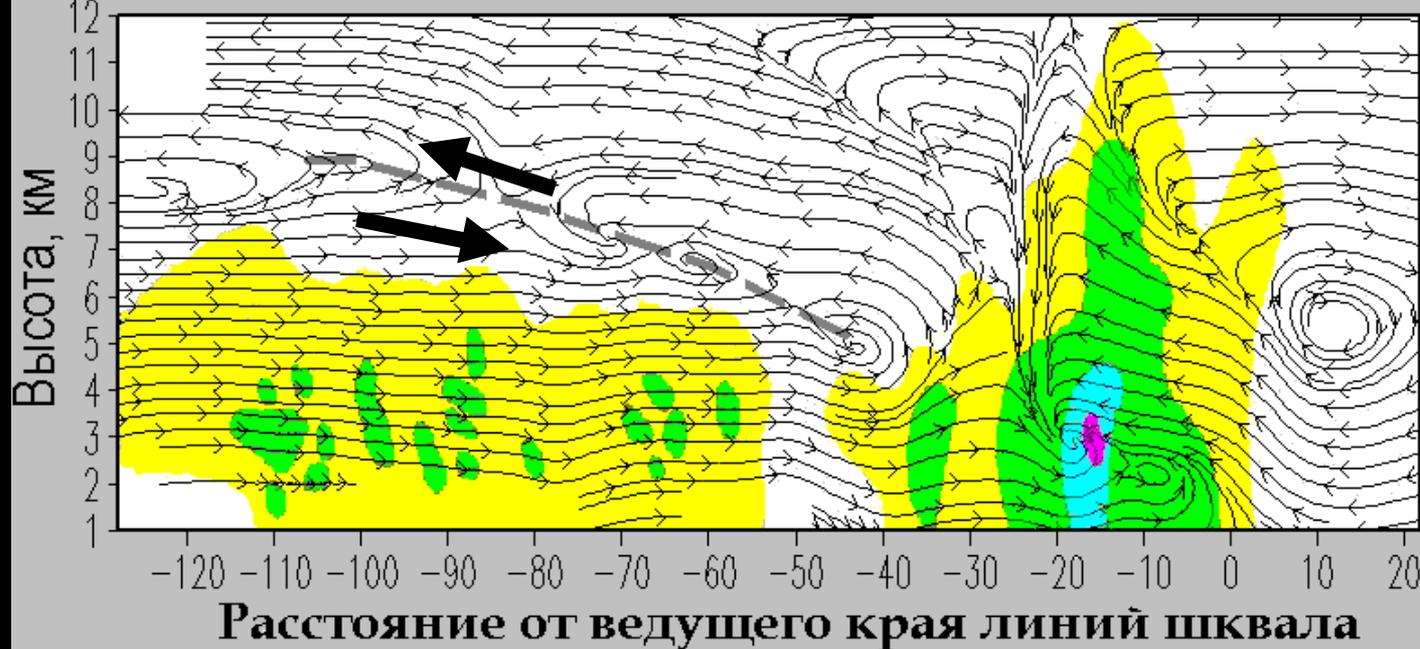
Результаты объясняют аномальное поведение штормов по влиянию местных циркуляций (городской остров тепла и горно-долинные циркуляций и т.п.) и вместе с обнаружением скрытой линейной структуры дает предпосылки к обобщению методов диагноза осадков по данным ИСЗ и обобщенного векторного метода прогноза (глава 5) и прогнозу ливневых паводков (глава 11).

Эволюция МЛШ. Выделение в векторе движения линии трансляционной составляющей, позволяет оценить поперечную V_{pn} и продольную V_{pl} компоненты развития, которые использованы для классификации МЛШ, их стадий и форм



«Сверхбыстрые» и «сверхмедленные» МЛШ с $|V_{pn}| \geq 3$ м/с - образуют ведомый или ведущий регион слоистообразных осадков (ЗОСО), поперечные размеры которого пропорциональны V_{pn}

СВЕРХБЫСТРАЯ МЛШ С
ВЕДУЩИМ КОНВЕКТИВНЫМ
РЕГИОНОМ



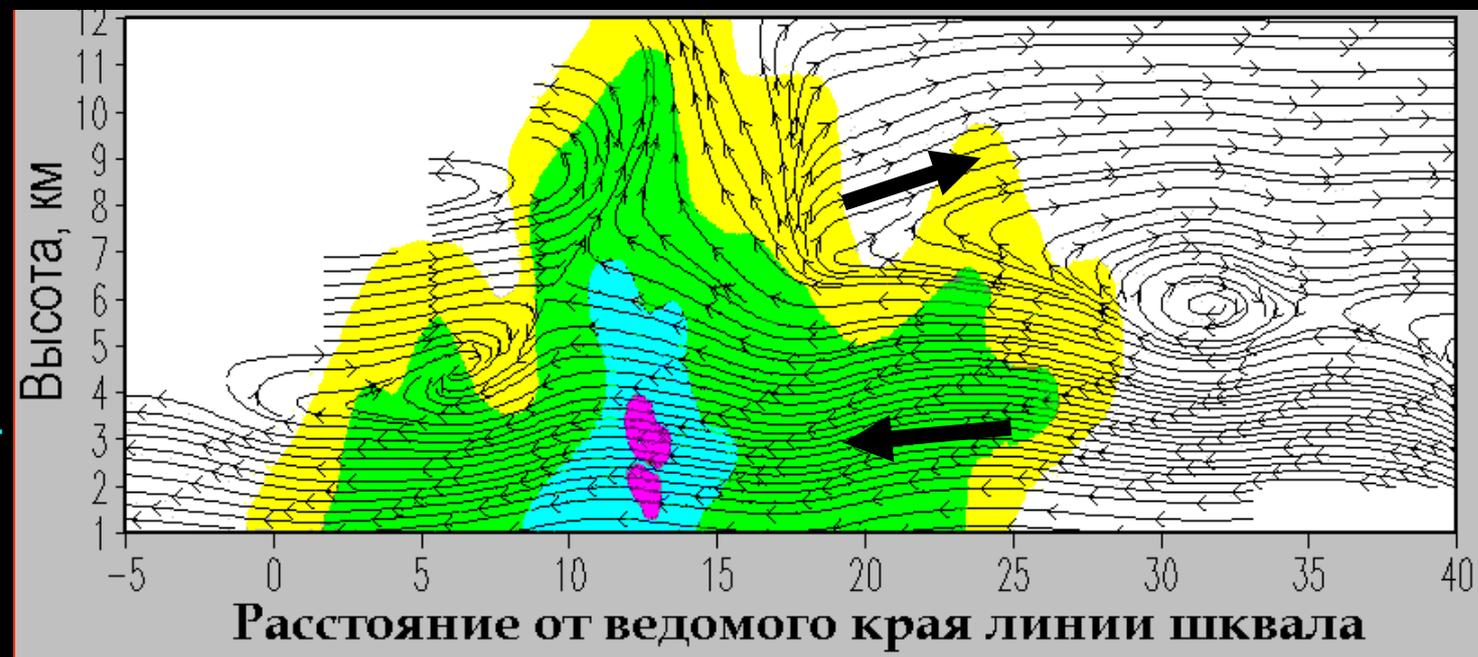
$V_L = 24,4 \text{ м/с}$

$V_{mn} = 12,7 \text{ м/с}$

$V_{pn} = 11,7 \text{ м/с}$

Структура движений в системе mean wind relative (MWR)

СВЕРХМЕДЛЕННАЯ МЛШ С
ВЕДУЩИМ РЕГИОНОМ
СЛОИСТООБРАЗНЫХ ОСАДКОВ



$V_L = 11,1 \text{ м/с}$

$V_{mn} = 15,5 \text{ м/с}$

$V_{pn} = -4,4 \text{ м/с}$

Основными положениями защиты 2010 года были:

Эмпирическое обобщение дистанционных и традиционных метеонаблюдений эволюции мезомасштабных систем конвективных и обложных осадков, выраженное **в концепции жизненного цикла системы масштаба мезо- α** , которая описывает основные мезомасштабные элементы этих систем, их пространственно - временную иерархию и квазипериодическое взаимодействие.

Новые способы обобщения эмпирических данных: единая морфолого-эволюционная классификация систем осадков по радиолокационным данным на шесть типов в зависимости от интенсивности и структуры радиоэха, и эволюционная классификация линий шквала, основанная на сопоставлении нормальных компонент развития и трансляции и объясняющая все возможные формы линий шквала.

Оригинальные методы анализа и интерпретации радиолокационных данных: метод доминирующих штормов, основанный на композициях в различных системах координат, и метод анализа доплеровских скоростей, основанный на компоненте трансляции, комплекс вспомогательных способов анализа спутниковых данных, приземной информации и данных сетей грозопеленгации; способ мезоклиматологической реконструкции МКС и обобщение векторного метода прогноза движения МКС.

Впервые описанные характеристики и закономерности поведения мезомасштабных систем обоих полушарий:

- 1) пространственно-временные **характеристики** эволюции линейных и кольцевых (дугообразных) **конвективных скоплений** малого мезо- β масштаба, больших мезо- β масштабных скоплений и α -кластера; **квазипериодические колебания** интенсивности конвекции, полей приземных величин и конвергенции с периодами 0,25, 1 и 3 часа; **доминирование скоплений** масштаба мезо- β , сопряженное с цикличностью α -кластера; консервативность **оценки скоростей роста** конвективных систем и др.
- 2) морфологические **характеристики, кинематика**, сезонные и синоптические **условия возникновения** шести типов мезомасштабных систем осадков с интенсивной и умеренной конвективной активностью и обложными осадками, включая **оценку их электрической активности и потенциал опасных явлений погоды**;
- 3) характеристики локальных штормов, включая влияние стационарных зон конвергенции природного и антропогенного происхождения, а также ландшафтных особенностей региона на траектории доминирующих штормов, существование пропорции \sim двух третей право- и трети лево-движущихся штормов в северном полушарии и обратная – в южном полушарии, и модель эволюции штормов вблизи стационарных зон конвергенции ветра, объясняющая эти явления;
- 4) скрытая линейная структура комплекса локальных «неорганизованных» штормов и свойство «запрета» на появление гроз и осадков в местах воздушной массы, ранее занятых конвекцией;

- 5) **характеристики линий шквала, включая зависимость между компонентами векторов развития конвективного региона линии шквала, появлением, положением, размерами и формой ведомого или ведущего региона обложных осадков; оценки скорости развития и диссипации региона обложных осадков мезомасштабных систем;**
- 6) **особенности циркуляций быстрых и медленных линий шквала различного типа, интерпретируемые в рамках известных моделей и новые закономерности в системе координат MWR, касающиеся ориентации и положения противоположно направленных мезомасштабных потоков и областей усиления втоков в регион обложных осадков и в конвективный регион;**
- 7) **в том числе впервые обнаруженные и описанные циркуляции линий шквала с ведущим регионом слоистообразной облачности и подобные им менее интенсивные мезомасштабные системы;**
- 8) **сезонные и мезоклиматологические особенности грозовой активности в рамках Южной Америки и прибрежных вод Атлантики, включая частоту внутрисезонных волновых пакетов грозовой активности и формирующие их крупномасштабные циркуляции; положение мезомасштабных очагов гроз и особенности пространственно-временного распределения полярности гроз;**
- 9) **двойная полосовая мезо-альфа-структура осадков стационарных фронтов, сопряженная с трансляцией периодических мезо- β возмущений вдоль фронта;**
- 10) **прогностические мезоклиматологические реконструкции шквало- и паводкоопасных систем, мезомасштабных конвективных комплексов и другие новые факты общегеографической и региональной значимости.**

Помимо этого, **обоснован метод краткосрочного прогноза опасных явлений погоды** использующий **алгоритм суммирования вероятностных оценок**, генерируемых опытными прогностическими правилами возникающими в процессе **динамической реконструкции жизненного цикла** мезомасштабной системы конвективной облачности.

Этот метод мы рассмотрим чуть подробнее.

Часть 2. Численное моделирование и прогноз: линий шквала, опасных явлений и неблагоприятных условий окружающей среды.

Разработка объектно-ориентированных методов анализа, моделирования и прогноза эволюции сложных систем. Разработан и внедрен универсальный алгоритм прогноза и оценки качества моделирования.

МЕЗОМАСШТАБНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ на основе универсального аддитивного алгоритма прогноза объединяет понятийный аппарат концепции жизненного цикла и методы динамической реконструкции МКС в единую экспертную систему.

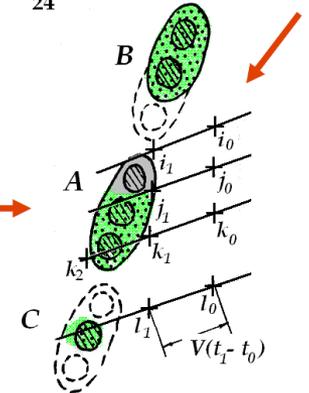
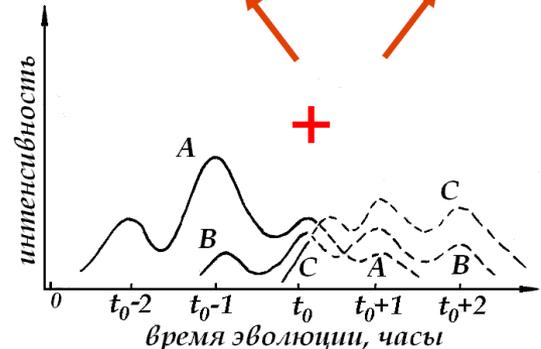
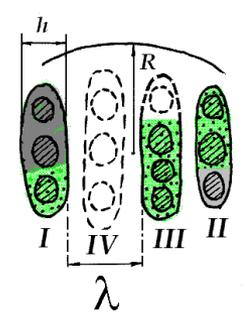
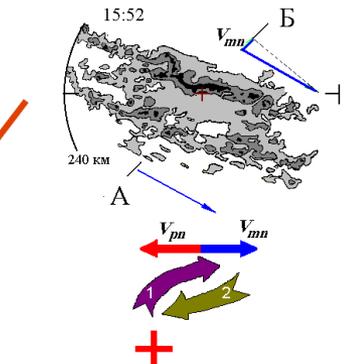
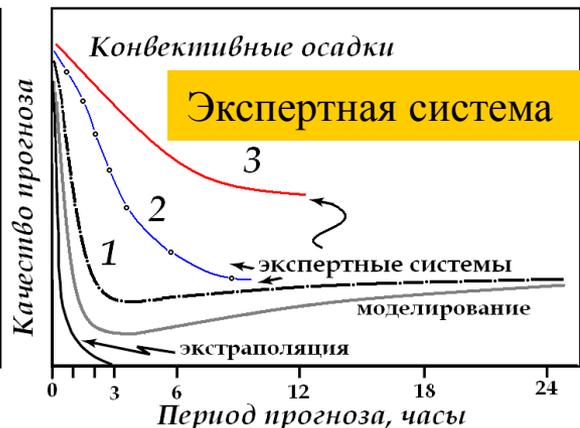
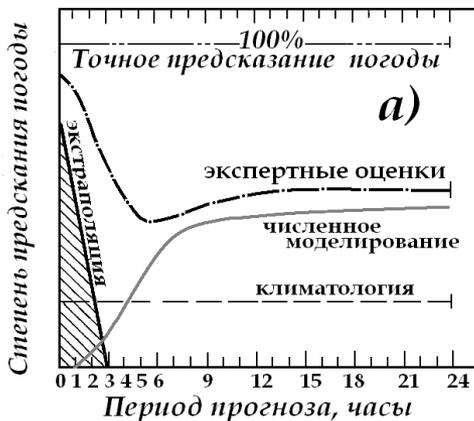
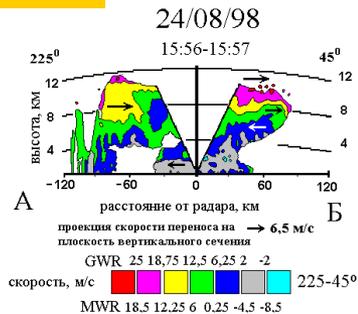
Факторы среды или системы	Факторы воздействия					Σ
	1 фактор	2 фактор	3 фактор	N-1 фактор	
1 компонент	3	2	4	0	5	19
2 компонент	6	4	4	1	4	23
3 компонент	3	2	4	2	8	21
.....	3	4	3	6	6	29
M-1 компонент	6	7	8	5	6	41
M компонент	5	5	6	3	5	30

$$P_j = \sum \lambda_{ij} f_{ij}(x_j)$$

Алгоритм прогноза

Компоненты	Факторы			Ранг компоненты
	x1	x2	x3	
1 компонент	$f_{11}(x1)$	$f_{12}(x2)$	$f_{13}(x3)$	K1
2 компонент	$f_{21}(x1)$	$f_{22}(x2)$	$f_{23}(x3)$	K2
3 компонент	$f_{31}(x1)$	$f_{32}(x2)$	$f_{33}(x3)$	K3

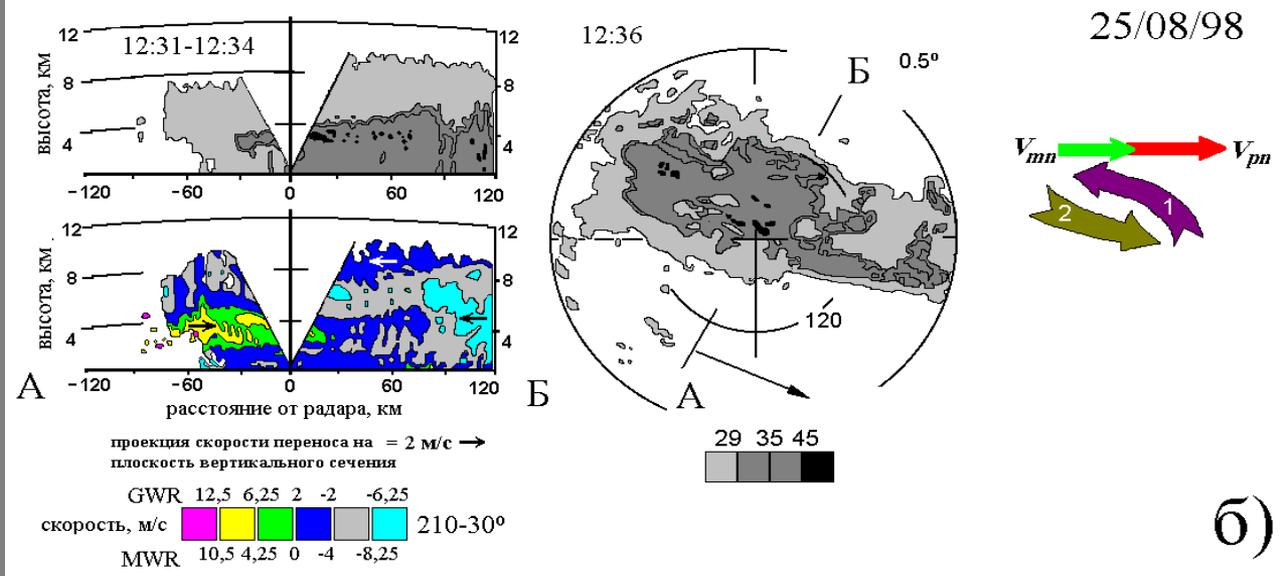
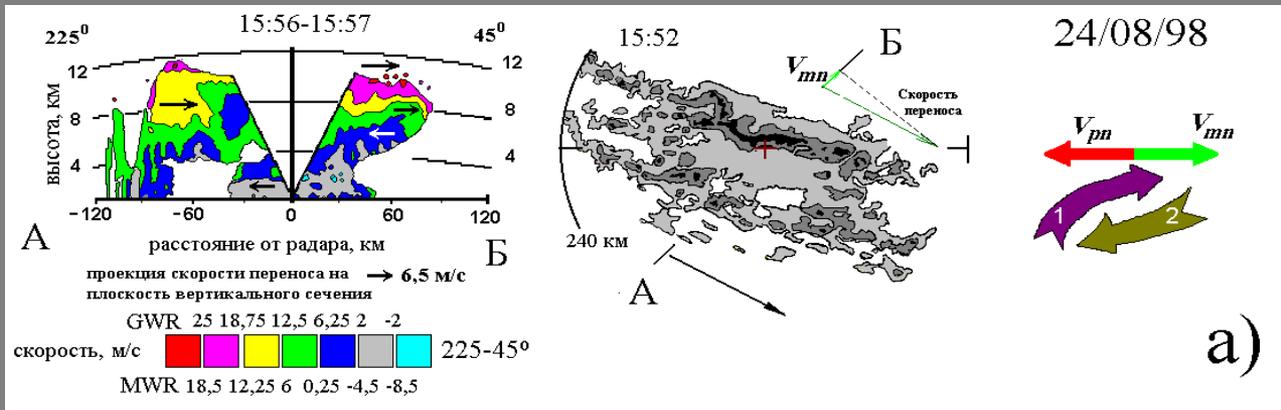
Ранг фактора Φ1 Φ2 Φ3



Динамическая реконструкция

Понятийный аппарат концепции

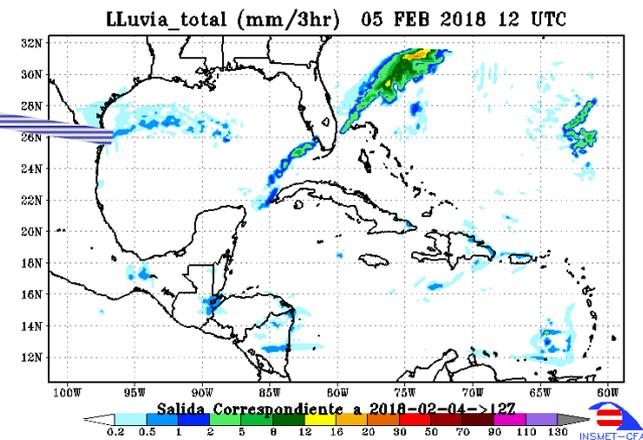
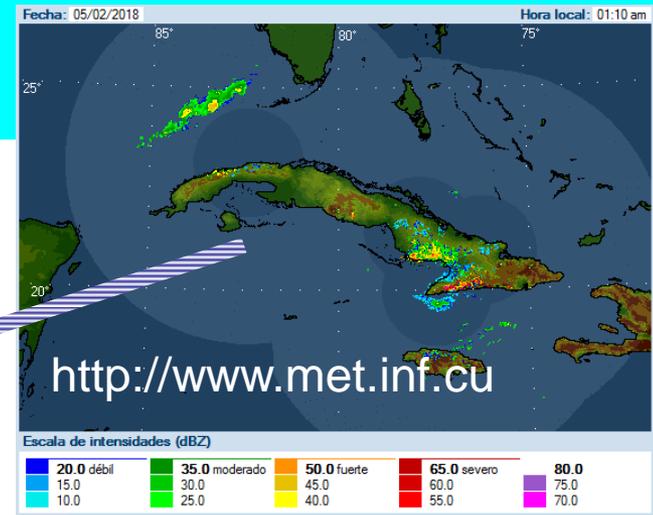
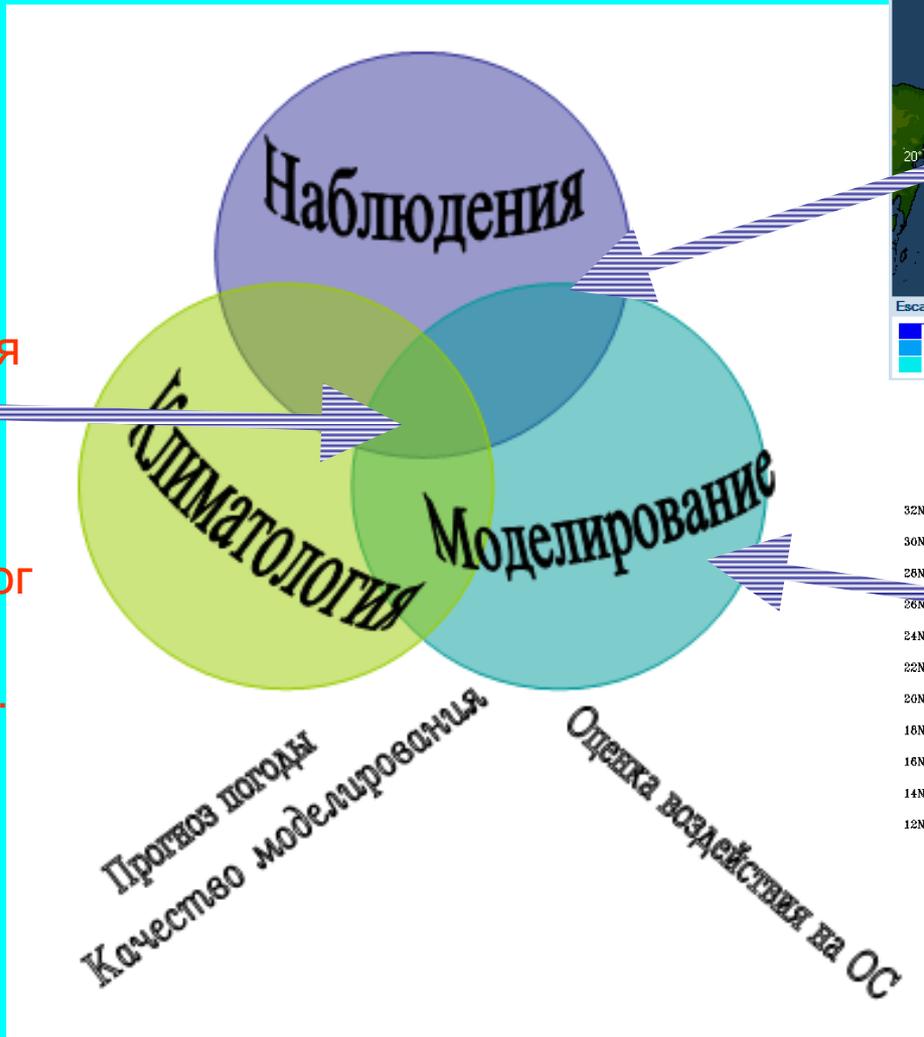
Динамическая реконструкция: выделение участков стационарного фронта (опытное правило)



Новый способ анализа оперативной радиолокационной информации для синоптика

Предположим нам надо создать систему прогноза

Опишу метод совместного применения численного моделирования и наблюдений. И то как создавать мезоклиматологические реконструкции.



Например, на Кубе имеются ресурсы моделирования и наблюдений. Но валидация численной модели WRF из-за ресурсов сильно ограничена.

Динамические реконструкции – выделение однотипных объектов на определенных стадиях развития

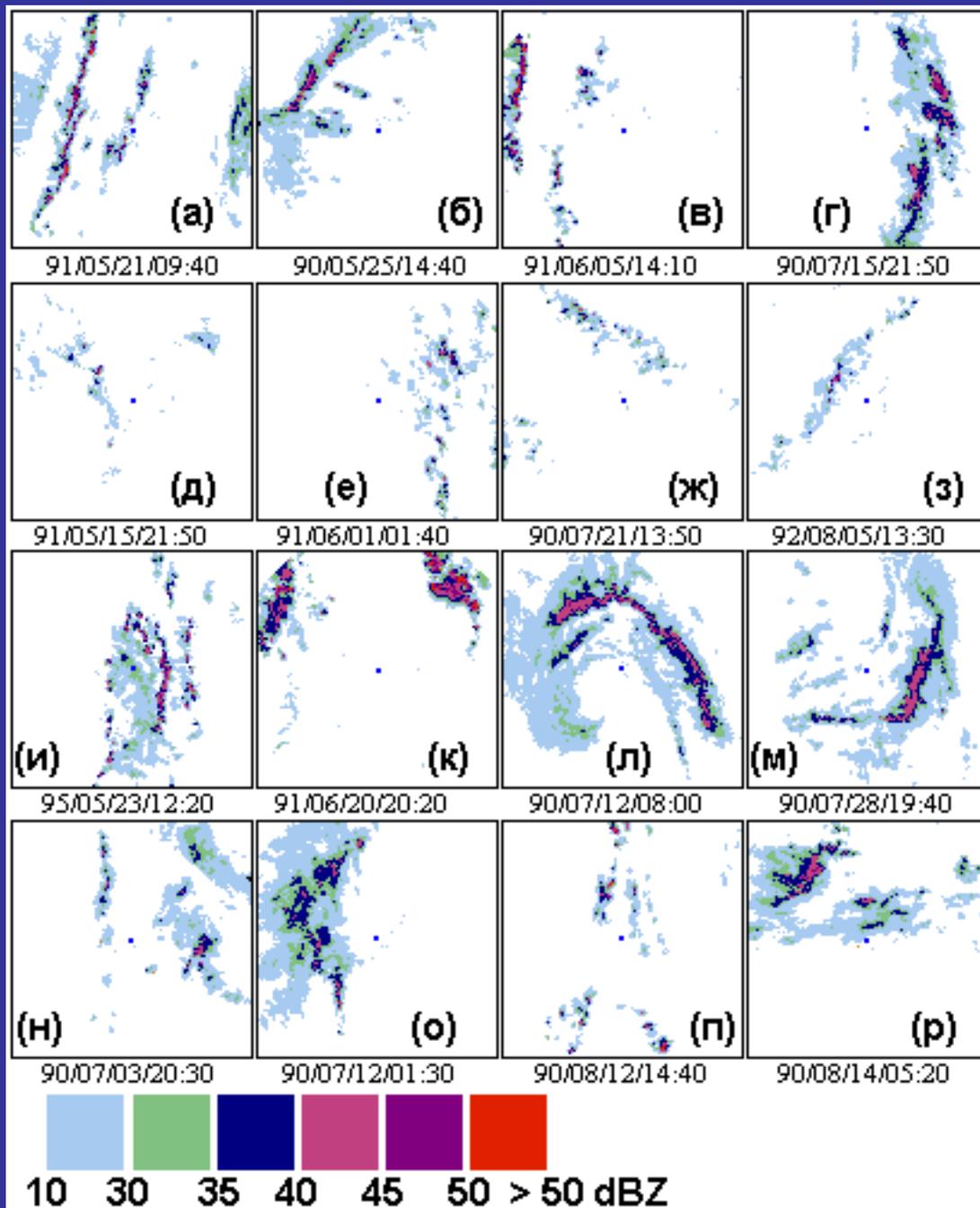
Эмпирические
динамические
характеристики
- некоторые
общие
измеряемые
или
качественные
свойства
объекта на
данной стадии

Климатологические
распределения ЭДХ

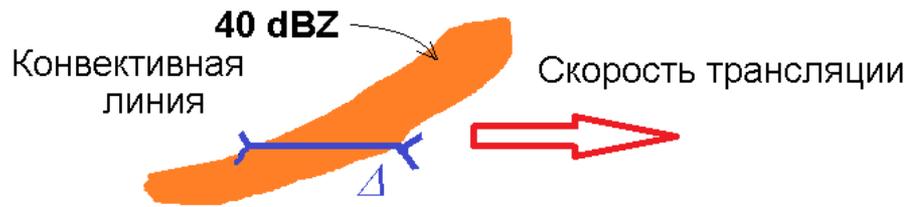


На репрезентативной выборке данных дистанционных или обычных наблюдений производится анализ поведения объектов, сопровождаемый морфолого-эволюционной классификацией объектов.

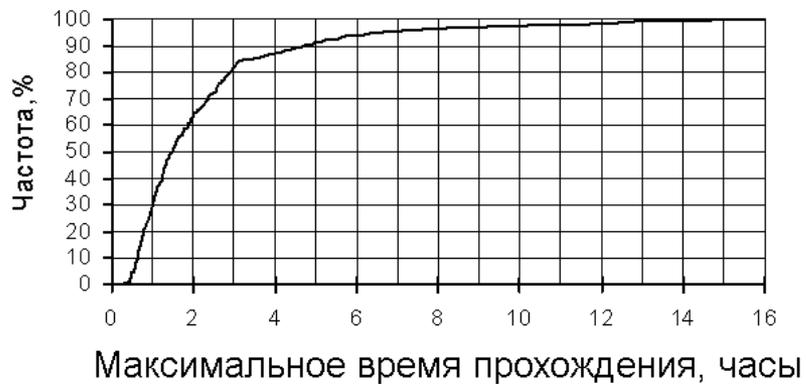
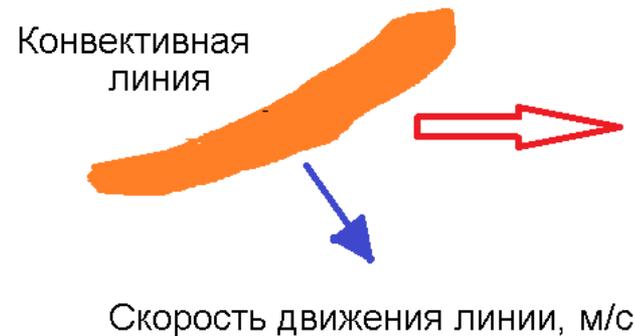
В опорных фазах эволюции подобных объектов определяются динамические характеристики, описывающие различные свойства о., как правило, отражающие предмет диагноза и прогноза. Результат этапа - климатологические распределения динамических характеристик о. на различных стадиях его жизни - базис для оценки качества численного моделирования объектов.



Мезомасштабные линейные системы в стадии максимального развития (Центральная Россия). Прямолинейные системы: (а, б, в, г) – линии шквала с монолитными сегментами > 40 dBZ длиной более 100 км; (д, е, ж, з) – полосы осадков с вкраплениями мощных штормов. Центрально-линейные системы: (и, к, л, м) – спиралевидные и дугообразные системы полос, сходящихся к центру под малым углом; (н, о, п, р) – окклюдированные системы с пересекающимися под значительным углом линейными полосами осадками или «разнонаправленными» дугами.

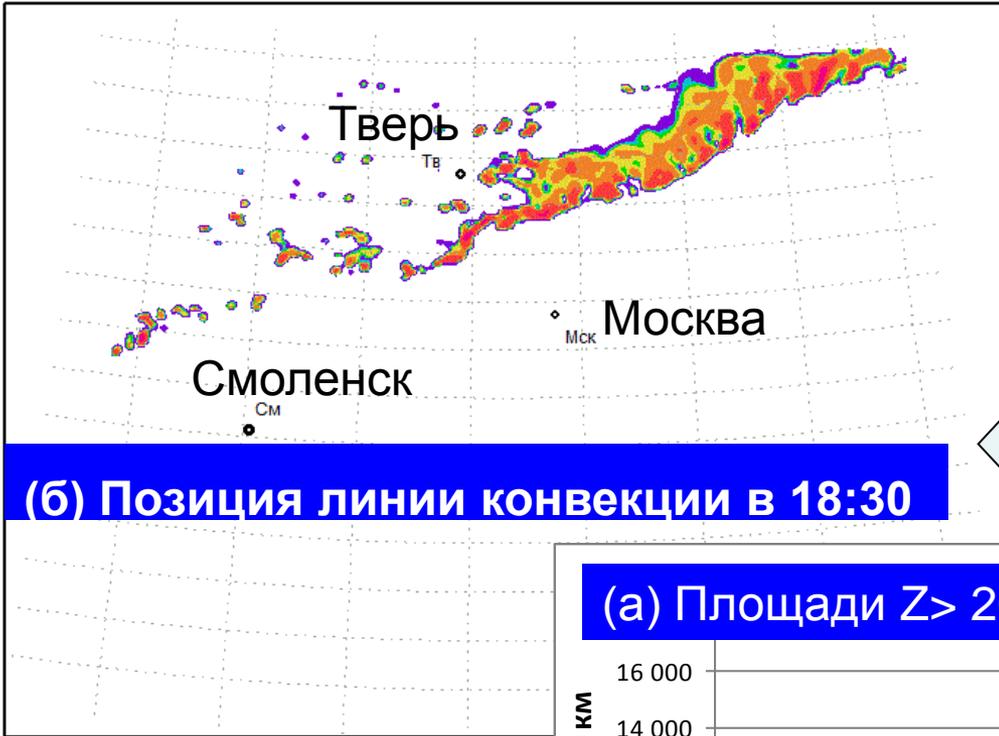


Максимальное время прохождения, часы
 наибольший Δ
 = $\frac{\text{наибольший } \Delta}{\text{Скорость трансляции}}$



Результат этапа - климатологические распределения динамических характеристик о. на различных стадиях его жизни - базис для оценки качества численного моделирования объектов.³⁷

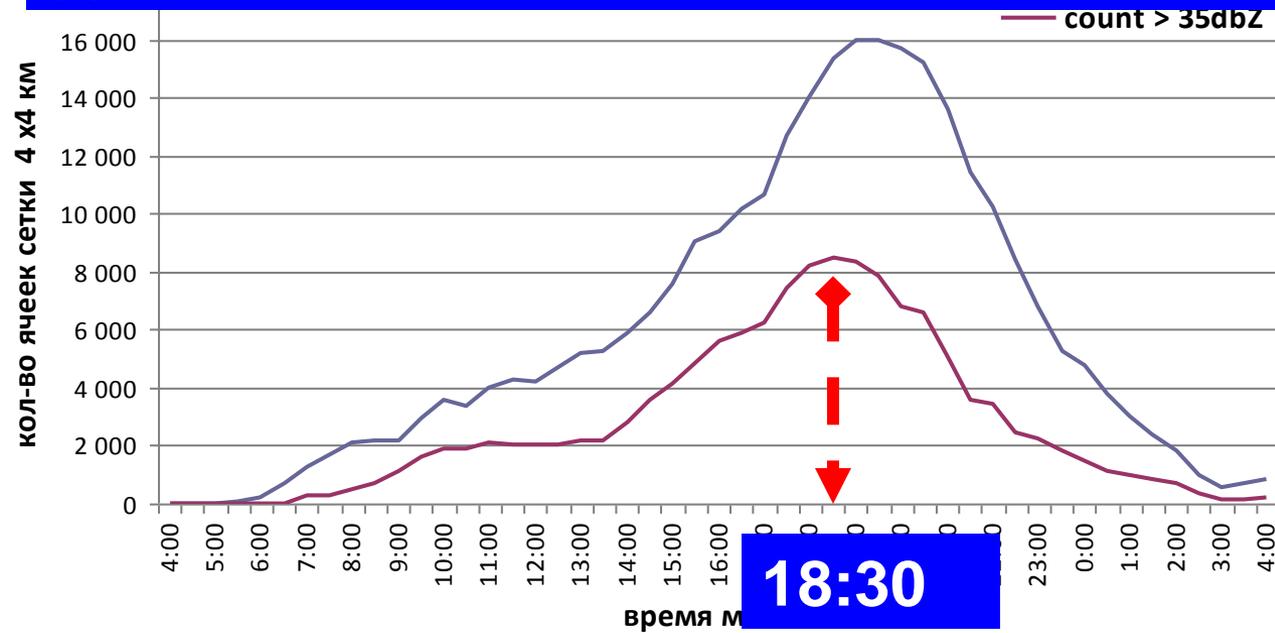
DBZ on 5 level, t = 30 650 м 18:30 мск



(б) Позиция линии конвекции в 18:30

Моделируем с WRF: измеряем ЭДХ в момент максимума

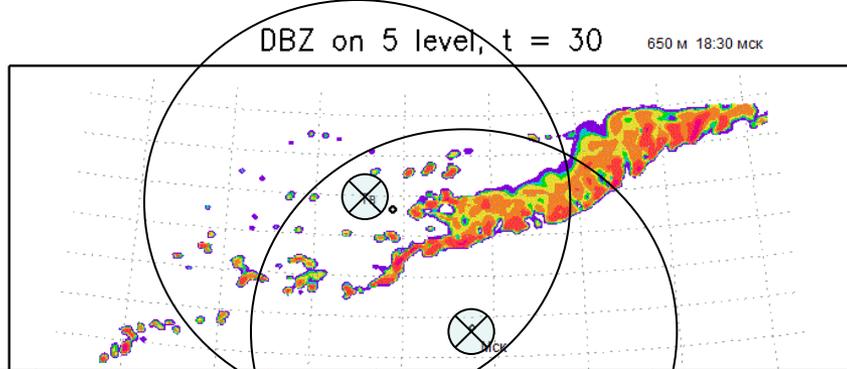
(а) Площади Z > 20 dBZ и Z > 35 dBZ.



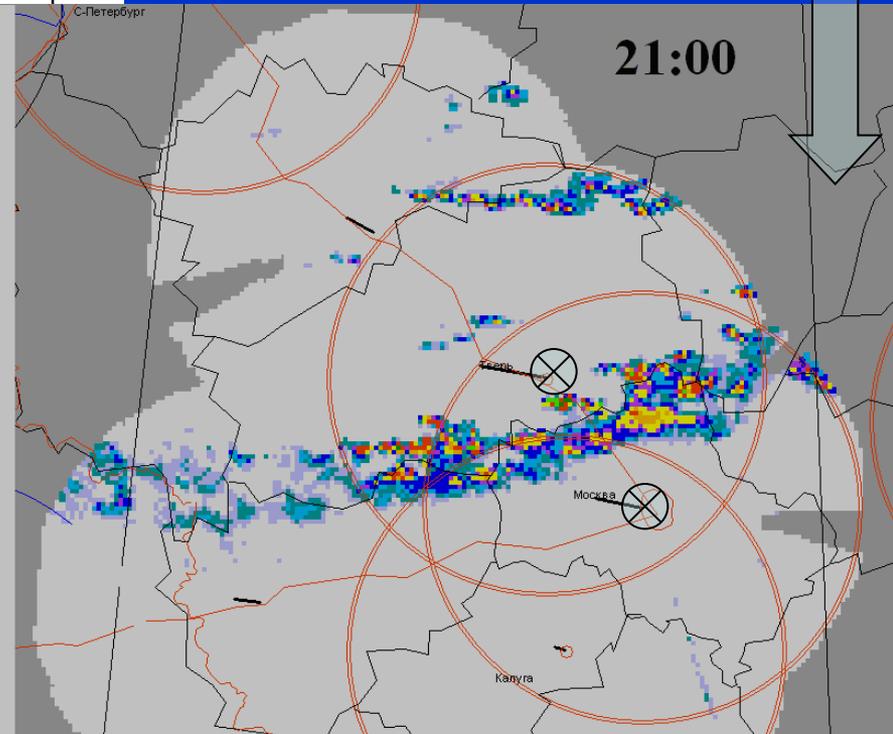
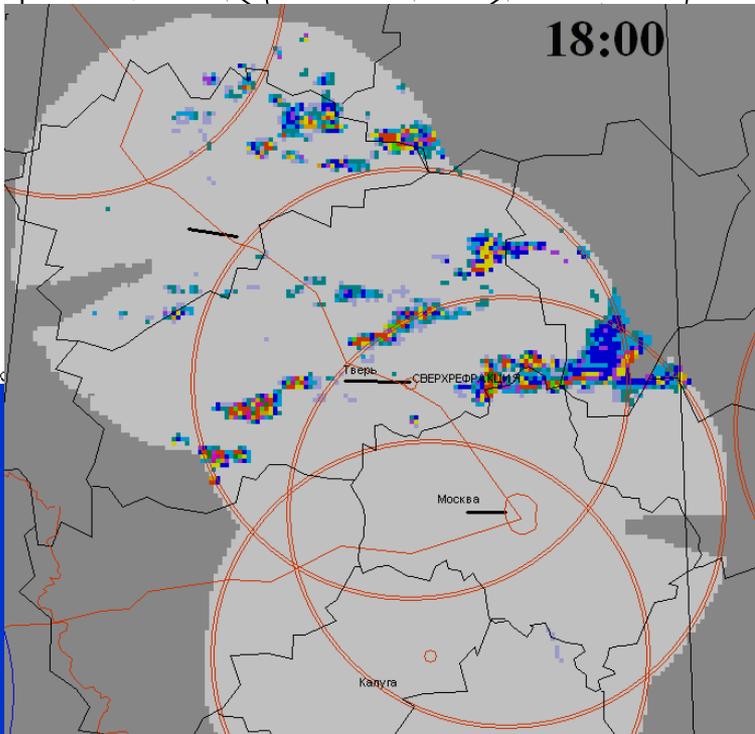
GrADS: COLA/IGES



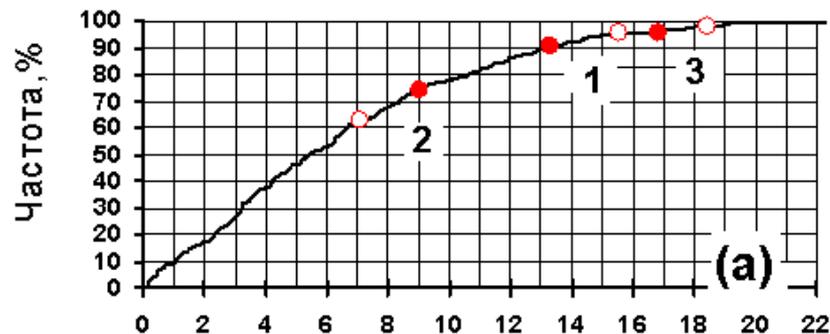
Численное моделирование линии конвекции вблизи Москвы 28.06.2009.



**Наблюдения
метеорадарами в 18 и 2100.**

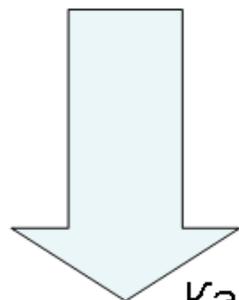


**В модели линия эволюционировала быстрее.
Сравниваем фазы реального и виртуального
объекта на стадии максимума.**



Скорость движения линии, м/с

○ модель
● наблюдения

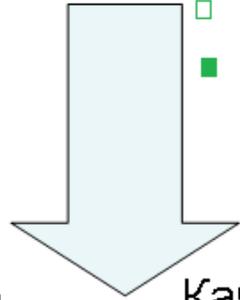


Качество прогноза шквалов



Максимальное время прохождения, часы

□ модель
■ наблюдения



Качество прогноза сумм осадков

Оценка качества моделирования.

Увидеть, что небольшая разница по скорости системы 2 дает большую разницу по частоте. С другой стороны, качество моделирование систем «редких» систем 1 и 3, вполне удовлетворительное. Мы способны настроить модель:

- 1) на прогнозирование определенной категории объектов
- 2) на тип прогнозируемого явления.

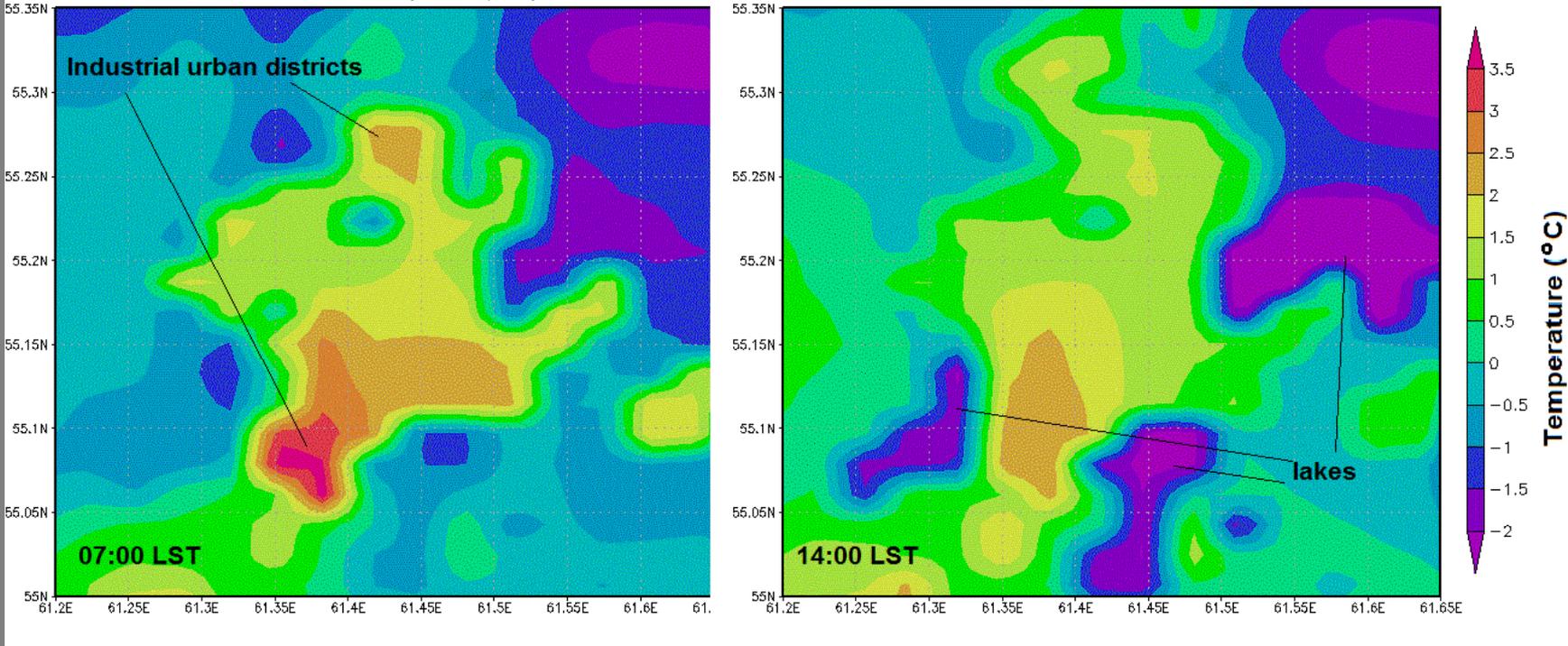
На выборке тестируемых наблюдаемых и моделируемых объектов, устанавливается принадлежность этих объектов к диапазонам климатически типичных или редких событий, определяется вероятностная климатическая дистанция между их динамическими характеристиками. Итог этапа - комплексная оценка качества реконструкции жизненного цикла о. моделью, включая оценку прогностического потенциала численной модели - исследование воспроизведения динамических характеристик в интервалах принадлежности прогноза.

Универсальный алгоритм прогноза, оперирует с линейной комбинацией функций принадлежности прогноза - однопараметрических аналитических функций заданных на интервале принадлежности динамической характеристики o . с весовым множителем, учитывающим вклад каждой функции в прогноз данной категории данного явления или условий среды.

Универсальность алгоритма позволяет трансформировать функции принадлежности нечеткой логики системы autonowcasting, результаты физико-статистических методов, прогнозы численных моделей. Набор вычисленных значений функций трансформируется одновременно в вероятность возникновения сопутствующего явления данной категории и детерминированную оценку его интенсивности.



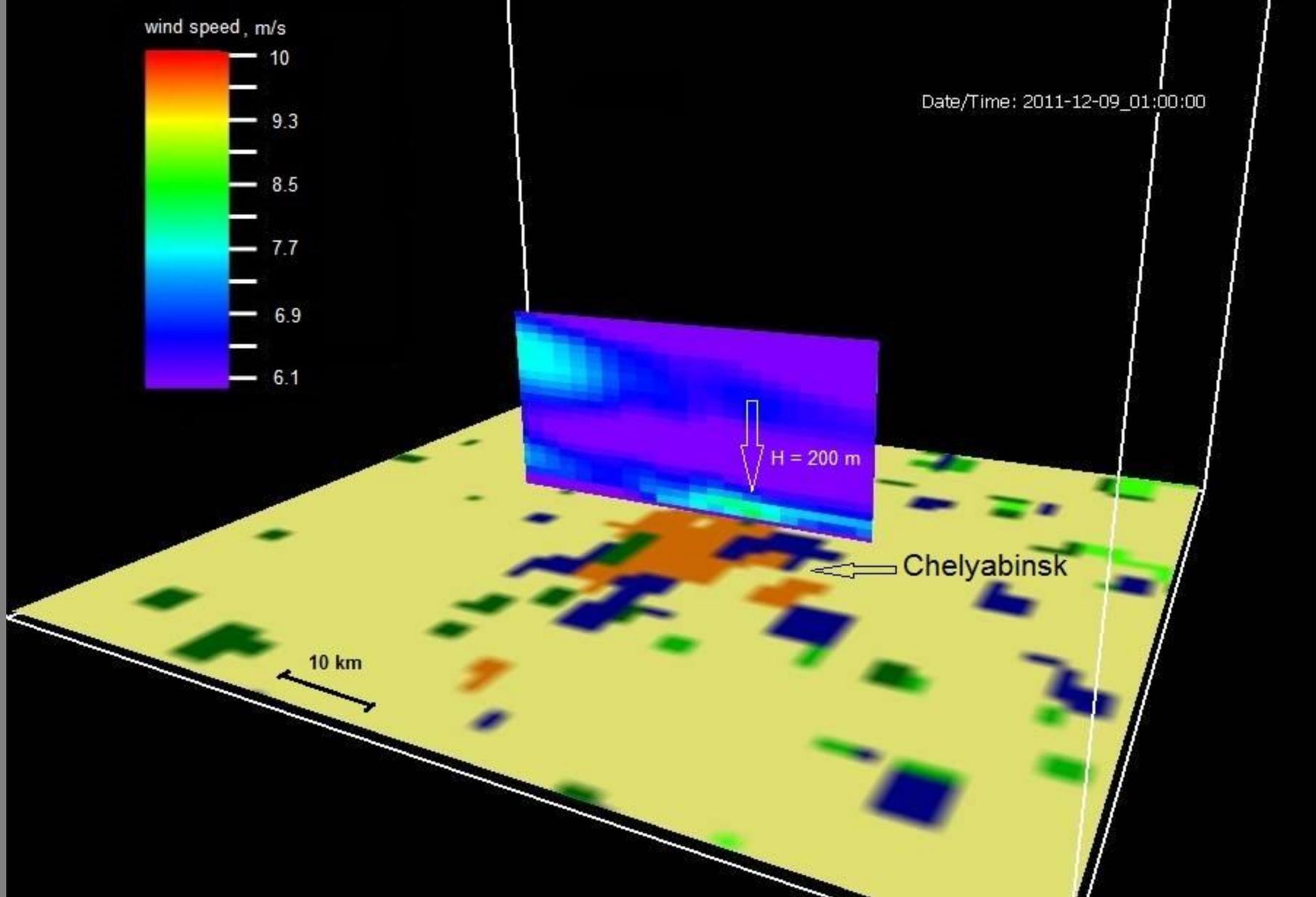
Функции принадлежности объекта «локальный шторм» к прогнозу шквалов от 15 до 20 м/с и 20-25 м/с.



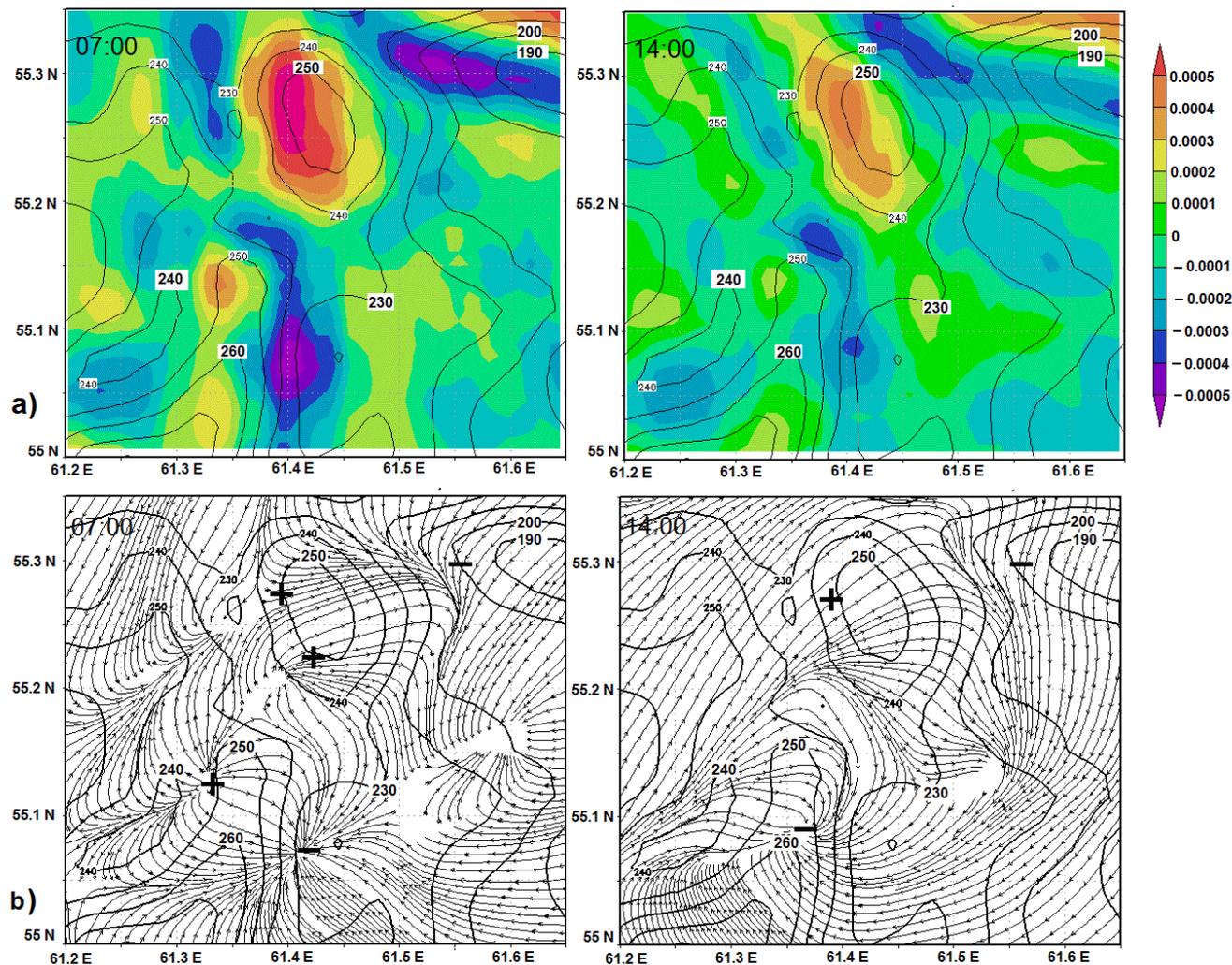
Объект наблюдений и моделирования природно-антропогенная система «Городской остров тепла»

Пространственно распределения температур показывают наличие положительных температурных аномалий над индустриальными ядрами города – элементами системы (2 метра, 09.12.2011). Холодные ядра – природные элементы замерзшие озера.

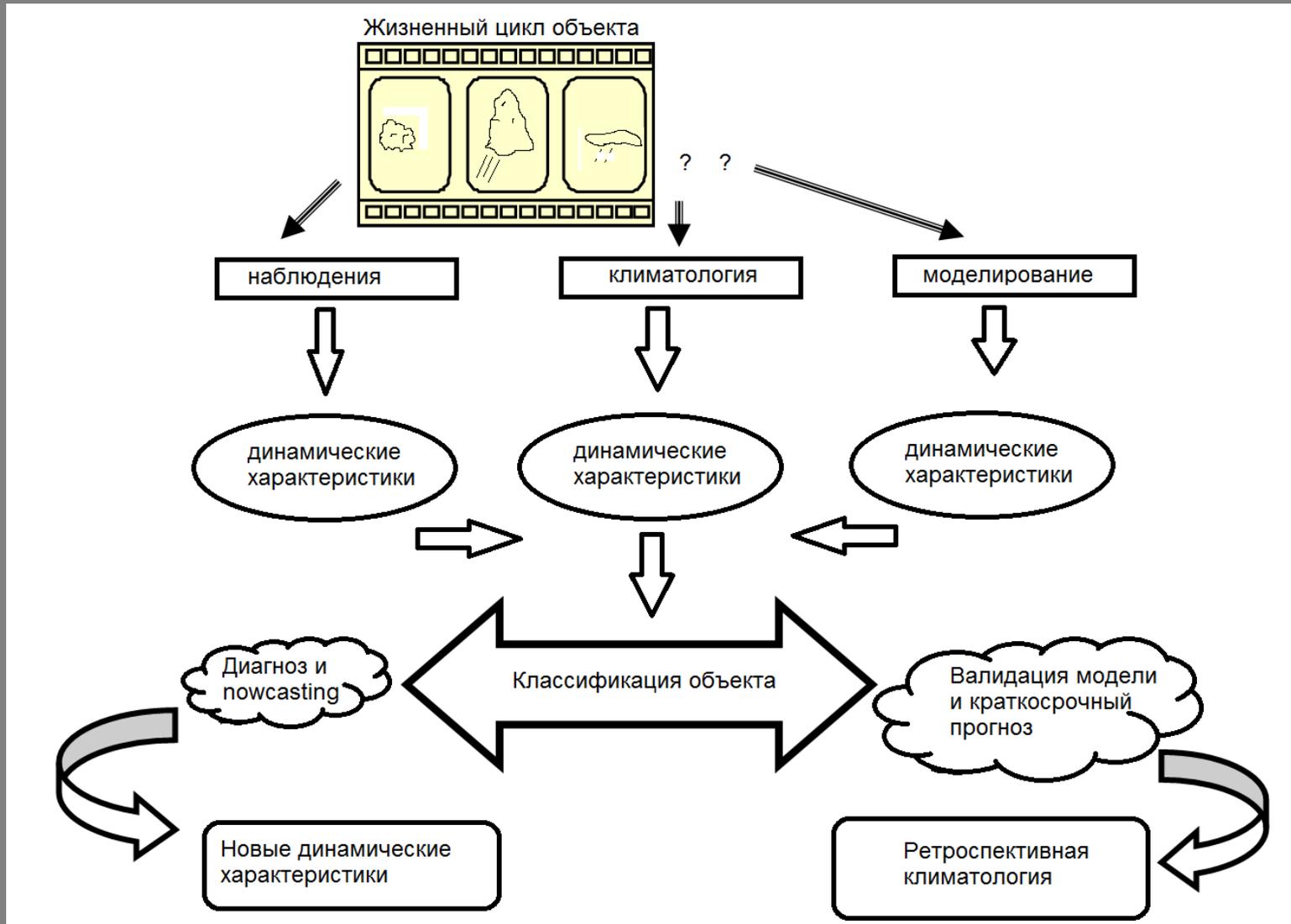




Объект наблюдений и моделирования «Городской остров тепла»



Моделирование а) поля дивергенции (s^{-1}) в 07 и 14 местного времени на 30 м над землей. (б) Линии потока ветра на 90 м; Сплошные линии – высота форм рельефа (м).



Спасибо за внимание!