A satellite image of Earth showing several tropical cyclones in the tropical regions. The cyclones are characterized by distinct spiral cloud patterns and bright white centers. The image is overlaid with a grid of latitude and longitude lines. The text is centered over the image.

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ
ЦИКЛОНОВ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ДИАГНОСТИКИ
ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

Пермяков М. С., Поталова Е.Ю., Маликова Н.П.

ТОИ ДВО РАН

E-mail: permyakov@poi.dvo.ru

Ключевые вопросы применения ДЗЗ в задачах диагностики и прогноза формирования ТЦ

- Какие характеристики состояния возмущений в тропической атмосфере необходимо измерять с т.з. диагностики и прогноза развития и как ?
- Какие динамические и термодинамические параметры окружающей атмосферы и возмущений можно достаточно надежно оценивать по данным ДЗЗ?
- Насколько точно возможно выделение в полях метеорологических элементов возмущений, как структурных образований (барических систем) и их идентификация с учетом вертикальной структуры (чередование областей пониженного и повышенного давления)?

Основные задачи работы

1. В простой модели показать механизм формирования циклона при взаимодействии конвективного пограничного слоя и геострофического потока в свободной атмосфере,
2. Выявить основные факторы, определяющие условия образования замкнутых циклонических циркуляций,
3. Выразить эти условия в виде соотношения комплексных параметров, характеризующих атмосферу и фоновый поток.

Основным фактором формирования циклона в модели является локализованный источник тепла в АПС, ограниченный по вертикали верхней границей конвективного пограничного слоя атмосферы. При этом реализуется механизм **мелкой конвекции** формирования ТЦ.

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Указаны факторы циклогенеза,

скорость фонового ветра в зонах пассатов,

статическая устойчивость атмосферы,

масштаб и интенсивность аномалий потоков тепла,

высота конвективного слоя и сила инверсии,

крупномасштабные вертикальные скорости оседания.

Получены комплексные параметры, выражающие критерии формирования.

Дана интерпретация в рамках модели данных наблюдений;

Показано, что формировании центральной области затишья (или «глаза») ТЦ начинается уже на ранних стадиях развития;

Показано, что на ранних стадиях развития возможно образование возмущений со струйным характером распределения ветра. 4

Ключевые слова и термины

Тропические циклоны (максимальный ветер, число за год)

Облачное скопление	10 м/с	~500
Депрессия	17 м/с	~100
Шторм	33 м/с	~ 20
Тайфун, ураган	более 33 м/с	~ 10
(супер-тайфун)	более 60 м/с	~ 1

Тропические возмущения – области низкого давления (тысячи в год)

Линейные системы (линии шквала)

Волнообразные возмущения (восточные волны)

Вихри (циклоны, мезовихри, малые тропические).

Приземные циклоны (теплая центральная область).

Высотные циклоны (холодная центральная область).

«Высотный холодный тропосферный мезовихрь».

Вихри с чертами и приземных и высотных циклонов.

Тропический циклогенез (из названий статей)

Возникновение

Образование

Зарождение

Формирование

Самоорганизация

Признаки сформировавшегося тропического циклона

Интенсивность (ветер более 10 или 17 м/с).

Наличие замкнутой изобары.

Ядро теплого воздуха в тропосфере.

Механизмы развития тропических возмущений

Внутренние

Баротропная и бароклинная неустойчивость.

Конвективная неустойчивость второго рода (гипотеза CISK, глубокая конвекция, «горячие башни»).

Интенсификация потоков тепла от океана через положительную обратную связь их с ветром (WISHE).

Спиральность (a somewhat esoteric topic [Moffat,1981])

Внешние

Неустойчивость при охлаждении верхних слоев атмосферы.

Орографические эффекты.

Аномалии температуры поверхности океана («горячих пятен»).

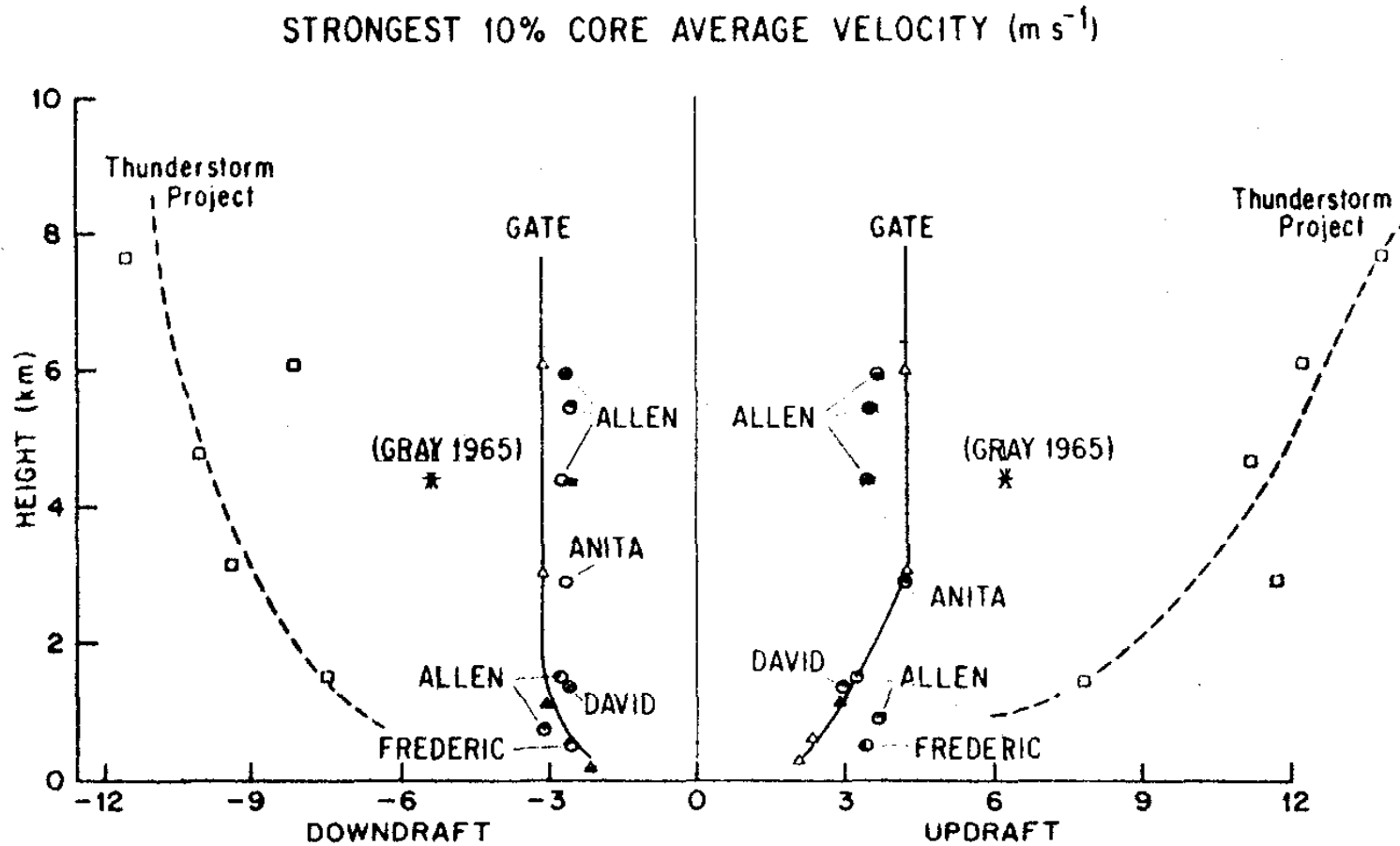
Вторжения из средних широт (холодные).

Аномалии гравитационного поля.

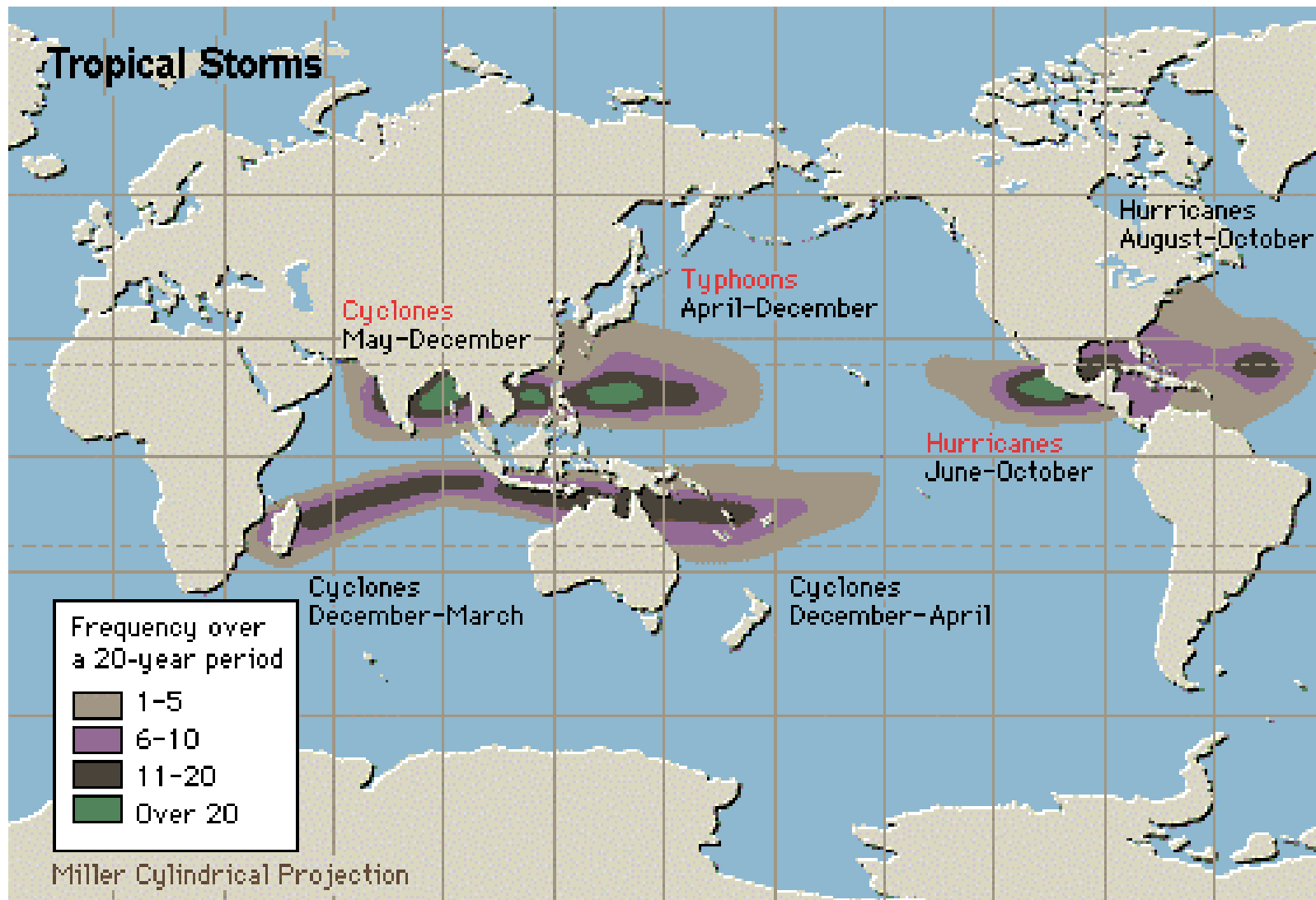
Космические факторы.

Вертикальные скорости в кучевых облаках

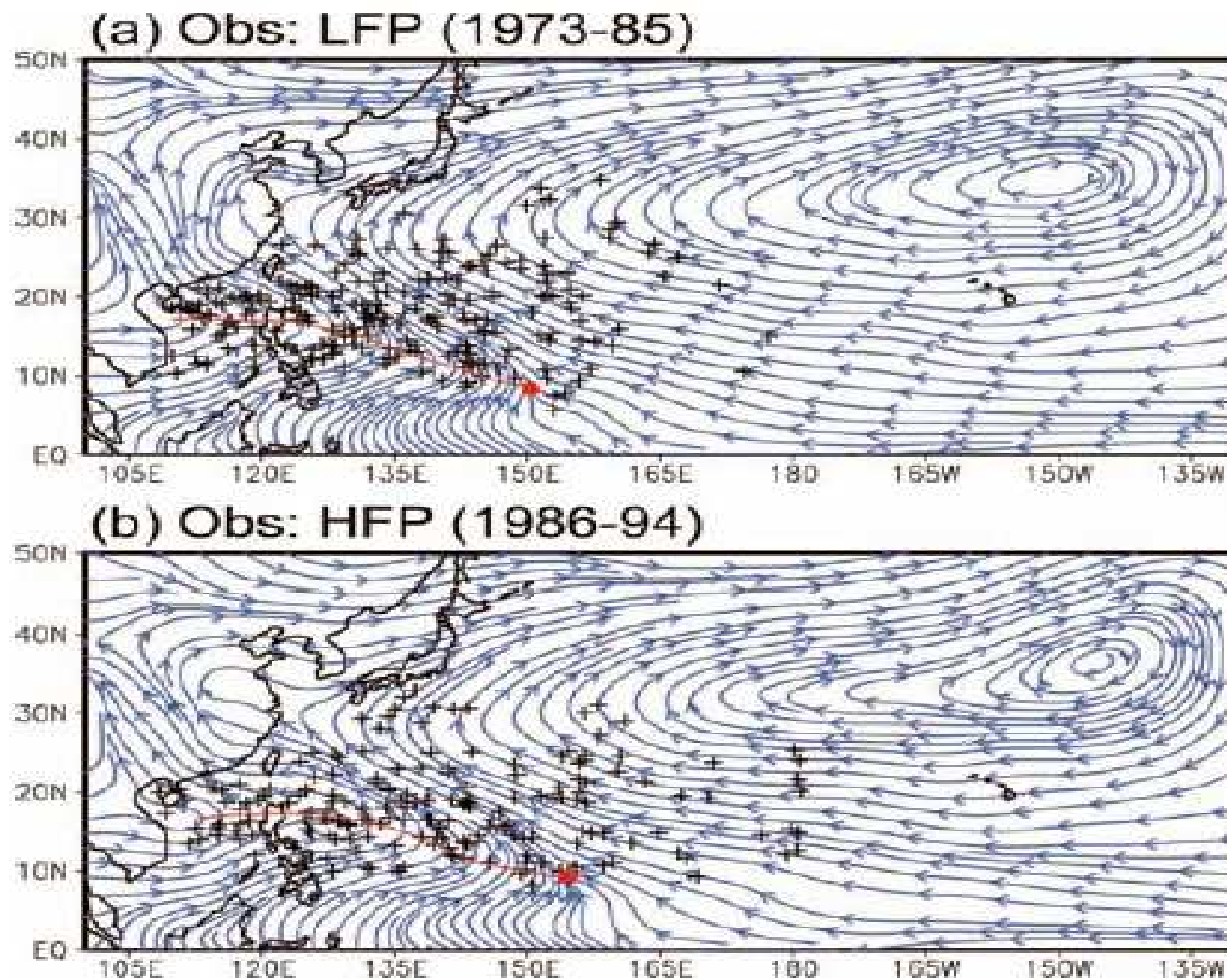
Knupp, Cotton, 1985



Повторяемость тропических циклонов (ветер более 17м/с) за период 1977-1997 гг.

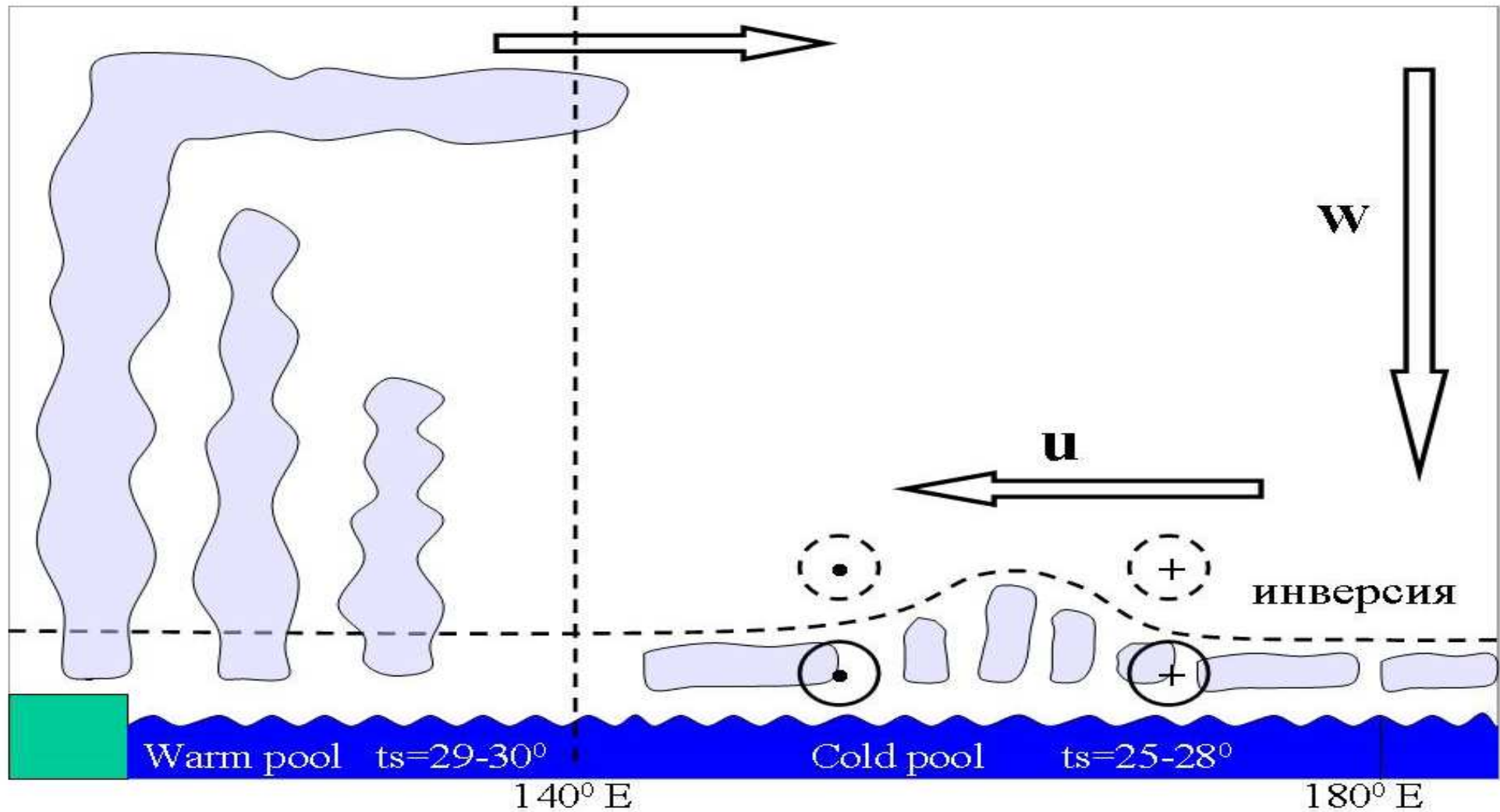


Картина линий тока на уровне 850 мб



Мелкая конвекция и формирование циклонов

Схема зональной циркуляции



Основные физические процессы в модели

Метеорологический контекст - восточный пассат и скопление кучевых облаков.

Структура – конвективный пограничный слой и свободная атмосфера.

Физические процессы и объекты, представленные в модели:

Фоновый зональный геострофический поток.

Горизонтально неоднородное нагревание в пограничном слое атмосферы.

Изменение высоты пограничного слоя при нагревании.

Изменение поля давления при возмущении высоты погранслоя.

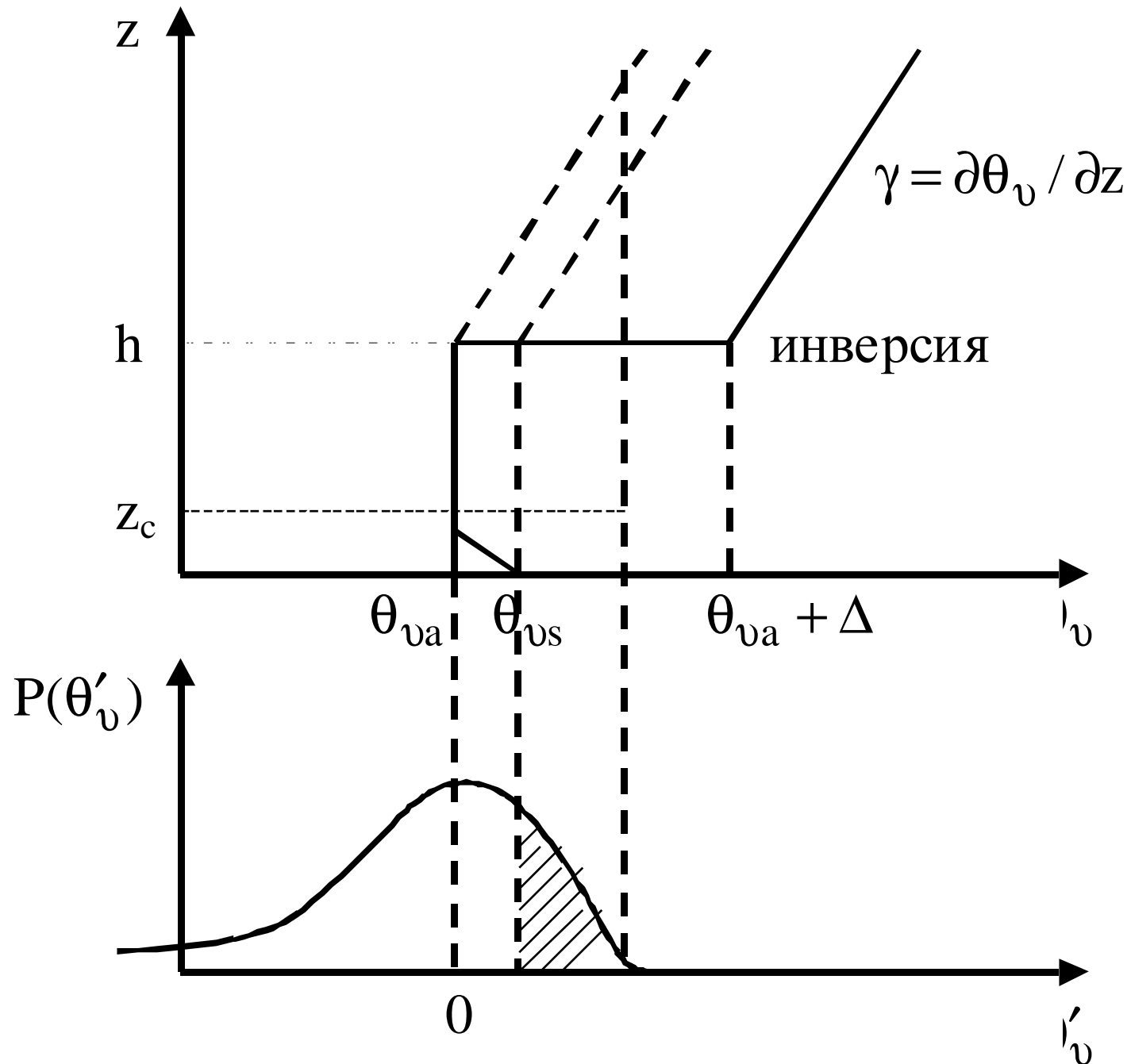
Конвергенция трения и вертикальные движения.

Возмущение поля температуры при вертикальных движениях.

Возмущения полей ветра в свободной атмосфере- термический ветер.

При определенных условиях **появление замкнутых циркуляций.**

Вертикальная структура атмосферы в модели



Исходные уравнения модели

Уравнения движения, термодинамики и гидростатики

1. для перемешанного АПС с учётом трения на поверхности
2. для свободной атмосферы с постоянным вертикальным градиентом температуры, где движения чисто геострофические.

В АПС - уравнения экмановского пограничного слоя без учета нелинейных адвективных членов.

Уравнения для функций тока

Характерная структура – фоновый поток и возмущение.

Замкнутые циркуляции при наличии особых гиперболических точек с центрами в эллиптических точках.

Условия формирования из анализа условий появления гиперболических точек в потоке.

$$\psi_1 = -Uy + g\Gamma h^2 / 4f$$

$$\psi_2 = -Uy + (gz\Gamma / f) \cdot T(w)$$

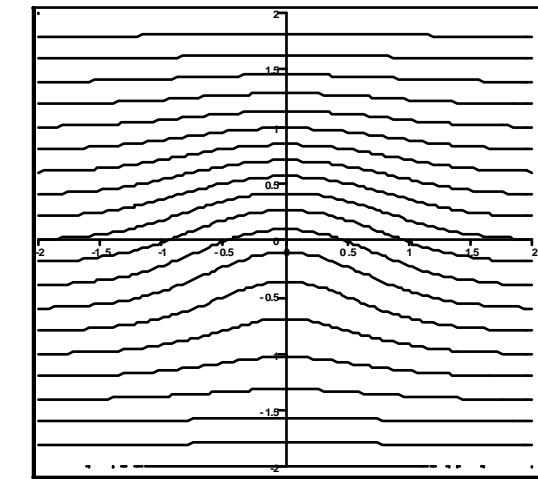
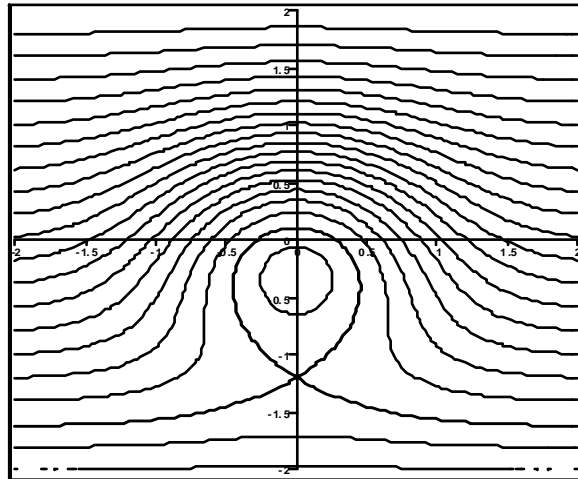
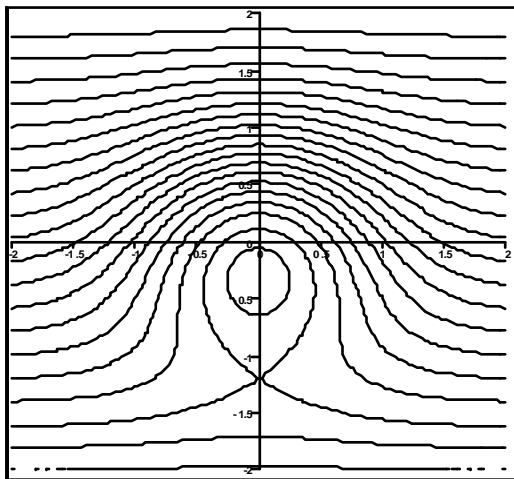
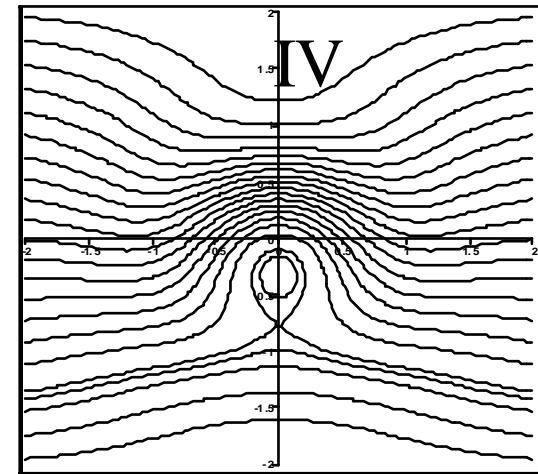
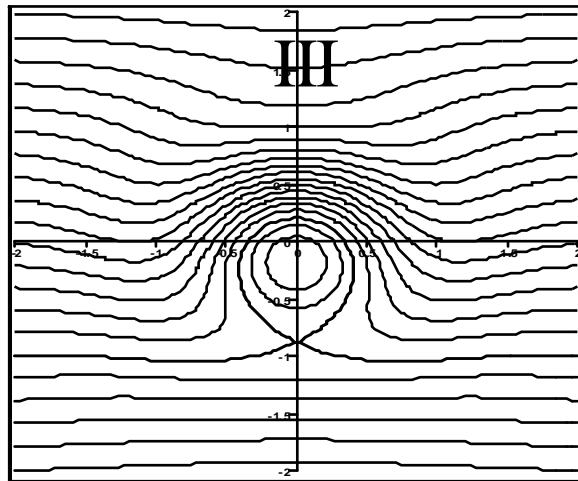
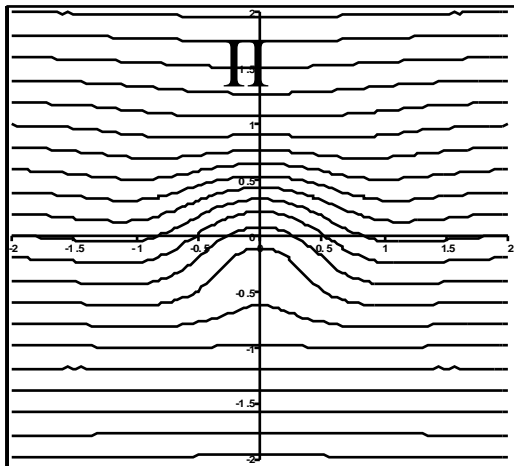
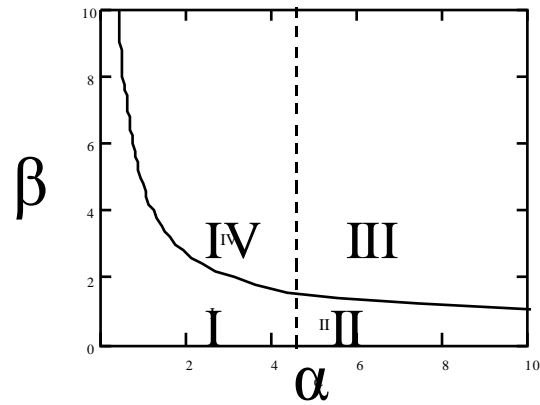
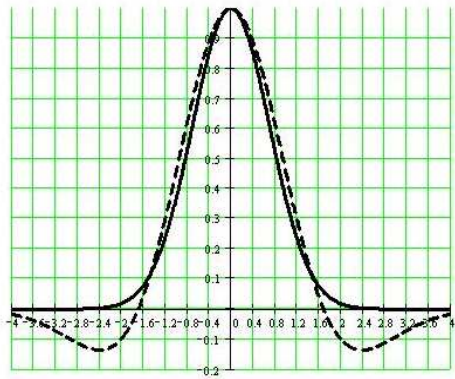
$$w = kU (\partial h / \partial y) - (kg\Gamma / 6f) \nabla^2 h^3$$

$$T(f(x, y, t)) : \int_0^t f(x, y, t') dt'$$

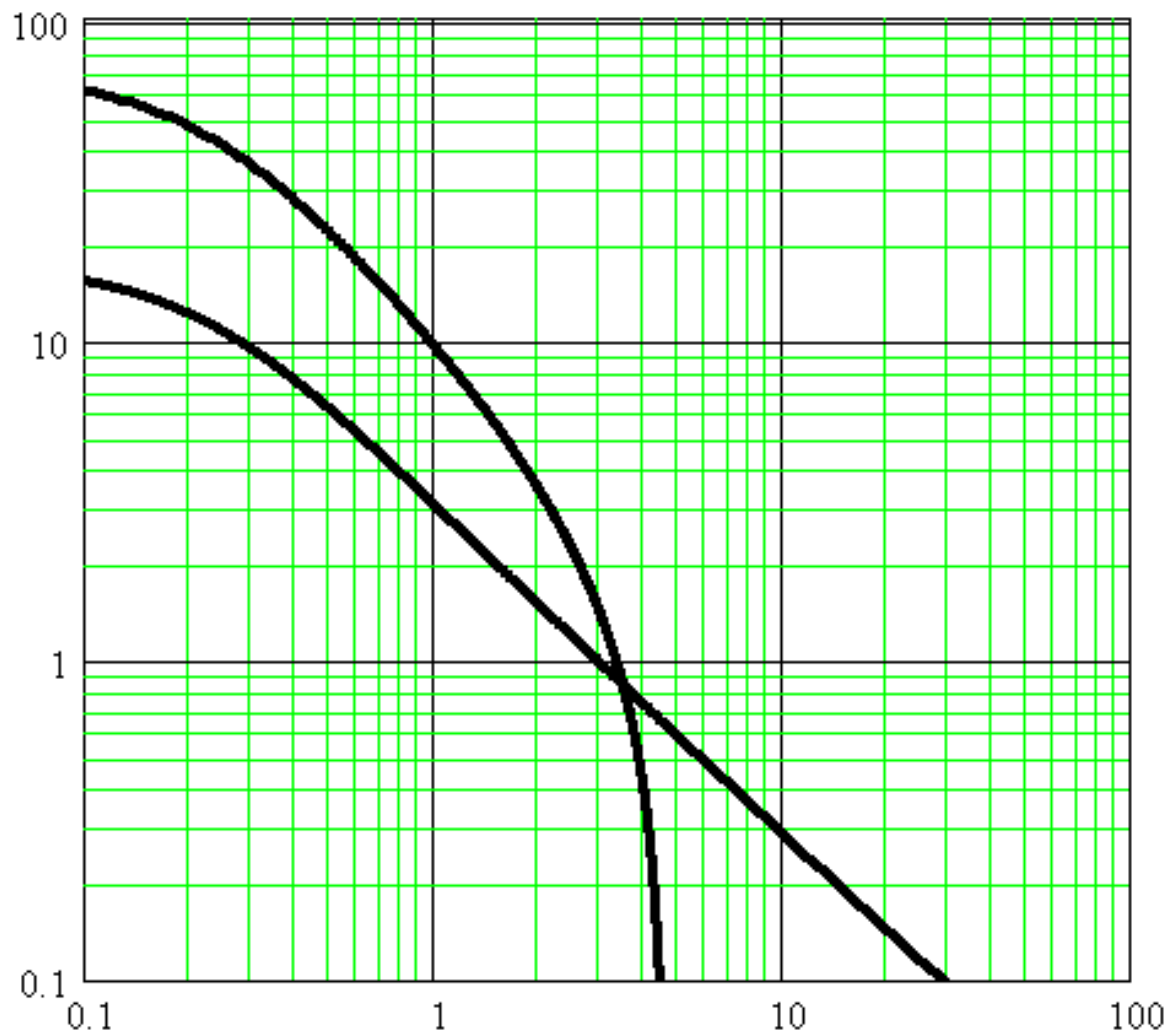
Две модели атмосферного пограничного слоя

	Модель 1	Модель 2
Высота АПС	$h^2 = h_0^2 + \frac{2}{\Gamma} qt$	$h = h_0 + \frac{\varepsilon}{\Delta} \cdot qt$
Параметры	$\alpha = \frac{g}{f} \frac{Q}{U^2}$ $\beta = 2k \cdot \frac{g}{f} \left(\frac{2h_0^2 Q \Gamma}{U^3 L} \right)^{1/2}$ $\eta = h_0^2 \cdot \frac{\Gamma U}{QL}$	$\alpha = \varepsilon^2 \cdot \frac{g}{f} \frac{QL}{\Delta^2 U^3}$ $\beta = k\varepsilon \cdot \frac{g}{f} \frac{2h_0 Q \Gamma}{\Delta U^2}$ $\eta = \frac{1}{\varepsilon} \cdot h_0 \frac{\Delta U}{QL}$
Функция тока АПС	$\psi_1 = -y + \frac{1}{2} \alpha \eta + \frac{1}{2} \alpha t q$	$\psi_1 = -y + \frac{1}{4} \alpha \eta + \frac{1}{2} \alpha \eta t q + \frac{1}{4} \alpha t^2 q^2$
Вертикальная скорость	$w = \frac{\partial (\eta + qt)^{1/2}}{\partial y} - \frac{1}{3} \alpha \nabla^2 (\eta + qt)^{3/2}$	$w = \frac{\partial (\eta + tq)}{\partial y} - \frac{1}{6} \alpha \nabla^2 (\eta + tq)^3$
Функция тока в верхнем слое	$\psi_2 = -y + A_1 \frac{\partial q}{\partial y} - B_1 \nabla^2 q$ $A_1 = \frac{\beta}{4\sqrt{\eta}} t^2$ $B_1 = \frac{\alpha \beta \sqrt{\eta}}{4} t^2$	$\psi_2 = -y + A_2 \frac{\partial q}{\partial y} - B_2 \nabla^2 q$ $A_2 = \frac{\beta}{2} t^2$ $B_2 = \frac{\alpha \beta \eta^2}{4} t^2$

Критерии развития замкнутой циркуляции

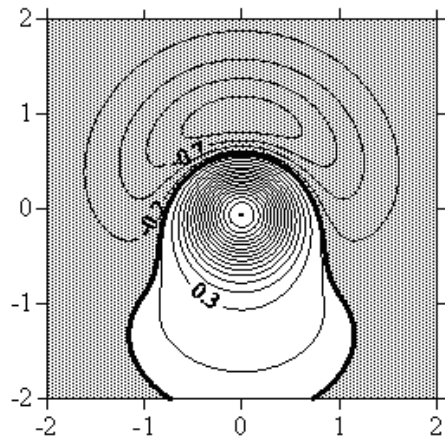


Нейтральные кривые $\beta(\alpha)$ в нижнем и верхнем слое для $\eta = 1$ в модели без инверсии с гауссовой функцией нагрева.

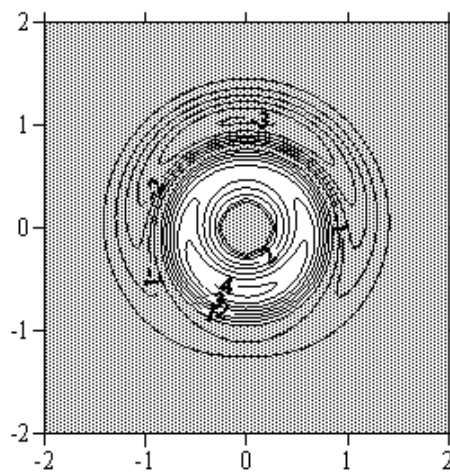


Поля и профили вертикальной скорости при различных функциях нагрева

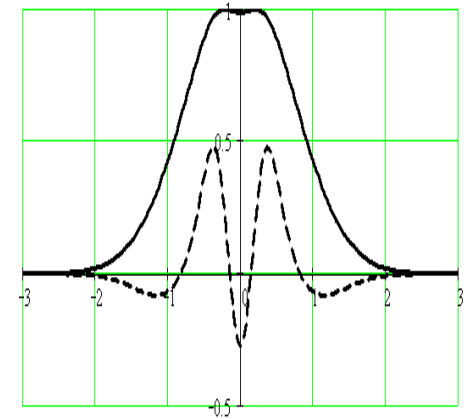
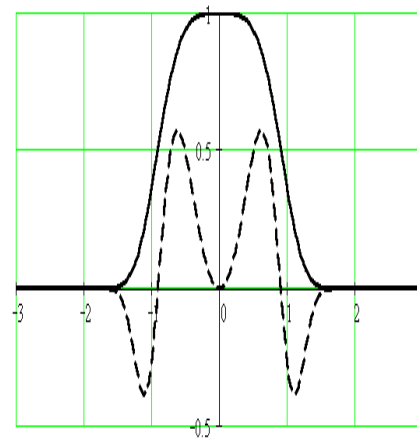
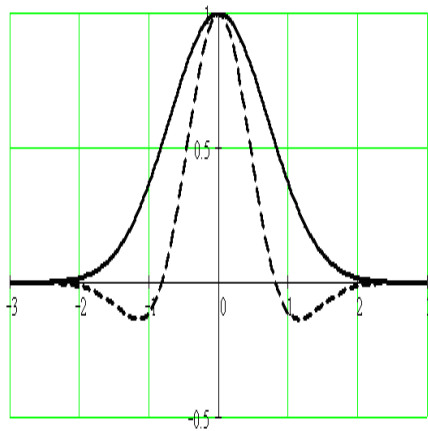
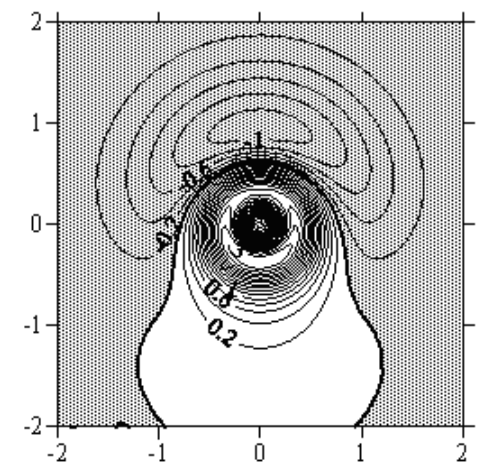
$$q(r) = \exp(-r^2)$$



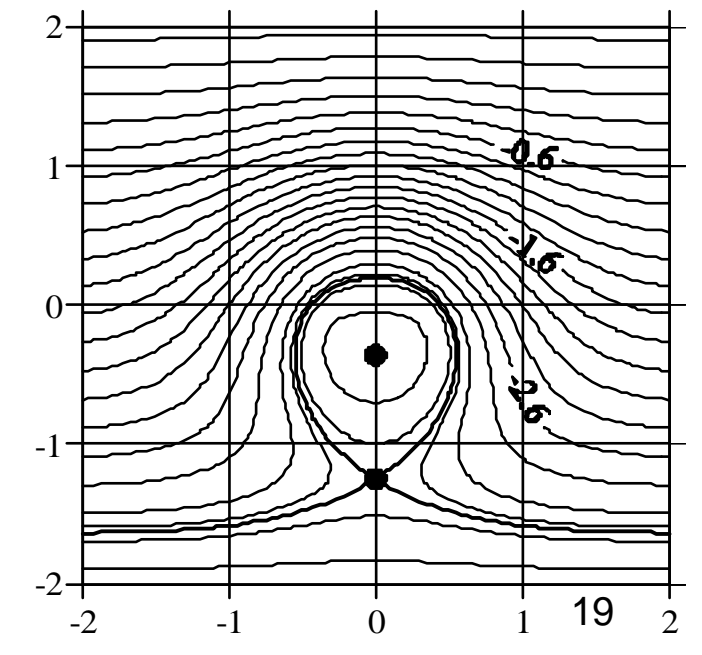
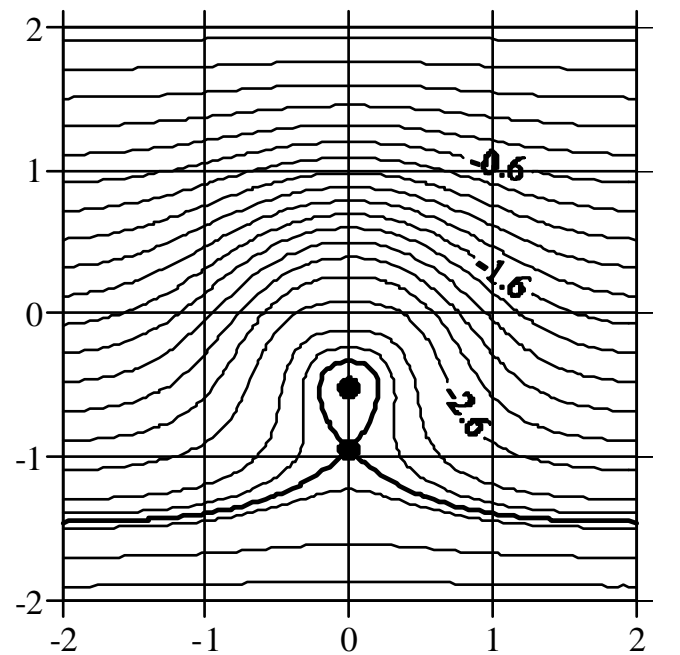
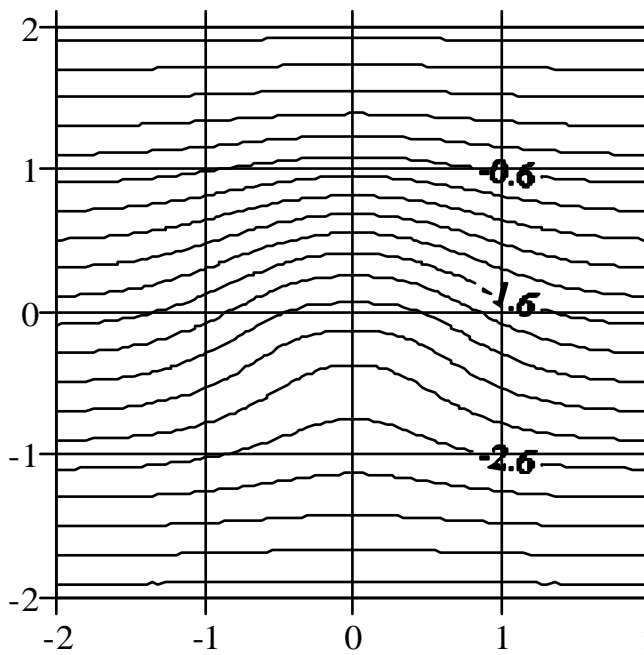
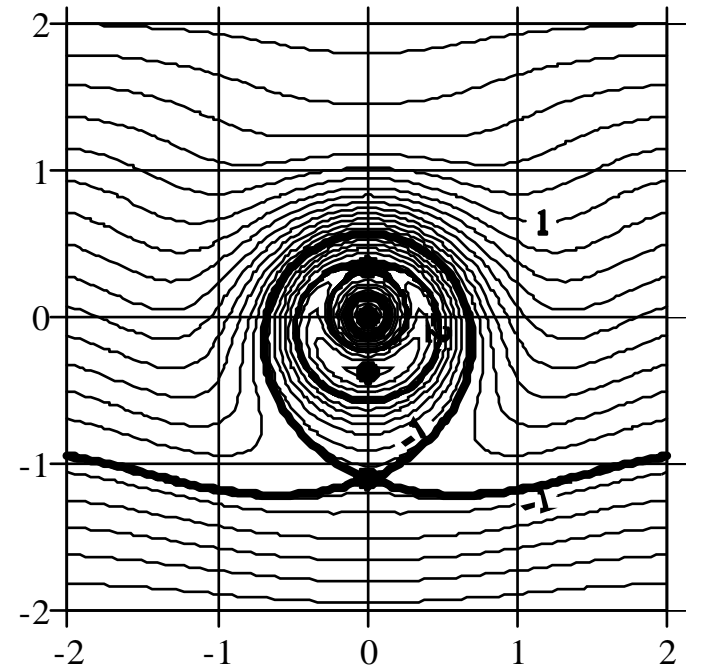
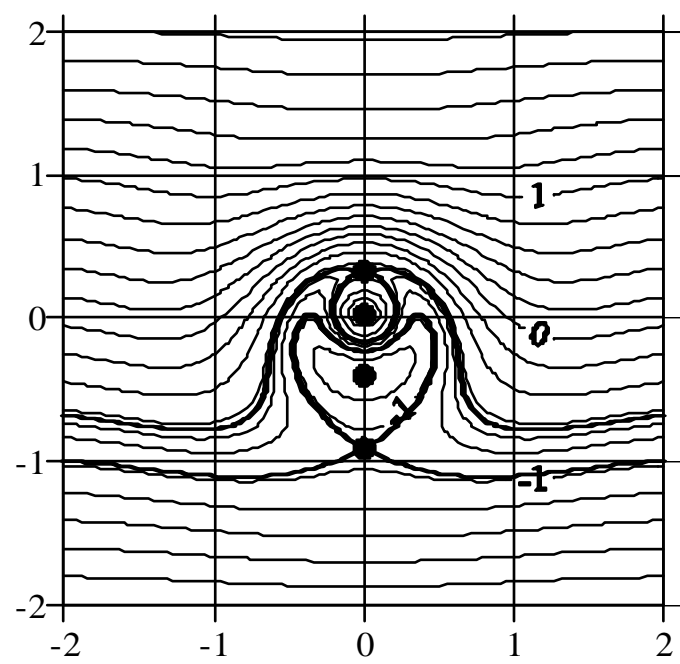
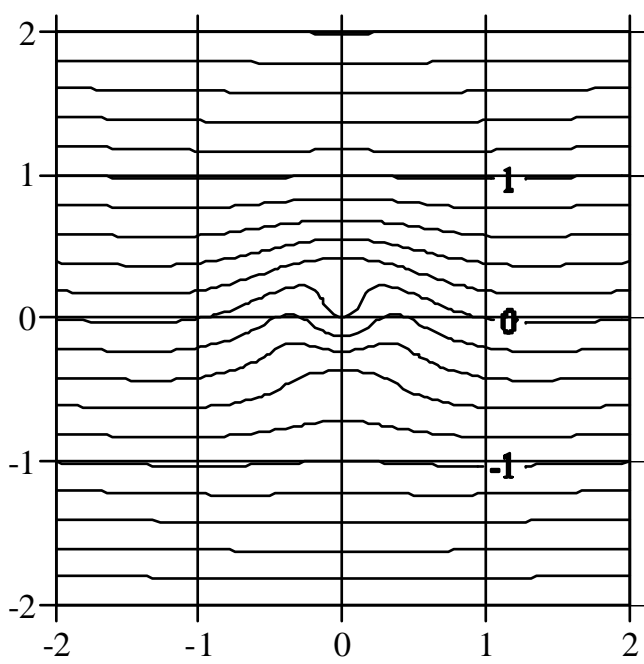
$$q(r) = \exp(-r^4)$$

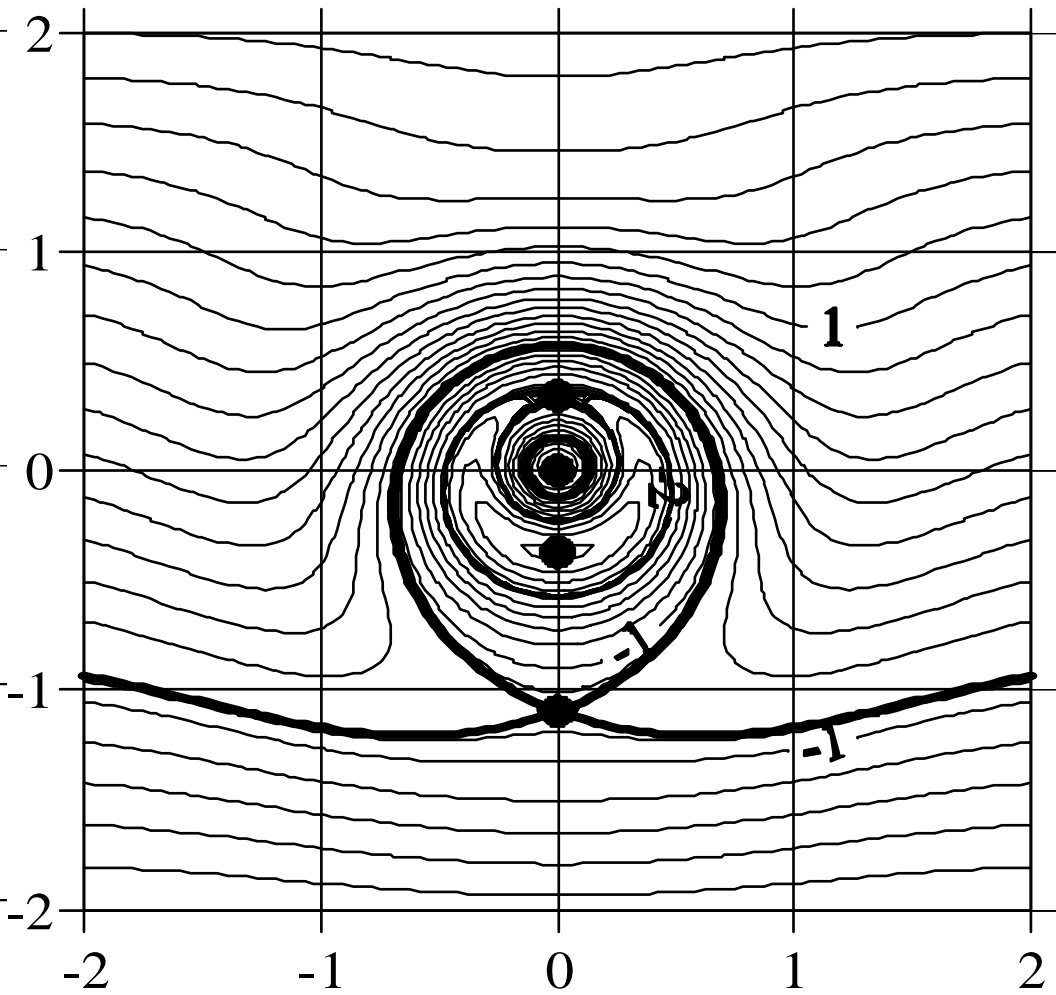
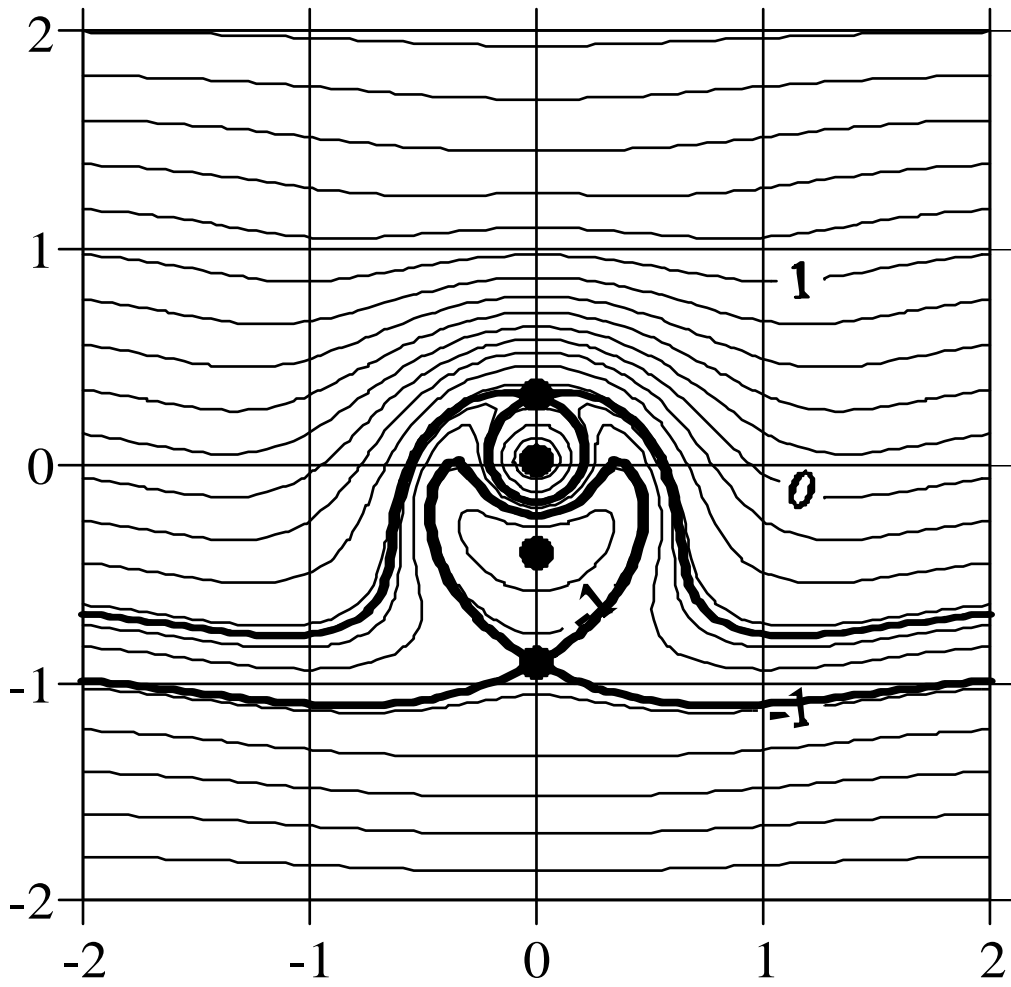


$$q(r) = \exp(-r^4) - 0,15 \exp(-5r^2)$$

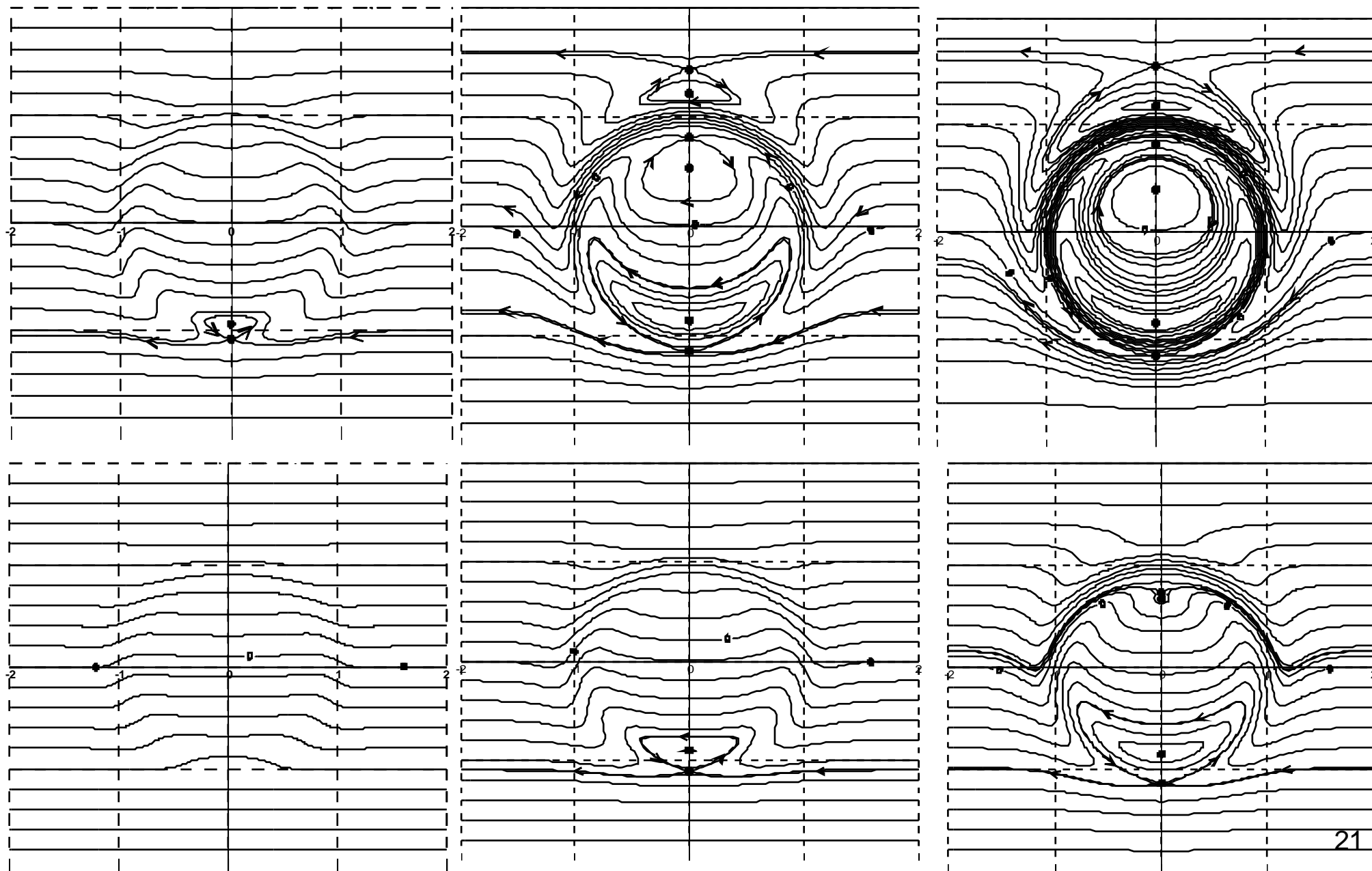


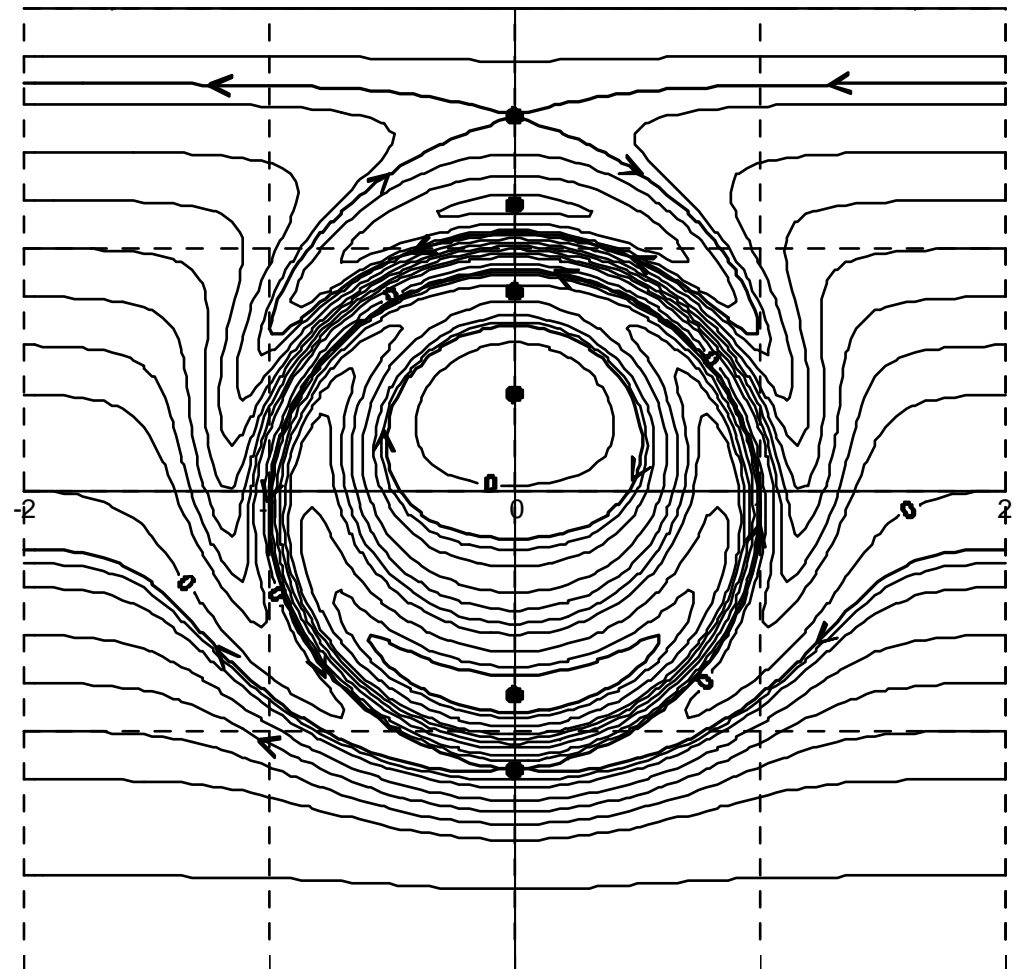
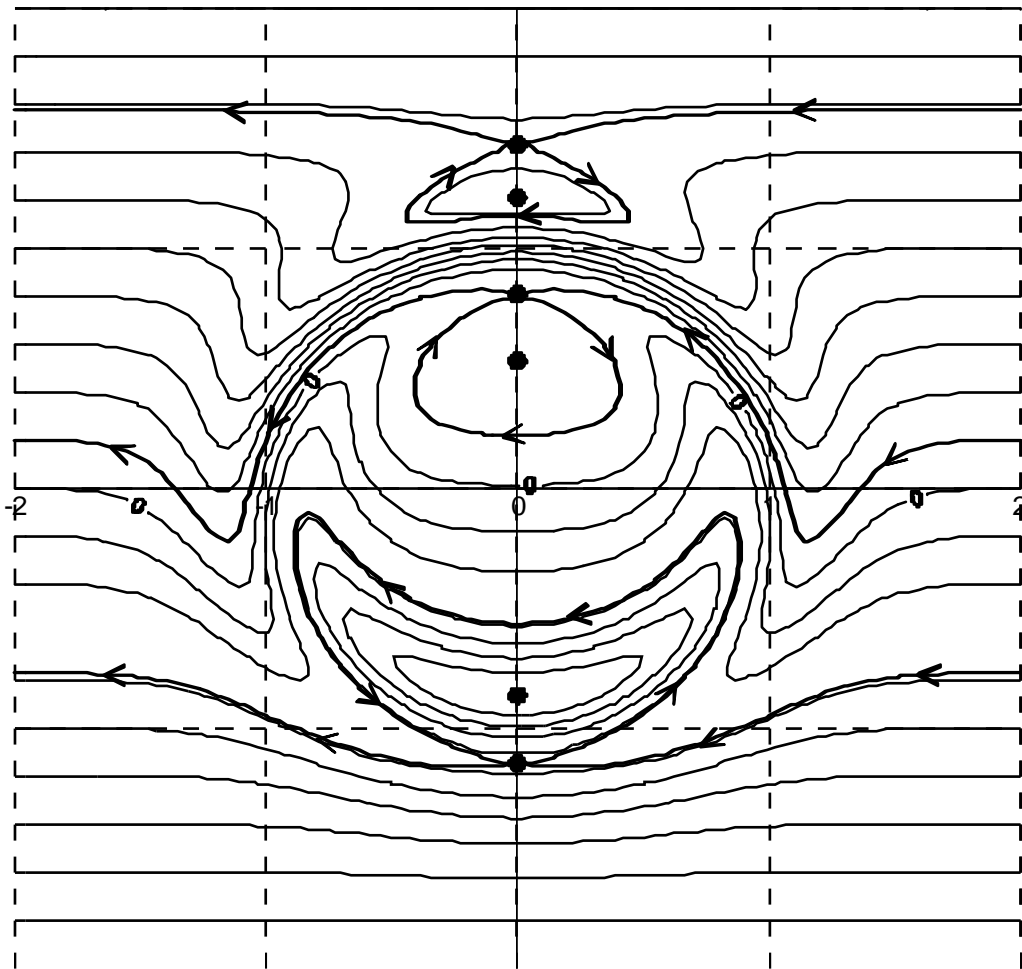
Функции тока $t=0,15, 0,3, 0,45$. $q(r) = \exp(-r^4) - 0.15\exp(-5r^2)$



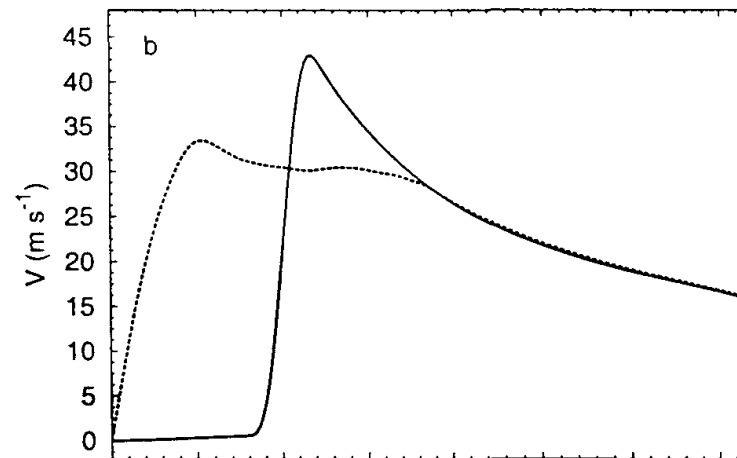
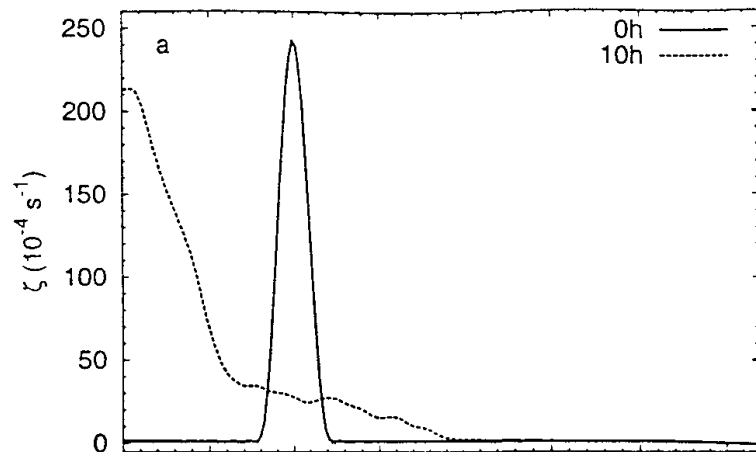
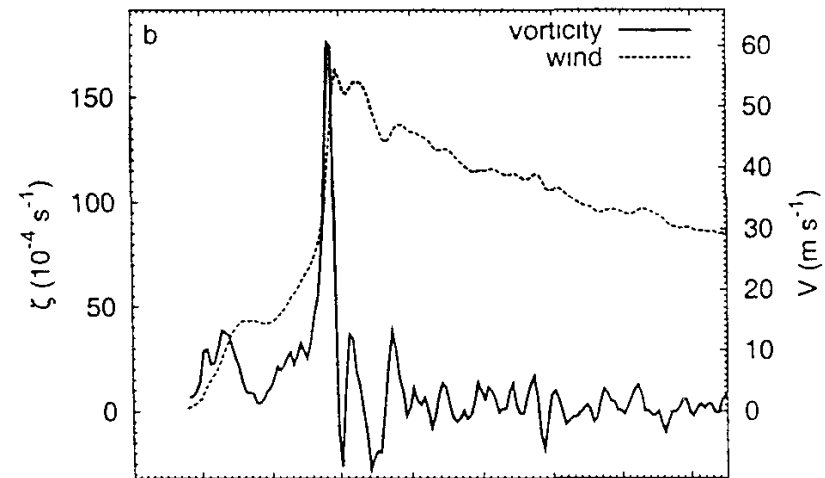
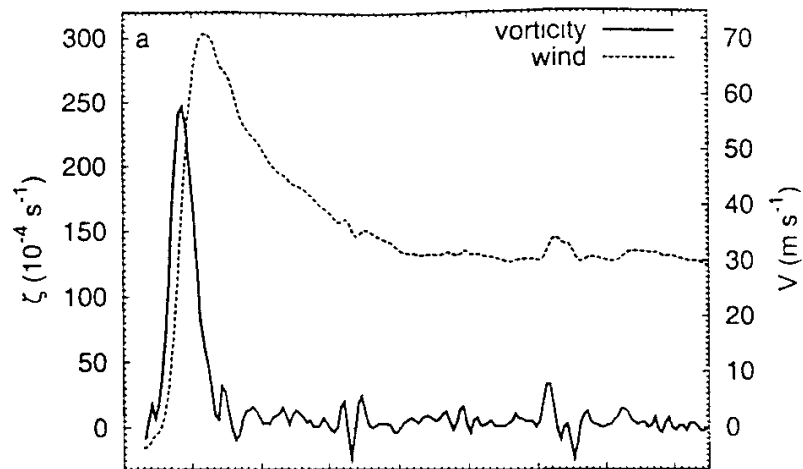


Функции тока для нагрева в форме плато

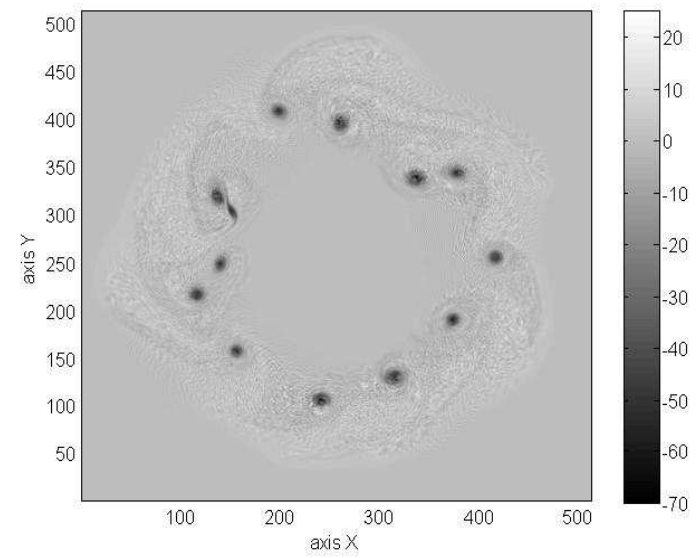
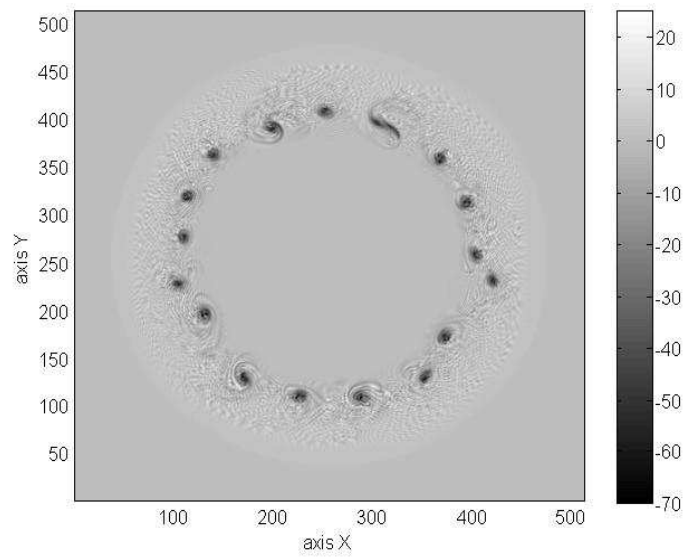
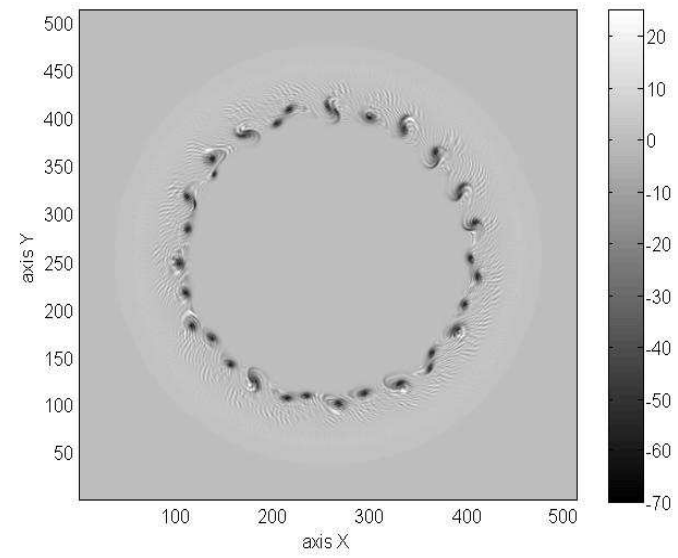
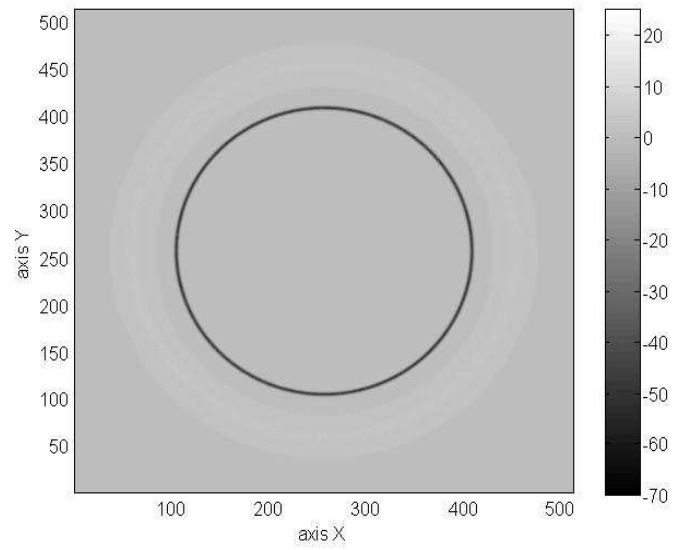


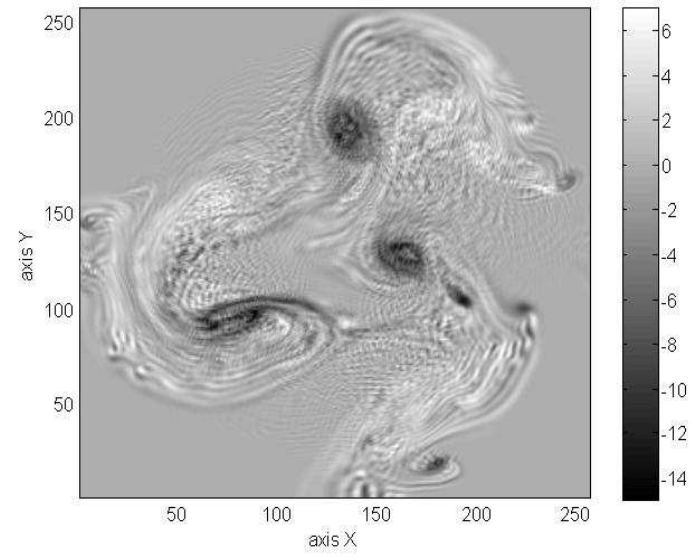
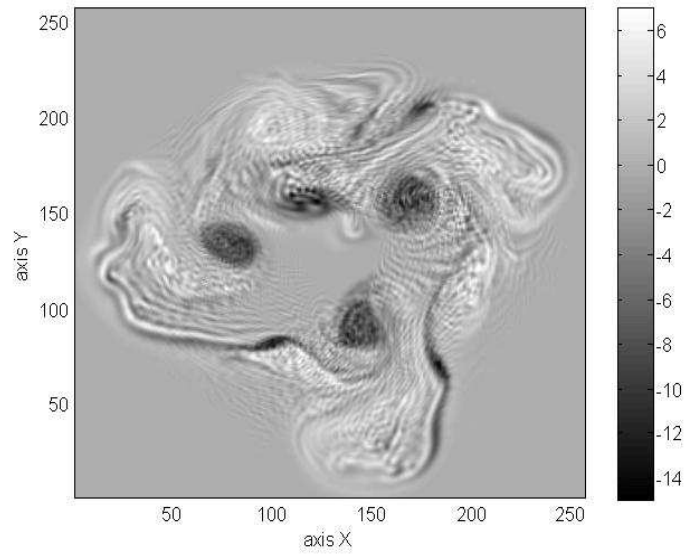
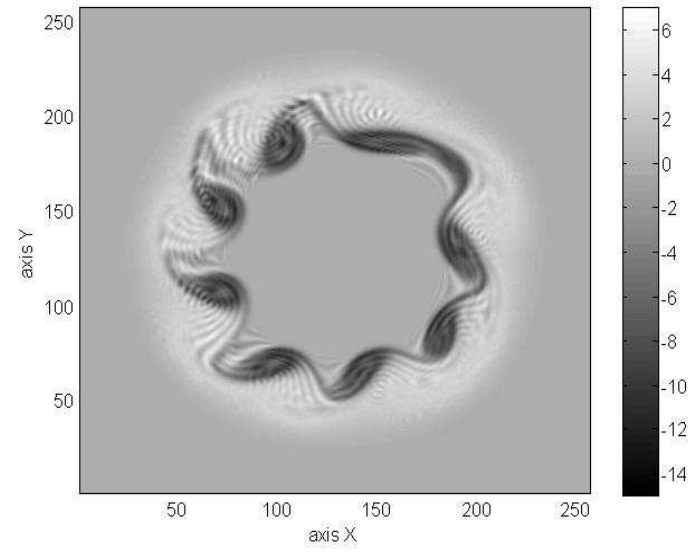
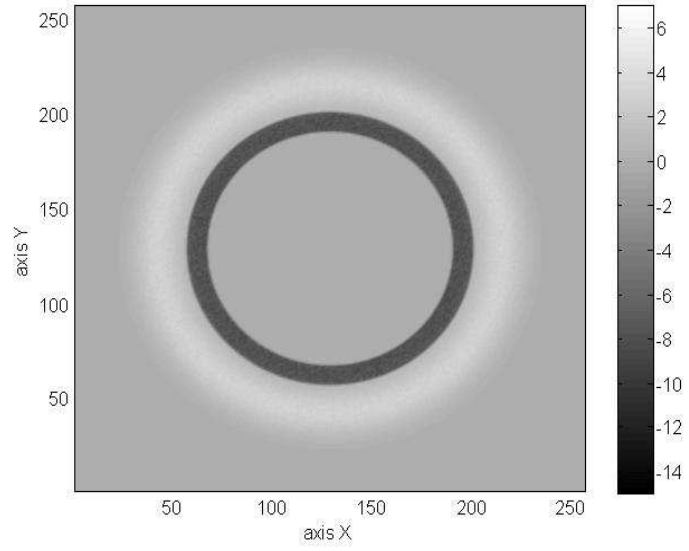


Радиальные профили тангенциальной скорости и завихренности в ураганах и в баротропной модели



Сплошные линии –начальные профили, пунктир –через 10 часов.

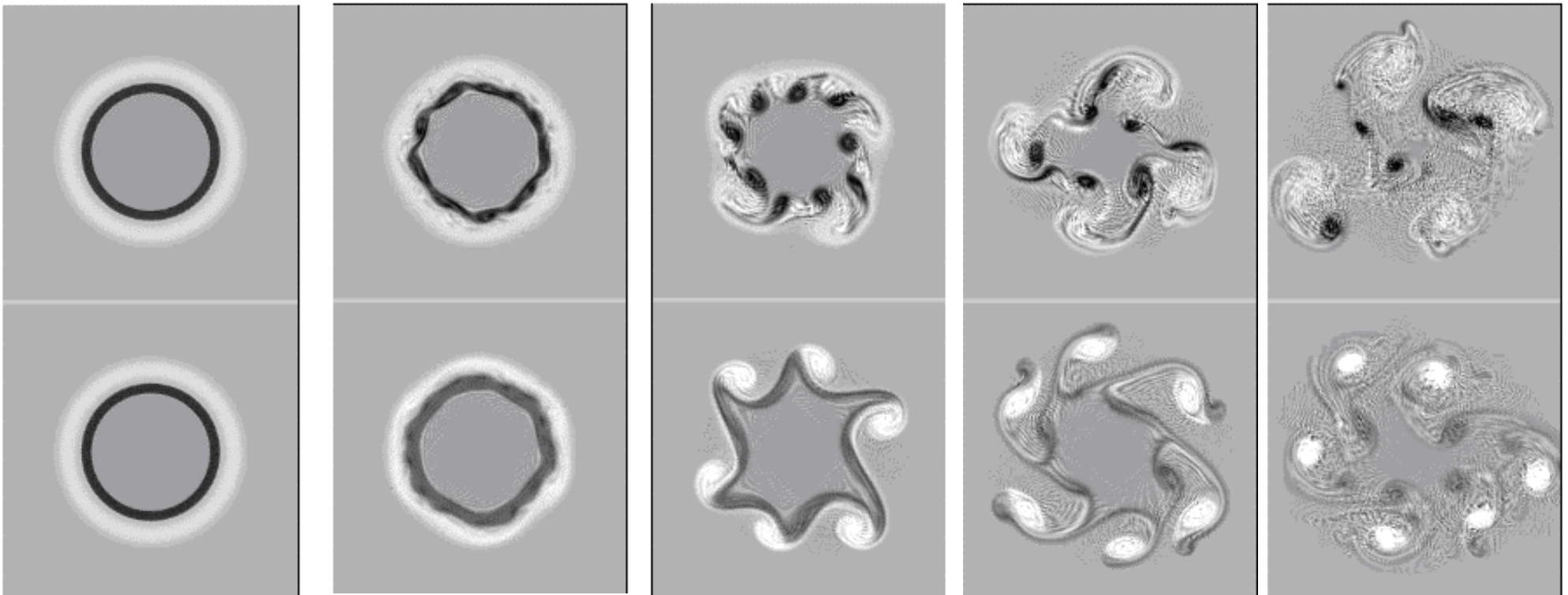




Влияние слоя Экмана $E=0,001$ на эволюцию вихря с $V= 27\text{м/с}$ и $R=140\text{км}$.

Уравнение вихря с поправками по[Zavala Sanson, Heijst, 1999]:

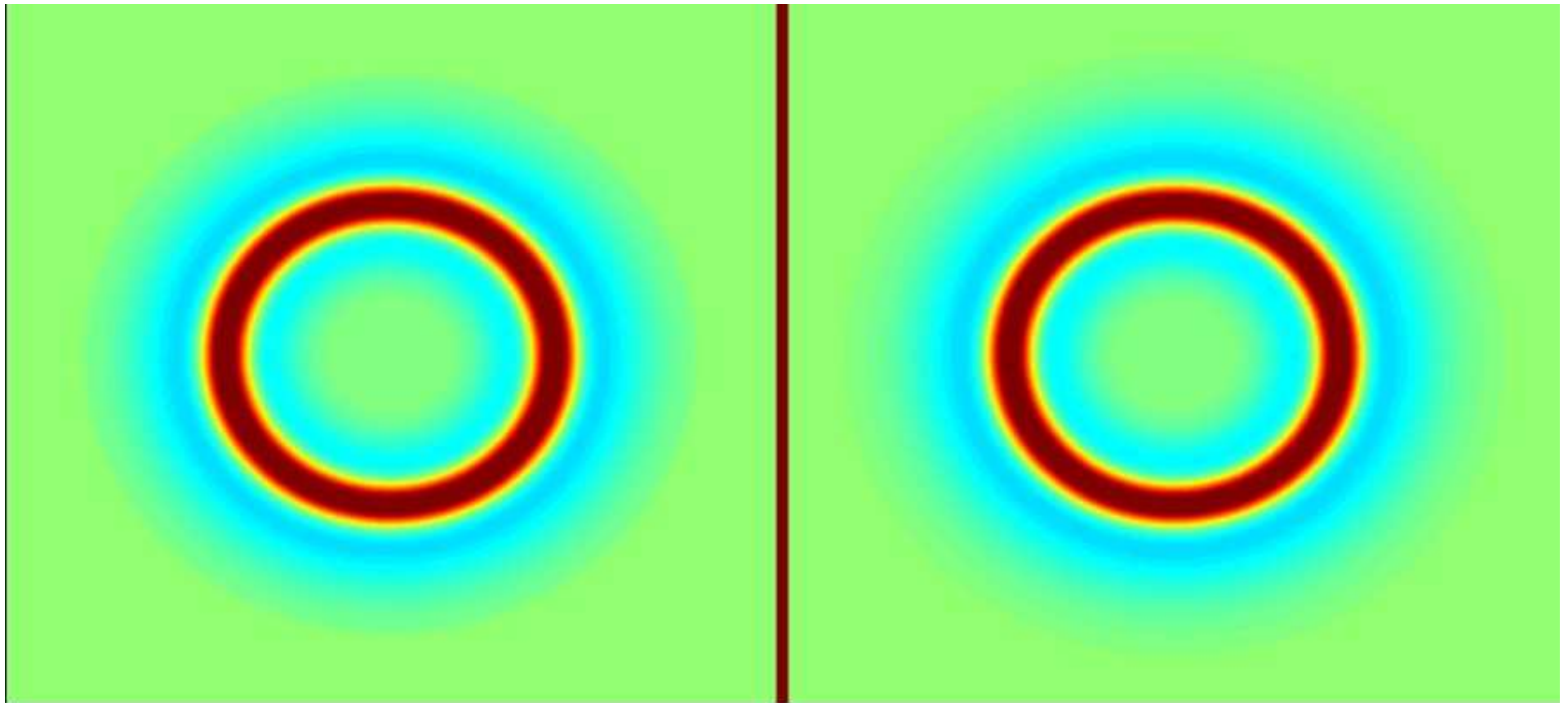
$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + J(\psi, \omega) = \nu \nabla^2 \omega - E^{1/2} \nabla \psi \cdot \nabla \omega - E^{1/2} \omega(\omega + f)$$



эволюция вихря, заданного суммой функций Гаусса.

$R_{\max} = 150$ км, $V_{\max} = 25$ м/с, 257×257 .

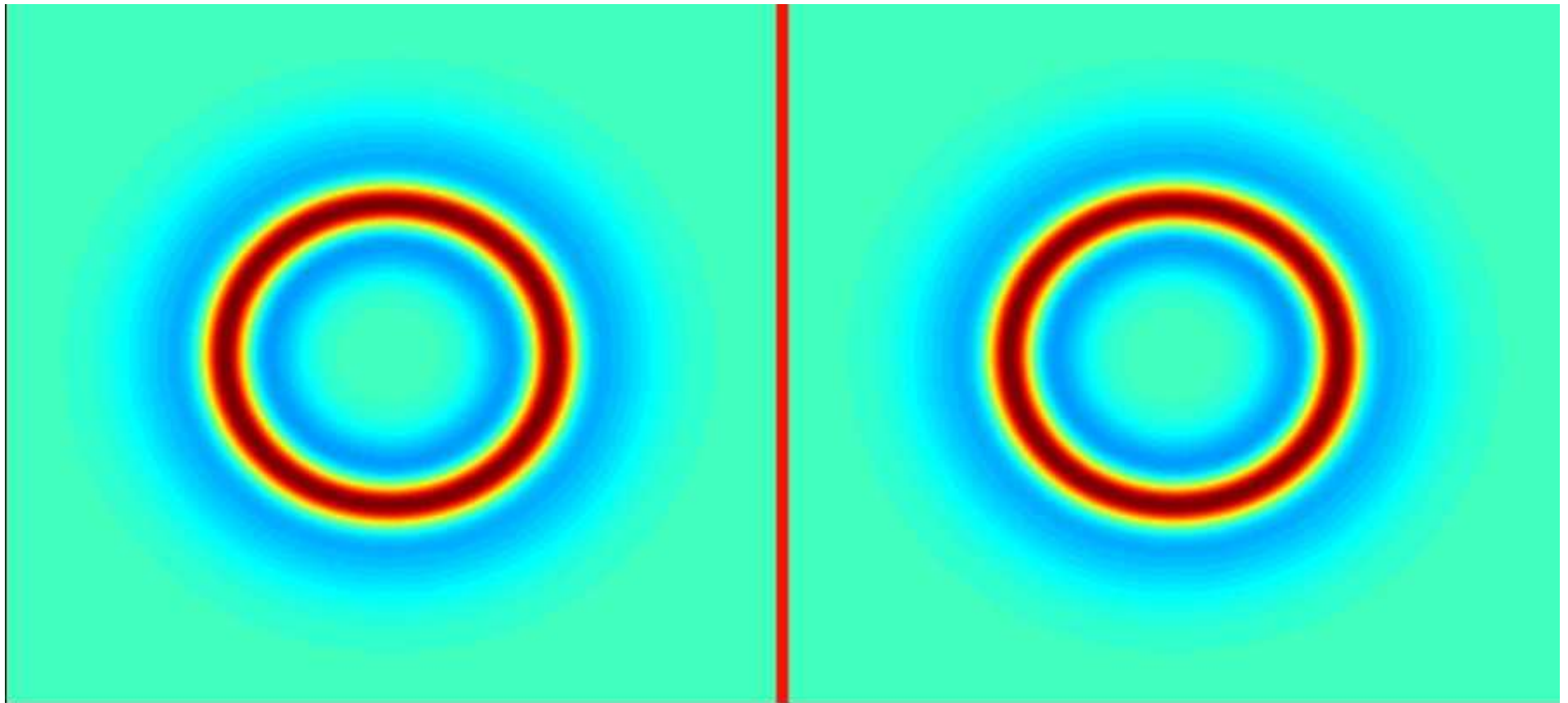
Слева - без учета, справа - с учетом слоя Экмана $E = 0.001$



эволюция вихря, заданного суммой функций Гаусса.

$L=700$ км , $R_{\max} = 150$ км, $V_{\max} = 13$ m/s, 257×257 .

Слева - без учета, справа - с учетом слоя Экмана $E = 0.001$



Метеорологическая интерпретация

Тропические возмущения включают в себя и нижние и верхние циклоны, имеют сложную структуру с мезовихревыми образованиями разного знака завихренности.

Максимальное число ТЦ в месяцы с минимальными зональными скоростями ветра. Часто возникают в зоне пассатов в районах «затишья».

Ядро холодного воздуха – отмечается в реальных возмущениях, развивающихся в ТЦ. Наличие ядра холодного воздуха снижает устойчивость атмосферы к проникающей конвекции вместе с возросшей толщиной АПС и сформировавшейся замкнутой циклонической циркуляцией создает условия дальнейшего развития возмущения в районах высоких ТПО.

Парадокс: в развивающихся в ТЦ возмущениях наблюдается повышенная устойчивость средней атмосферы ($\partial\theta/\partial z$).

В модели повышенные значения $\partial\theta/\partial z$ благоприятствуют формированию ТЦ.

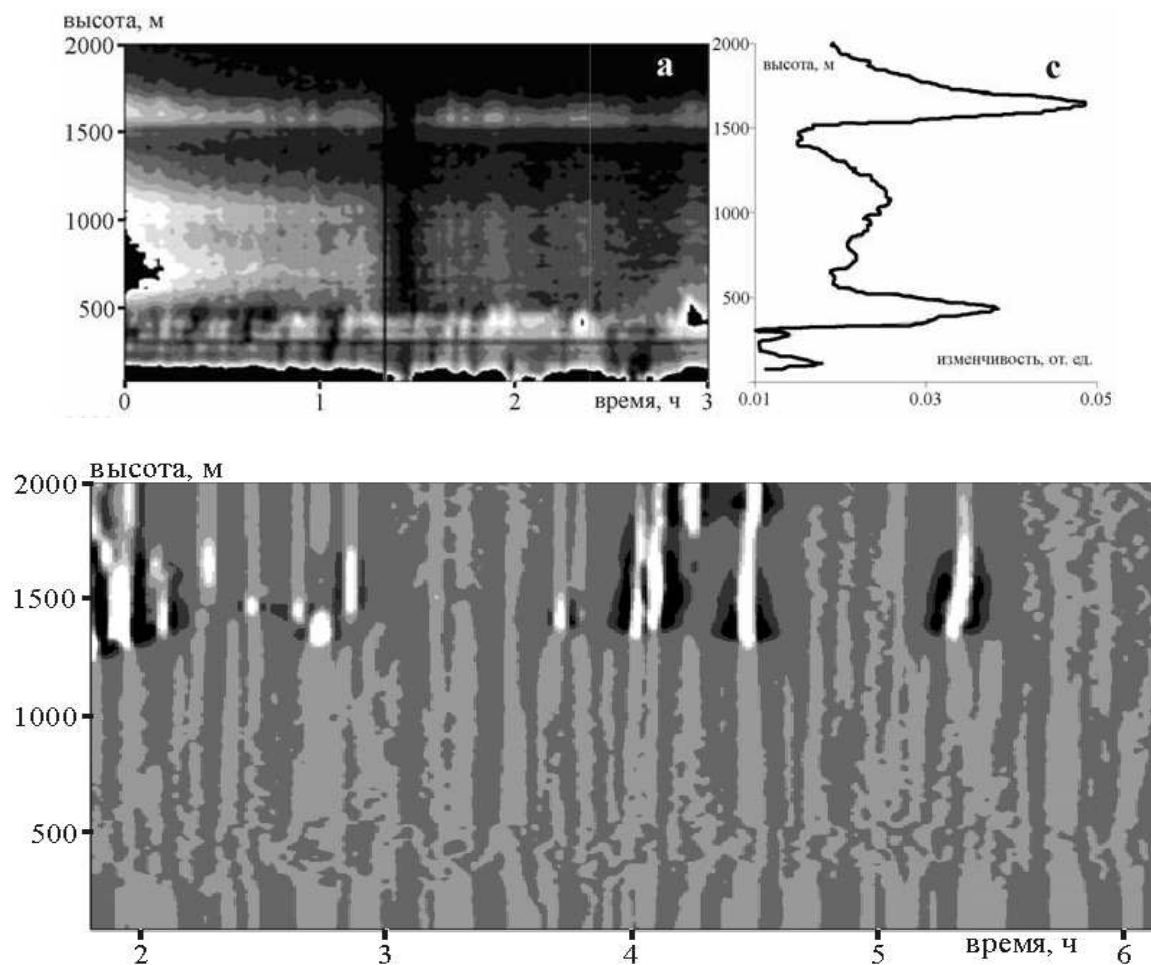
Этот факт отмечается и в численных экспериментах с моделями развития циклонов.

При больших скоростях фонового потока в возмущении замкнутые циркуляции могут не успеть сформироваться прежде, чем оно выйдет на сушу или в районы с низкими значениями критических параметров (или низкой ТПО).

Структура конвективного пограничного слоя в тропиках (Индийский океан 5-10 с.ш., 2-12 марта 2003г.)

Диапазон регистрации лидарных сигналов – всего 128 градаций !!

Ход сигнала обратного рассеяния относительно минимального (а),
вертикальный профиль **временной изменчивости** (с),
тонкая структура конвективного слоя (b).



600-800mb >34kts
801-950mb >34kts

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

