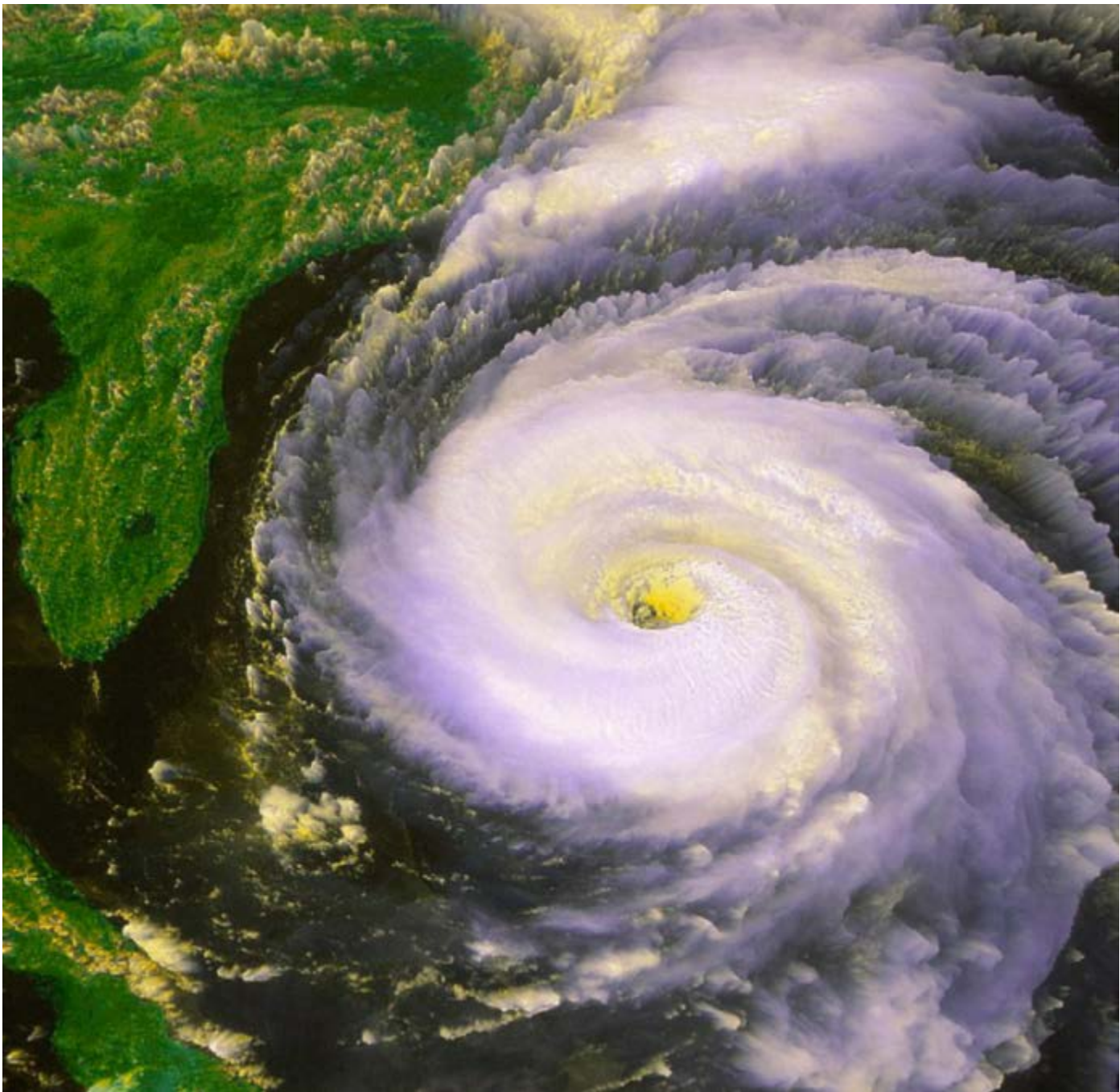


ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗУМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

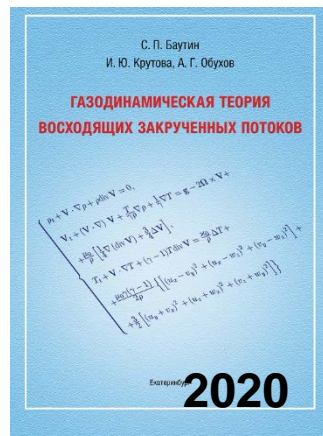
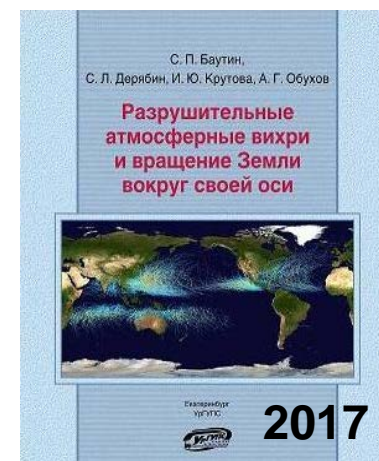
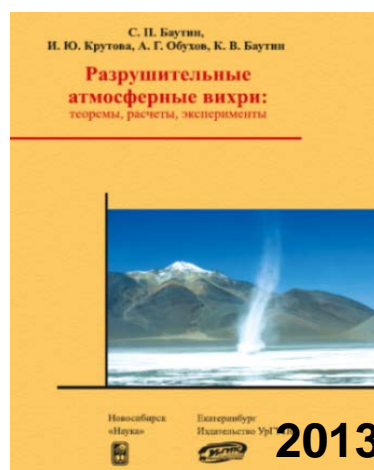
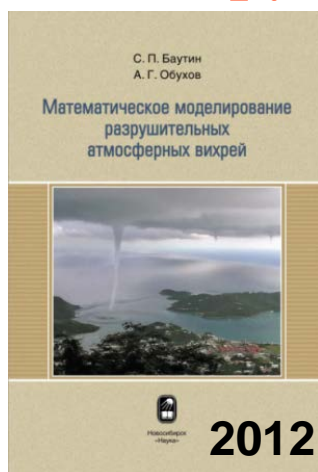
С.П. Баутин, В.Е. Замыслов, А.Г. Обухов
СФТИ НИЯУ МИФИ, УрГУПС, ТИУ





С 2008 года занимаемся торнадо, тропическими циклонами, огненными вихрями: теоретически (аналитические и численные исследования) и экспериментально.

Создана газодинамическая теория восходящих закрученных потоков



[http://elibrary.ru/download/
elibrary_44007063_
18309457.pdf](http://elibrary.ru/download/elibrary_44007063_18309457.pdf)
[https://youtu.be/
liplQKu_r-k](https://youtu.be/liplQKu_r-k)

Сначала – о полученных нами теоретических и экспериментальных результатах, а потом – о расчетах по уничтожению тропических циклонов.

Основное в наших результатах – нами получены научно обоснованные ответы на самые главные вопросы про природные восходящие закрученные потоки:

«Почему возникает закрутка газа и откуда берется кинетическая энергия окружного движения воздуха в этих потоках?»

Эти наши результаты новые, подавляющее большинство исследователей с ними не согласны и даже не хотят их слушать.

Мы отвечаем: «Хотите нас опровергнуть – проведите собствен-

ное исследование с результатами, адекватными природе,

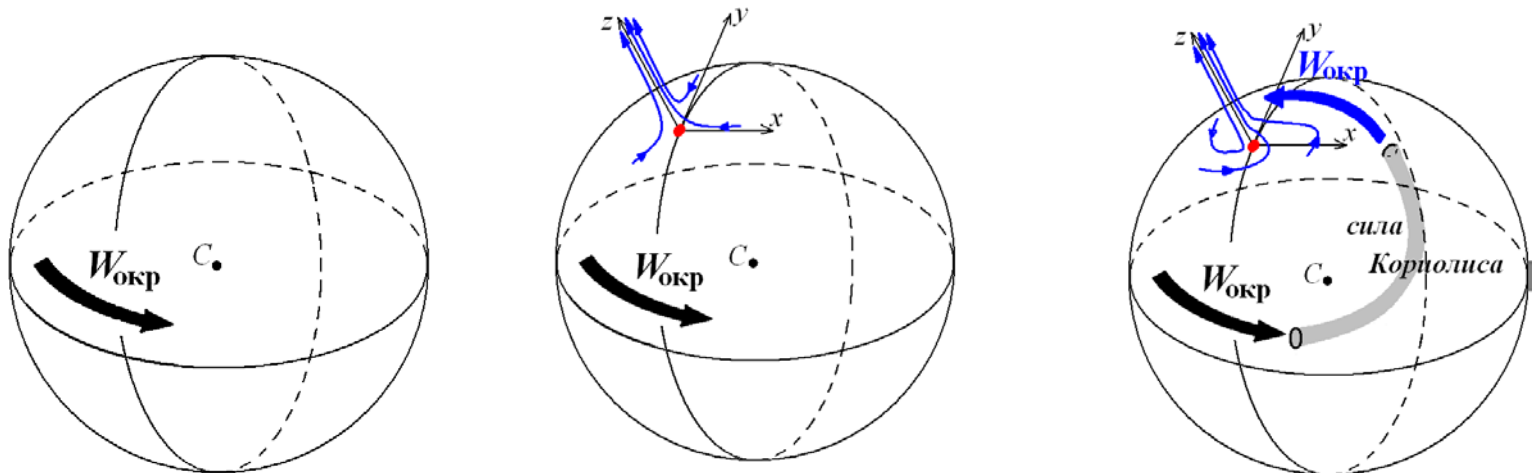
или найдите ошибки в наших результатах: в доказанных

теоремах, в проведенных расчетах, в реализованных экспериментах.»

Главный наш результат: установлен новый естественнонаучный факт!

Для торнадо и тропических циклонов математически строго доказано:

- причина возникновения и поддержания закрутки газа в этих потоках есть только вращение Земли вокруг своей оси;
- кинетическая энергия вращательного движения воздуха в этих потоках берется только из кинетической энергии вращения Земли вокруг своей оси.

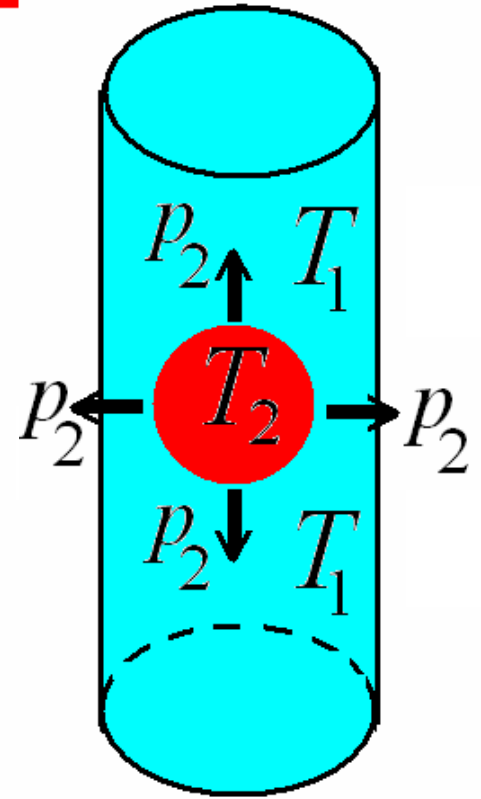


● Многие главным источником энергии для тропических циклонов считают тепловыделение, сопровождающее процесс конденсации при подъеме вверх влажного воздуха.

● Общие соображения: выделение тепла ΔQ ведет к повышению давления, но которое во все стороны действует одинаково и поэтому не может изменить окружающую скорость движения воздуха.

● Нам неизвестны работы, в которых надежным математическим моделированием была бы решена задача: ΔQ дано, найти $\Delta v_{\text{окр}}$.

Наши расчеты трехмерных нестационарных течений подтвердили эти соображения.



$$p = R \rho T$$

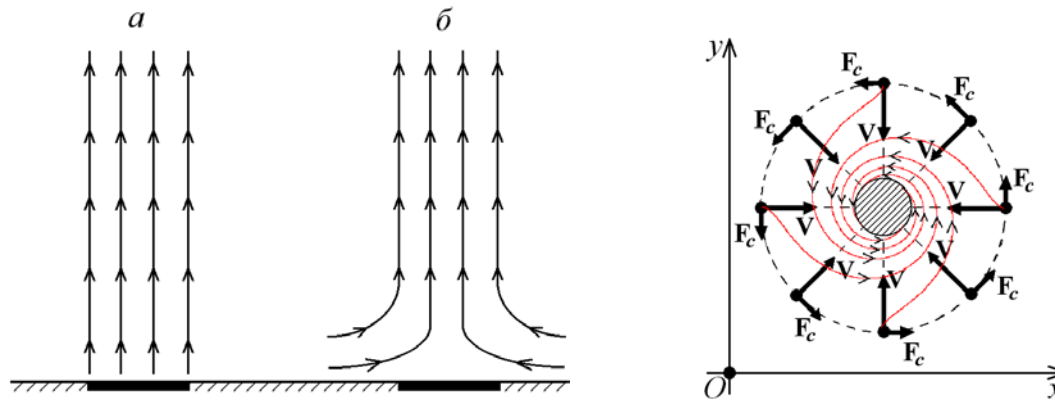
$$T_2 > T_1$$

Схема возникновения и функционирования ВЗП

Баутин С.П. Торнадо и сила Кориолиса, 2008:

↓ Возникновение восходящего конвективного потока
из-за перепада температур.

↓ Образование придонной части и возникновение в ней
закрутки воздуха благодаря действию силы Кориолиса.

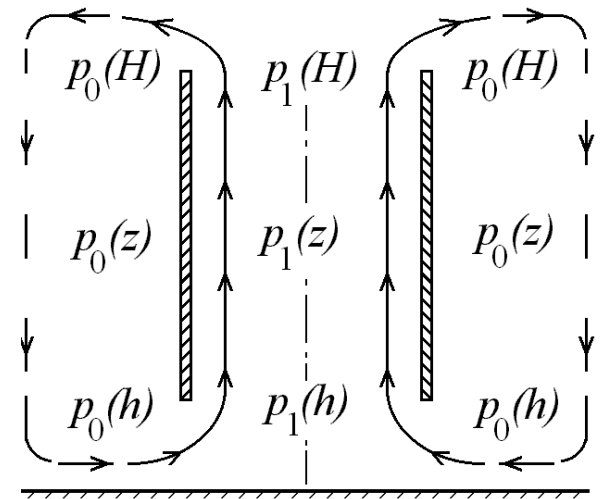
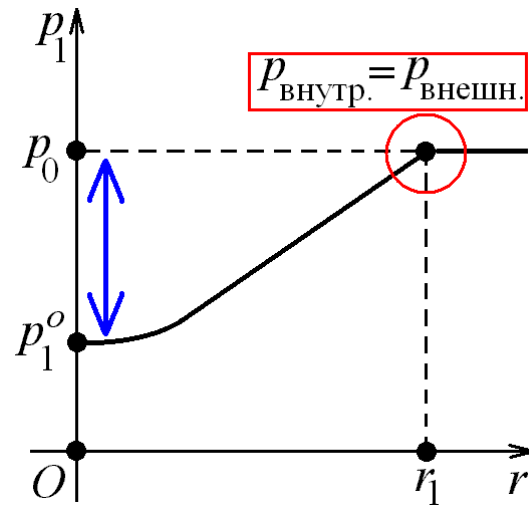
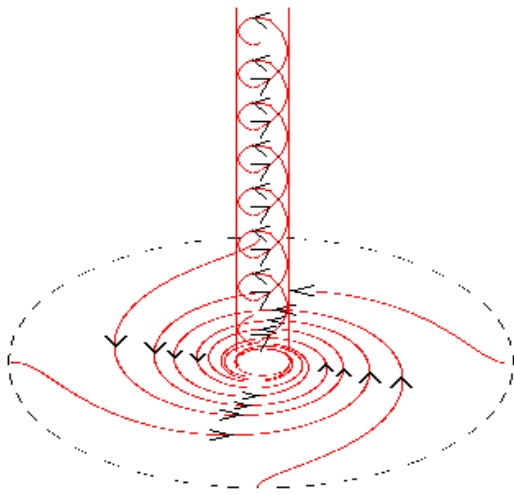


Солнце дает энергию на начало вертикального движения воздуха, вращение Земли закручивает горизонтальное движение воздуха, для этого движения нужна большая ровная поверхность и нет смысла искать подобное движение в кухонной раковине.

Главное: если в придонной части есть радиальное движение, тогда в ней возникает закрутка газа в соответствующую сторону.

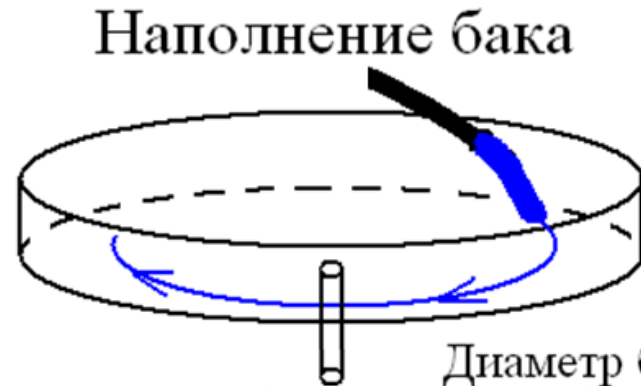
Энергия для самоподдержания устойчивого функционирования ВЗП

- ✓ Вращение Земли закручивает газ в придонной части.
- ✓ Закрутка газа передается в вертикальную часть.
- ✓ Центробежная сила создает в вертикальной части: пониженное давление в окрестности оси и эффект непроницаемых стенок — "труба с тягой".
- ✓ Внешний покоящийся воздух под действием силы тяжести вдавливается снизу в "трубу с тягой".



Вращение воздуха в вертикальной части делает устойчивым функционирование всего потока.

Схема подтверждена как нашими теоретическими и экспериментальными результатами, так и экспериментами других исследователей.



Диаметр бака 6 футов (183 см)

Высота бака 6 дюймов (15 см)

Первые 12-15 минут вращение не воспринимается.

В конце слива один оборот за 3-4 секунды.



Время устоя 24 часа

Если начало слива через 4-5 часа после начала отстоя, то вначале вращение в отрицательном направлении, потом остановка и вращение в положительном направлении.

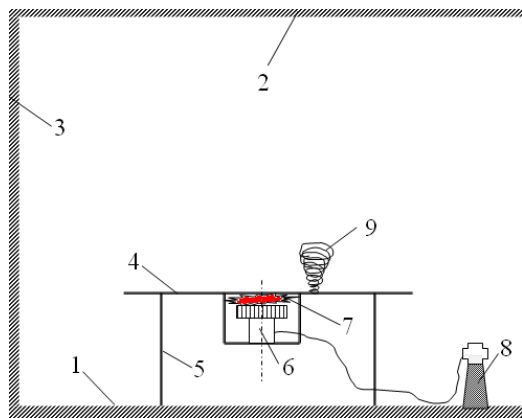
Shapiro. A. H. The Bat-Tub Vortex (Вихрь в ванне) // Nature, 1962, vol. 196, N 4859, pp. 1080-1081.

Trefethen L.M, Bilger R.W., Fink P.T., Luxton R.E., Tanner R.I. The Bat-Tub Vortex in the Southern Hemisphere (Вихрь в ванне в Южном полушарии) // Nature, 1965, vol. 207, N 5001, pp. 1084-1085.

Эксперименты группы А.Ю. Вараксина(ОИВТ РАН)

[3] Вараксин А.Ю., Ромаш М.Э., Копейцев В.Н.

Торнадо.М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.



Эксперимент «Торнадо во дворе»

$d=2\text{ м}$

$h=5\text{ м}$

скорость вертикального
продува $1\text{ м/с} - 20\text{ м/с}$

Итог: получен поток,
закрученный вращением
Земли против хода
часовой стрелки.

**Мы взяли точку опоры
и тормозим вращение
Земли!**

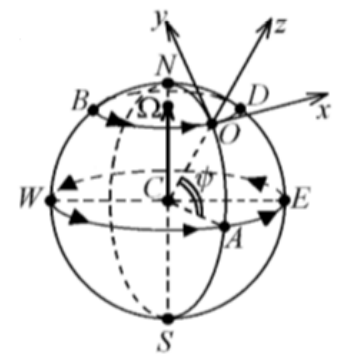
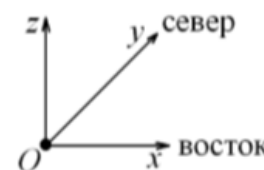


Математическое подтверждение теории

Система уравнений газовой динамики

в цилиндрической системе координат, вращающейся вместе с Землей

$$\left\{ \begin{array}{l} c_t + uc_r + \frac{v}{r}c_\varphi + wc_z + \frac{(\gamma-1)}{2}c \left(u_r + \frac{u}{r} + \frac{v_\varphi}{r} + w_z \right) = 0, \\ u_t + uu_r + \frac{v}{r}u_\varphi - \frac{v^2}{r} + wu_z + \frac{2}{(\gamma-1)}cc_r = \underline{av - bw \cos \varphi}, \\ v_t + uv_r + \frac{uv}{r} + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{2}{(\gamma-1)}\frac{c}{r}c_\varphi = \underline{-au + bw \sin \varphi}, \\ w_t + uw_r + \frac{v}{r}w_\varphi + ww_z + \frac{2}{(\gamma-1)}cc_z = \underline{bu \cos \varphi - bv \sin \varphi} - g, \end{array} \right.$$



$$c = \rho^{(\gamma-1)/2}, \quad p = \frac{1}{\gamma} \rho^\gamma, \quad a = 2\Omega \sin \psi, \quad b = 2\Omega \cos \psi, \quad \Omega = |\Omega|$$

Ускорение Кориолиса, присутствующее во втором, третьем и четвертом уравнениях — в дифференциальной форме закона сохранения импульса — вносит в газовый поток дополнительный внешний импульс, в том числе изменяет скорость потока (см. уравнения) и, следовательно, изменяет кинетическую энергию потока.

Характеристическая задача Кошио плавном радиальном стоке

$$\left\{ \begin{aligned} c_t + uc_r + \frac{v}{r}c_\varphi + wc_z + \frac{(\gamma - 1)}{2}c \left(u_r + \frac{u}{r} + \frac{v_\varphi}{r} + w_z \right) &= 0, \\ u_t + uu_r + \frac{v}{r}u_\varphi - \frac{v^2}{r} + wu_z + \frac{2}{(\gamma - 1)}cc_r &= av - bw \cos \varphi, \\ v_t + uv_r + \frac{uv}{r} + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{2}{(\gamma - 1)}\frac{1}{r}cc_\varphi &= -au + bw \sin \varphi, \\ w_t + uw_r + \frac{v}{r}w_\varphi + ww_z + \frac{2}{(\gamma - 1)}cc_z &= bu \cos \varphi - bv \sin \varphi - g; \end{aligned} \right.$$

$a = 2\Omega \sin \psi; \quad b = 2\Omega \cos \psi$

$$\left\{ \begin{aligned} c(t, r, \varphi, z)|_{C^+} &= \sqrt{c_{00}^2 - (\gamma - 1)gz}; \\ u(t, r, \varphi, z)|_{C^+} &= 0; \\ v(t, r, \varphi, z)|_{C^+} &= 0; \\ w(t, r, \varphi, z)|_{C^+} &= 0; \\ u(t, r, \varphi, z)|_{r=r_0} &= u^o(t), \\ u^o(t)|_{t=0} &= 0, \quad [u^o(t)]'|_{t=0} = u_* = \text{const} < 0. \end{aligned} \right. \begin{array}{l} \text{условия} \\ \text{на звуковой} \\ \text{характеристике} \\ \text{заданный радиальный сток} \end{array} \quad (1)$$

C^+ – характеристика кратности один

Баутин С.П. Аналитические решения задачи о движении поршня // ЧММСС, 1973.

Баутин С.П. Характеристическая задача Коши для квазилинейной аналитической системы // ДУ. 1976.

Баутин С.П. Характеристическая задача Коши и ее приложения в газовой динамике. Наука, 2009.

Теорема 1. Задача (1) имеет единственное аналитическое решение в некоторой окрестности точки $M_0 (t = 0, r = r_0, \varphi = \varphi_0, z = 0)$, где $0 \leq \varphi_0 \leq 2\pi$.

Если $\Omega = 0$, то единственное аналитическое решение не зависит от φ и течение только радиальное: $v \equiv 0$.

Если $\Omega \neq 0$, то в случае Северного полушария:

$$\left. \frac{\partial v}{\partial r} \right|_{C^+} = 0; \quad \left. \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} \right|_{C^+} > 0$$



В случае Южного полушария $\left. \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} \right|_{C^+} < 0$.

Тем самым доказано, что возникновение закрутки в задаче о плавном радиальном стоке вызвано только вращением Земли вокруг своей оси.

Характеристическая задача Коши о заданном радиальном притоке

$$\left\{ \begin{array}{l} c_t + uc_r + \frac{v}{r}c_\varphi + wc_z + \frac{(\gamma - 1)}{2}c \left(u_r + \frac{u}{r} + \frac{v_\varphi}{r} + w_z \right) = 0, \\ u_t + uu_r + \frac{v}{r}u_\varphi - \frac{v^2}{r} + wu_z + \frac{2}{(\gamma - 1)}cc_r = av - bw \cos \varphi, \\ v_t + uv_r + \frac{uv}{r} + \frac{v}{r}v_\varphi + wv_z + \frac{2}{(\gamma - 1)}\frac{1}{r}cc_\varphi = -au + bw \sin \varphi, \\ w_t + uw_r + \frac{v}{r}w_\varphi + ww_z + \frac{2}{(\gamma - 1)}cc_z = bu \cos \varphi - bv \sin \varphi - g; \\ c(t, r, \varphi, z)|_{z=0} = c_0(r), \\ u(t, r, \varphi, z)|_{z=0} = u_0(r), \\ v(t, r, \varphi, z)|_{z=0} = v_0(r), \\ w(t, r, \varphi, z)|_{z=0} = 0; \\ u(t, r, \varphi, z)|_{r=r_{in}} = u_{in}; \quad u_{in} = \text{const} < 0; \\ v(t, r, \varphi, z)|_{r=r_{in}} = 0. \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{условия} \\ \text{на контактной} \\ \text{характеристике} \\ \text{заданный} \\ \text{радиальный} \\ \text{приток} \end{array} \quad (2)$$

$z = 0$ — характеристика кратности два

Надо будет вводить сток газа при каком-то $r = r_0, 0 < r_0 < r_{in}$.

Баутин С.П. Аналитические решения задачи о движении поршня // ЧММСС, 1973.

Баутин С.П. Характеристическая задача Коши для квазилинейной аналитической системы // ДУ. 1976.

Баутин С.П. Характеристическая задача Коши и ее приложения в газовой динамике. Наука, 2009.

Теорема 2. При выполнении необходимых условий разрешимости

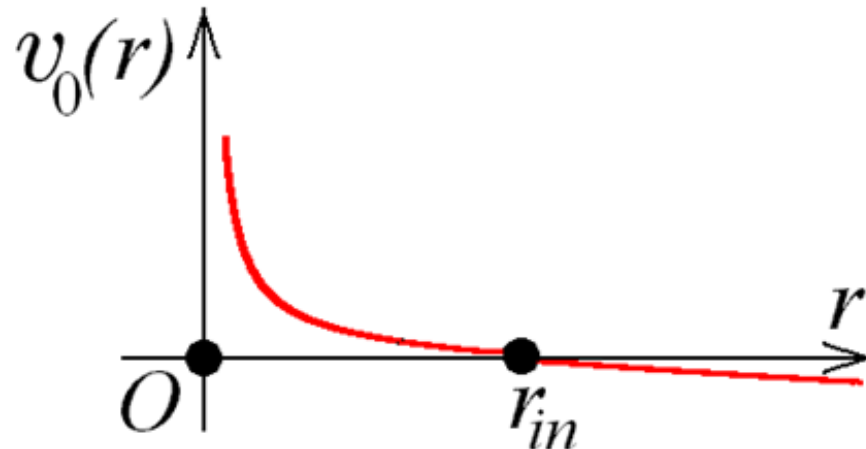
$$\begin{cases} u_0 u_{0r} - \frac{v_0^2}{r} + \frac{2}{(\gamma - 1)} c_0 c_{0r} = a v_0, \\ u_0 v_{0r} + \frac{u_0 v_0}{r} = -a u_0 \end{cases}$$

задача (2) имеет единственное аналитическое решение в некоторой окрестности рассматриваемой точки ($r = r_{in}, \varphi = \varphi_0, z = 0$).

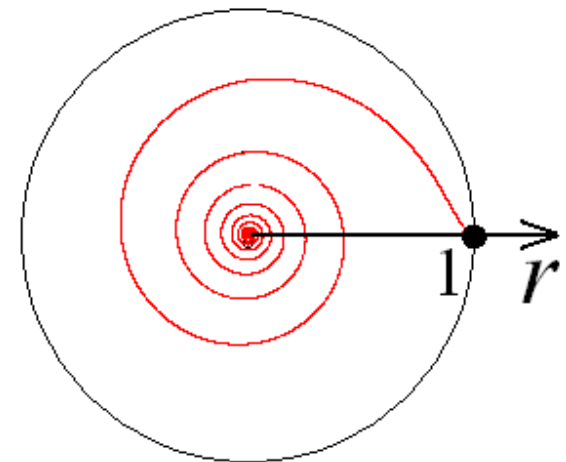
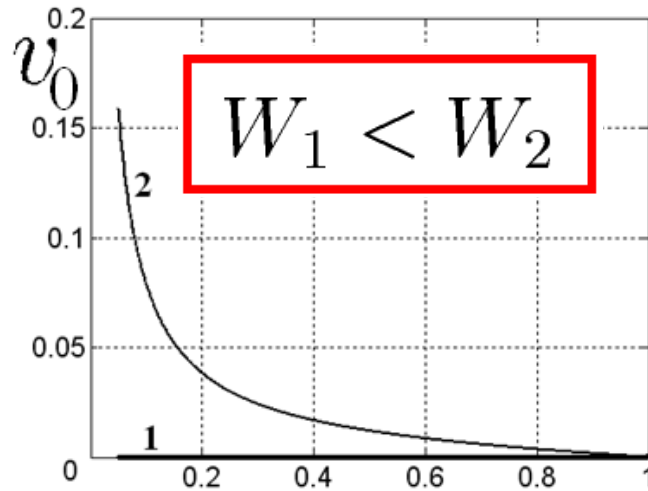
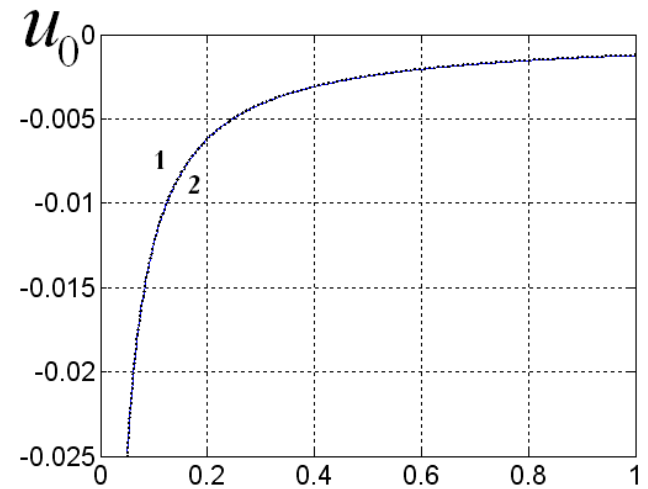
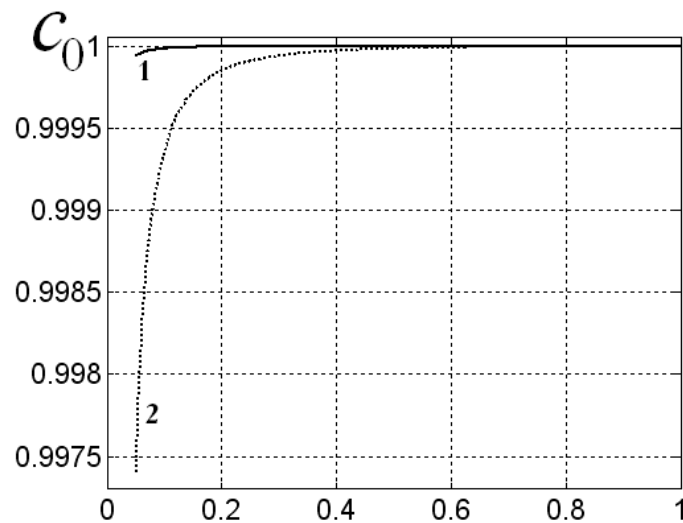
1. Если $\Omega = 0$, то в единственном аналитическом решении окружная скорость будет тождественно равна нулю: $v \equiv 0$.

2. Если $\Omega \neq 0$, то однозначно получается:

$$v_0(r) = \frac{a(r_{in}^2 - r^2)}{2r}.$$



1: $\Omega = 0$
 2: $\Omega \neq 0$



Сила Кориолиса «переводит» часть кинетической энергии вращения Земли в кинетическую энергию вращательного движения специального потока воздуха.

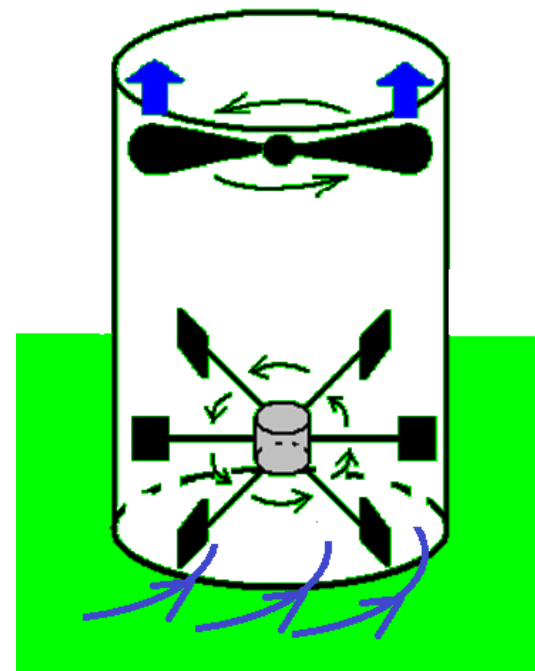
Практическое использование полученных результатов

1. Проект вихревого энергогенератора

Электрическая энергия из кинетической энергии вращения Земли вокруг своей оси.

Создать вертикальный поток;
вращение Земли закрутит
воздух в придонной части;
туда поставить динамо машину
производить электрическую энергию.

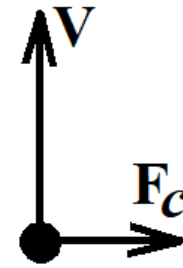
Скорость продува, м/с	5	10	12	15	20
W , Дж	$3.5 \cdot 10^3$	$1.4 \cdot 10^4$	$4.2 \cdot 10^4$	$6.5 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10^7$
W_v/W	0.19	0.22	0.45	0.58	0.97



С ЮУрГУ ведется начальная работа по реализации эксперимента с вихревым энергогенератором.

2. Разрушение тропических циклонов

Вращение Земли вокруг своей оси отклоняет поток в конкретную сторону - в Северном полушарии вправо от направления движения:

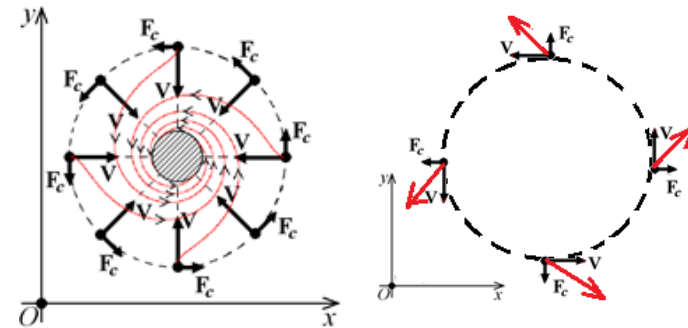


В одних условиях поток закручивается в одну сторону:

циклон с частичным движением к центру

- влево,

- восходящий поток без движения к центру - в противоположную сторону.



Главная цель разрушения с

разумными энергетическими затратами:

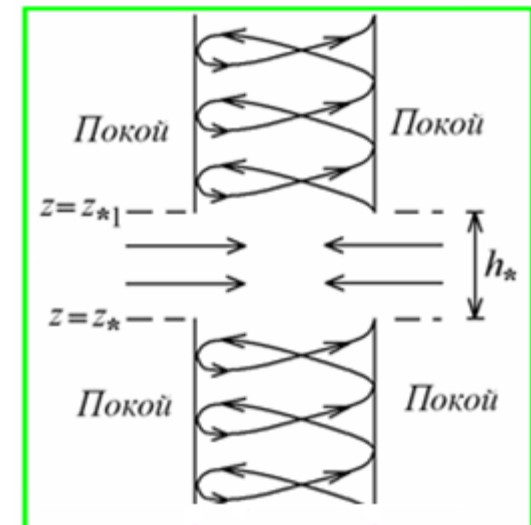
не разрушать вращающийся поток,

а прекратить вертикальное движение

воздуха вверх. Тогда вращение Земли вокруг своей оси будет разворачивать вращение

воздуха в другую сторону, то есть разрушать

циклон.



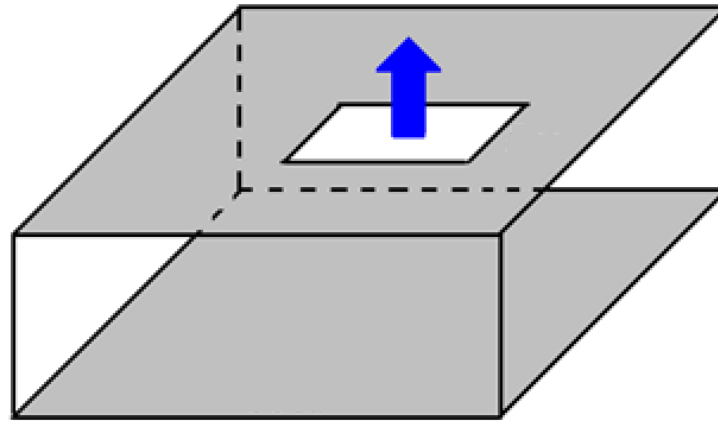
Численное моделирование уничтожения тропических циклонов

Полная система уравнений Навье-Стокса (ПСУНС)
в прямоугольной системе координат

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_t + \mathbf{V} \cdot \nabla \rho + \rho \operatorname{div} \mathbf{V} = 0, \\ \mathbf{V}_t + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} + \frac{T}{\gamma \rho} \nabla \rho + \frac{1}{\gamma} \nabla T = \mathbf{g} - \underline{2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{V}} + \\ + \frac{\mu_0}{\rho} \left[\frac{1}{4} \nabla (\operatorname{div} \mathbf{V}) + \frac{3}{4} \Delta \mathbf{V} \right], \\ T_t + \mathbf{V} \cdot \nabla T + (\gamma - 1) T \operatorname{div} \mathbf{V} = \frac{\varkappa_0}{\rho} \Delta T + \\ + \frac{\mu_0 \gamma (\gamma - 1)}{2\rho} \left\{ \left[(u_x - v_y)^2 + (u_x - w_z)^2 + (v_y - w_z)^2 \right] + \right. \\ \left. + \frac{3}{2} \left[(u_y + v_x)^2 + (u_z + w_x)^2 + (v_z + w_y)^2 \right] \right\}, \mu_0, \varkappa_0 = \text{const} \end{array} \right.$$

Разностными методами ниже построены 3D
нестационарные решения этой системы

Расчетная область:



Начальные условия: неоднородный покой.

Креьевые условия: **на нижней плоскости** условие непротекания, т.е. $w=0$; для плотности условие «непрерывности»; для остальных искомым - «по симметрии»; **на боковых гранях** плотность и температура из точного решения «неоднородный покой»; все компоненты скорости «по симметрии»; **на верхней грани**: для плотности условие «непрерывности»; w в зоне продува имеет величину продува, а вне этой зоны $w=0$; для остальных искомым - «по симметрии».

Входные данные для расчетов

$\psi = \pi/6$ – широта местонахождения циклона;

$\gamma = 1.4$ – показатель политропы газа;

$g = 9.8 \text{ м/с}^2$ – размерное значение ускорения
свободного падения;

$\mu_0 = 0.001$; $\kappa = 0.001458$ – коэффициенты вязкости
и теплопроводности;

$T_{00} = 288^\circ\text{К} = 15^\circ\text{С}$ – масштабное размерное значение
температуры;

$\rho_{00} = 1.2928 \text{ кг/м}^3$ – масштабное размерное значение
плотности;

$u_{00} = \frac{1}{3} \cdot 10^3 \text{ м/с}$ – масштабное размерное значение скорости;

$x_{00} = 350 \text{ км}$ – масштабное размерное значение расстояния в
представленном расчете;

$t_{00} = \frac{x_{00}}{u_{00}} = 1050 \text{ с} = 17.5 \text{ мин.}$ – масштабное размерное
значение времени;

$t = 100$ – соответствует 29 часам и 10 минутам,
это сутки и еще пять часов 10 минут;

$w_{00} = 20 \text{ м/с}$ – скорость вертикального продува
в представленном расчете.

Параметры расчетов

Размеры расчетной области:

350 км × 350 км × 14 км в размерных величинах,

то есть 1 × 1 × 0.04 в безразмерных величинах;

сетка прямоугольная, равномерная

$\Delta x = \Delta y = 0.005$; $\Delta z = 0.002$;

разностная схема явная, что позволяет распараллелить счет;

$\Delta t = 0.0001$.

Результаты расчетов

Выход на стационарное движение состоялся к моменту времени $t = 250$, то есть за 72 часа и 55 минут – чуть больше, чем за трое суток.

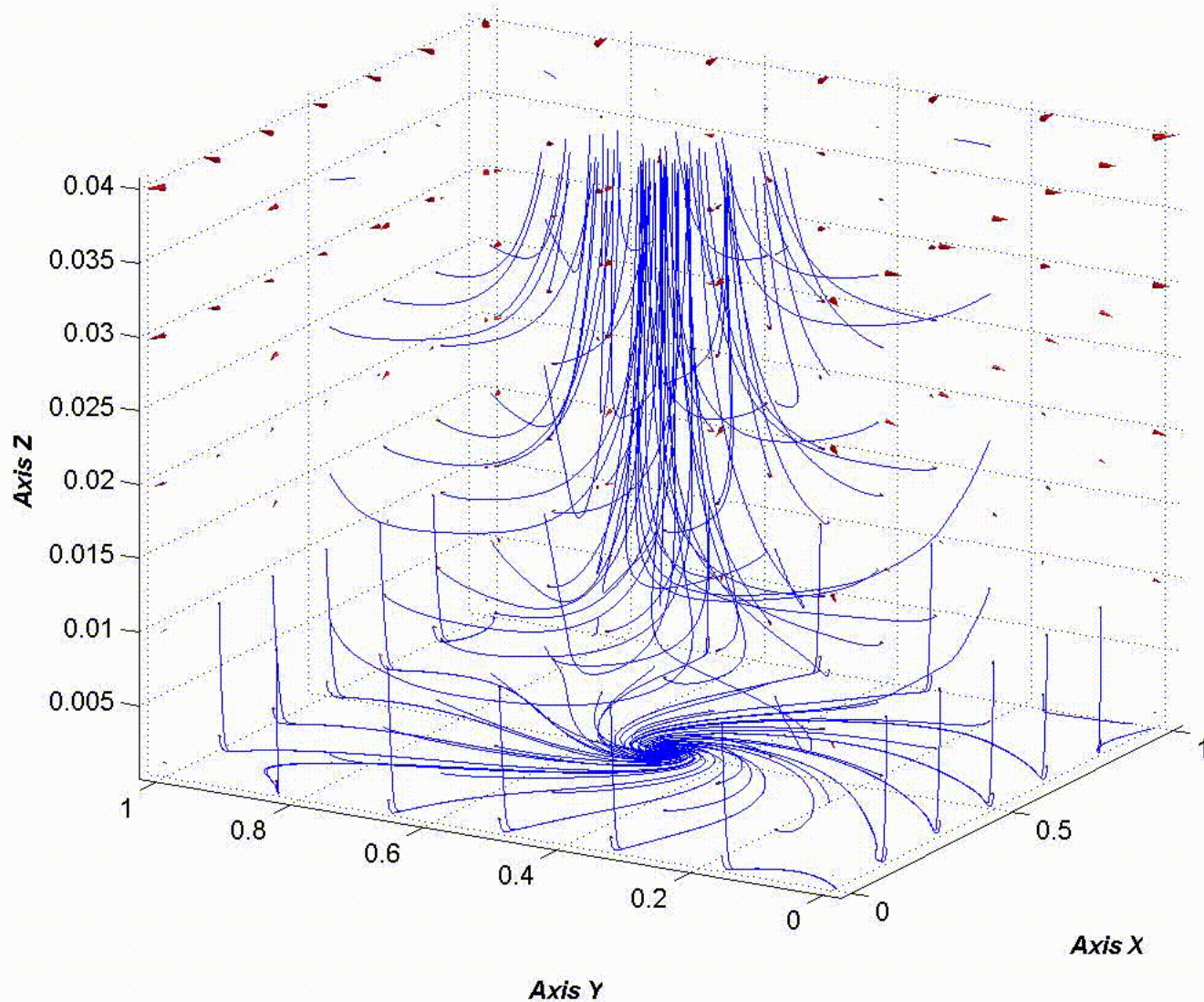
В момент времени $t = 250$ вертикальный принудительный про-
дув был отключен.

К моменту времени $t = 340$ движение потока стало неструк-
турированным,

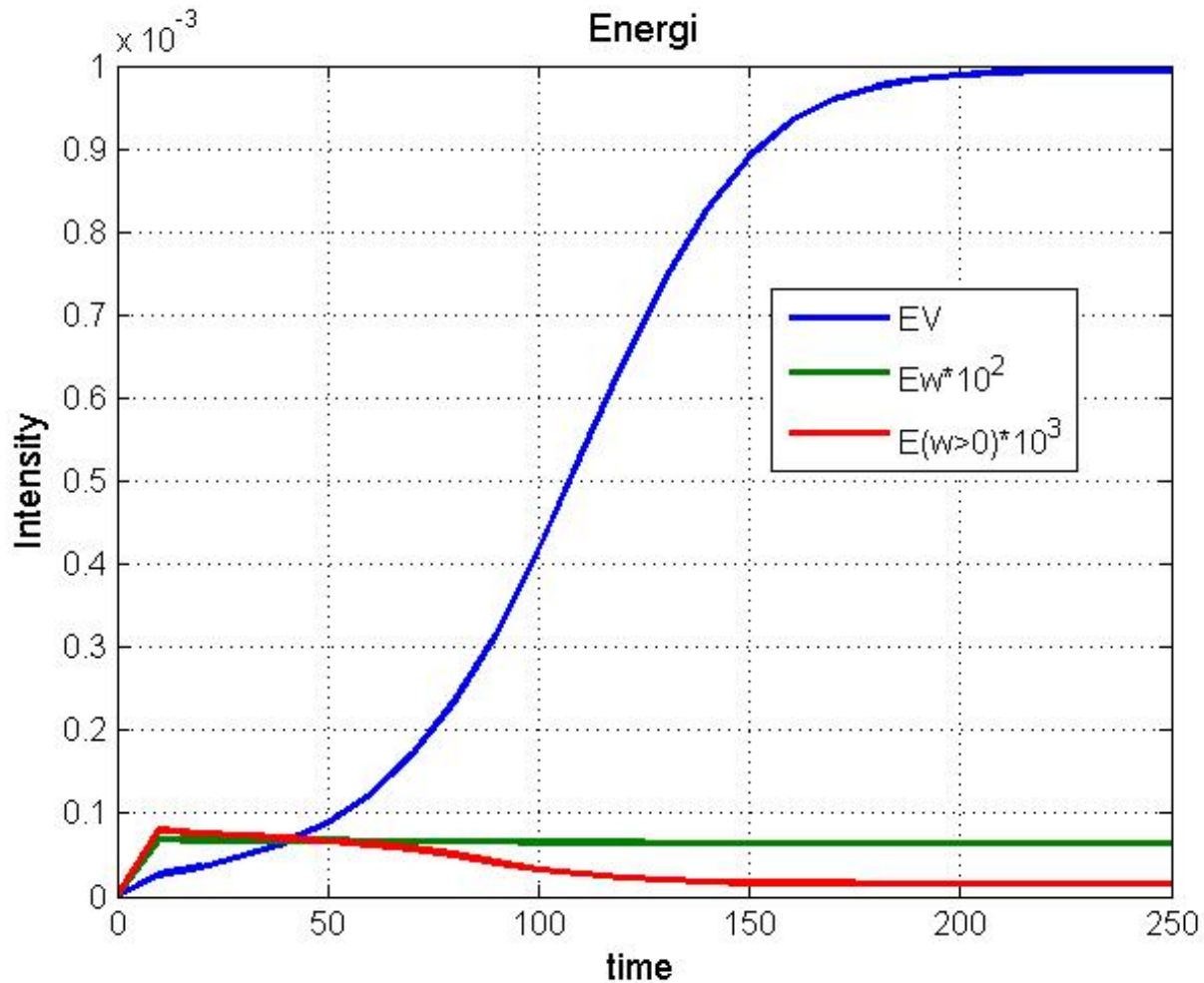
то есть циклон «развалился» за безразмерное время $t = 90$, то
есть за 26 часов 15 минут – чуть более, чем за сутки.

Возникновение и функционирование ВЗП

time = 10.0 $X_{00} = 350$ km



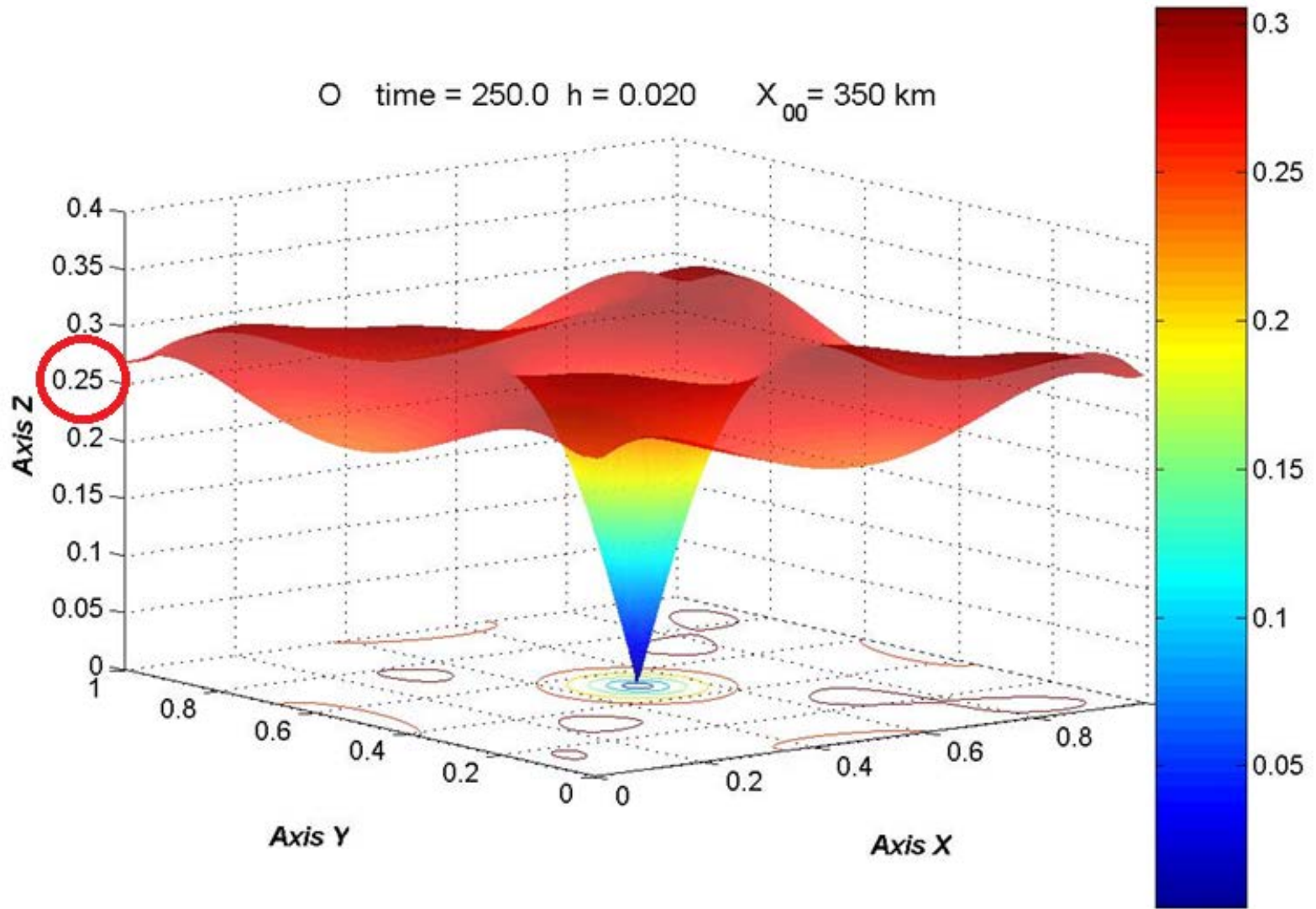
Поведение мгновенных линий тока от $t=0$ до $t=250$



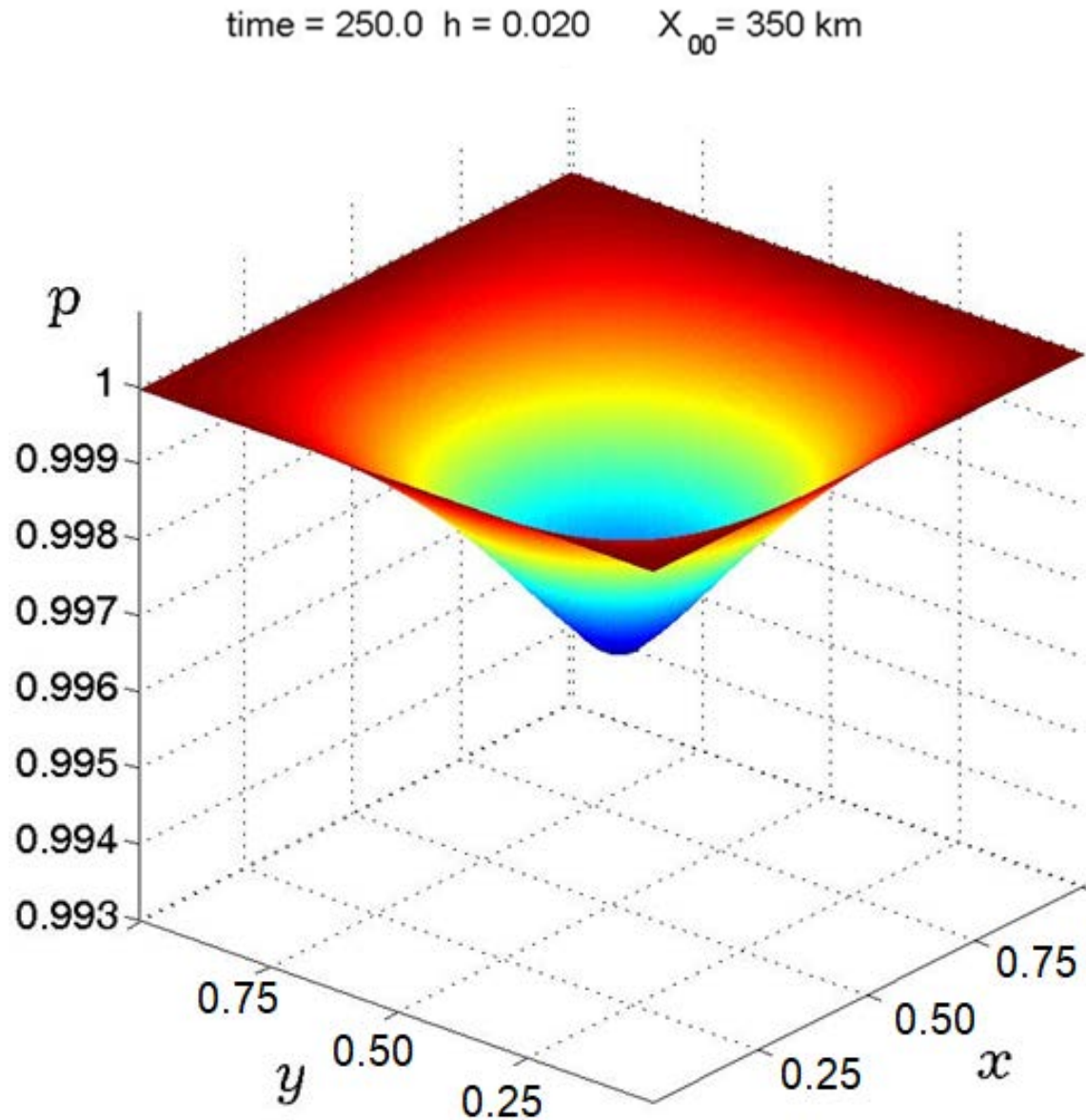
Изменение кинетической энергии со временем:

- всего потока
- умноженная на 100 у вертикального движения,
- умноженная на 1000 у восходящего вертикального движения

Окружная скорость при $t=250$, $z=0.02$ (середина потока)

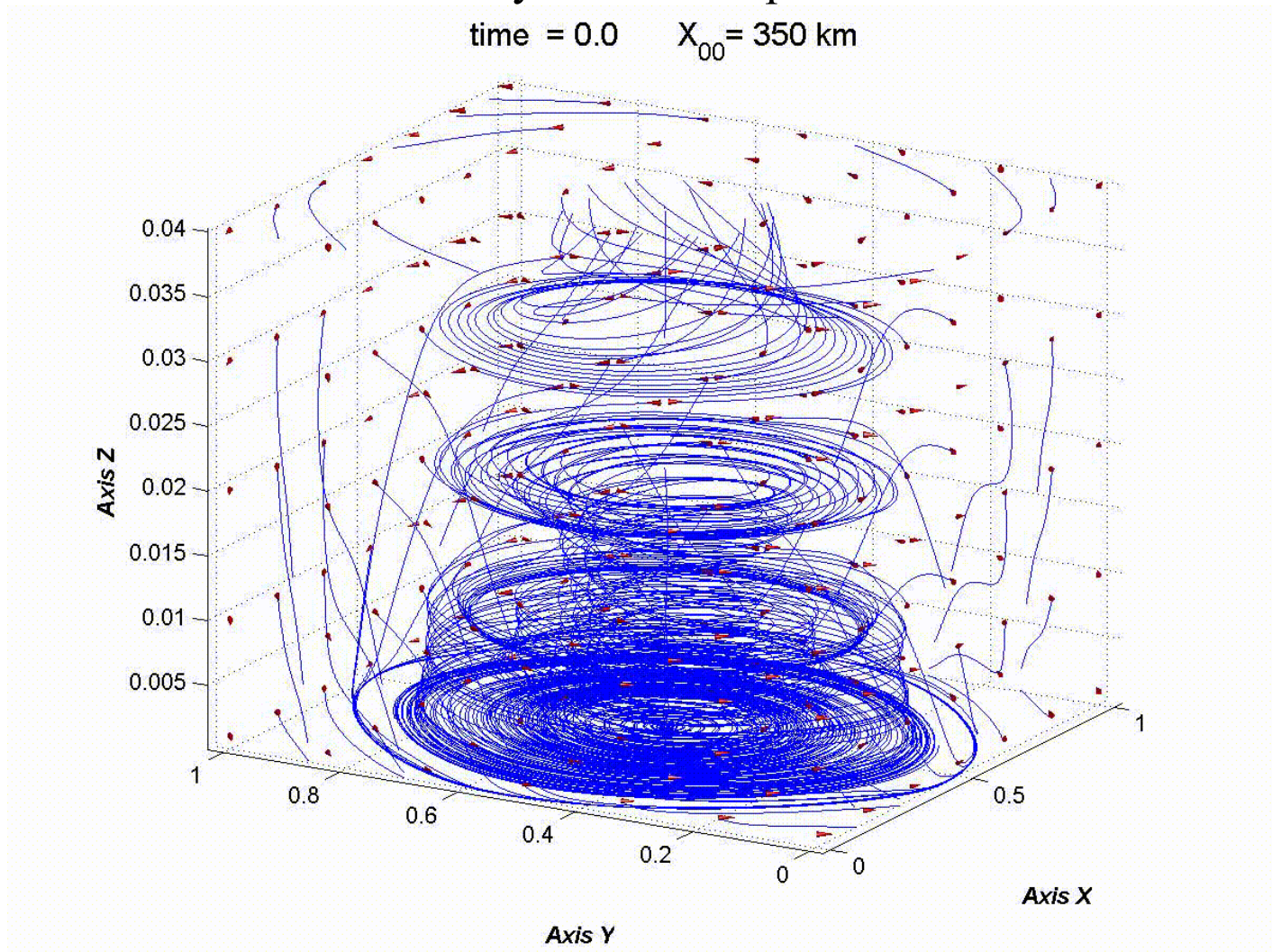


Давление при $t=250$, $z=0.02$ (середина потока)



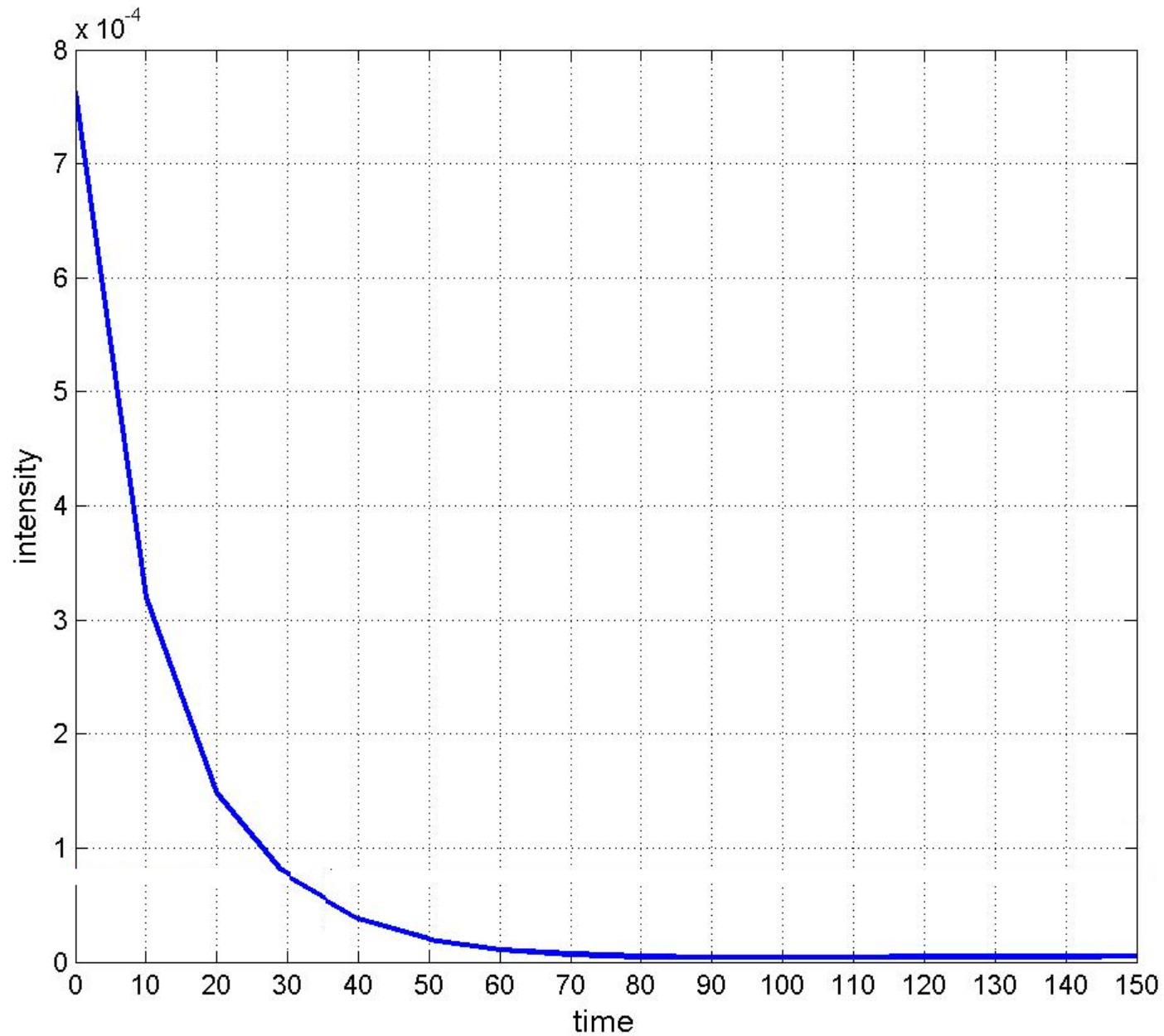
В момент $t=250$ вертикальный продув отключен

В этом случае вращение Земли разворачивает поток
по ходу часовой стрелки



Поведение мгновенных линий тока от $t=250$ до $t=380$

Затухание кинетической энергии всего потока



Заключение

Чтобы остановить тропический циклон надо остановить
вертикальное движение воздуха в нем.

Тогда вращение Земли разрушит структурированное
движение воздуха в циклоне.

Значение кинетической энергии вертикального движения
воздуха в циклоне фактически на три порядка меньше
всей кинетической энергии циклона.

Спасибо за внимание !

spbautin@mail.ru

zamislov2017@yandex.ru

agobukhov@inbox.ru