Гидромеханическая модель перемещения тропических циклонов

Шмерлин Б.Я., Шмерлин М.Б.

ФГБУ "НПО "Тайфун", Институт экспериментальной метеорологии, Обнинск

ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА", ИКИ РАН.
14-18 ноября 2011г.

Ссылки

- Петров А.Г. Реакции, действующие на малое твердое тело в плоскопараллельном вихревом потоке //ДАН СССР. –1978. -т.238, №1. –с.33-35.
- Якимов Ю.Л. Движение цилиндра в произвольном потоке идеальной несжимаемой жидкости //Изв. АН СССР. МЖГ. –1970. -№2. –с.202-204.

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА (ТЦ)

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d\vec{V}_0}{dt} + \left[\left(\vec{V} - \vec{V}_0\right) \times \vec{\Omega}_0\right] - \alpha \cdot \left(\vec{V} - \vec{V}_0\right) - \alpha_1 \cdot \vec{V}_0 + \vec{F}_\beta$$

$$\vec{\Omega}_0 = 2\vec{\Omega}_\perp \left(1 - A\right) - A\,\vec{\omega} \quad ,$$

$$\alpha = \frac{b + c}{2} \quad , \quad \alpha_1 = \frac{b - a}{2} \quad , \quad \mathrm{D} = \frac{\alpha_1}{\alpha} \approx 1 \, ,$$

$$F_\beta = c_\beta \frac{\Omega \cdot \cos\varphi}{L^2 \cdot R} \cdot \int_0^L V_T(r) \cdot r^2 \cdot dr \, , \quad \omega = V_T(L) / L \quad .$$

V – скорость перемещения ТЦ; $V_0(x,y,t)$ – поле скорости ведущего потока; $2\Omega_\perp$ – параметр Кориолиса; ω – угловая скорость вращения ТЦ (вектора $2\Omega_\perp$ и ω направлены вертикально вверх); b – коэффициент трения ТЦ о подстилающую поверхность; a – коэффициент трения ведущего потока о подстилающую поверхность; c – коэффициент трения ТЦ о ведущий поток; F_β – направленная на север сила Россби; C_β – безразмерный параметр модели; Ω – угловая скорость вращения Земли; R – радиус Земли; L – радиус ТЦ; φ – широта центра ТЦ; $V_T(r)$ – радиальное распределение тангенциального ветра ТЦ; A - безразмерный параметр модели.

Перемещение модельного вихря в стационарном однородном ведущем потоке

$$\vec{V}_0(x,y,t) \equiv \vec{V}_0 = const \qquad \vec{\Omega}_0(t) \equiv \vec{\Omega}_0 = const$$

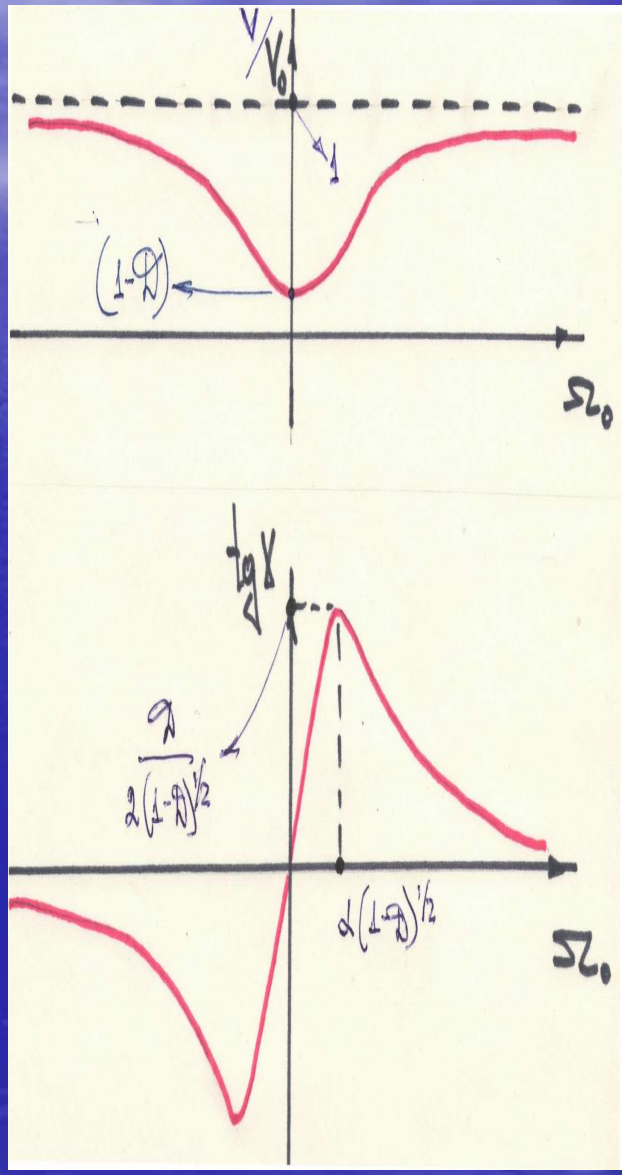
$$\vec{V} = \vec{V}_0 - \frac{\left\{\alpha_1 \alpha \vec{V}_0 - \alpha_1\left[\vec{\Omega}_0 \times \vec{V}_0\right] + \left[\vec{\Omega}_0 \times \vec{F}_\beta\right] - \alpha \vec{F}_\beta\right\}}{\alpha^2 + \Omega_0^2}$$

$$V_\beta = \frac{F_\beta}{\left(\alpha^2 + \Omega_0^2\right)^{\frac{1}{2}}} \qquad \psi_\beta = arctg\left(\frac{\Omega_0}{\alpha}\right)$$

$$V = V_0\left[\frac{\alpha^2(1-D)^2 + \Omega_0^2}{\alpha^2 + \Omega_0^2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$tg(\gamma) = \frac{\alpha D \Omega_0}{\alpha^2(1-D) + \Omega_0^2}$$

$$D = \frac{\alpha_1}{\alpha} \approx 1$$



Блок интенсивности и радиальной структуры ТЦ

Вихрь Ренкина:

$$\frac{V_T(r)}{V_m} = U(x) = \frac{2x}{1+x^2}, \quad x = \frac{r}{R_m}$$

Формула Ооямы для вертикальной скорости Экмановской накачки:

$$w_E(x) = \frac{V_m C_d}{x} \frac{d}{dx} \left\{ \frac{x^2 U^2(x)}{\frac{d}{dx}\left[x U(x) + \frac{x^2}{Ro} \right]} \right\}, \quad Ro = \frac{V_m}{R_m \Omega \sin(\varphi)} \approx 10 \div 100$$

Безразмерный радиус области восходящих движений:

$$w_E(x_0) = 0 \quad \rightarrow \quad x_0 = \left[1 + \left(4 + 3\,Ro\right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \approx 2 \div 5$$

Параметризации

$$\frac{L}{R_m} = x_0$$

$$\omega = \frac{2V_m}{R_m}\frac{1}{1+x_0^2}$$

$$F_\beta = c_\beta \frac{\Omega\cos(\varphi)}{R}\frac{V_m R_m}{x_0^2}\left[x_0^2 - \ln(1+x_0^2)\right]$$

$$c = \frac{2k\left|\vec{V}-\vec{V}_0\right|}{\pi R_m x_0}$$

$$a = \frac{C_d V_0}{H}$$

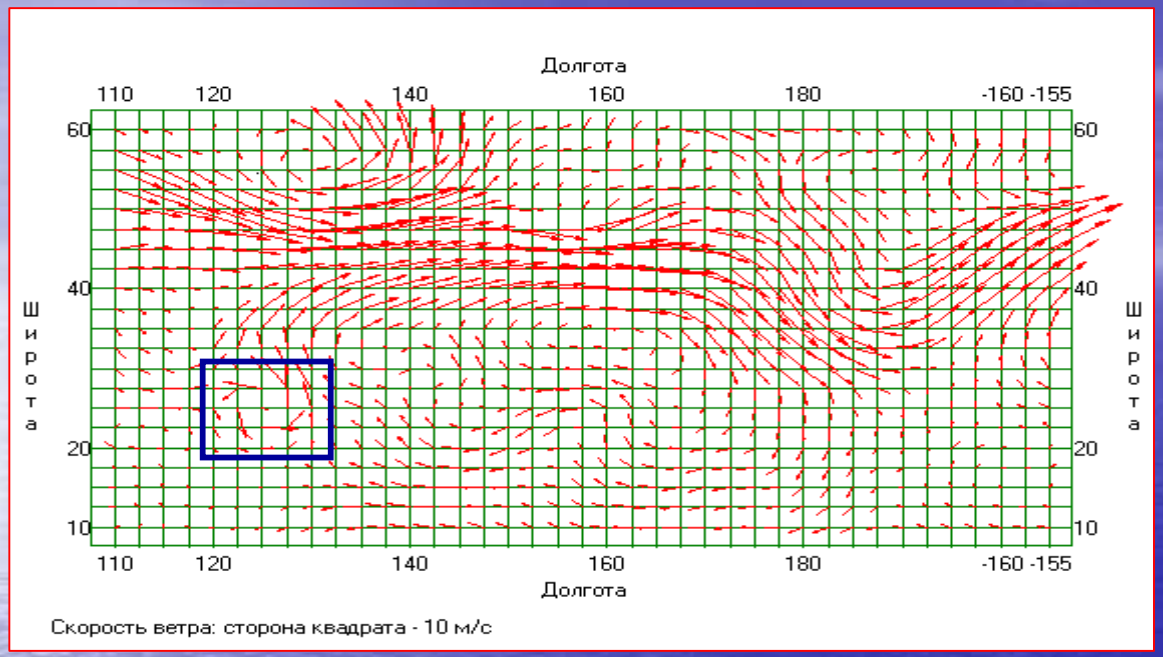
$$b = \frac{1}{x_0^2 H}\int_0^{x_0} w_E(x)\,x\,dx = \frac{2C_d V_m}{H}\frac{x_0}{1+Ro^{-1}\left(1+x_0^2\right)^2}$$

$$A = \exp\left[-p\left(\frac{b}{\Omega\sin\varphi}\right)\right]$$

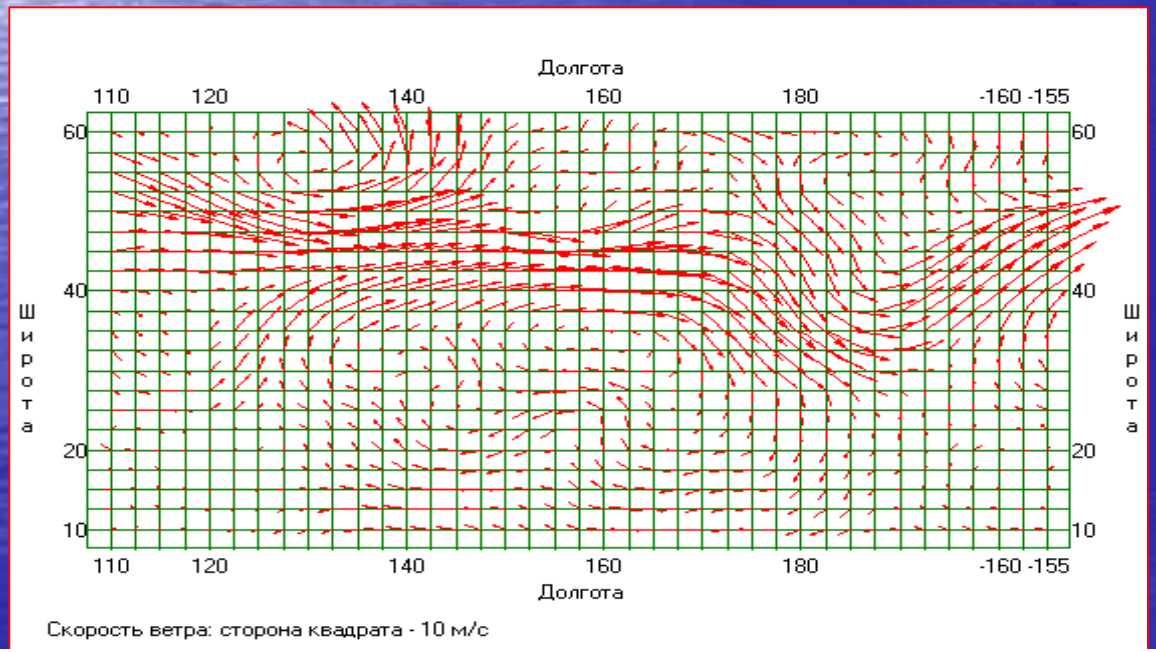
Безразмерные параметры модели

$$c_\beta, \quad k, \quad p$$

Блок полей ветра

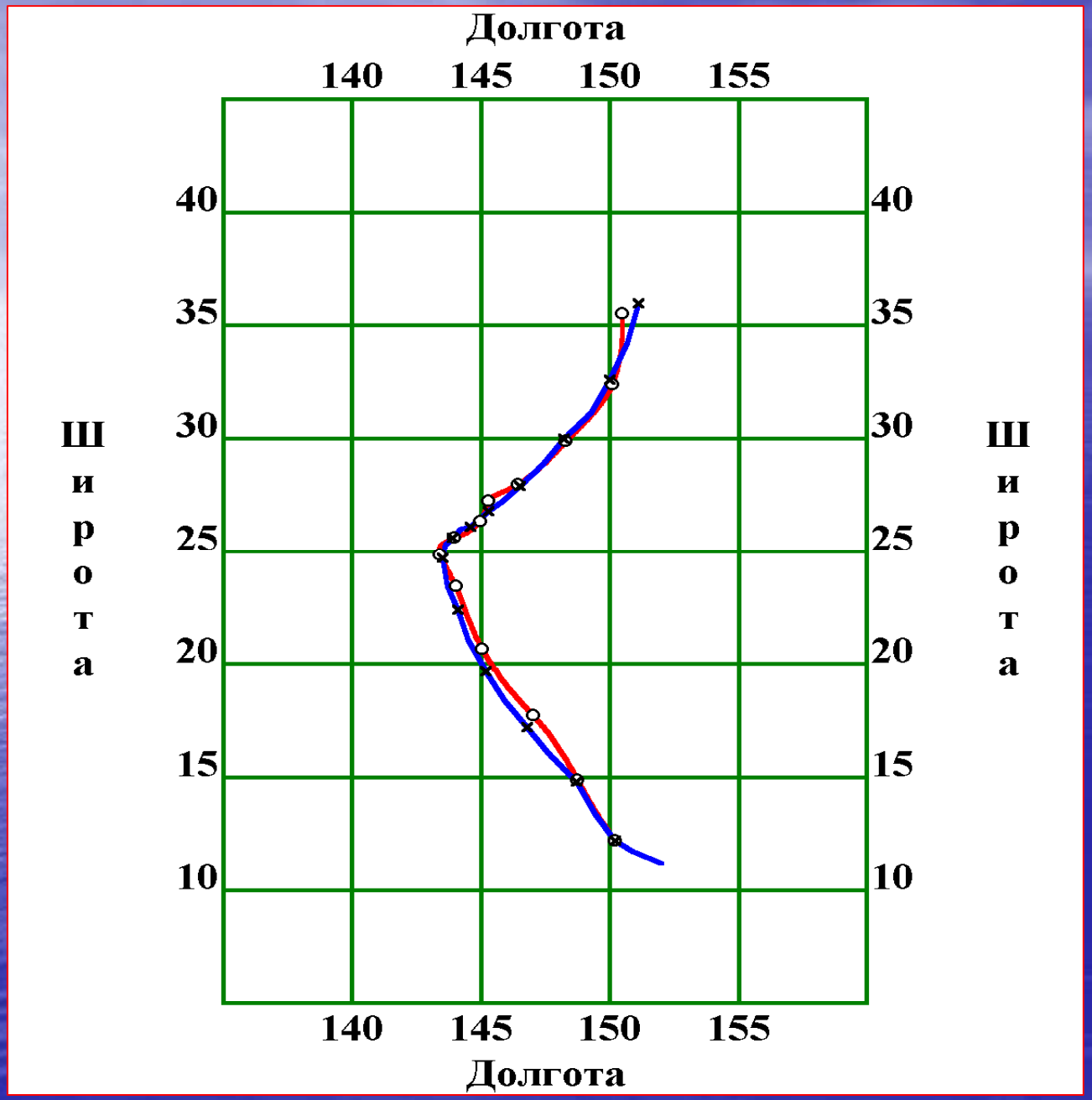


Осредненное по высоте тропосферы поле скорости ветра, содержащее циркуляцию ТЦ



Поле скорости ведущего потока за тот же срок, полученное путем интерполяции внутрь окна значений скорости ветра из внешней области

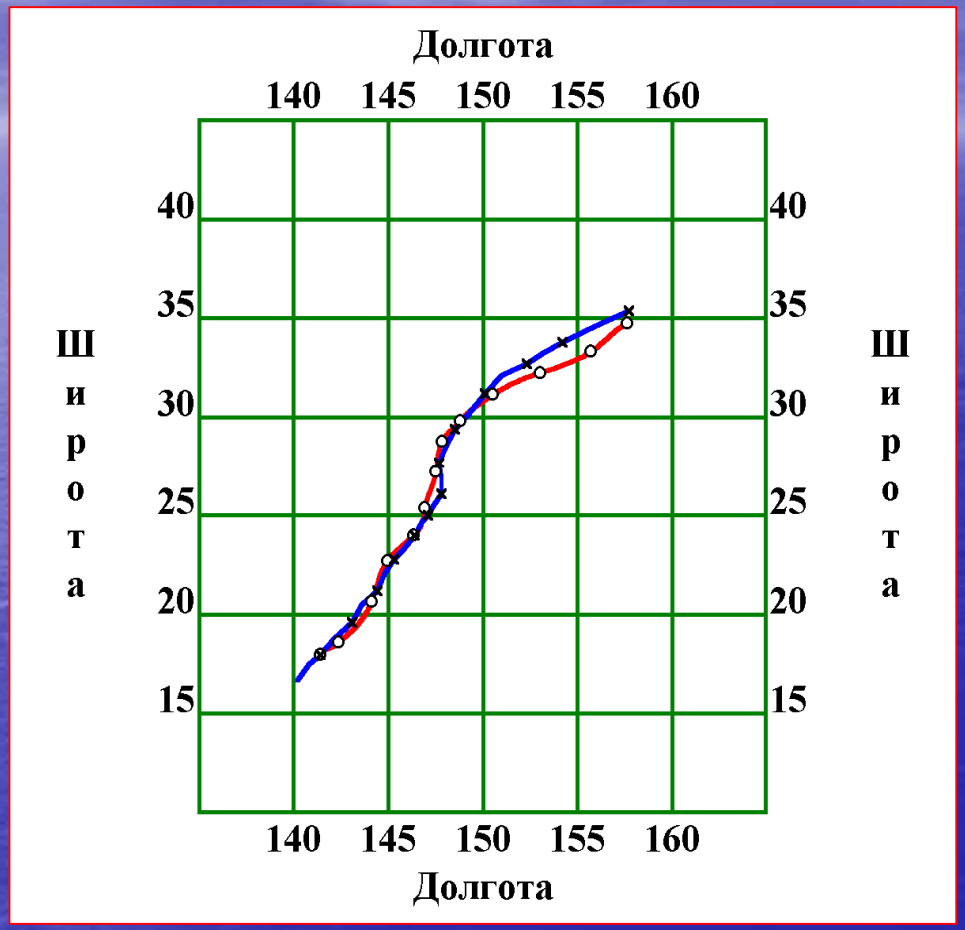
- Под диагностическими имеются в виду расчёты, в которых в течение всего времени жизни ТЦ в качестве полей скорости ВП и интенсивности ТЦ используется объективный анализ соответствующих величин. При этом параметры модели (константы для каждого ТЦ) подбираются из условия наилучшего совпадения расчётной и фактической траектории в течение всего времени жизни ТЦ



Тропический циклон 112w

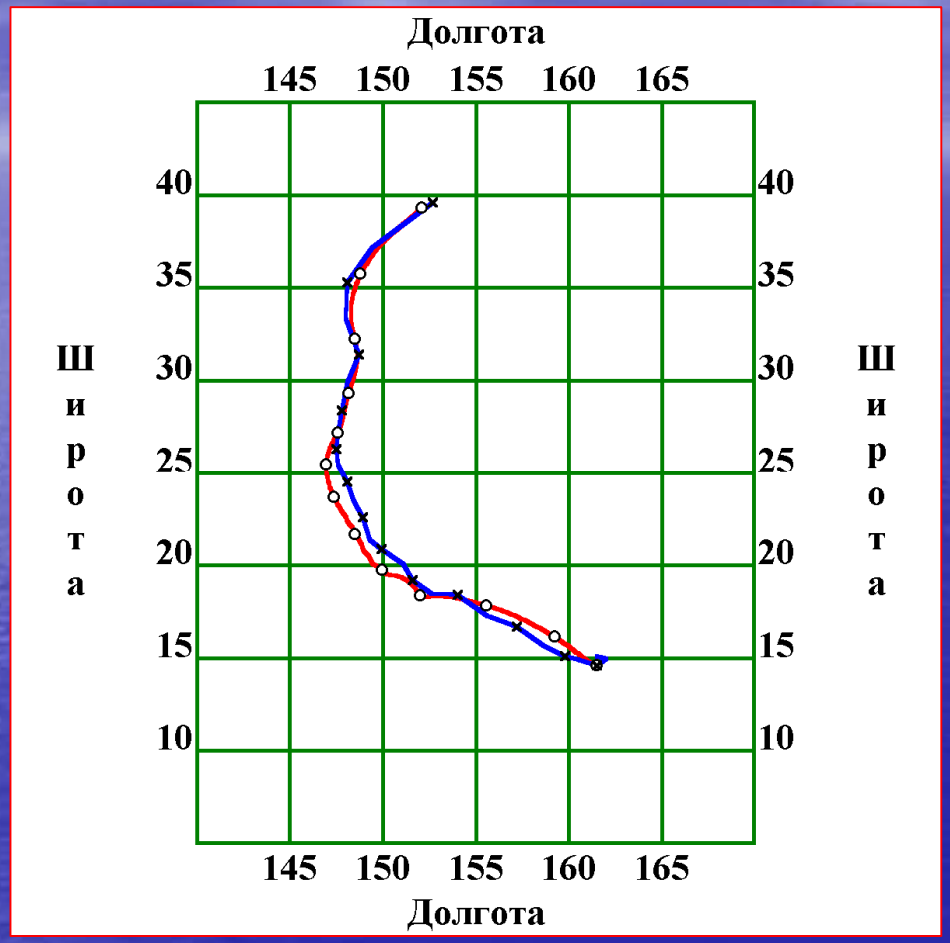
- время счета - 6 суток
- средняя ошибка - 44 км

Тропический циклон 116w

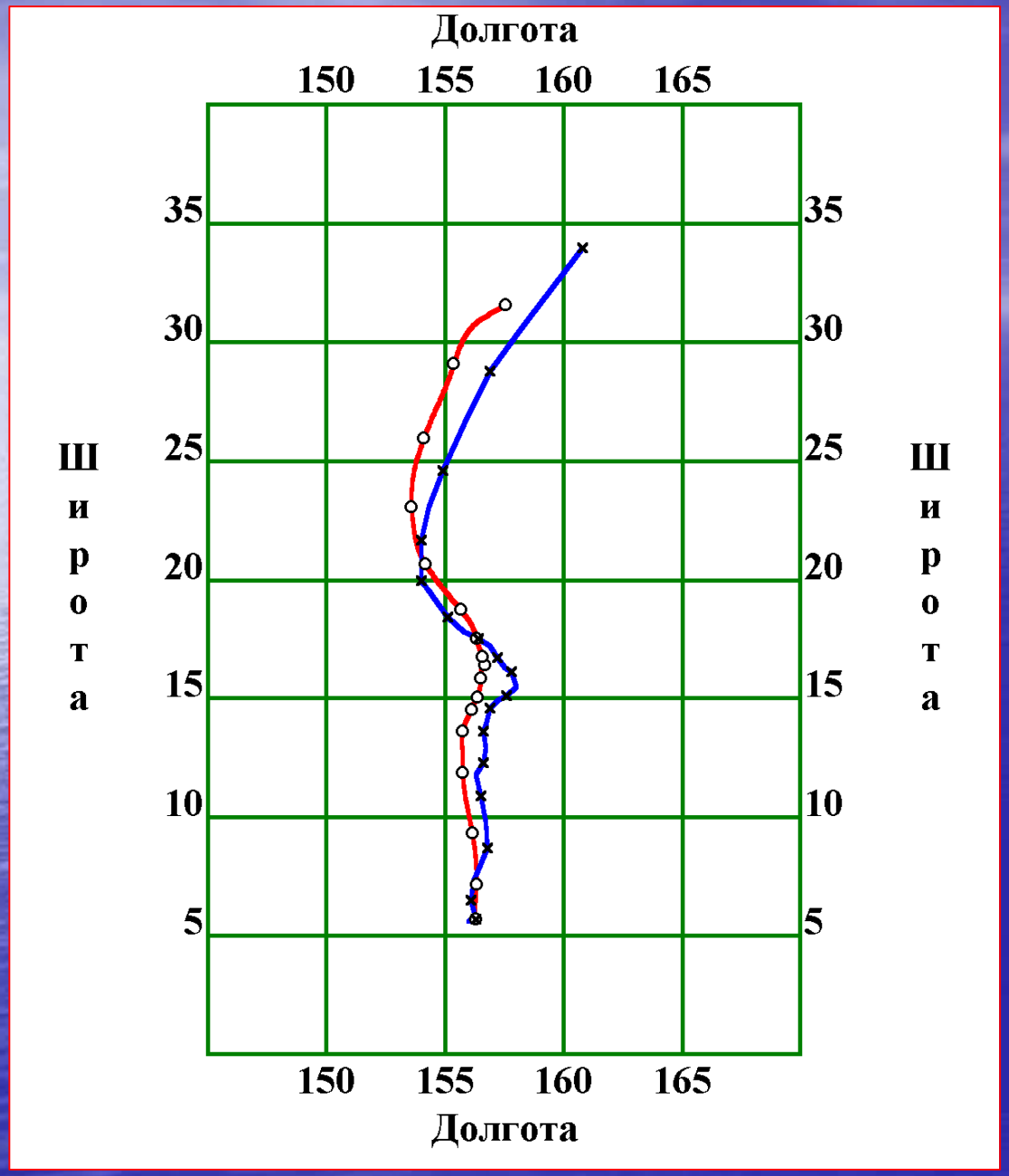


- время счета - 6 суток, средняя ошибка - 82.5 км

Тропический циклон 122w



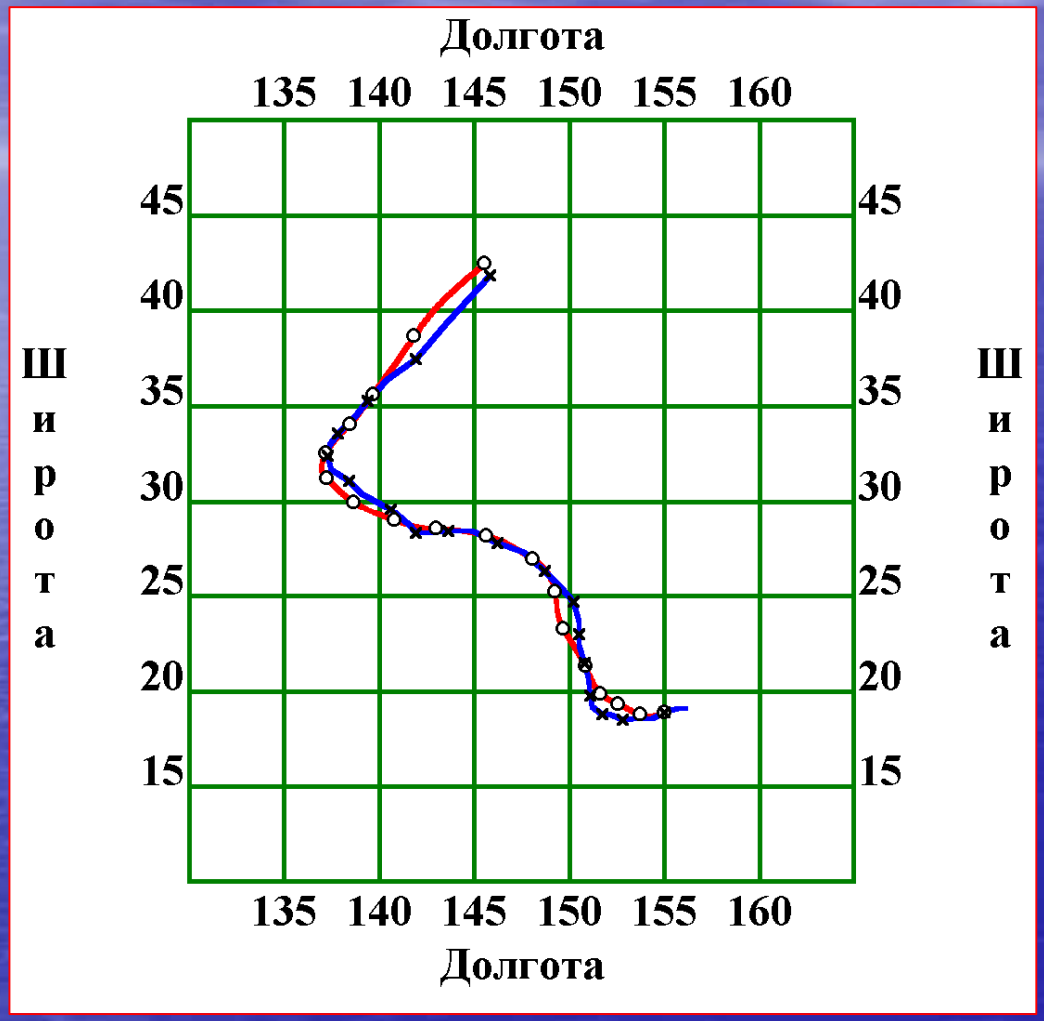
- время счета –6 суток, средняя ошибка – 75 км



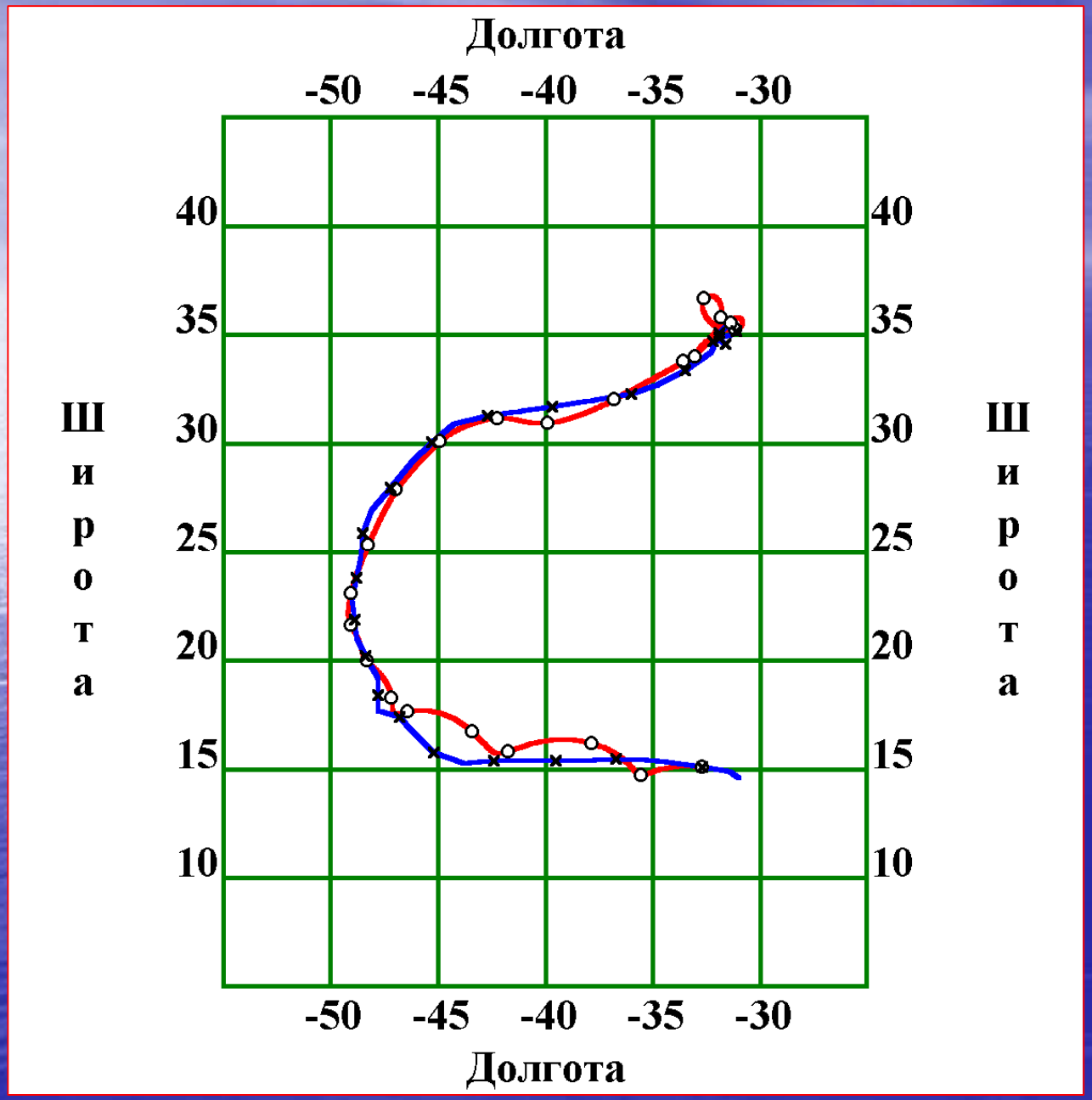
Тропический циклон 126w

- время счета – 8 суток,
- средняя ошибка – 116 км

Тропический циклон 119w

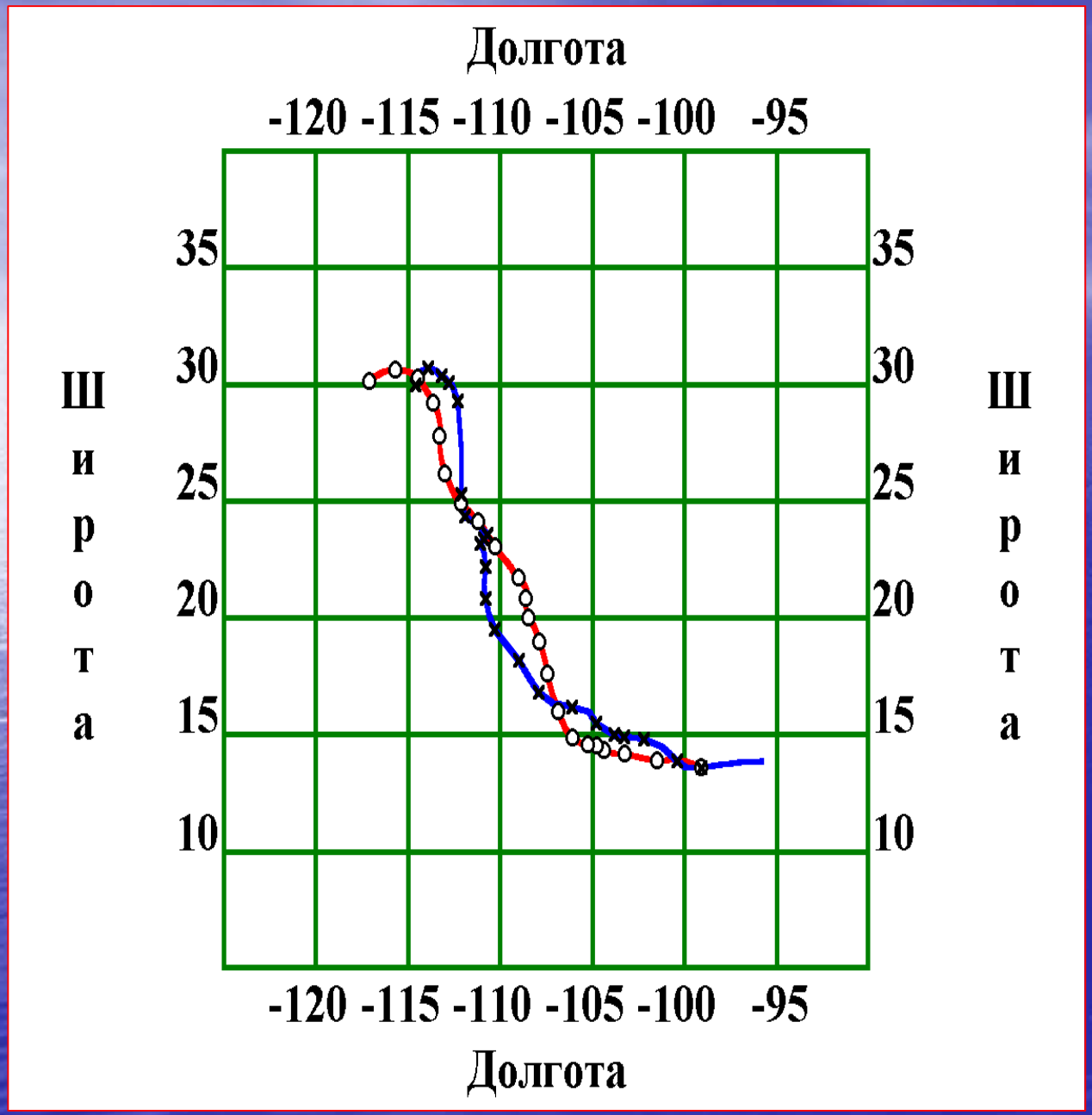


- время счета – 8.5 суток, средняя ошибка – 85 км



Тропический циклон AL0701

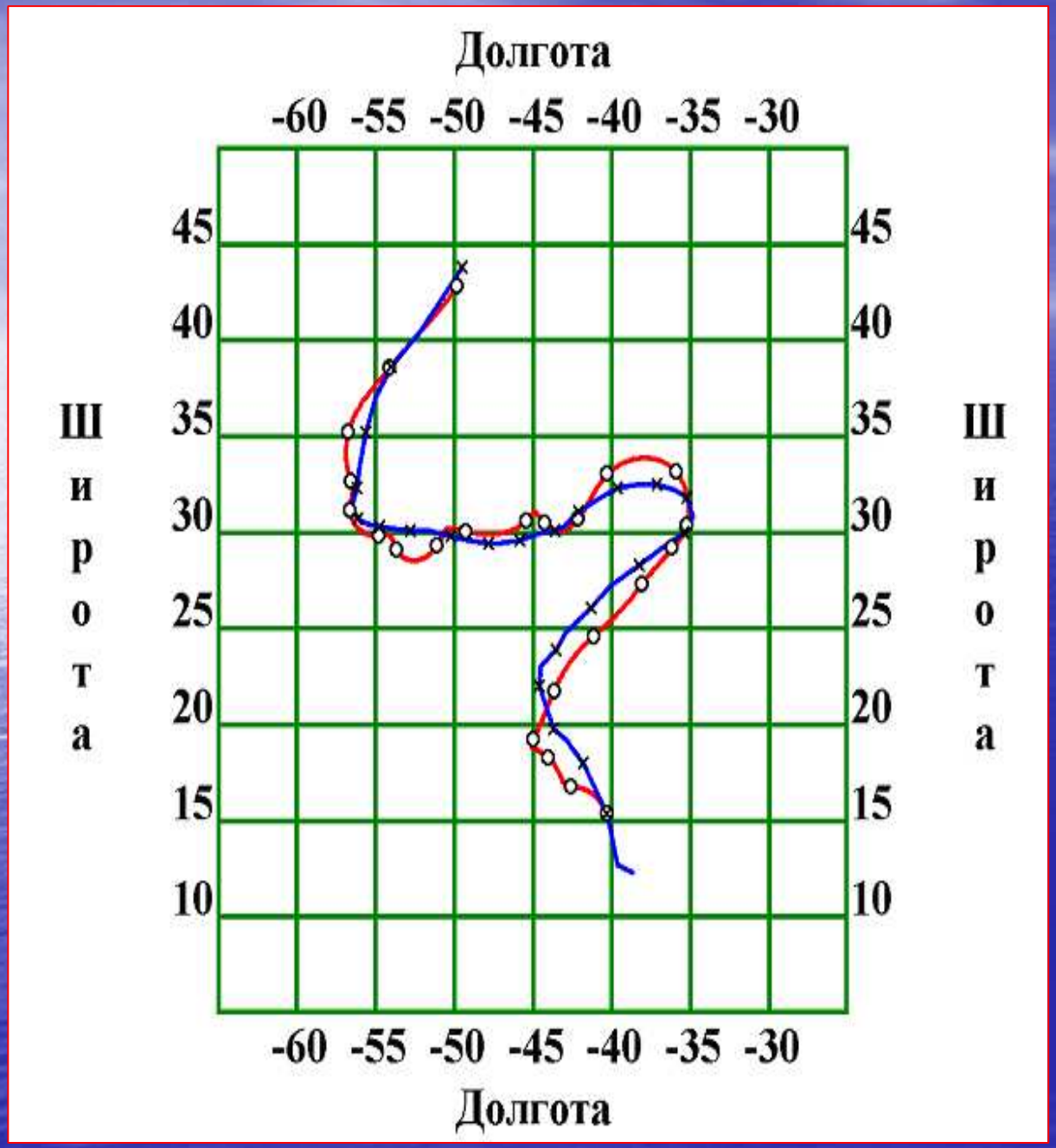
- время счета – 10.5 суток
- средняя ошибка – 88 км



Тропический циклон

EP1101

- время счета – 10.5 суток
- средняя ошибка – 129 км

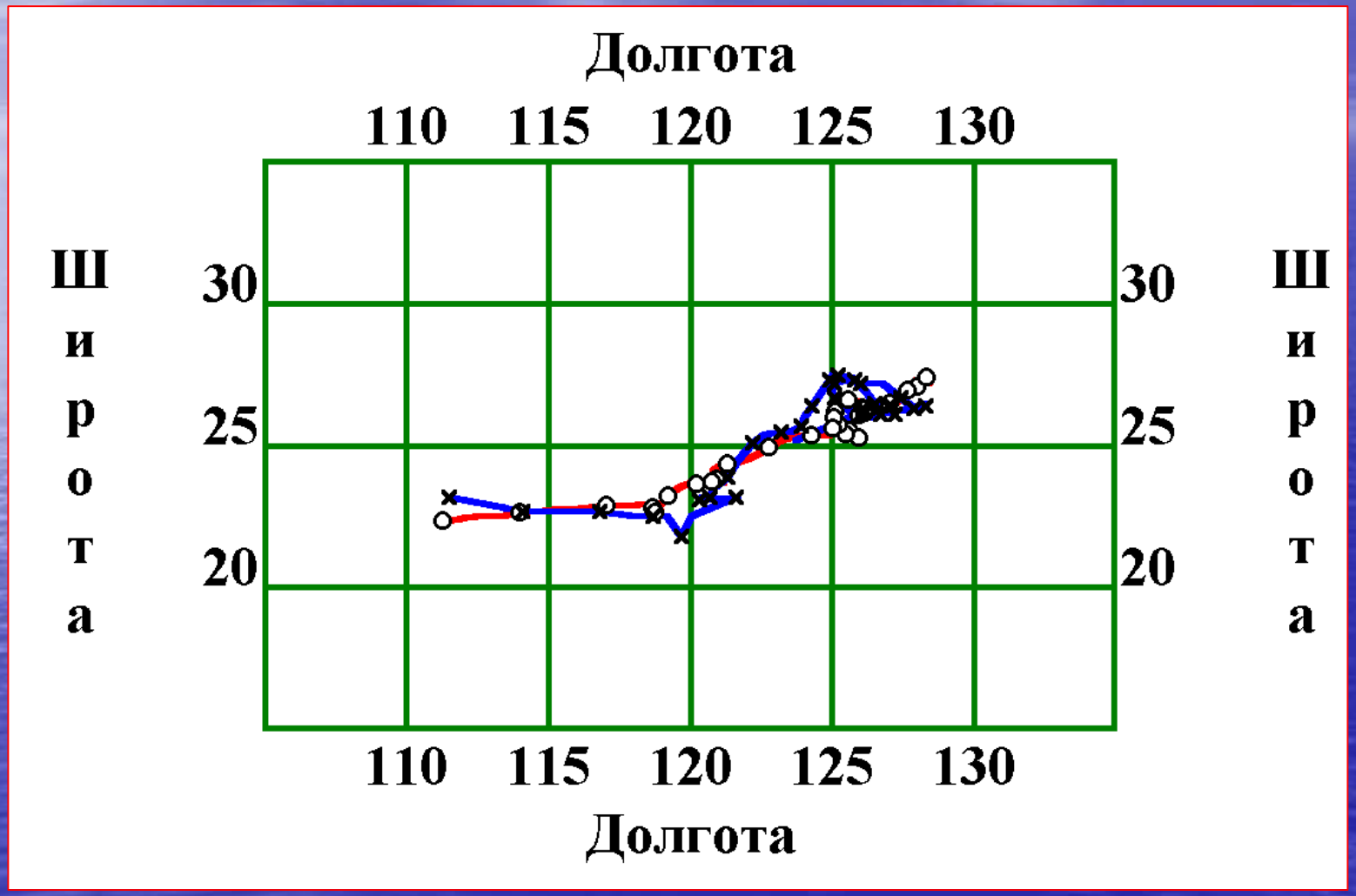


Тропический циклон

AL1603

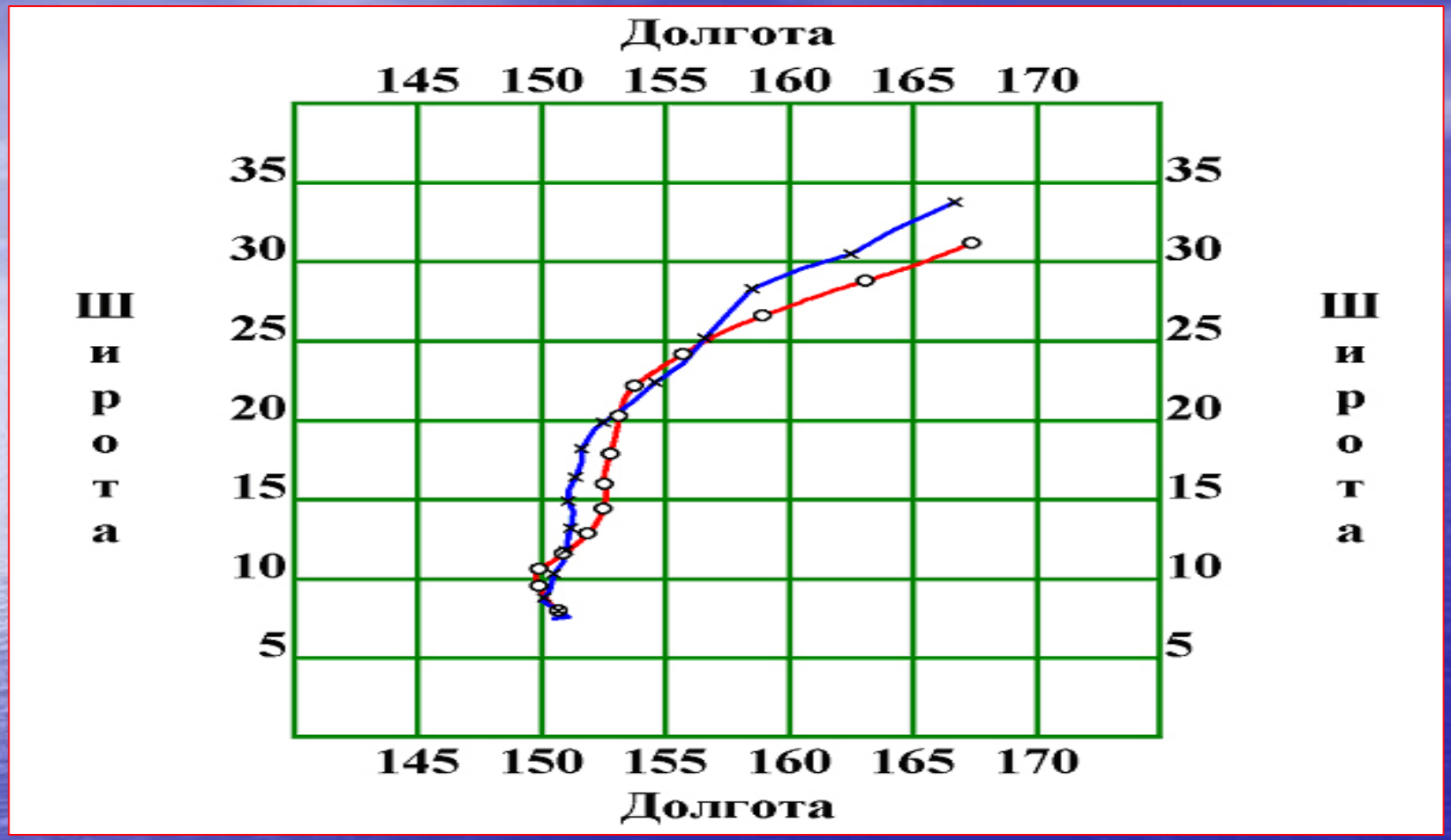
- время счета – 11 суток
- средняя ошибка – 118 км

Тропический циклон 120w

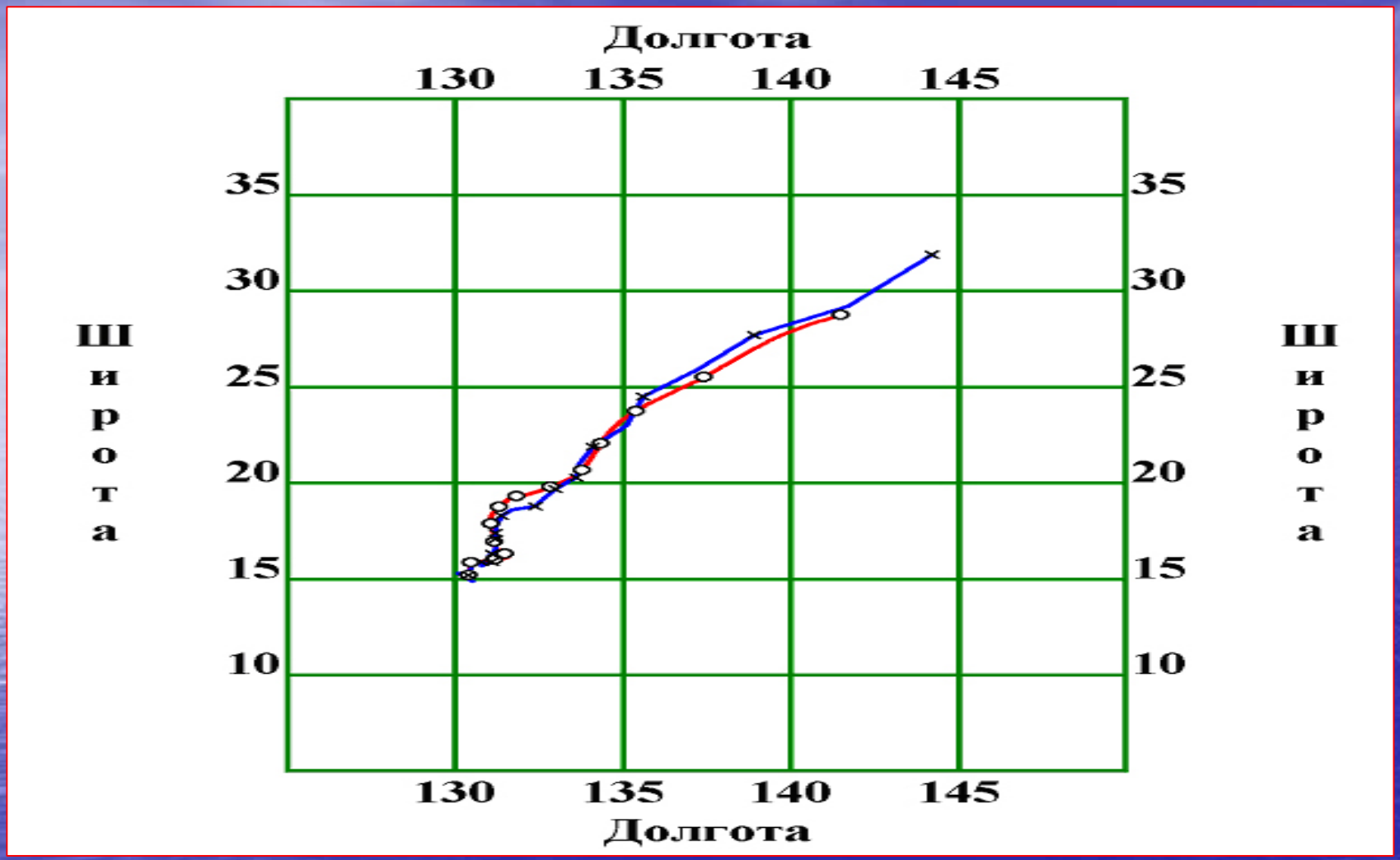


- время счета – 14.5 суток, средняя ошибка – 123 км

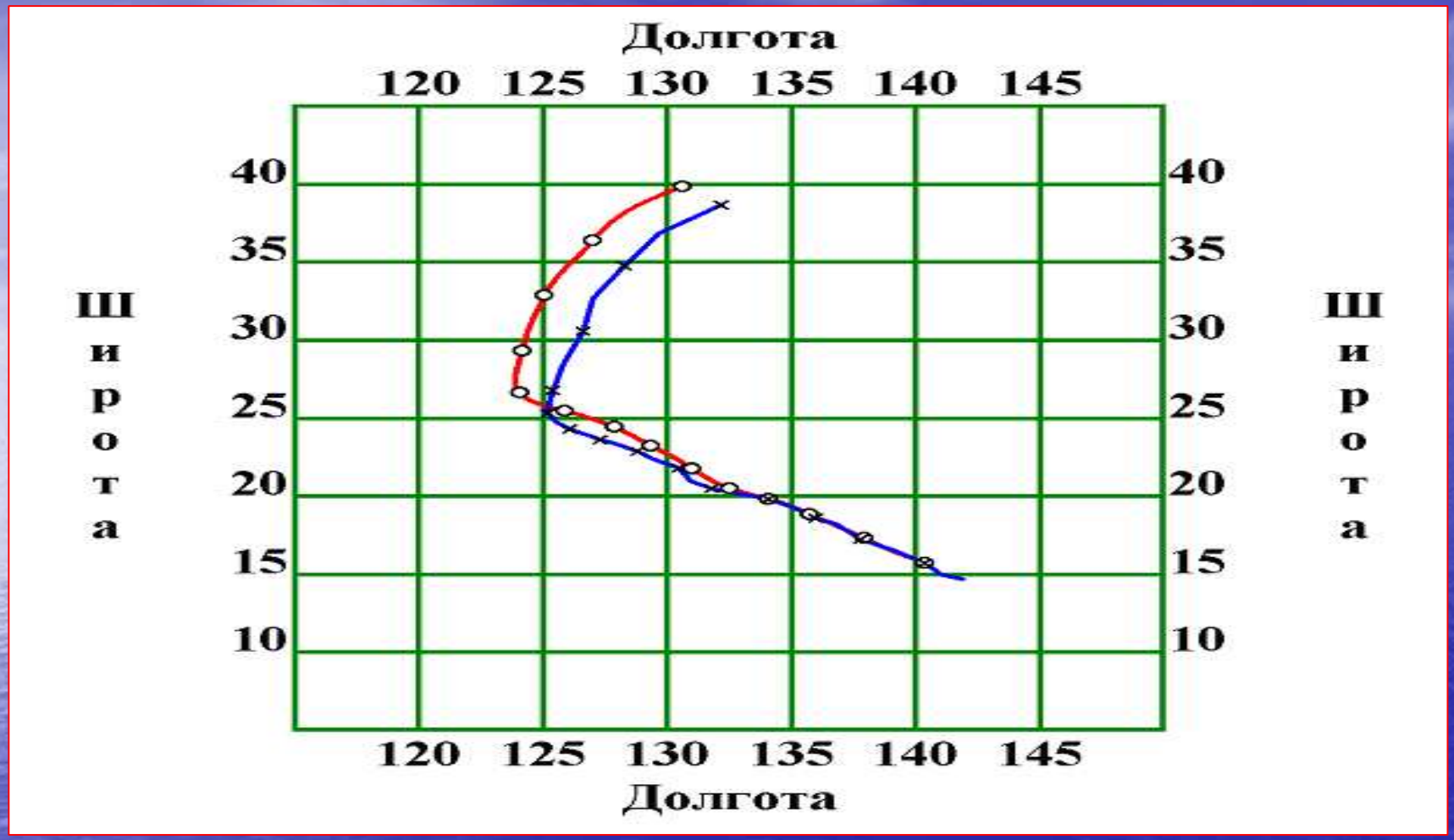
- Под квазипрогностическими имеются в виду расчёты, в которых по-прежнему в течение всего времени жизни ТЦ в качестве полей скорости ВП и интенсивности ТЦ используется объективный анализ соответствующих величин. При этом, однако, параметры модели подбираются из условия наилучшего совпадения расчётной и фактической траектории на протяжении предпрогностического периода, длительность которого в случае реального прогноза определяется имеющейся на момент прогноза информацией о предшествующем перемещении ТЦ.



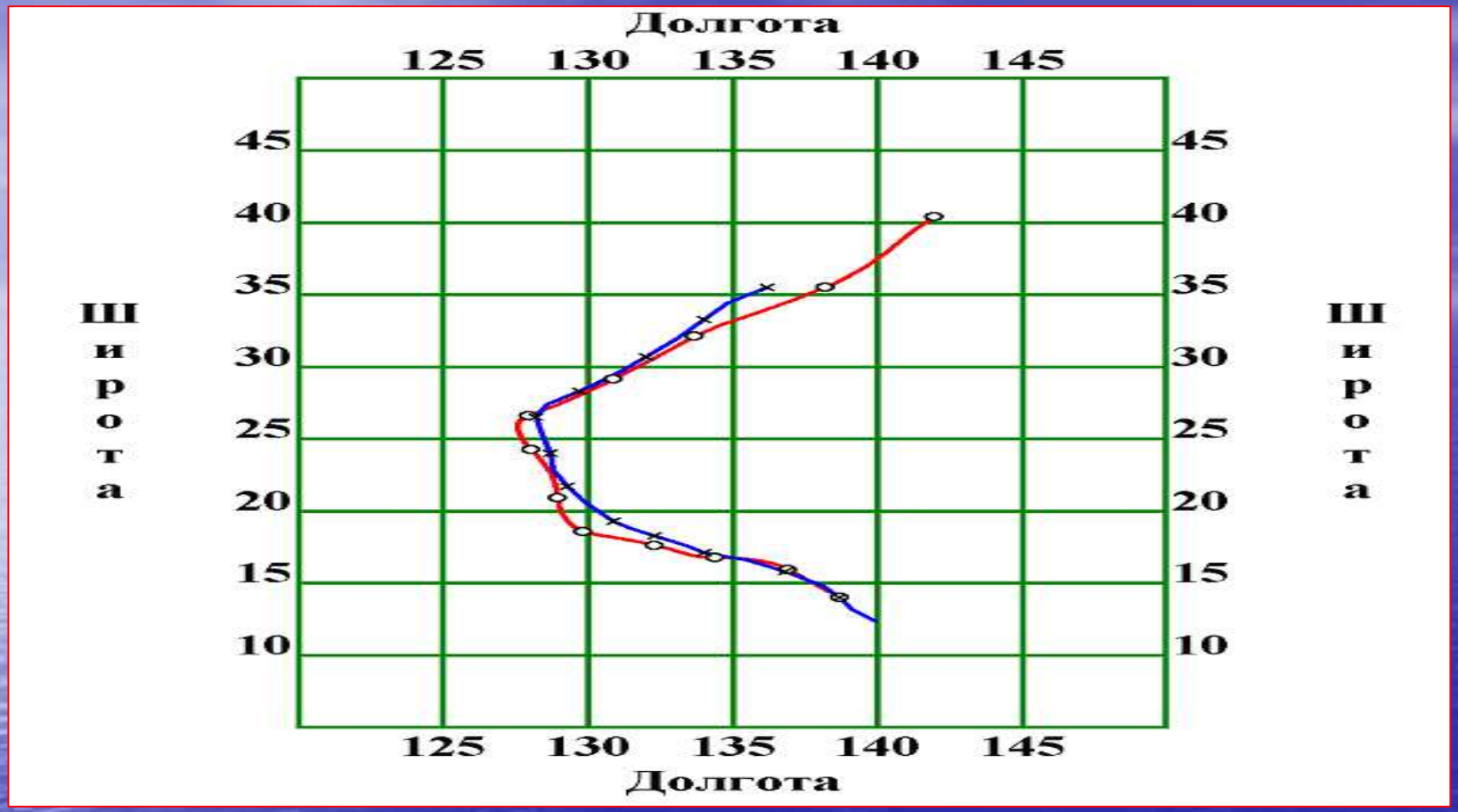
- ТС 042003w. Квазипрогноз на 4 суток, длительность предпрогностического периода 2 суток.
- Ошибки (83) 131, 79, 143, 196 км.



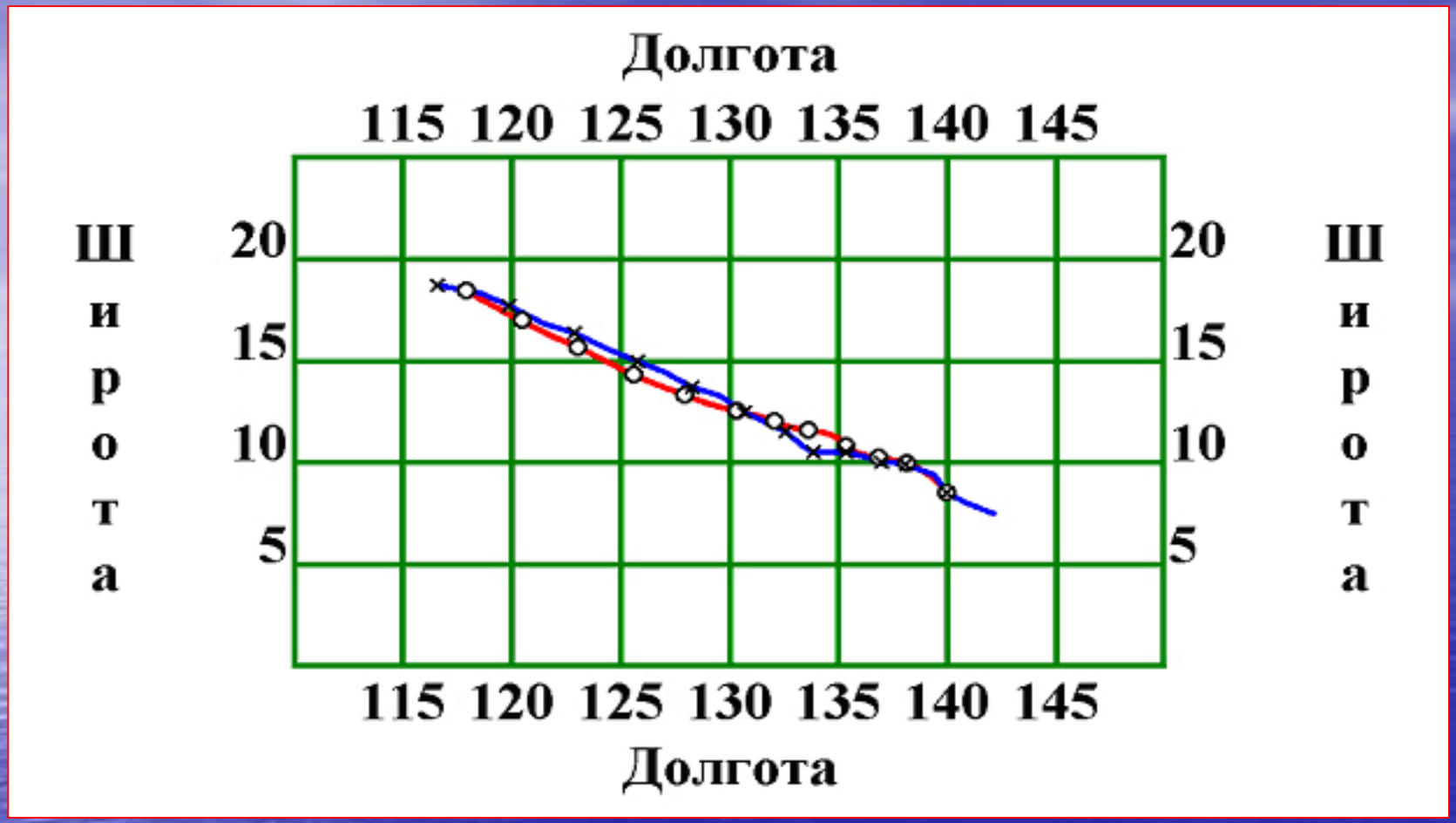
- ТС 202003w. Квазипрогноз на 4 суток, длительность предпрогностического периода 2 суток.
- Ошибки (15) 52, 20, 33, 282 км.



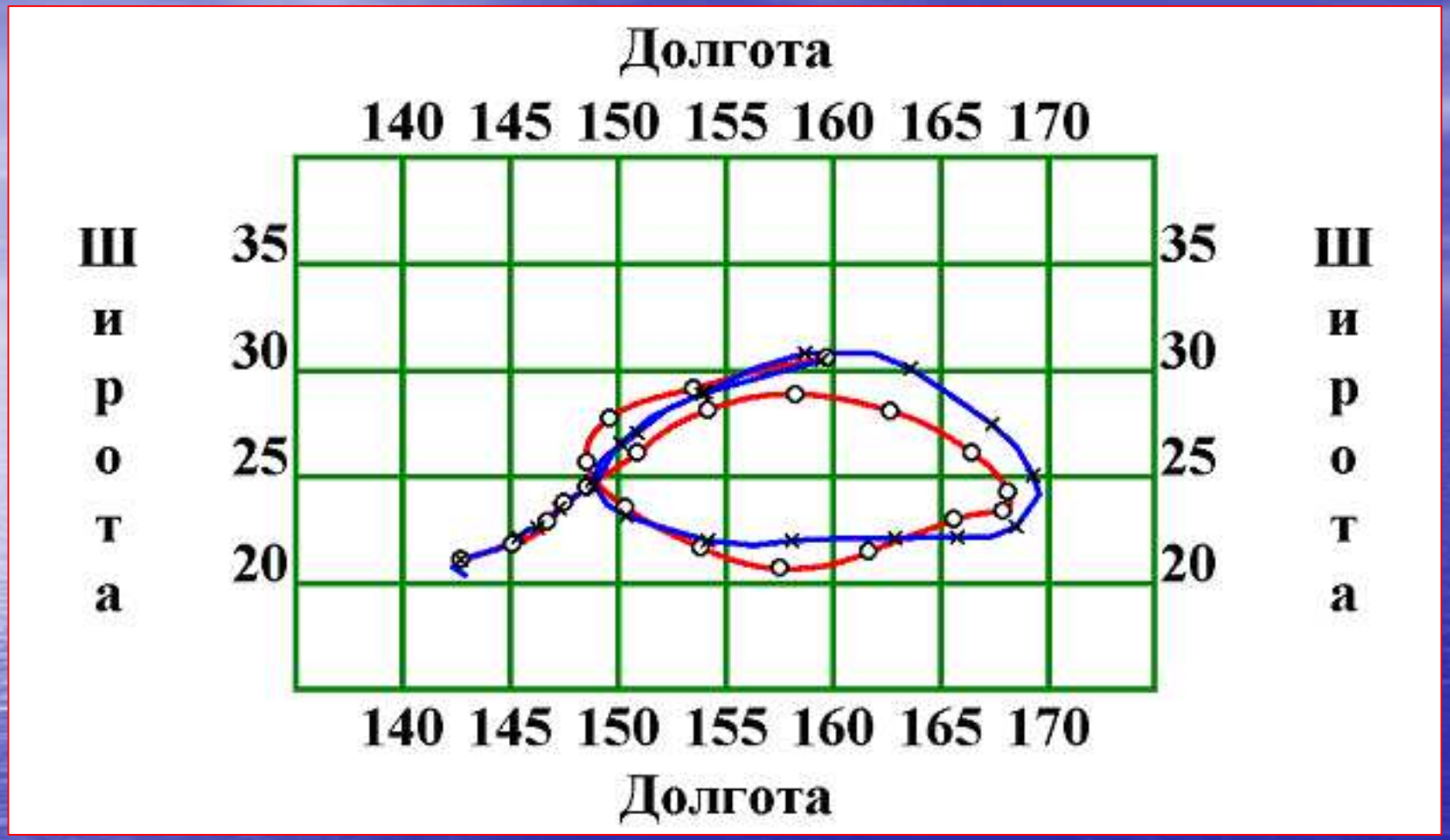
- ТС 152003w. Квазипрогноз на 5 суток, длительность предпрогностического периода 1.5 суток.
- Ошибки (1) 51, 110, 187, 295, 189 км.



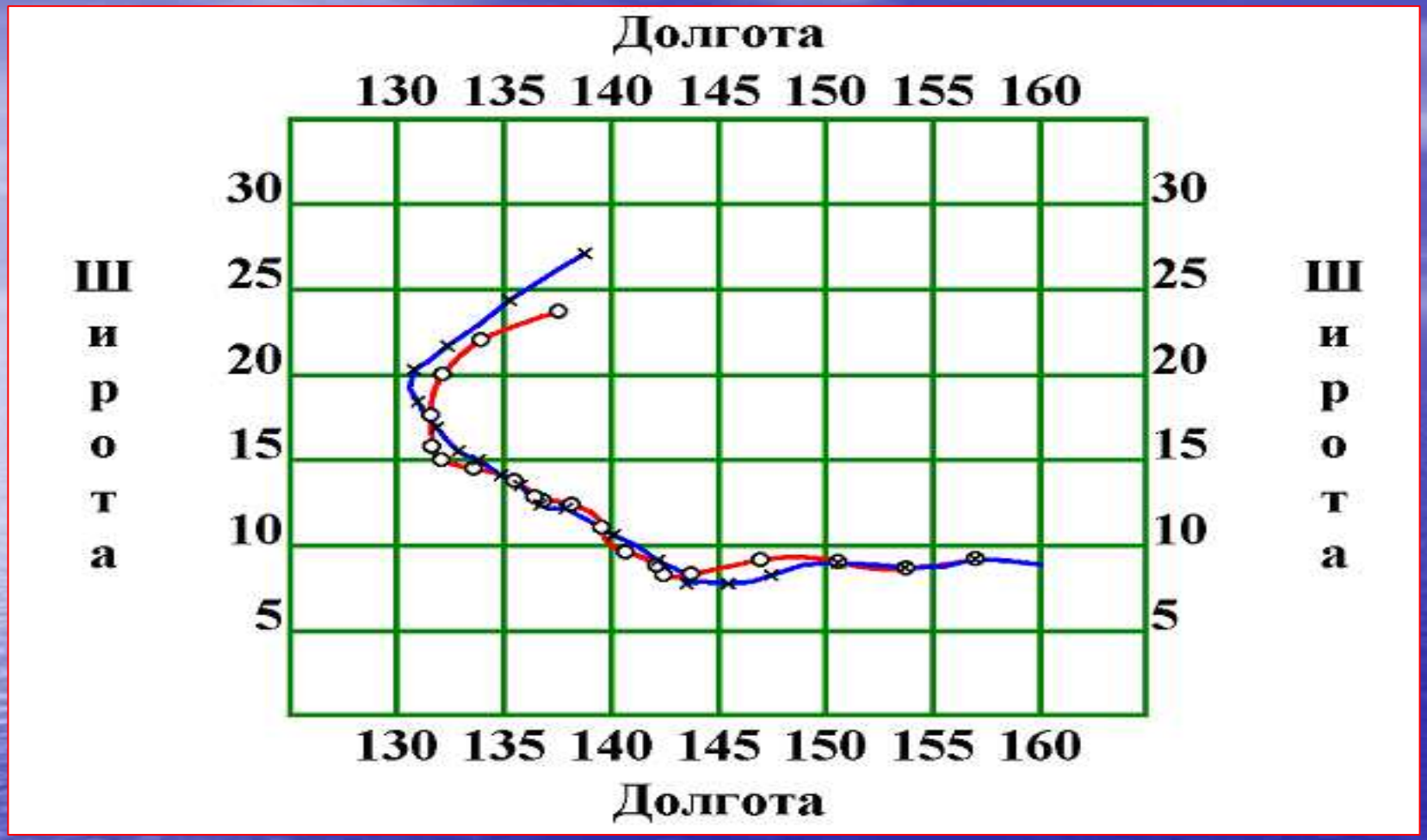
- ТС 112003w. Квазипрогноз на 5 суток, длительность предпрогностического периода 1 сутки.
- Ошибки (21) 74, 95, 27, 226, 754 км.



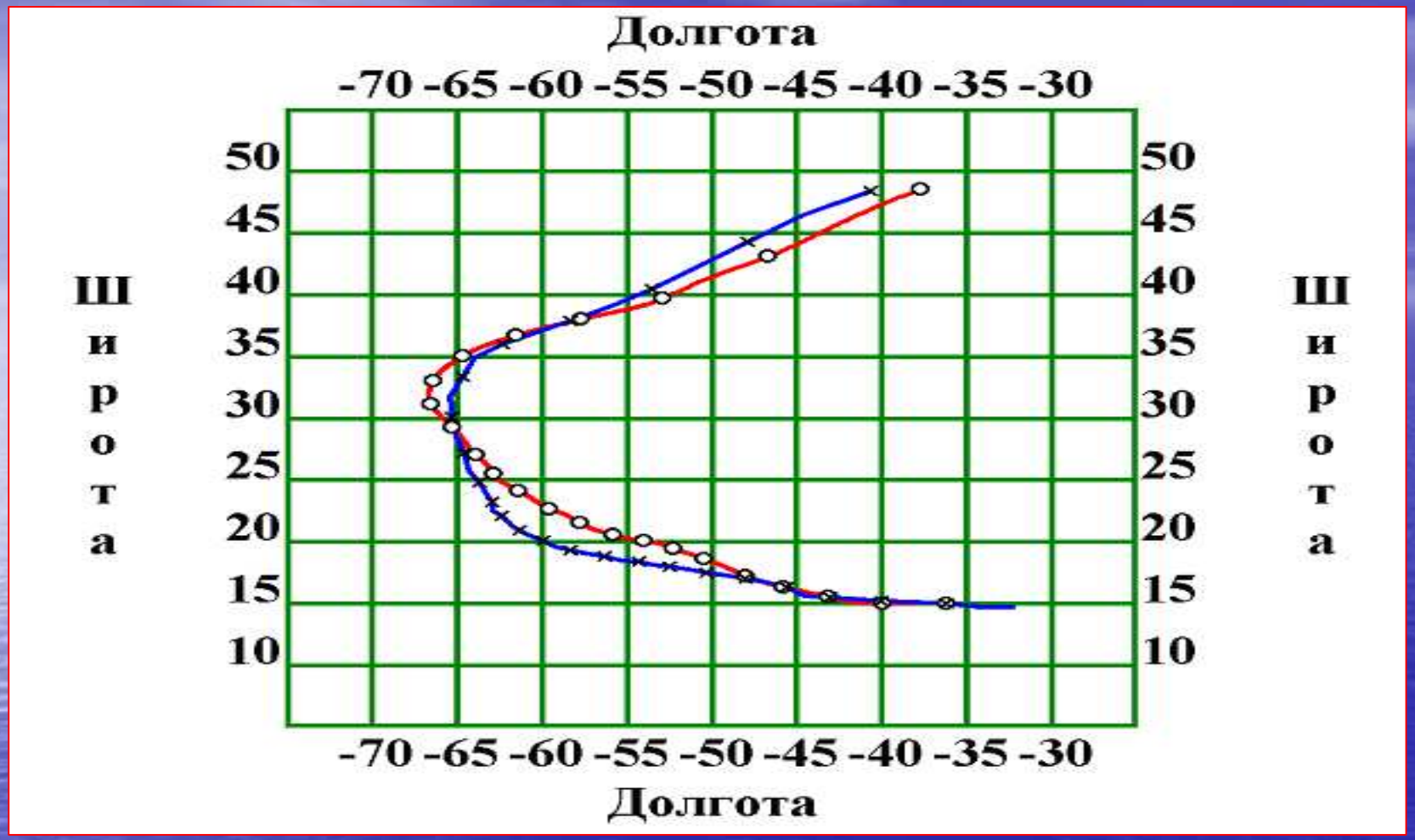
- ТС 092003w. Квазипрогноз на 5 суток, длительность предпрогностического периода 1 сутки.
- Ошибки (10) 35, 79, 56, 87, 146 км.



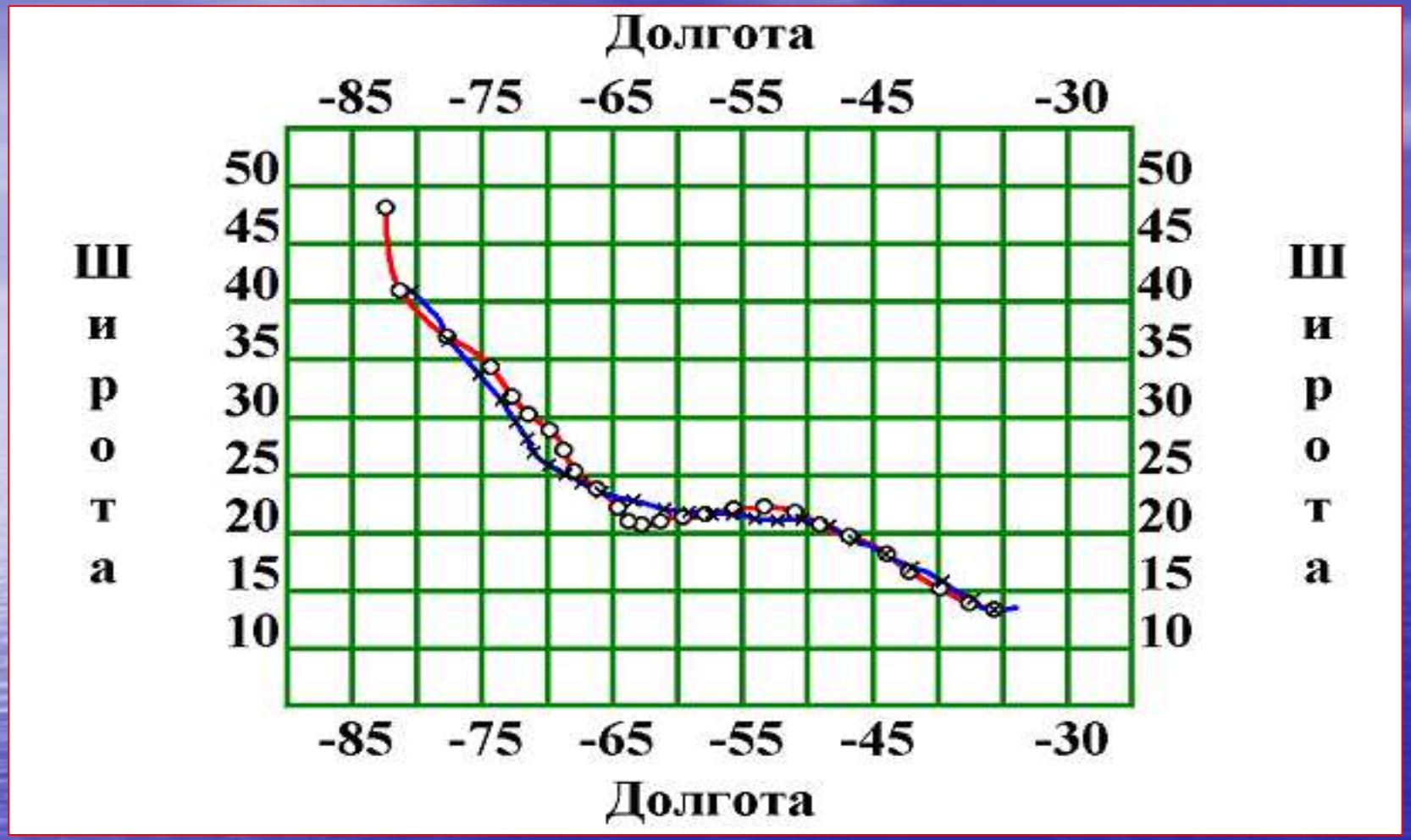
- ТС 212003w. Квазипрогноз на 8 суток, длительность предпрогностического периода 2 суток.
- Ошибки (33) 95, 241, 150, 89, 157, 43, 137, 24 км.



- **ТС 262003w. Квазипрогноз на 8.5 суток, длительность предпрогностического периода 1 сутки.**
- **Ошибки (5) 203, 30, 222, 150, 226, 208, 306, 299, (394) км.**



- ТС 102003AL. Квазипрогноз на 9 суток, длительность предпрогностического периода 2 суток.
- Ошибки (26) 164, 203, 289, 386, 523, 346, 105, 101, 216 км.



- ТС 132003AL. Квазипрогноз на 9.5 суток, длительность предпрогностического периода 3 суток.
- Ошибки (79) 159, 223, 244, 210, 130, 185, 237, 321, 574, (810) км.

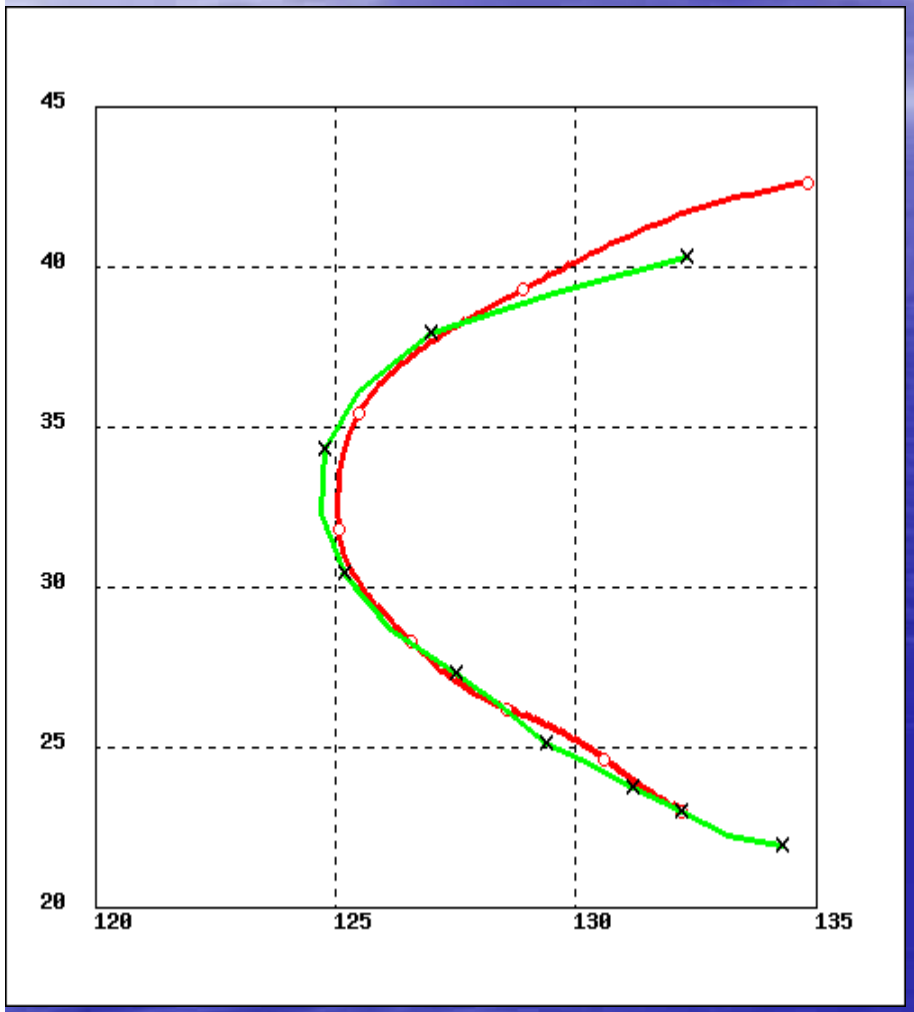
СРАВНЕНИЕ ОШИБОК ОФИЦИАЛЬНЫХ ПРОГНОЗОВ И КВАЗИПРОГНОЗОВ ГММ

Заблаговременность прогноза (в сутках)	3	4	5	6	7	8	9
Атлантика, ошибки официальных прогнозов, км	259	351	454				
Средние по сезону ТЦ 2010 года ошибки квазипрогнозов, км	**306 (65)**	**307 (48)**	**296 (34)**	**290 (26)**	**257 (18)**	**244 (12)**	**241 (8)**
Тихий океан, ошибки официальных прогнозов, км	315	450	540				
Средние по сезону ТЦ 2010 года ошибки квазипрогнозов, км	**217 (28)**	**272 (16)**	**258 (10)**	**257 (7)**	**267 (5)**	**301 (3)**	

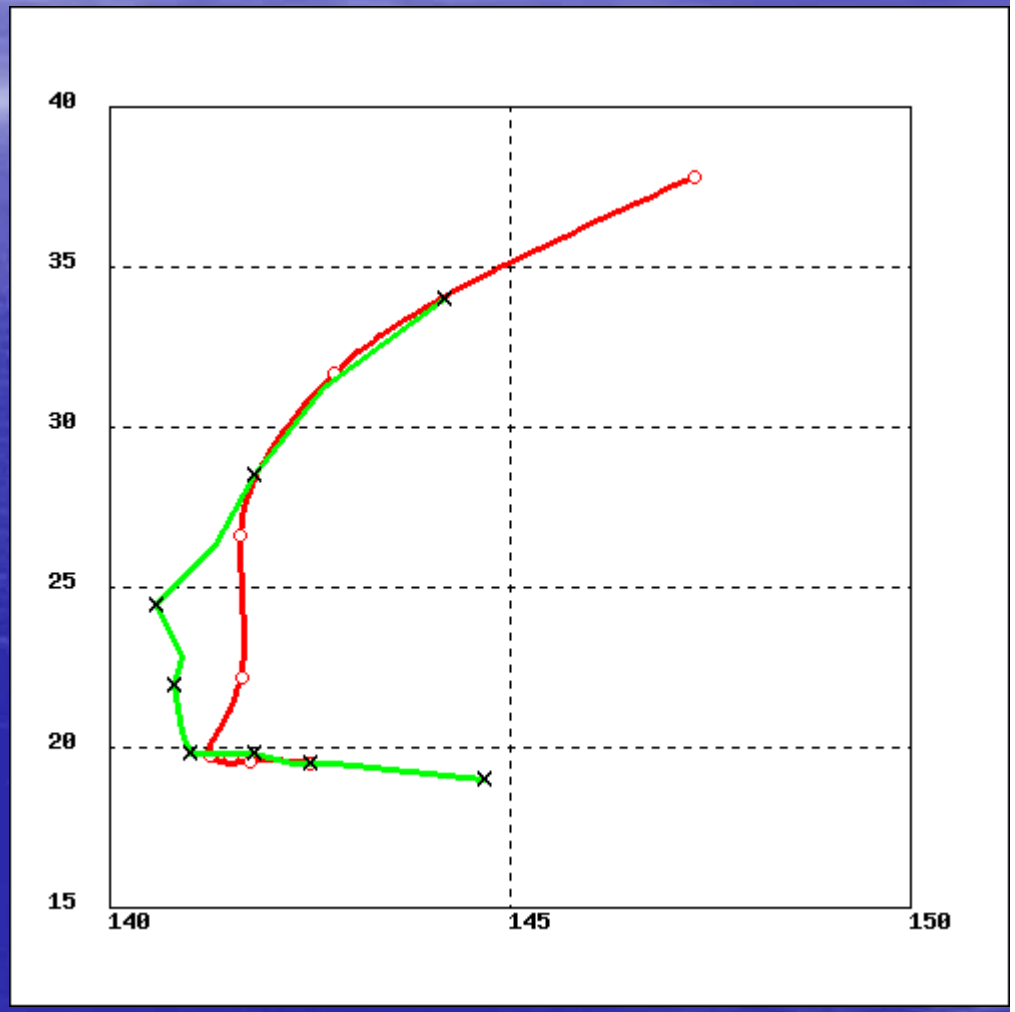
По мере того, как прогнозы крупномасштабных полей ветра и интенсивности ТЦ будут приближаться к объективному анализу, ошибки прогнозов ГММ будут приближаться к ошибкам квазипрогнозов.

Примеры прогноза точек поворота

- ТЦ 1008W

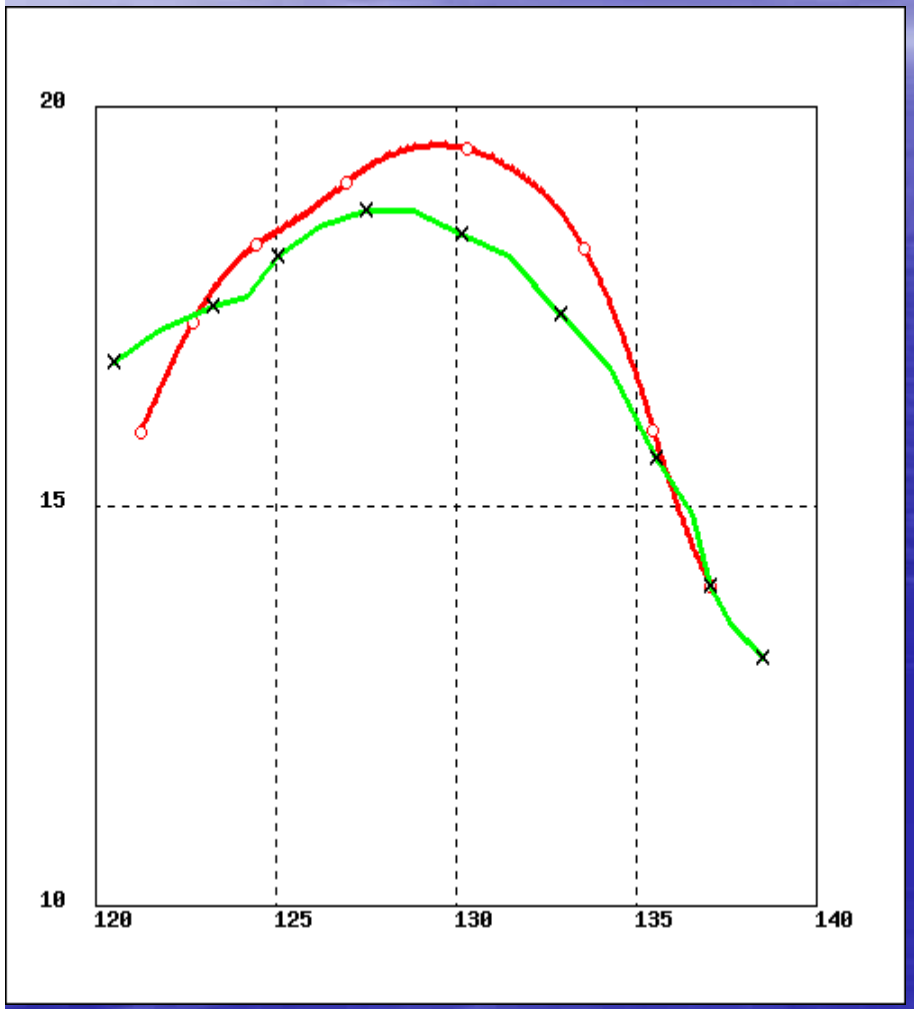


ТЦ 1013W

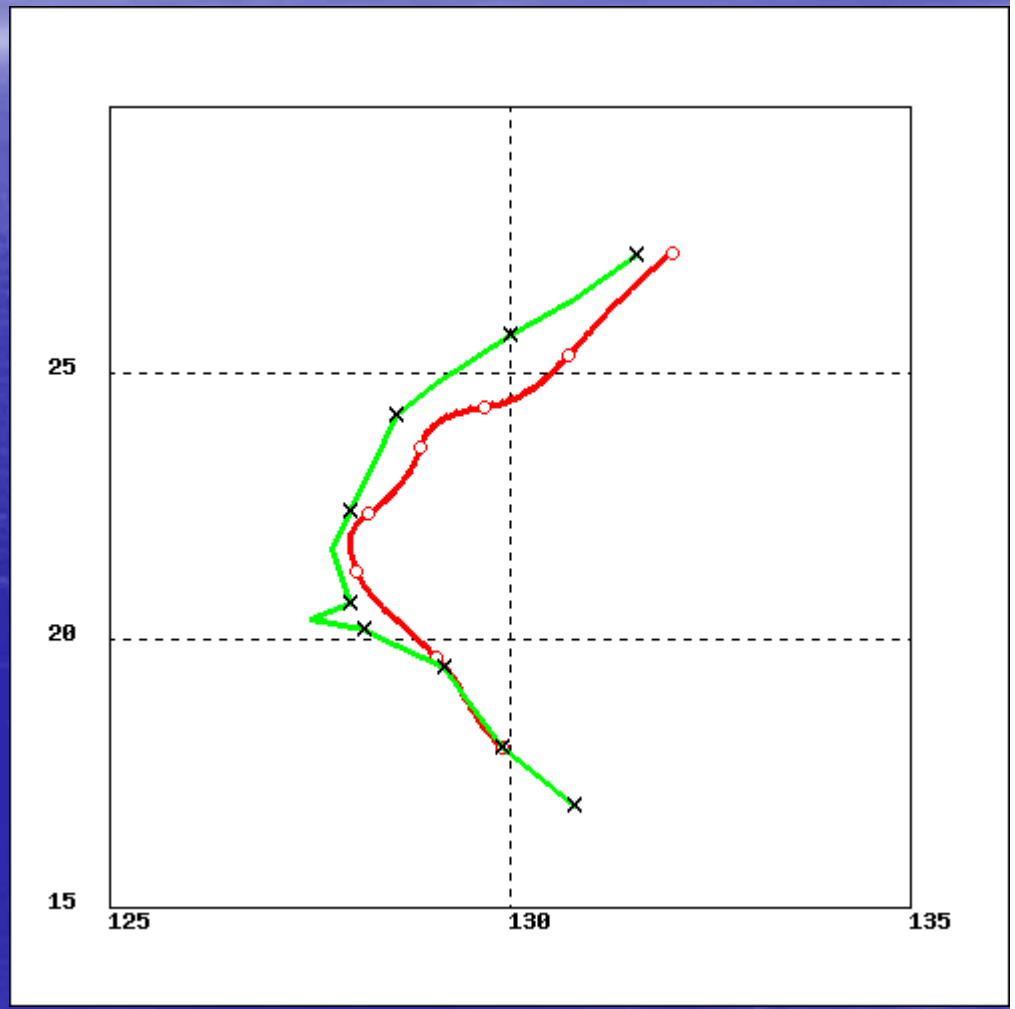


Примеры прогноза точек поворота

- ТЦ 1015W

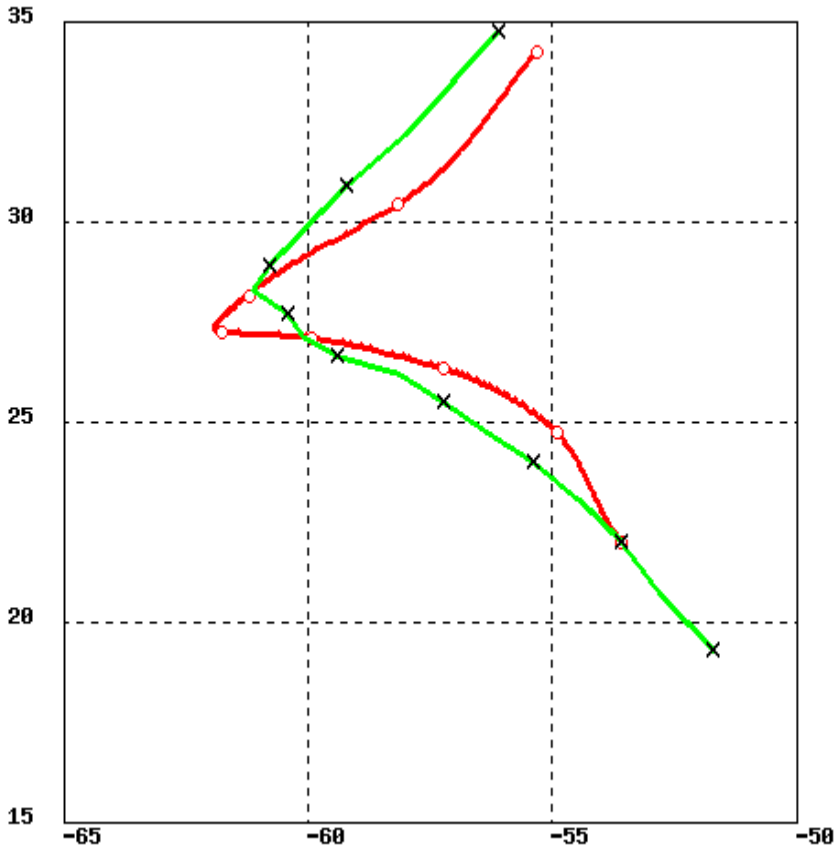


ТЦ 1016W

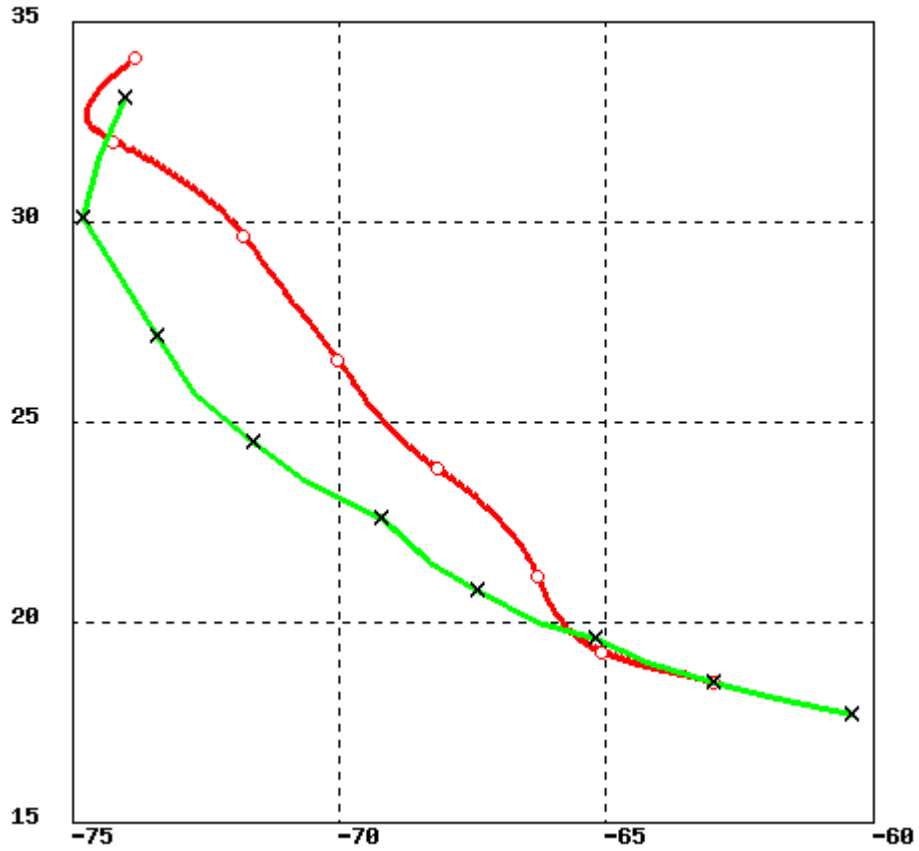


Примеры прогноза точек поворота

- ТЦ 1006AL

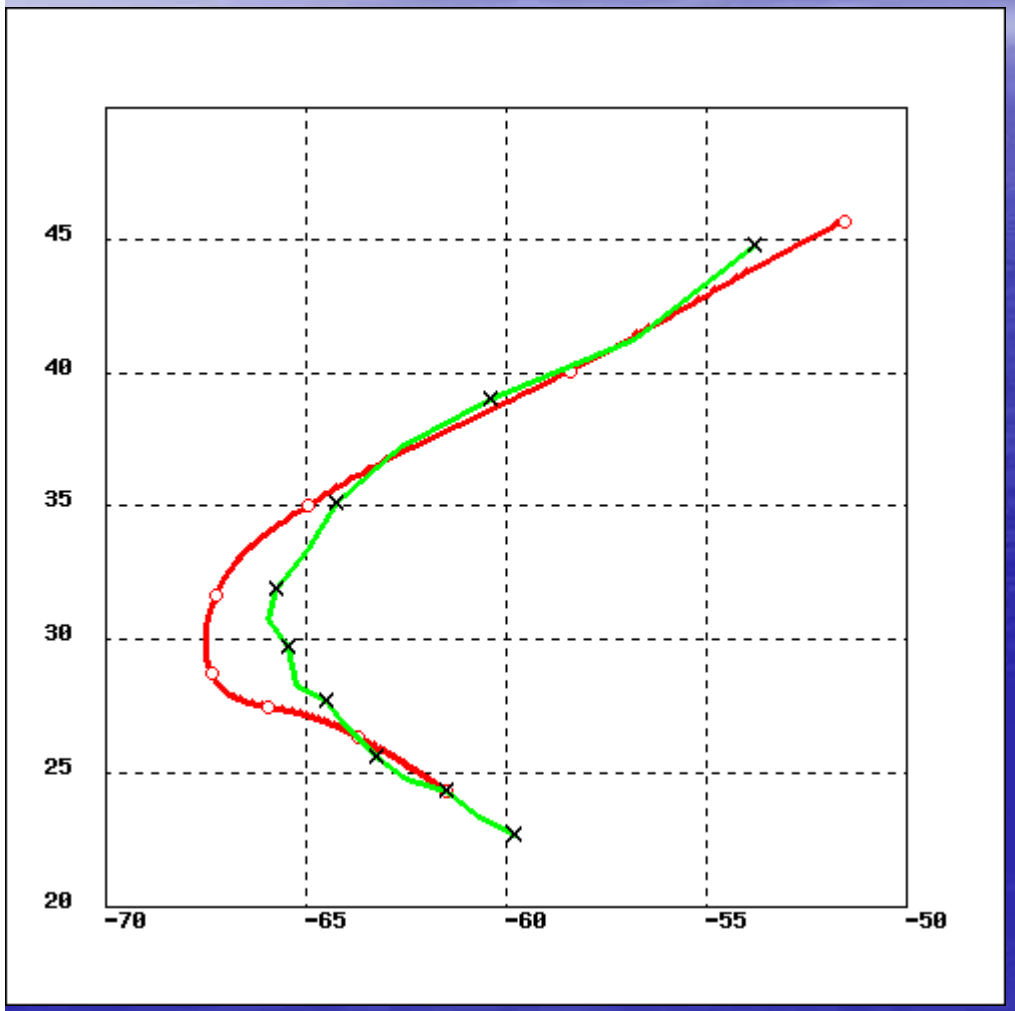


ТЦ 1007AL

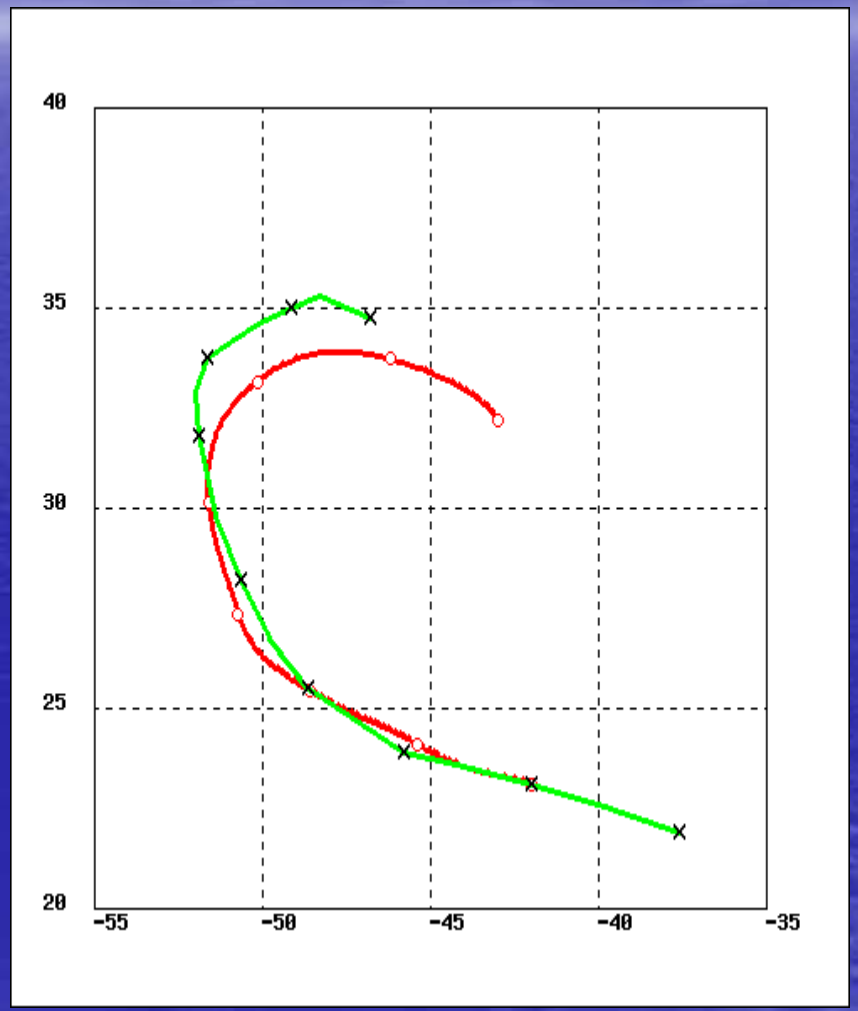


Примеры прогноза точек поворота

- ТЦ 1011AL



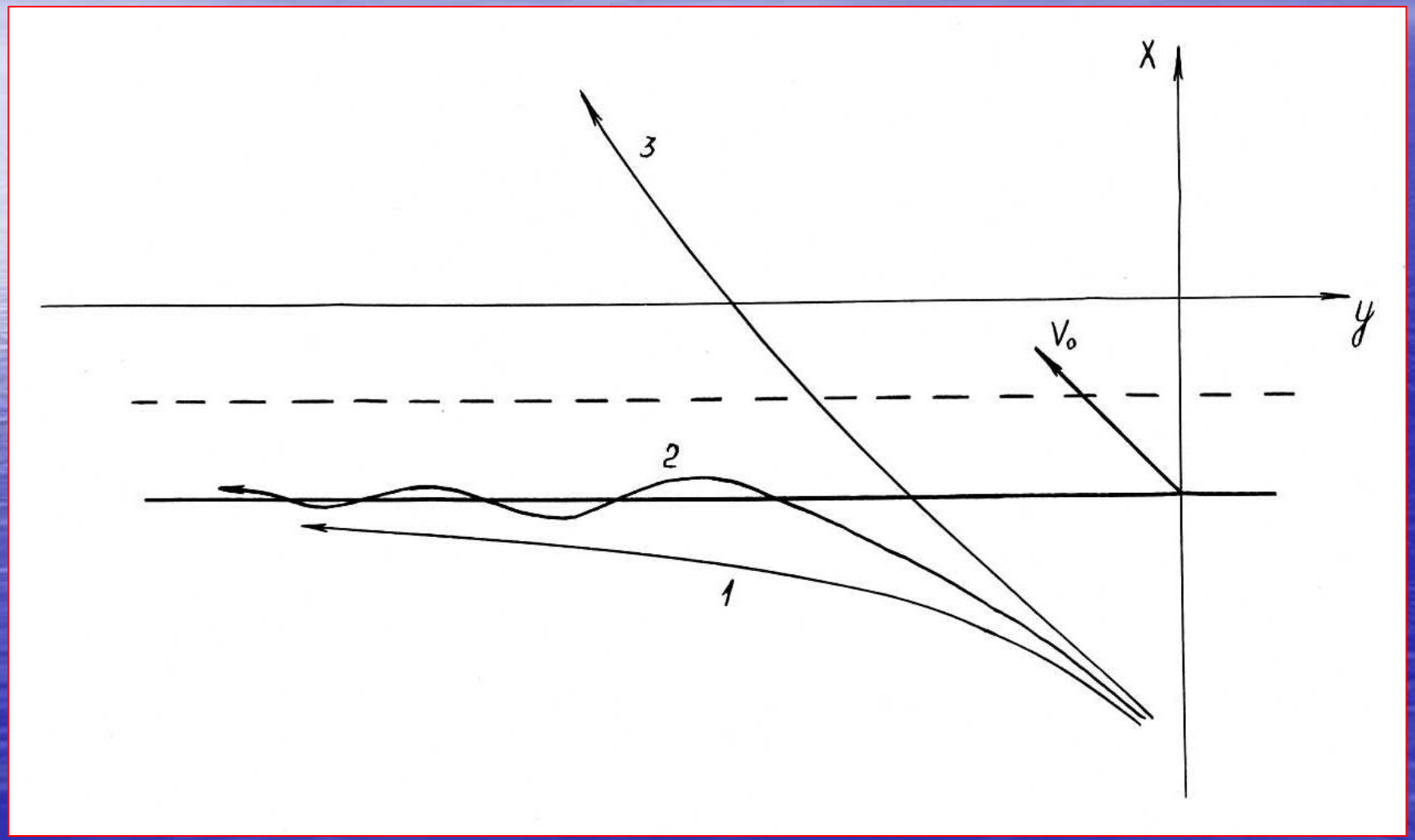
ТЦ 1012AL



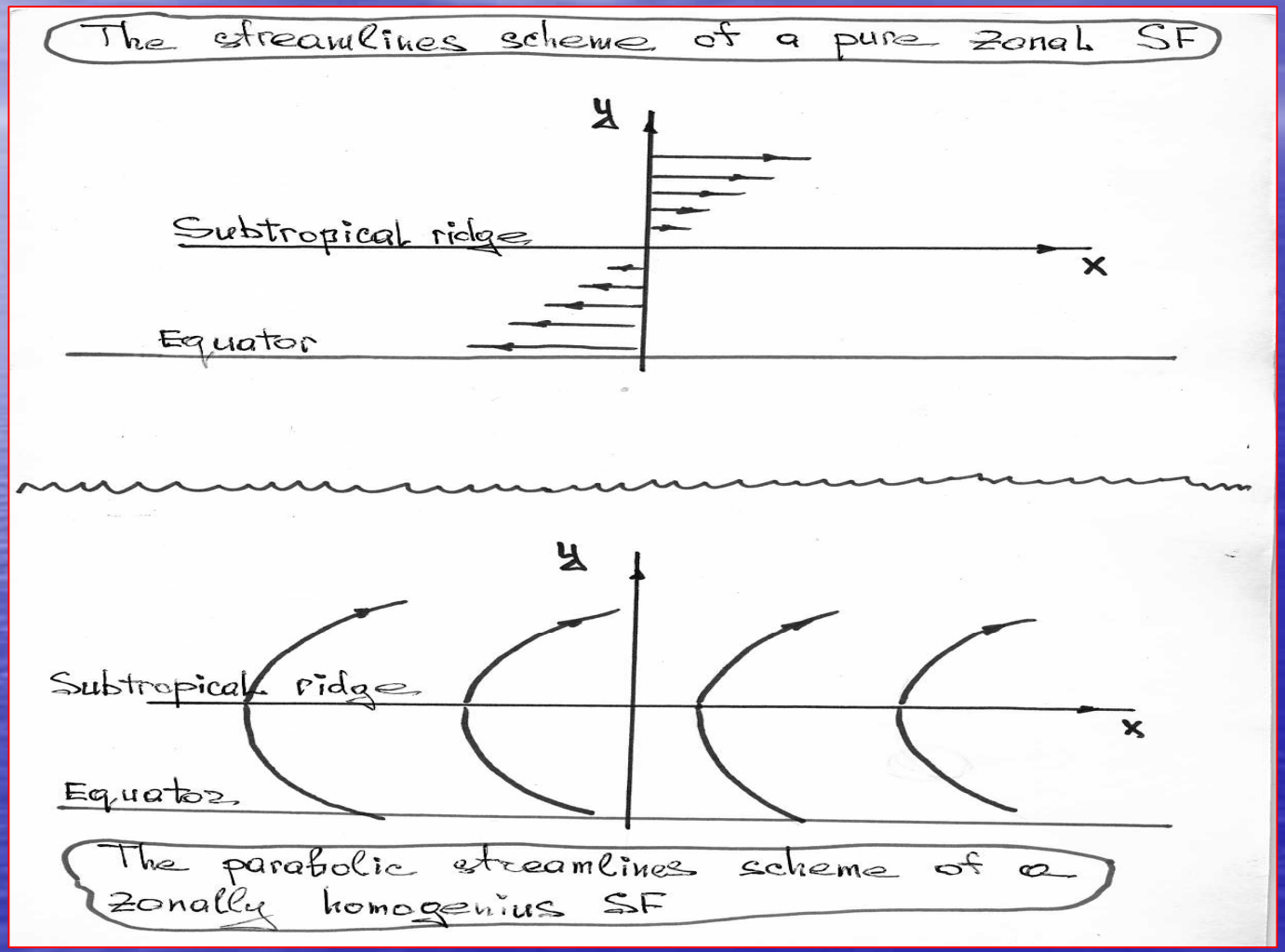
Выводы

1. ГММ достаточно корректно описывает перемещение ТЦ в течение всего времени жизни ТЦ.
2. Параметры ГММ достаточно корректно могут быть определены по части траектории ТЦ, соответствующей предпрогностическому периоду.
3. Средние по сезону ТЦ 2010 года ошибки квазипрогнозов ГММ на 3-5 суток существенно меньше ошибок официальных прогнозов.
4. Средние по сезону ТЦ 2010 года ошибки прогнозов ГММ на трое суток по северо-западной части Тихого океана незначительно (на 40 км) превышают ошибки официальных прогнозов и находятся на уровне ошибок прогнозов наиболее развитых динамических методов прогноза.
5. В перспективе ошибки прогноза перемещения ТЦ в рамках разрабатываемого метода будут приближаться к ошибкам квазипрогнозов.

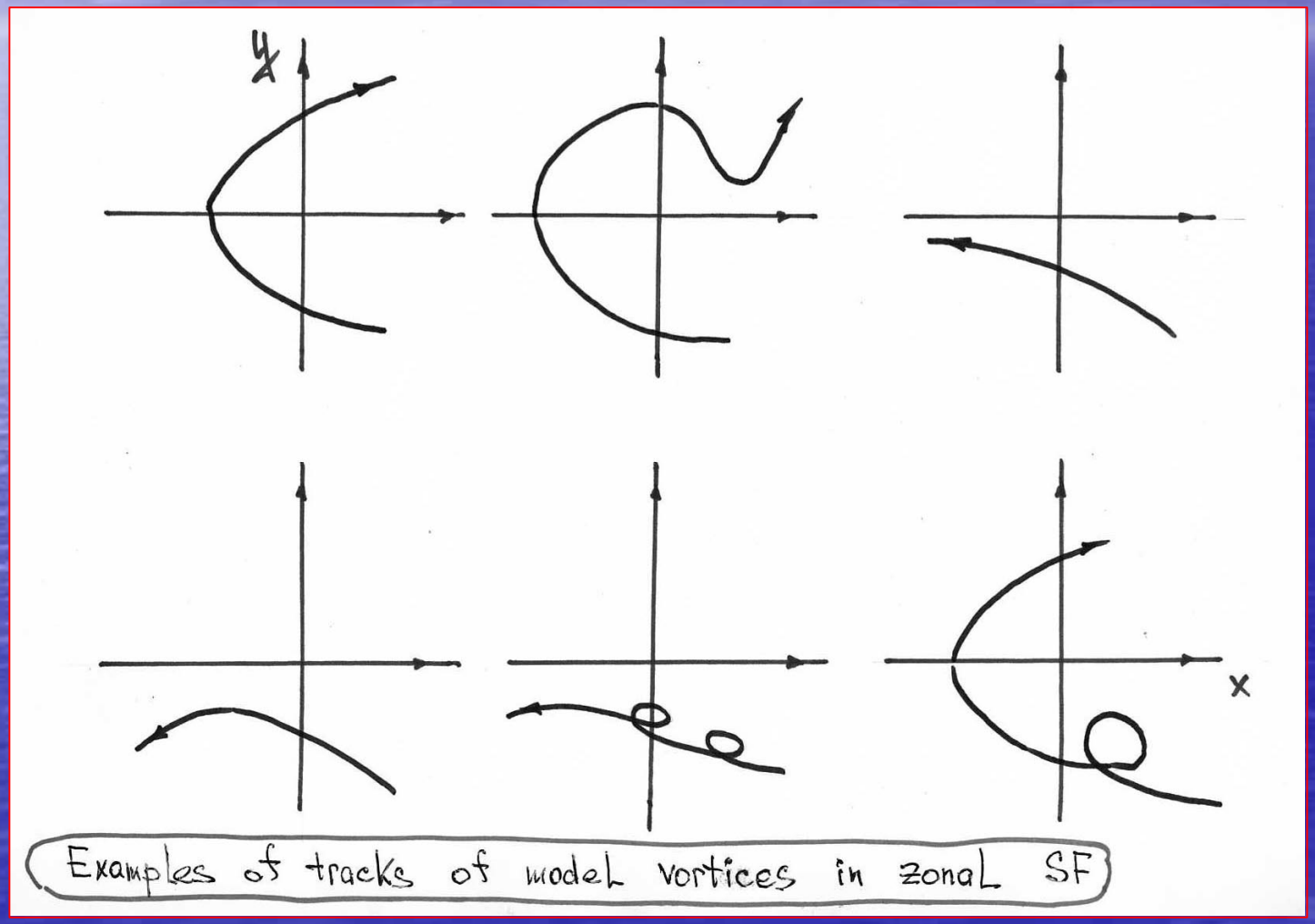
Анализ устойчивости траекторий в однородном ВП



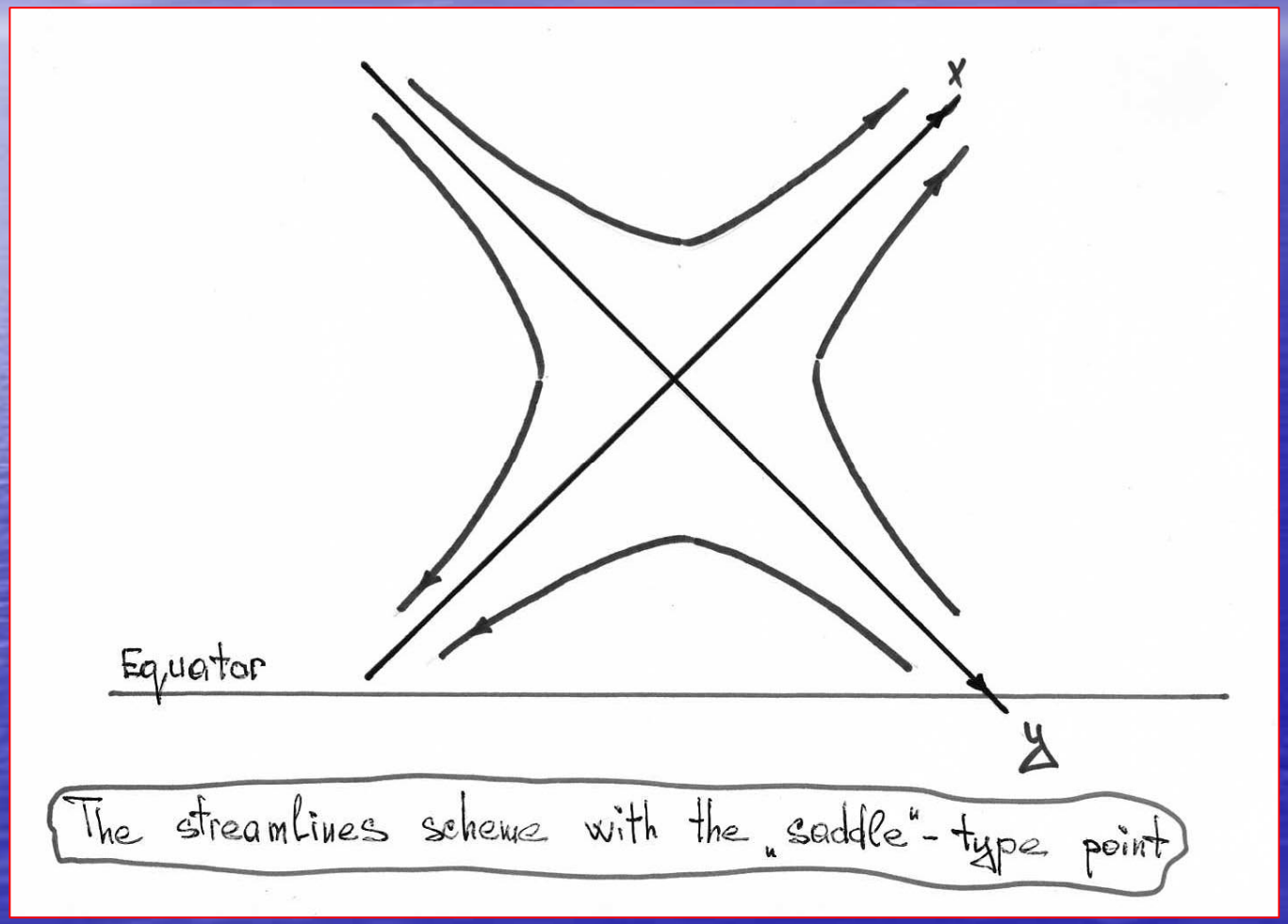
Зональные модельные ВП



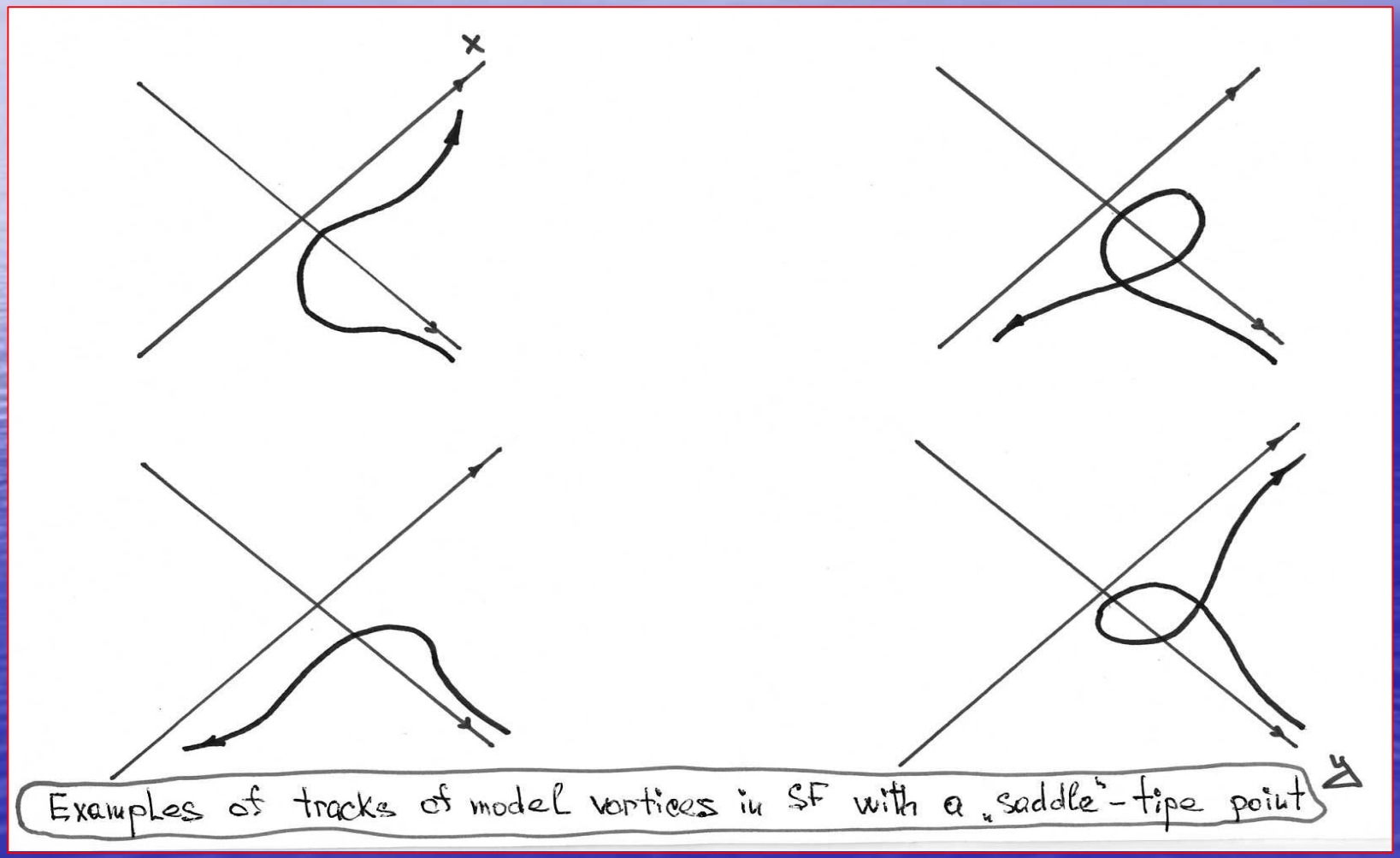
Траектории модельных вихрей в зональных ВП при различных зависимостях угловой скорости вращения от времени



Линии тока ВП с особой точкой поля скорости типа “седла”



Примеры траекторий модельных вихрей в ВП с особой точкой типа “седла” при различных зависимостях угловой скорости вращения от времени



Оценка времен релаксации скоростей

H=6 км **– высота однородной атмосферы;** $C_d = 1.1\times10^{-3}$ **– коэффициент сопротивления;** V_m**–максимальная скорость ветра в ТЦ;** R_m **–радиус максимальной скорости ветра; *L* – размер ТЦ.**

Время τ_0 **торможения ведущего потока (ВП):**

$$\frac{dV_0}{dt} = -a\cdot V_0\,,\quad a = \frac{C_d\cdot V_0}{H}\,,\quad \tau_0 = \frac{1}{a} \approx 5\div10 \quad \textbf{\textit{сут.}}$$

Время τ **торможения тропического циклона (ТЦ):**

$$\frac{dV}{dt} = -b\cdot V\,,\quad b = \frac{C_d\cdot V_m}{H}\cdot\frac{L}{R_m}\,,\quad \tau = \frac{1}{b} \approx 0.5 \quad \textbf{\textit{сут.}}$$

Время $\tau_{увл}$ **увлечения ТЦ ведущим потоком вследствие лобового сопротивления:**

$$\frac{dV}{dt} = -c\cdot\left(V - V_0\right)\,,\ c = \frac{2\cdot k\cdot\left|V - V_0\right|}{\pi\cdot L} \approx \frac{2\cdot k\cdot V_0}{\pi\cdot L}\,,\ k\approx0.1\div1\,,\ \tau_{увл} = \frac{1}{c} \approx 0.5\div5 \quad \textbf{\textit{сут.}}$$