



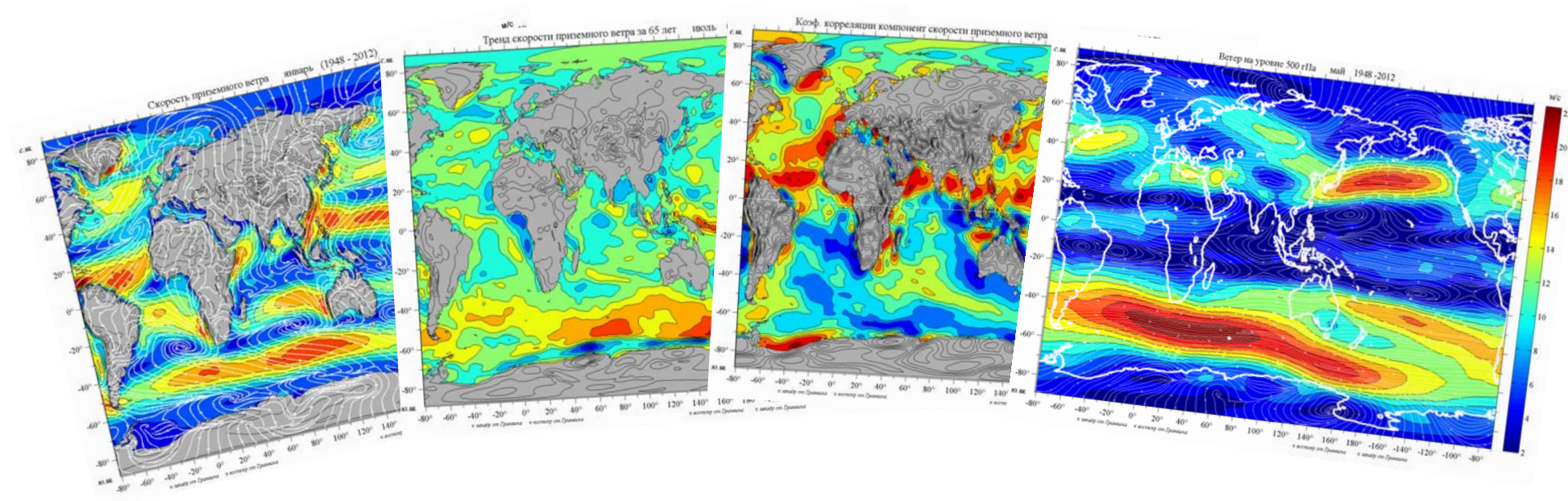
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

«МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН»

А.Е. Букатов, М.В. Бабий, А.А. Букатов

АТЛАС

СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ВЕТРА



ISBN 978-5-9908460-3-6

DOI: 10.22449/978-5990-846-036

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РАН»**

**А.Е. Букатов, М.В. Бабий, А.А. Букатов**

**АТЛАС  
СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ВЕТРА**

**Севастополь**

**2017**



**УДК: 551.552+551.515.3**  
**ББК 26.233**  
**Б90**

Печатается по решению Ученого совета ФГБУН МГИ

Рецензенты:

к.физ.-мат. наук, доцент А.В. Зимин  
к.физ.-мат. наук, ст.н.с. А.А. Сизов

**Букатов А.Е., Бабий М.В., Букатов А.А.**

**Б90** Атлас структуры поля ветра / А.Е. Букатов, М.В. Бабий, А.А. Букатов – Севастополь: ФГБУН МГИ, 2017. – 298 с., 264 илл.  
ISBN 978-5-9908460-3-6  
DOI: 10.22449/978-5990-846-036

**Bukatov A.E., Babii M.V., Bukatov A.A.**

**Б90** Atlas of wind field structure / A.E. Bukatov, M.V. Babii, A.A. Bukatov – Sevastopol: FSBSI MHI, 2017. – 298 p., 264 fig.  
ISBN 978-5-9908460-3-6  
DOI: 10.22449/978-5990-846-036

В Атласе представлены климатические карты структуры поля приземного ветра и ветра в тропосфере на 11-ти уровнях от 100 до 925 гПа. Для приземного ветра также приведены карты трендов скорости ветра, карты ее среднеквадратичного отклонения, коэффициента корреляции компонент скорости, карты кинематических характеристик ветра: дивергенции, угловой скорости вращения относительного вихря, дилатации и угла дилатации. Карты построены на основе данных NCEP/NCAR за период 1948 – 2012 гг. Атлас может быть полезен специалистам в области климата, метеорологии, океанографии, экологии.

Ключевые слова: ветер, поле ветра, кинематические характеристики ветра, тренд скорости ветра, приземный ветер, ветер в тропосфере.

The atlas presents the climatic maps of the wind above-ground level and wind in the troposphere on 11 levels from 100 to 925 hPa. For the wind above-ground level it is shown the trend maps of the wind velocity, maps of its standard deviation, maps of correlation coefficient of velocity components, maps of the wind kinematics parameters: divergence, angular rotation velocity of relative vortex, dilatation and dilatation angle. Maps are built on the basis of NCEP/NCAR data for period 1948 – 2012. The atlas is intended for specialists in the field of climate research, meteorology, oceanography and ecology.

Keywords: wind, wind field, wind kinematics parameters, trend of the wind velocity, wind above-ground level, wind in the troposphere

**УДК: 551.552+551.515.3**  
**ББК 26.233**

ISBN 978-5-9908460-3-6  
DOI: 10.22449/978-5990-846-036

© А.Е. Букатов, М.В. Бабий, А.А. Букатов, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение .....	4
Литература .....	6
 <b>Часть I. Приземный ветер</b> .....	 7
1. Климатическое поле ветра .....	7
1.1. Поле ветра .....	8
1.2. Направление ветра .....	21
1.3. Среднеквадратическое отклонение модуля скорости ветра .....	34
1.4. Тренд скорости ветра .....	47
1.5. Корреляция компонент вектора скорости ветра .....	60
1.6. Вероятность отсутствия корреляции по Пирсону .....	73
2. Кинематические характеристики ветра .....	
2.1. Дивергенция .....	86
2.2. Угловая скорость .....	99
2.3. Дилатация .....	112
2.4. Угол дилатации .....	125

	стр.
 <b>Часть II. Климатическое поле ветра в тропосфере на 11 уровнях</b> .....	 138
1. Поле ветра на уровне 100 гПа .....	139
2. Поле ветра на уровне 150 гПа .....	152
3. Поле ветра на уровне 200 гПа .....	165
4. Поле ветра на уровне 250 гПа .....	178
5. Поле ветра на уровне 300 гПа .....	191
6. Поле ветра на уровне 400 гПа .....	204
7. Поле ветра на уровне 500 гПа .....	217
8. Поле ветра на уровне 600 гПа .....	230
9. Поле ветра на уровне 700 гПа .....	243
10. Поле ветра на уровне 850 гПа .....	256
11. Поле ветра на уровне 925 гПа .....	269
 <b>Приложение 1</b> .....	
1.1. Расчет среднего модуля вектора скорости ветра ..	282
1.2. Карты распределения $\Delta V$ .....	284
 <b>Приложение 2</b> .....	
Формулы расчета кинематических характеристик поля ветра .....	297

## Введение

Отмечающиеся в последнее столетие существенные климатические изменения сопровождаются сменой макроциркуляционных процессов в атмосфере и изменчивостью погодных условий [1, 3]. Степень изученности этих процессов определяет общий прогресс в решении проблем теории климата, долгосрочных прогнозов погоды и теоретических основ разработки методов воздействия на климат и погоду. Одним из наиболее важных климатических элементов является ветер. Он отражает условия атмосферной циркуляции, осуществляющей перенос масс с различными физическими свойствами и тесно связанной с неравномерностью распределения давления воздуха. Крупномасштабные структурные особенности распределений давления воздуха имеют преимущественно зональный характер с проявлением обширных областей как высокого, так и низкого давления. Такие области называют центрами действия атмосферы. Они формируют атмосферные движения большого масштаба, проявляющиеся в форме

циклонических и антициклонических вихревых образований, определяют состояние общей атмосферной циркуляции. Их влияние проявляется в изменчивости глобальной и региональной структуры поля ветра, интенсивности зональной и меридиональной циркуляции. Характеристика сезонных и многолетних колебаний интенсивности и положения циклонических центров действия атмосферы в Южном полушарии дана в [6] на основе анализа распределений атмосферного давления на уровне моря. Результаты исследования изменений величины и положения максимума и минимума атмосферного давления на уровне моря для антициклонических и циклонических центров действия атмосферы в Северном полушарии приведены в [4, 5, 7].

Пространственно-временную динамику положений центров циклонических и антициклонических вихревых образований можно проследить и по структуре поля приземного ветра [2]. В предлагаемом атласе представлены карты климатического поля ветра, полученные по среднемесячным значениям зональной ( $u$ ) и ме-

ридиональной ( $v$ ) составляющих скорости ветра в узлах сетки с величиной ячейки  $1.885^\circ$  по долготе и  $1.935^\circ$  по широте за период 1948-2012 гг. по данным NCEP/NCAR [9].

Для построения карт исходные значения компонент скорости линейно интерполировались в узлы одноградусной сетки. Длина временных рядов компонент скорости в каждом узле сетки составляет 780 отсчетов. По значениям компонент в каждом узле сетки вычислена величина скорости ветра  $V$ . Климатические значения величины скорости  $\bar{V}$  ветра для каждого месяца года получены по осредненным значениям  $V$ . Способ вычисления климатических значений модуля скорости ветра изложен в Приложении 1.

На картах приведены распределения климатических значений модуля скорости ветра и соответствующие линии тока воздуха. При этом линии тока нанесены белым цветом, а цветовые области характеризуют значения модуля вектора скорости. Изолинии модуля скорости ветра (изотахи) даны с шагом 1 м/с.

В первой части атласа приведены карты климатического поля для приземного ветра, а во второй – климатические карты поля ветра в тропосфере. Для приземного ветра приведены и карты направления ветра. Они представляют региональное распределение угла между направлением ветра и направлением на север. Угол отсчитывается по часовой стрелки. Здесь же представлены и карты среднеквадратического отклонения модуля скорости ветра, тренда скорости ветра, корреляции компонент скорости ветра, вероятности отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону и карты распределения кинематических характеристик ветра. Формулы для вычислений кинематических характеристик даны в Приложении 2.

*Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2015-0001 «Фундаментальные исследования процессов в системе океан – атмосфера – литосфера, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды и климата глобального и регионального масштабов».*



## Литература

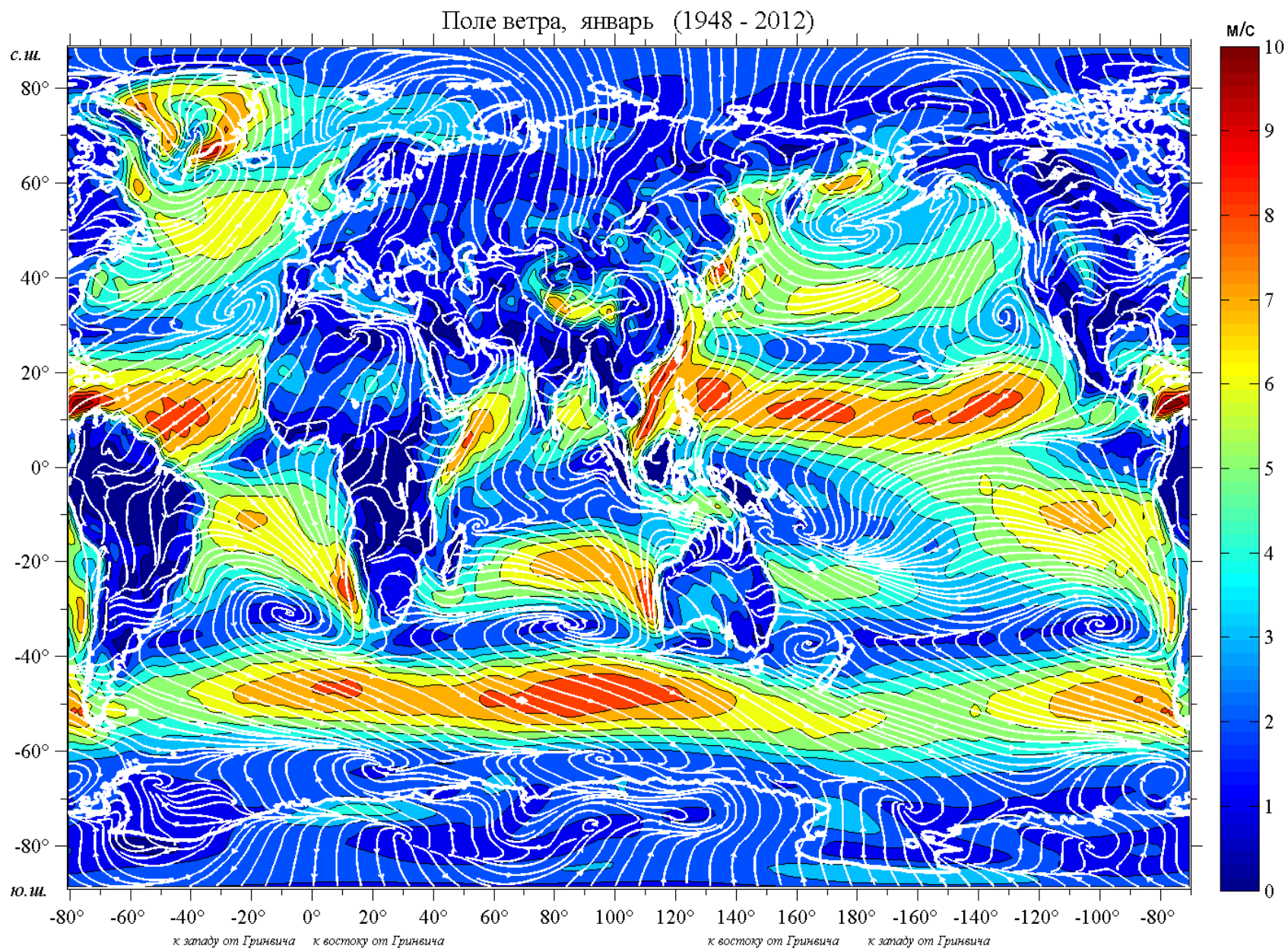
1. Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. – №1(81). – С. 15 – 23.
2. Еремеев В.Н., Букатов А.Е., Бабий М.В., Букатов А.А. Структура поля приземного ветра над Мировым океаном // Геоинформатика. – 2014. – №3.
3. Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е. Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в Северном и Южном полушарии и региональные климатические особенности в Атлантико-Европейском секторе и районе Антарктического полуострова // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2008. – №3(80). – С. 17 – 37.
4. Мохов И.И., Хон В.Ч. Межгодовая изменчивость и долгопериодные тенденции изменений центров действия атмосферы в Северном полушарии. Анализ данных наблюдений // Изв. ФАО. – 2005. – Т. 41, №6. – С. 723 – 732.
5. Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шанталинский К.М. Центры действия атмосферы и их взаимосвязь с макроциркуляционными процессами Северного полушария // Метеорология и гидрология. – 1994. №3. – С. 43 – 51.
6. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. – СПб.: Изд. РГГМУ. – 2004. – 209 с.
7. Соркина А.И. Уточненные данные об интенсивности и положениях центров действия атмосферы в Северном полушарии // Труды ГОИН. Л.: Гидрометеоиздат. – 1972. – Вып. 114. – С. 71 – 79.
8. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат. – 1978. – Т.2. – 320 с.
9. <http://www.ersl.noaa.gov>
10. Walter J.Saucier Horizontal deformation in atmospheric motion // Transactions, American Geophysical Union. – 1953. – V.34, №5. – P. 709 – 719.

# **Часть I. Приземный ветер**

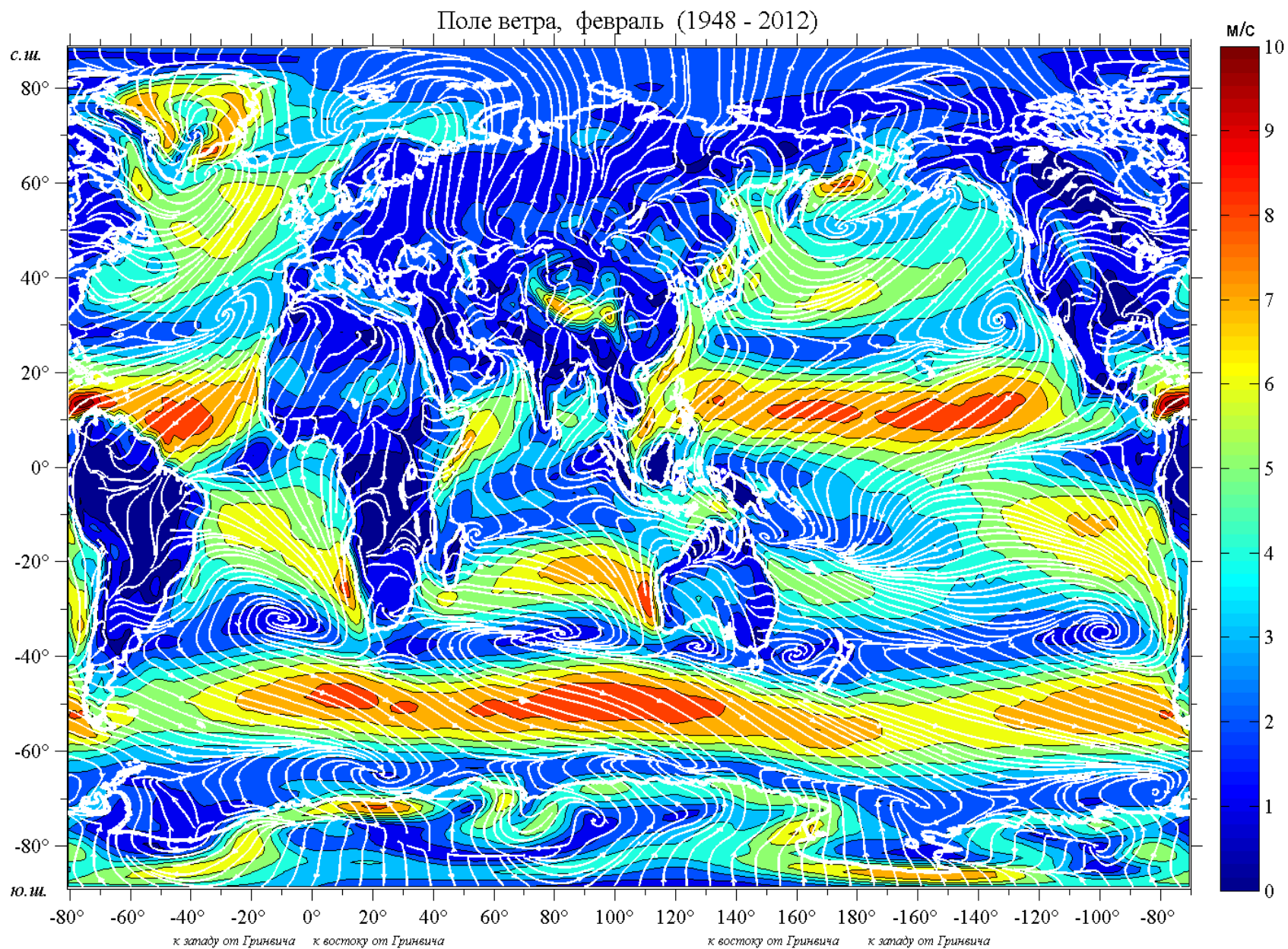
## **1. Климатическое поле ветра**

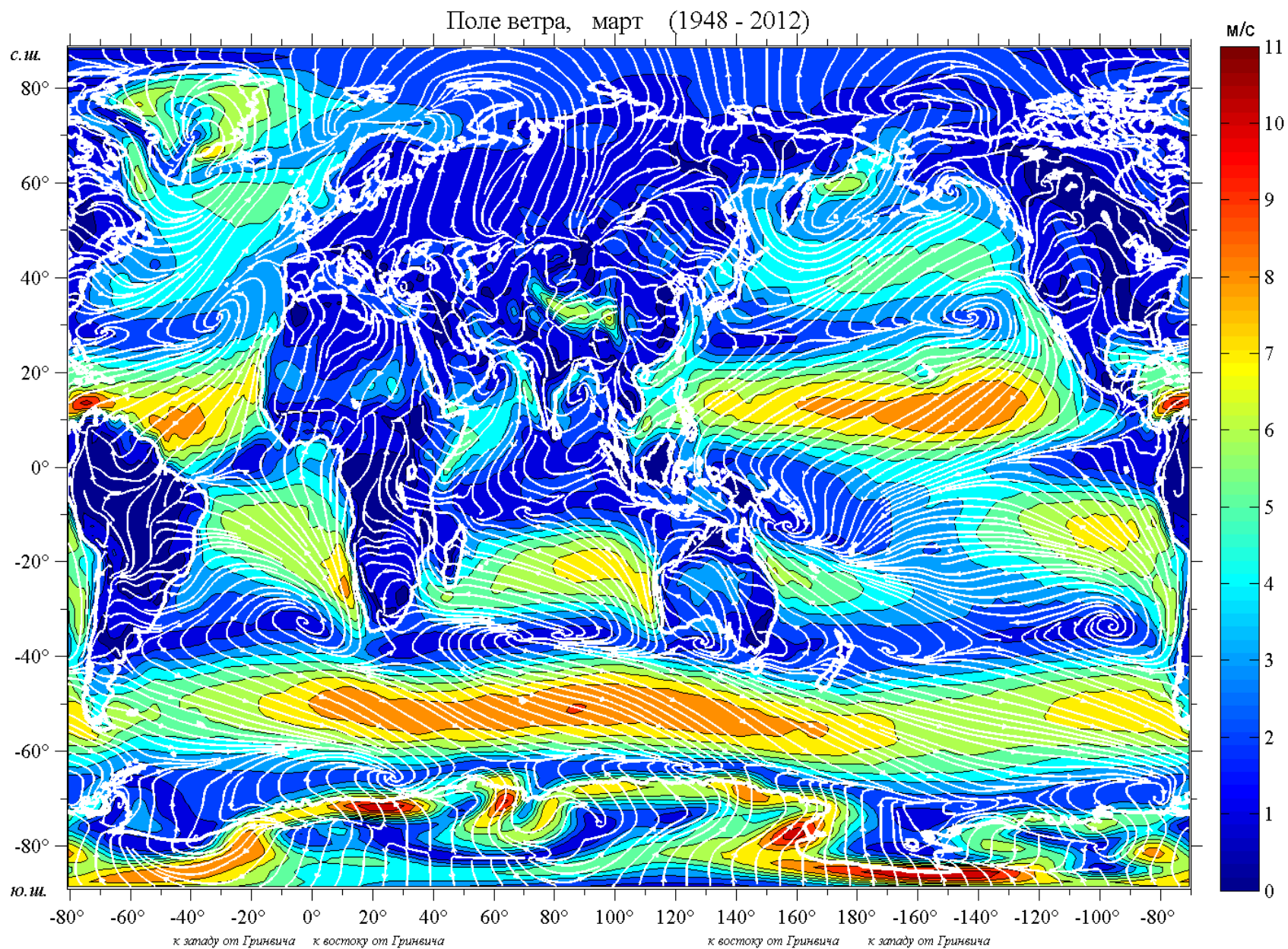
### **1.1. Поле ветра**

На картах для каждого месяца с шагом 1м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Белым цветом нанесены линии тока.

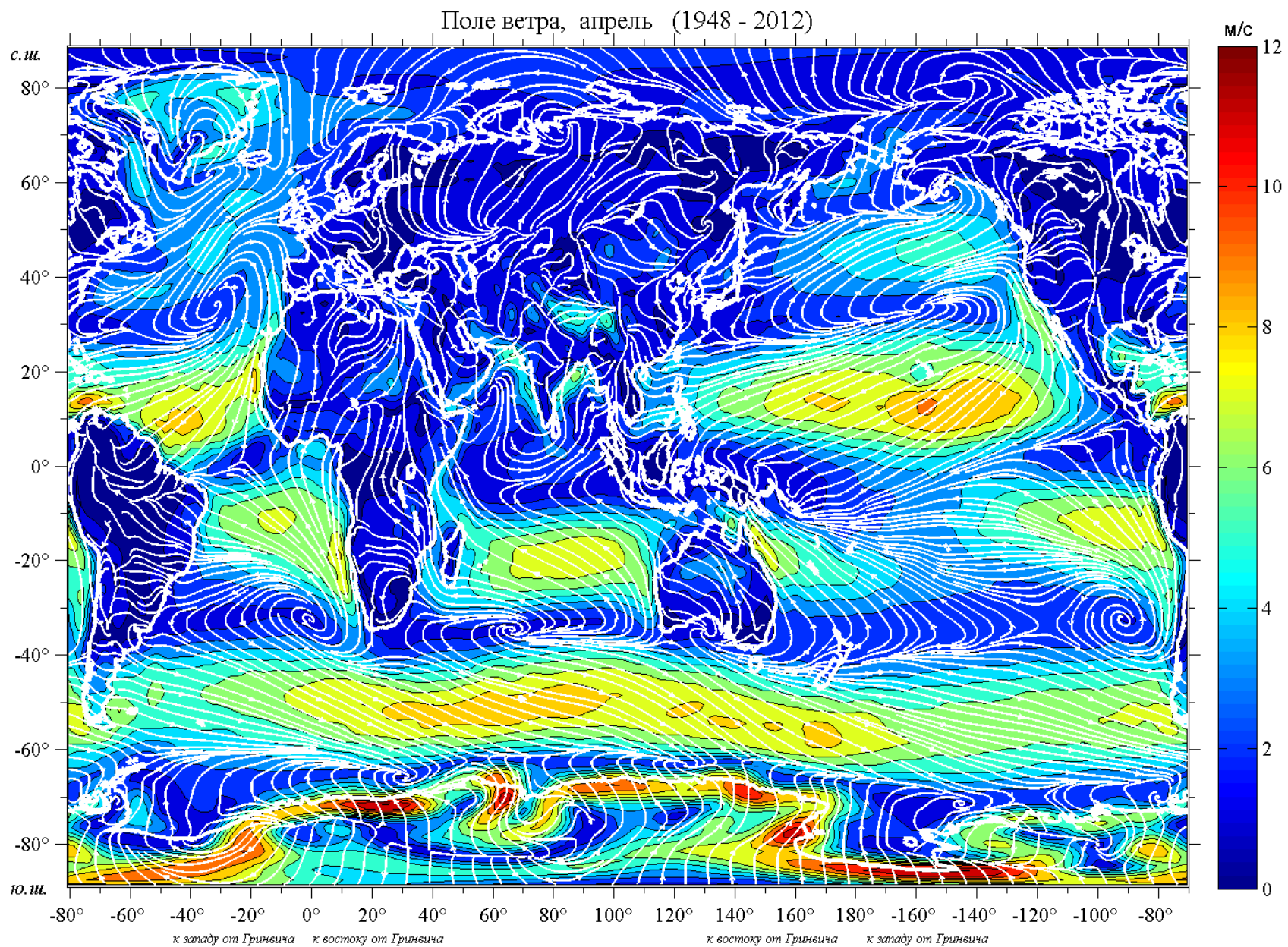


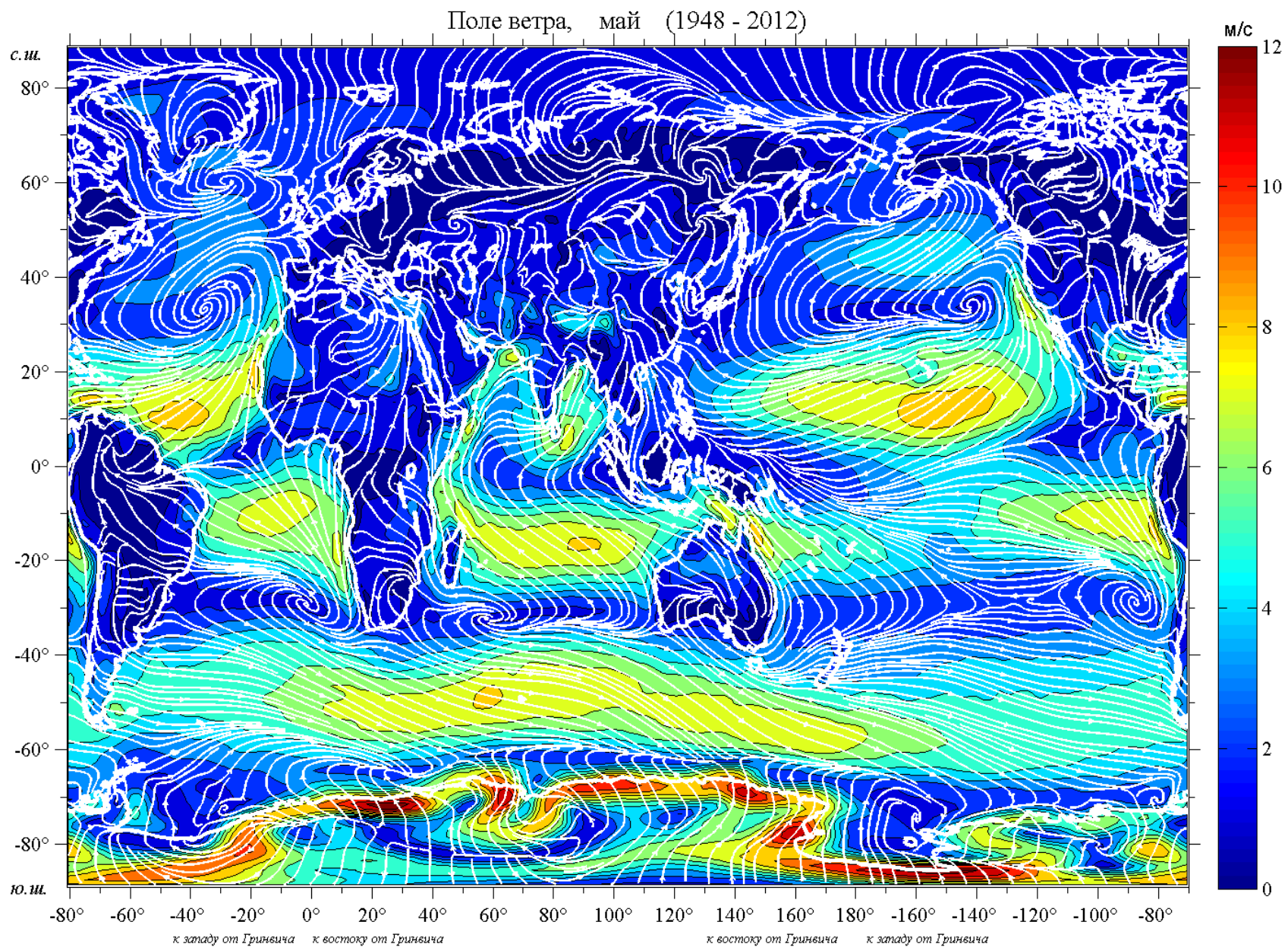




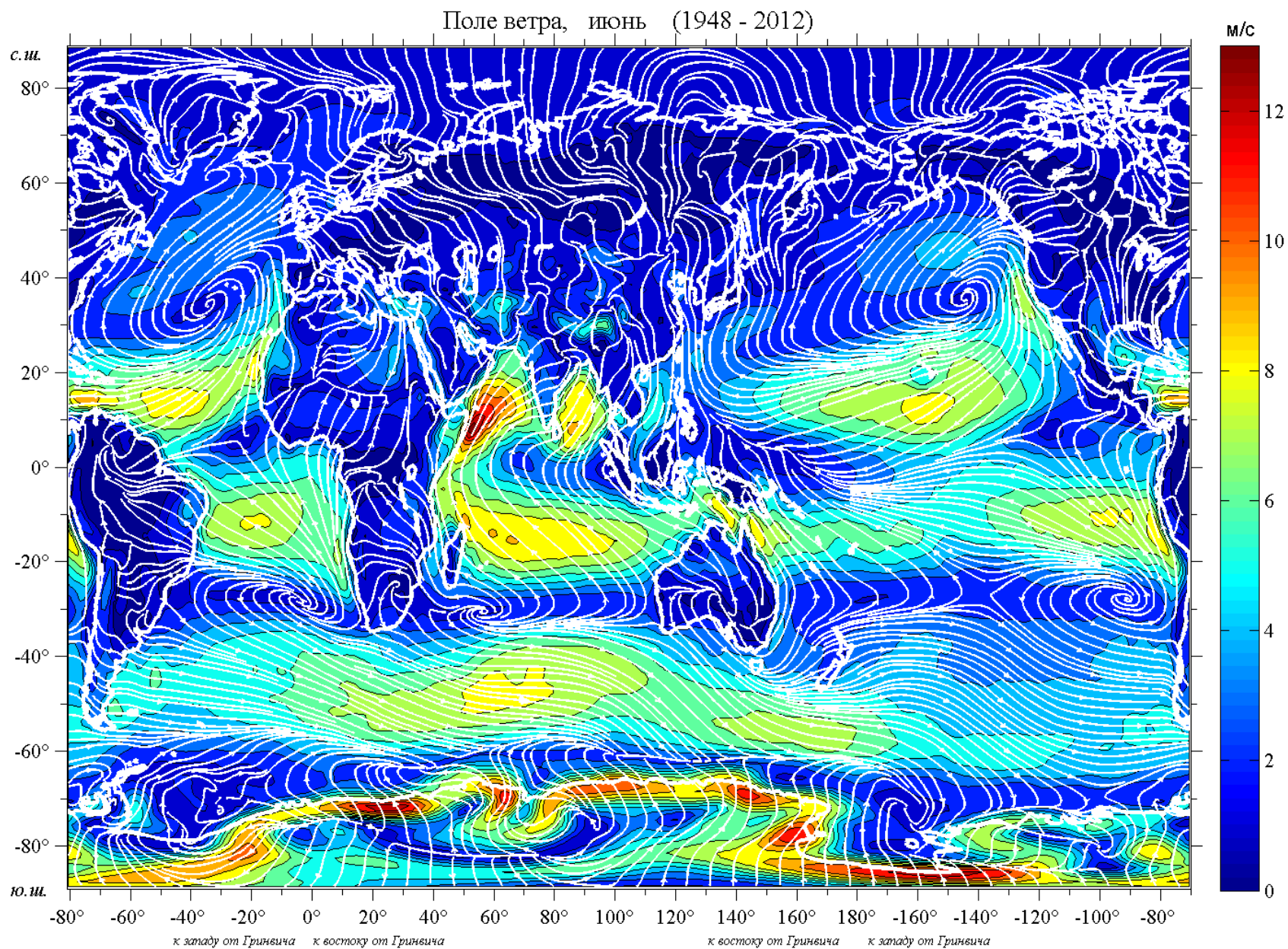


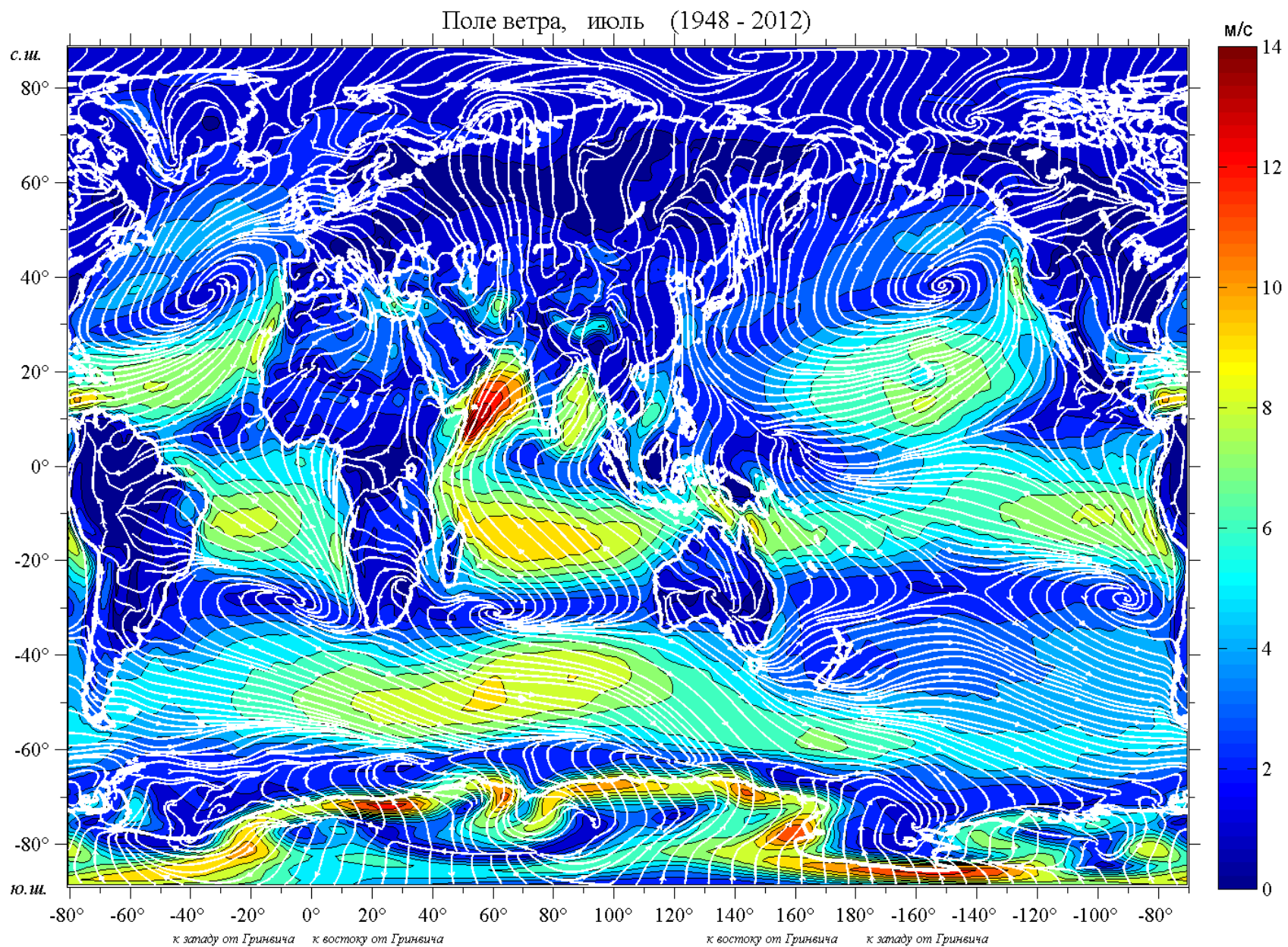




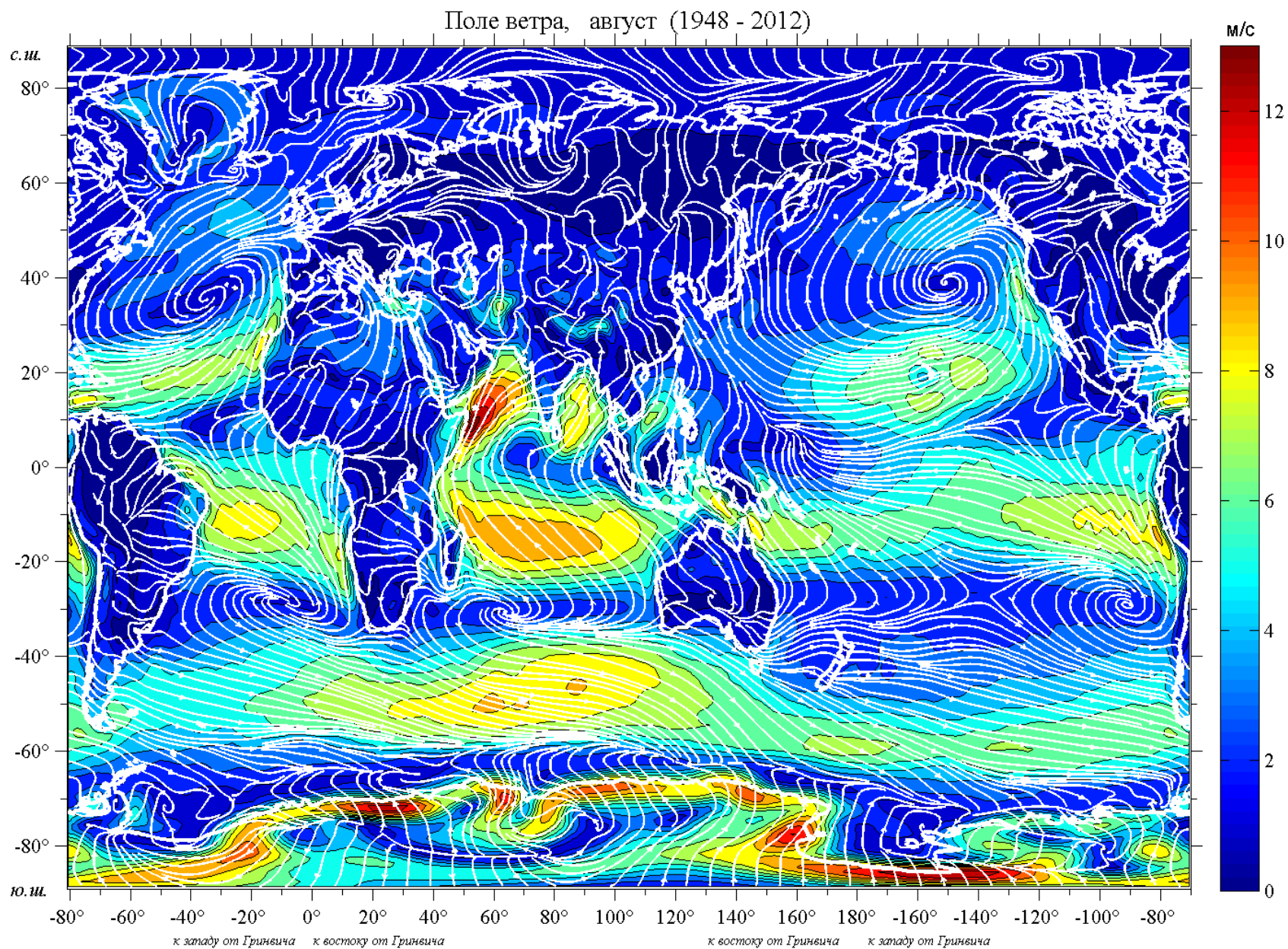


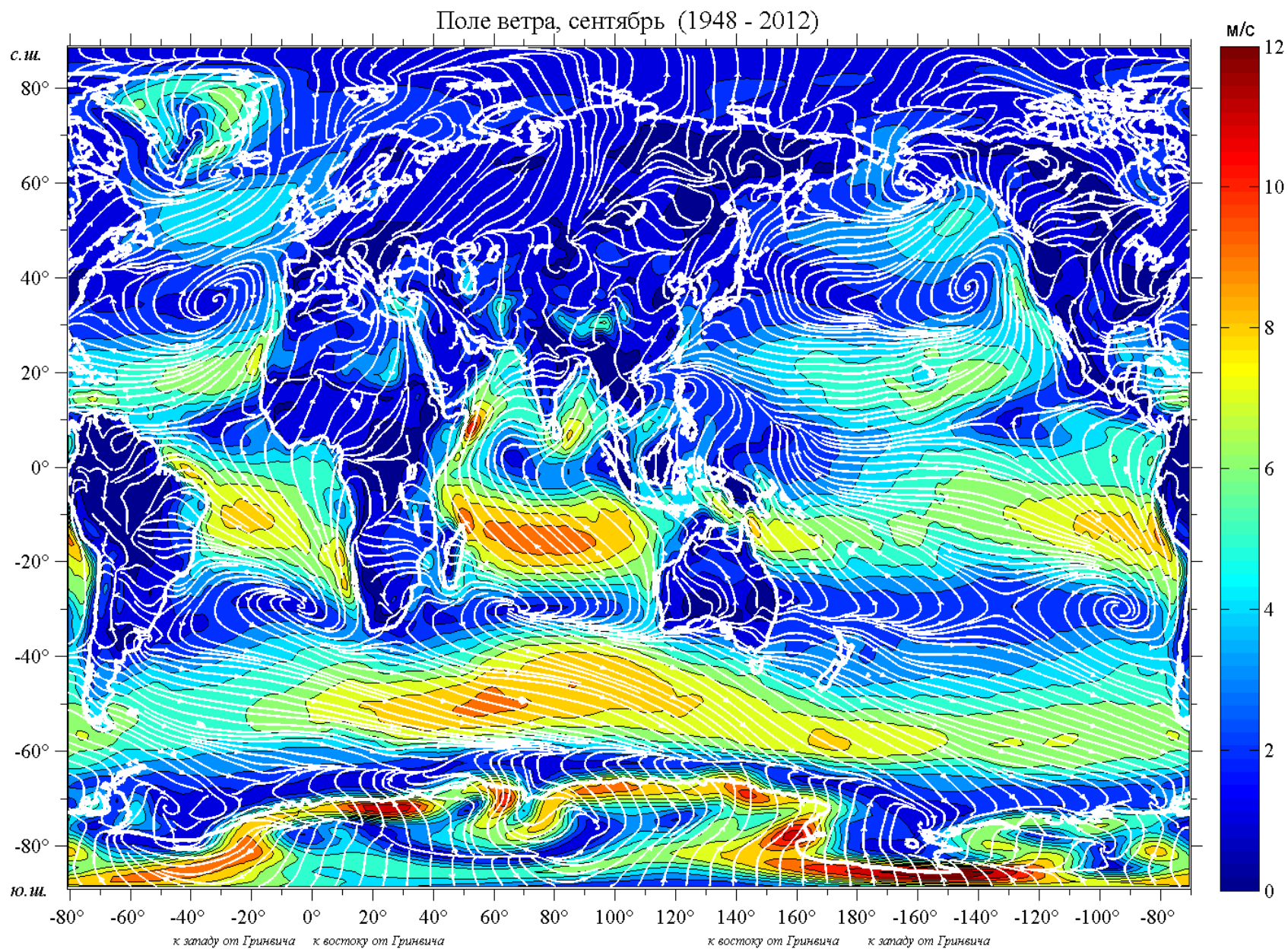




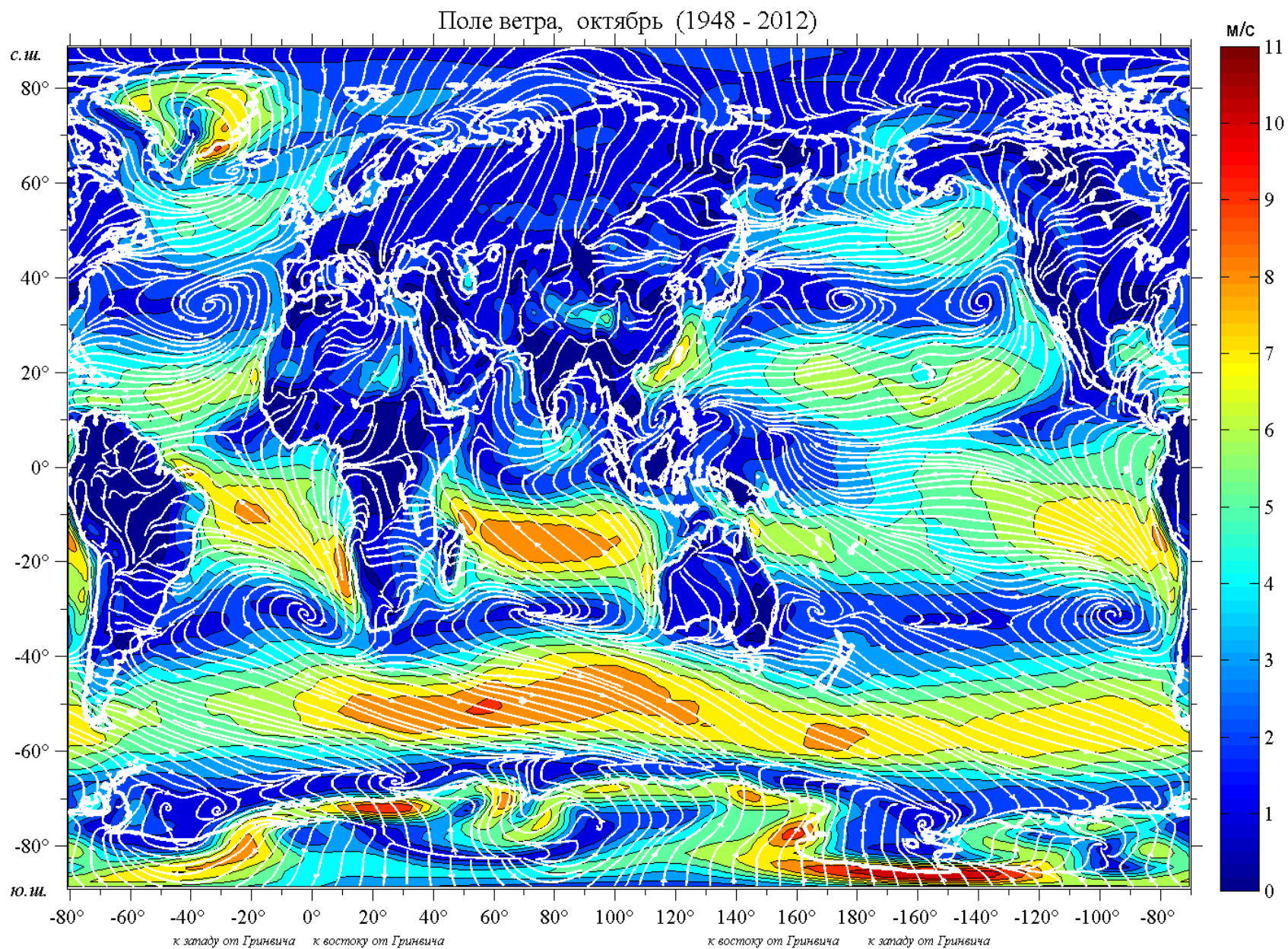


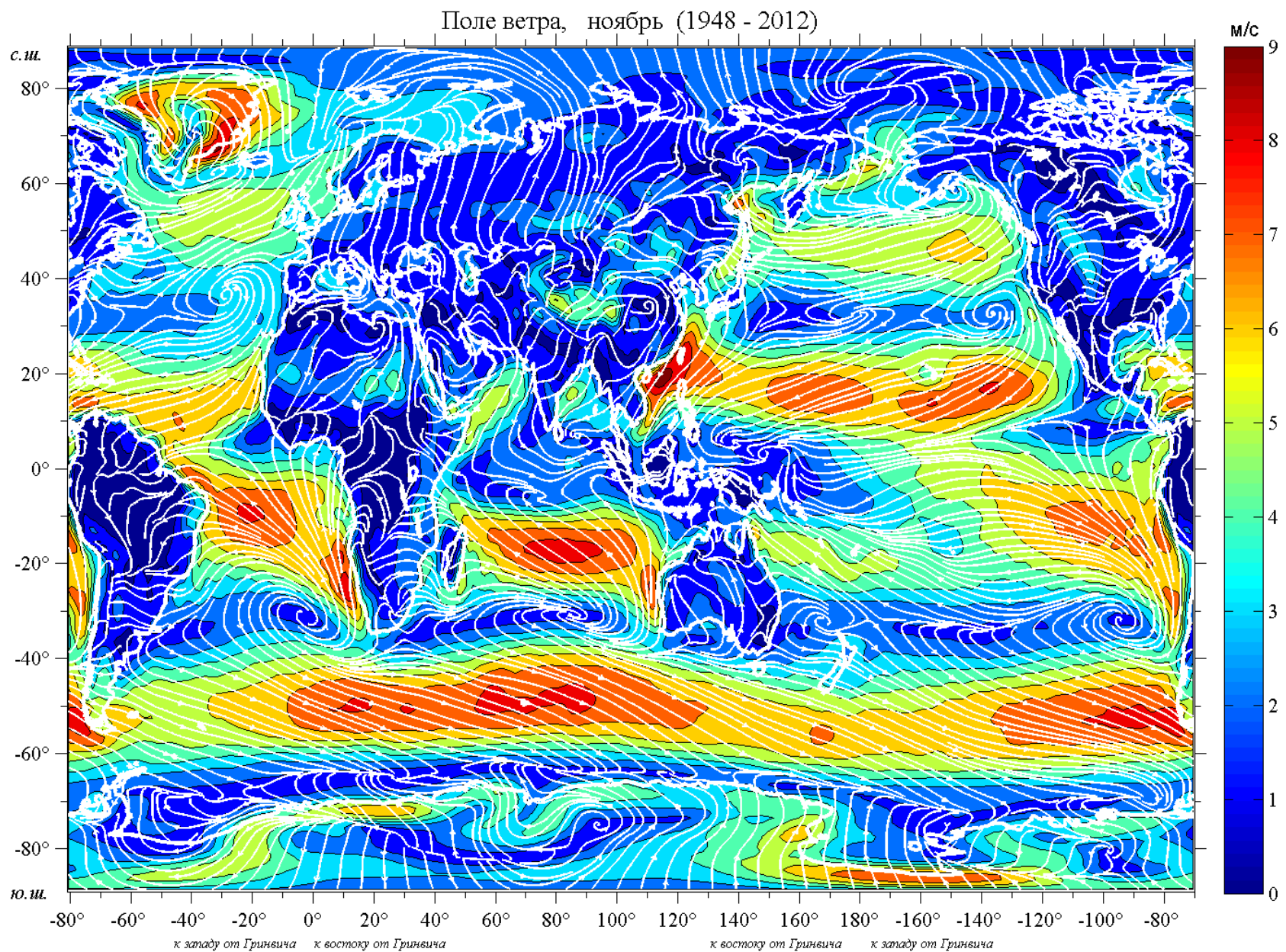




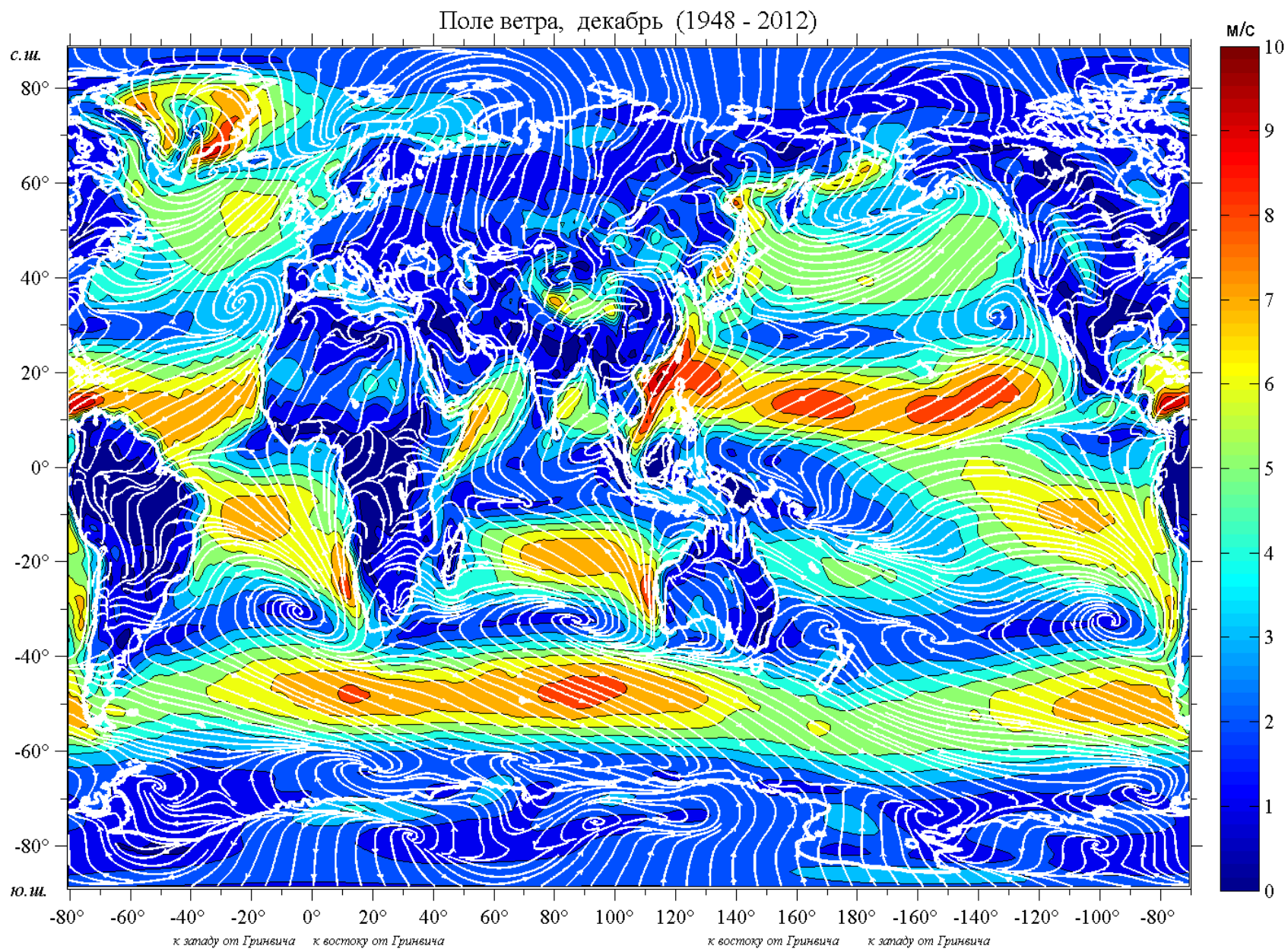






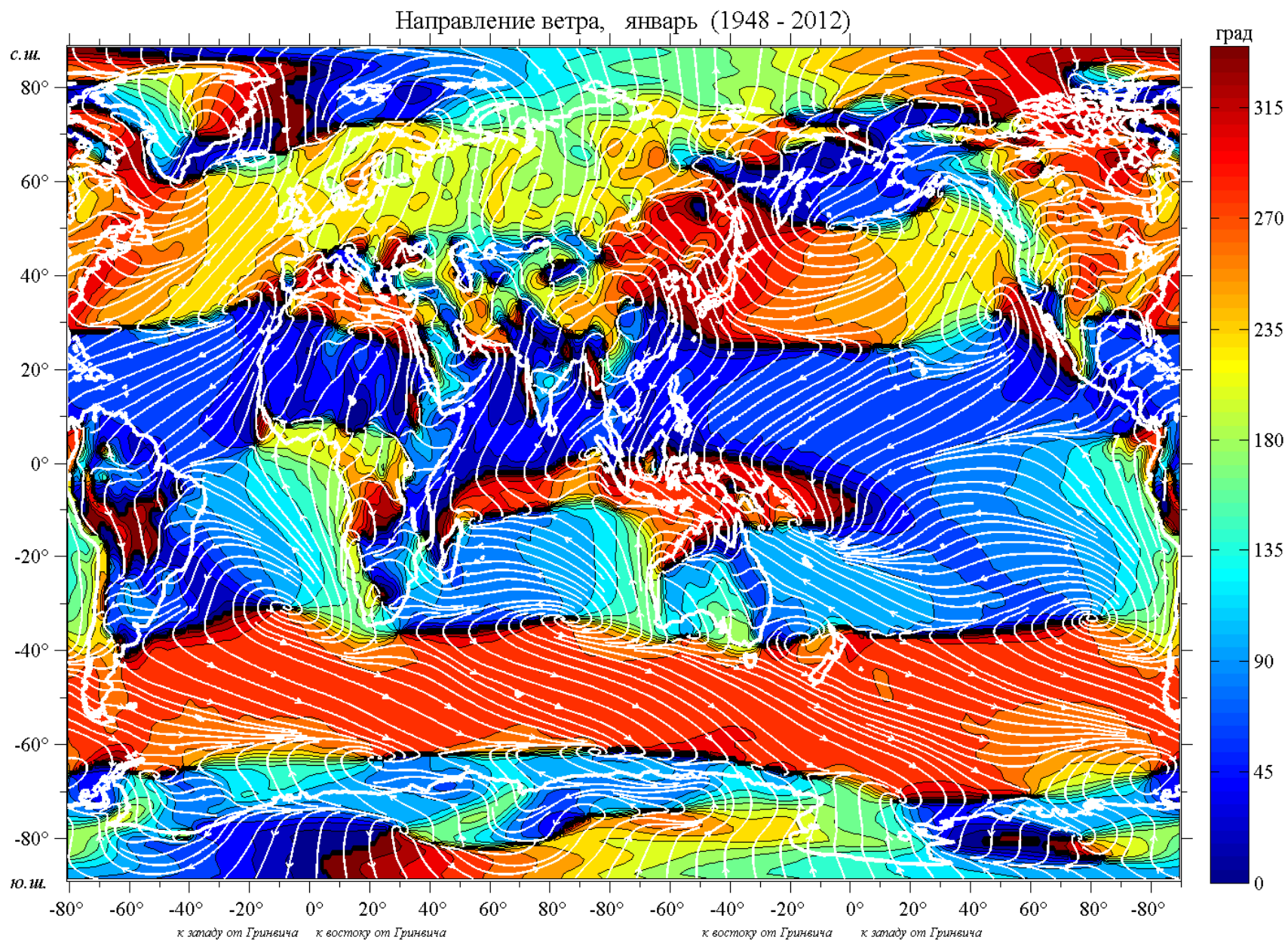




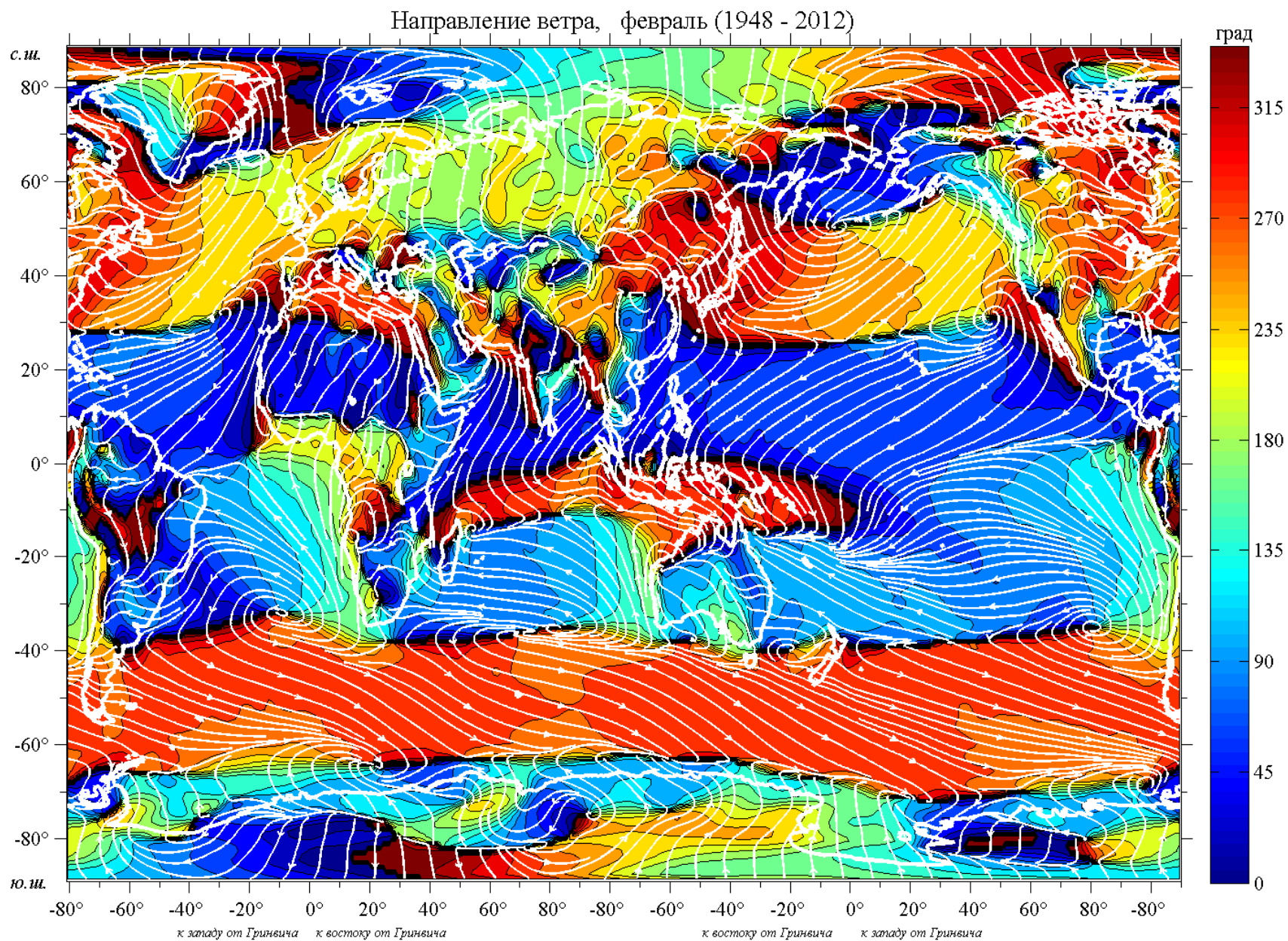


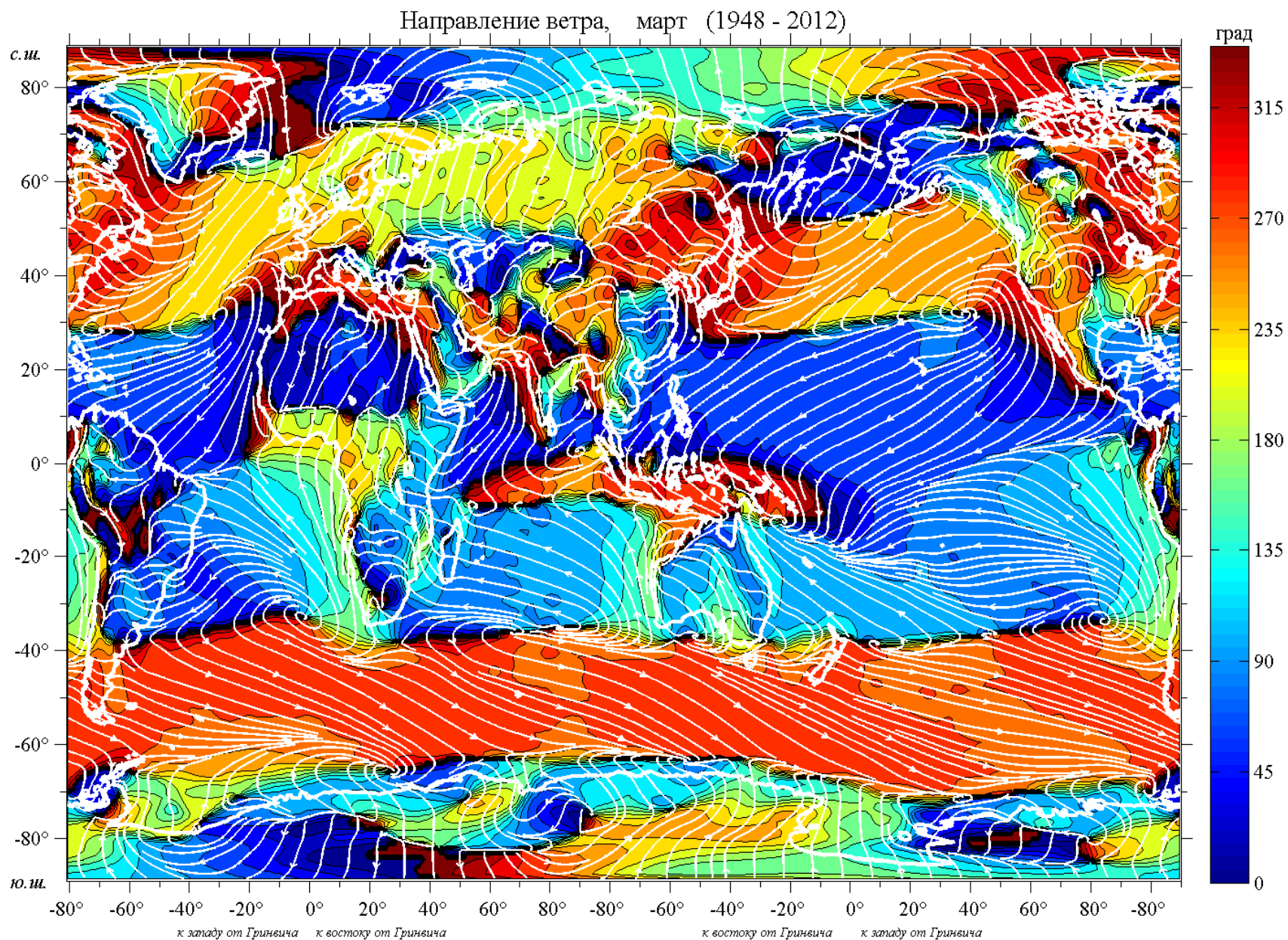
## **1.2. Направление ветра**

На картах для каждого месяца с шагом  $10^\circ$  приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений направления вектора скорости ветра.

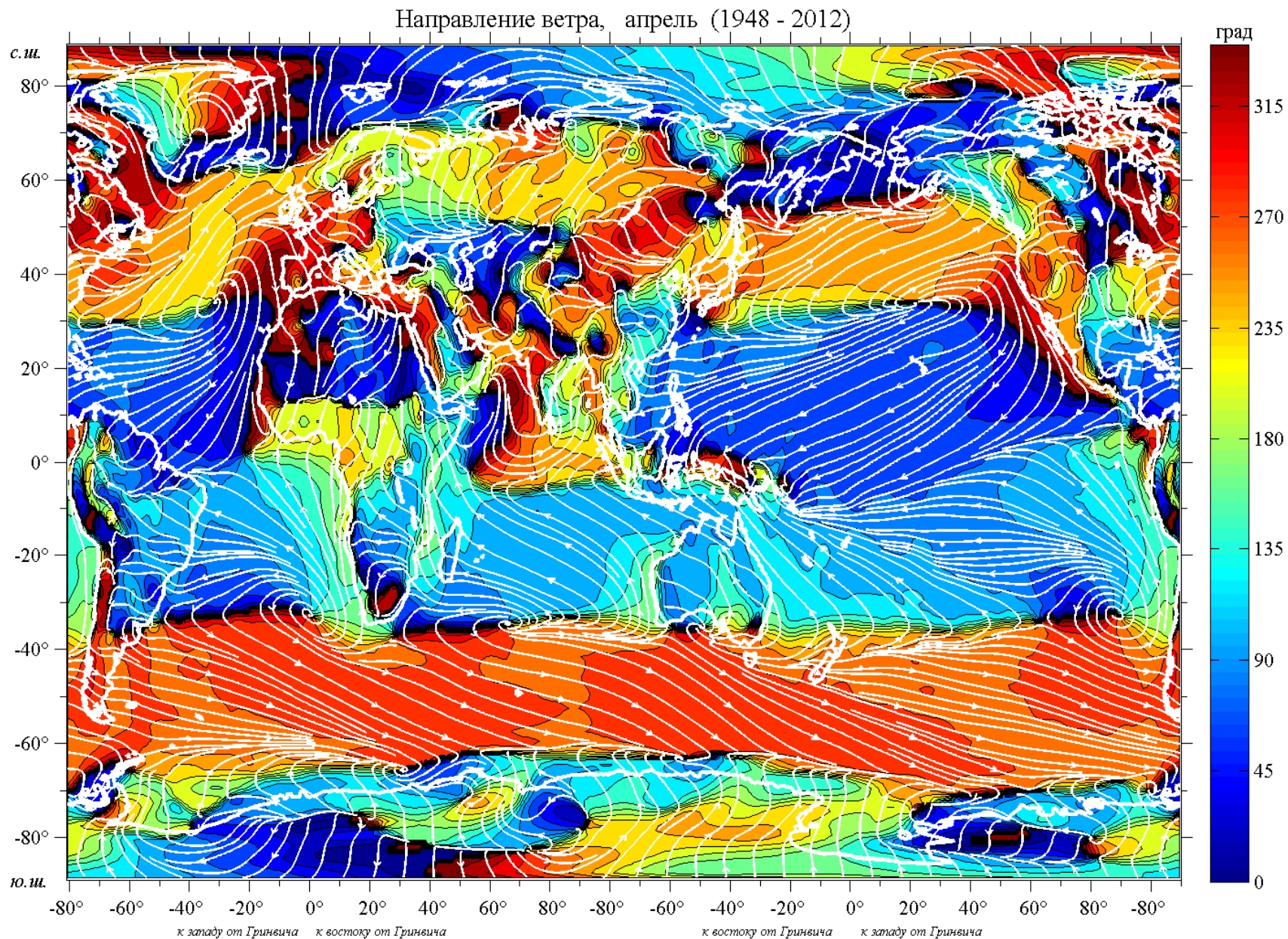




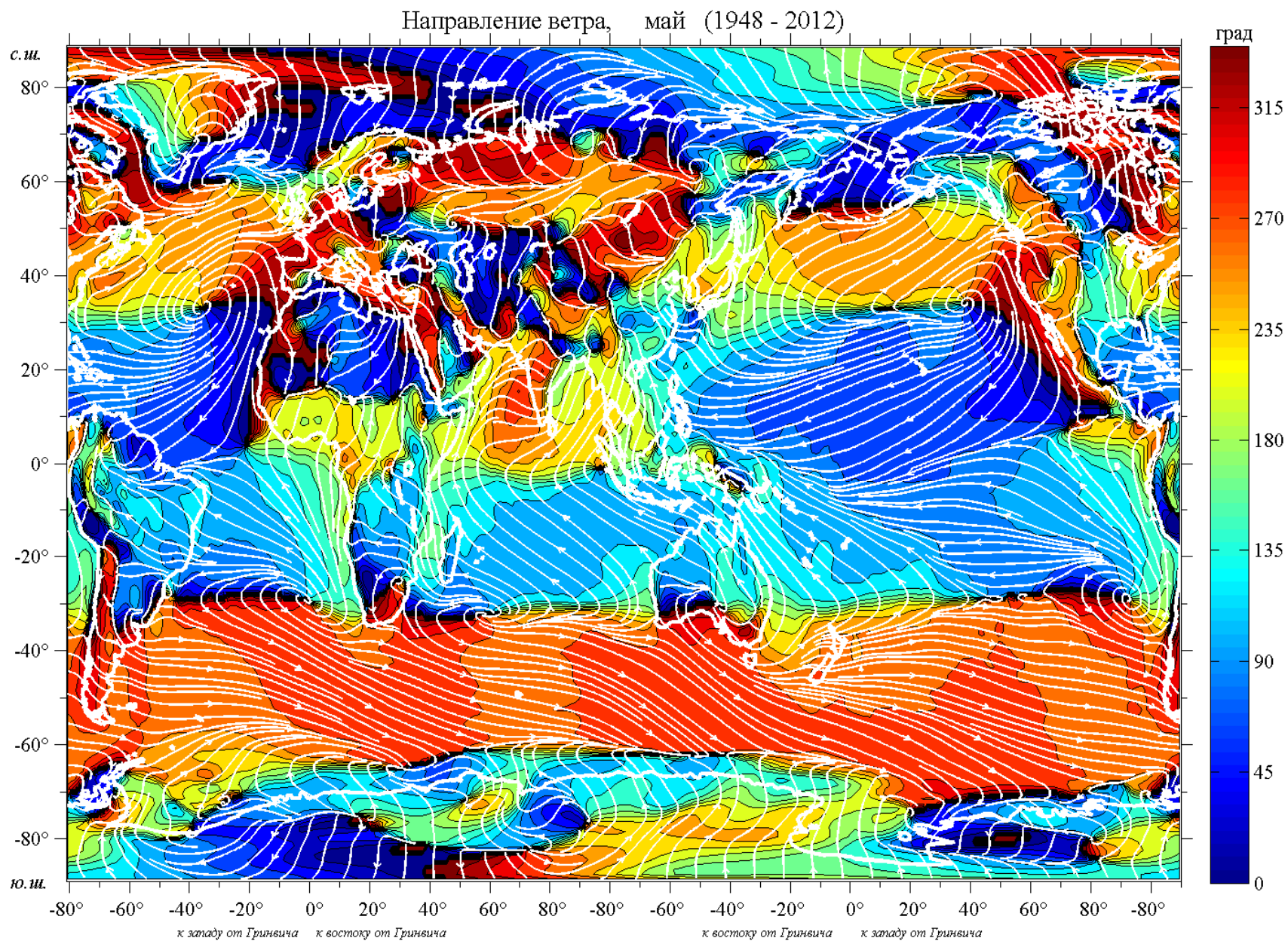


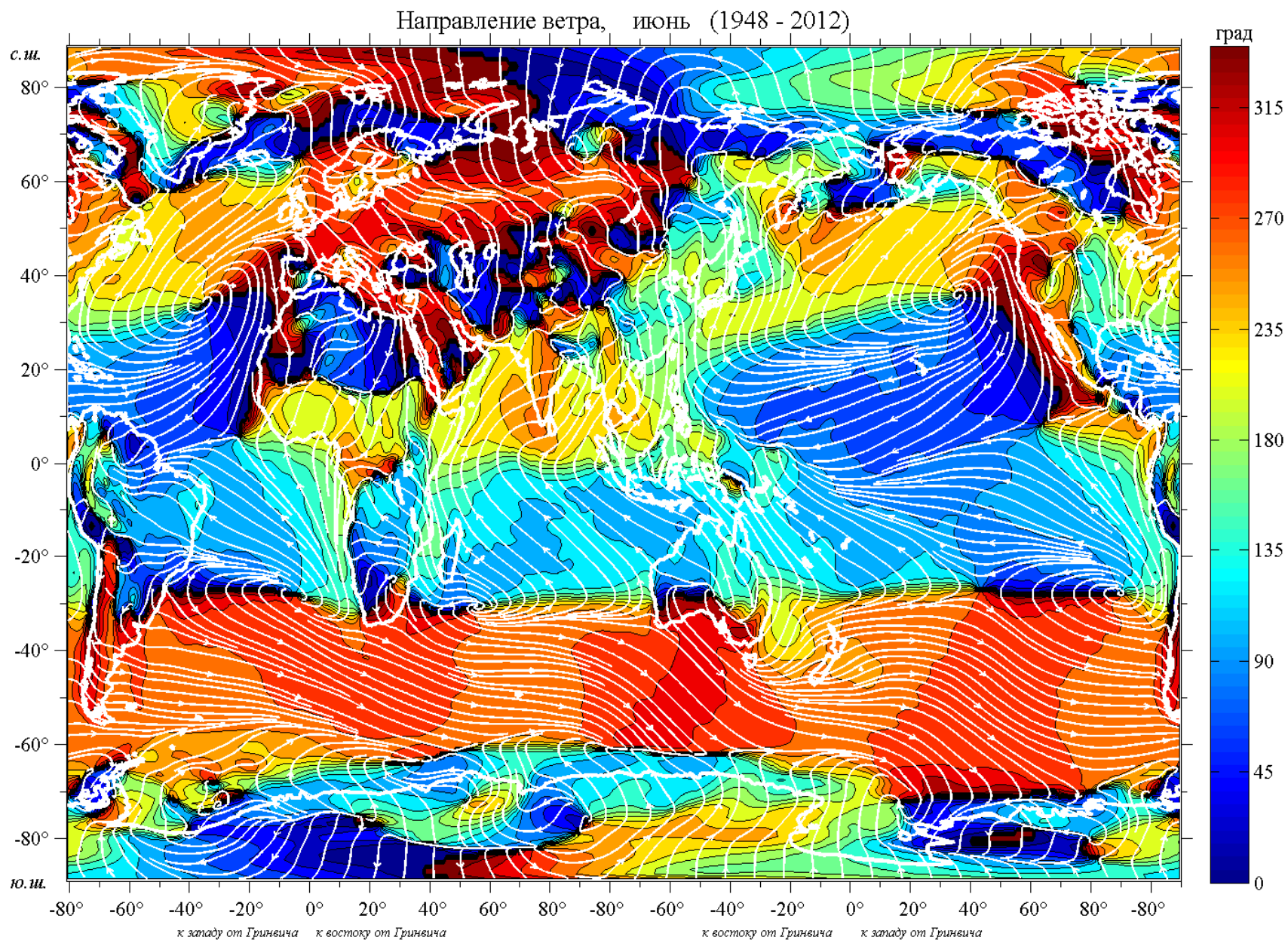




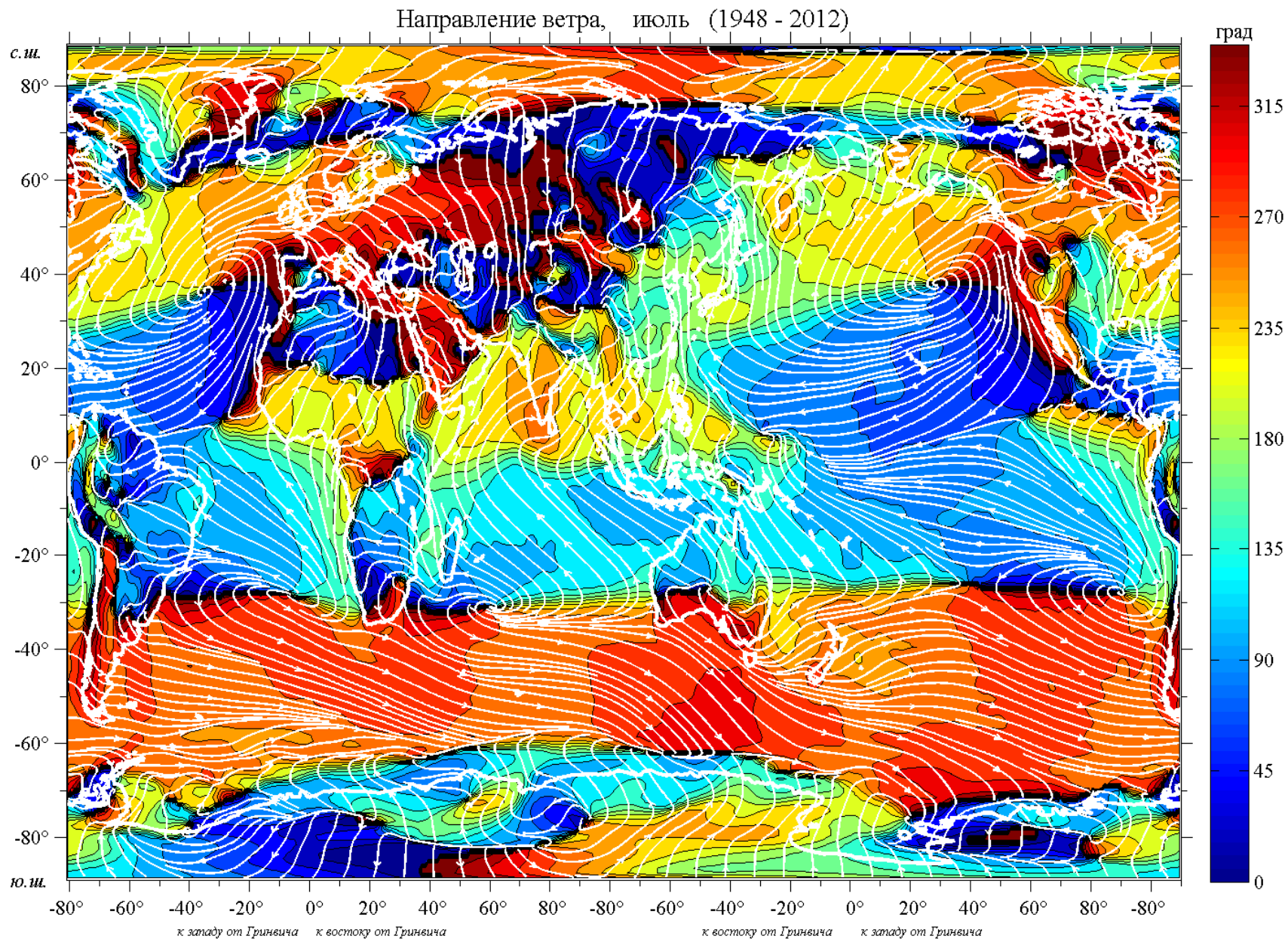


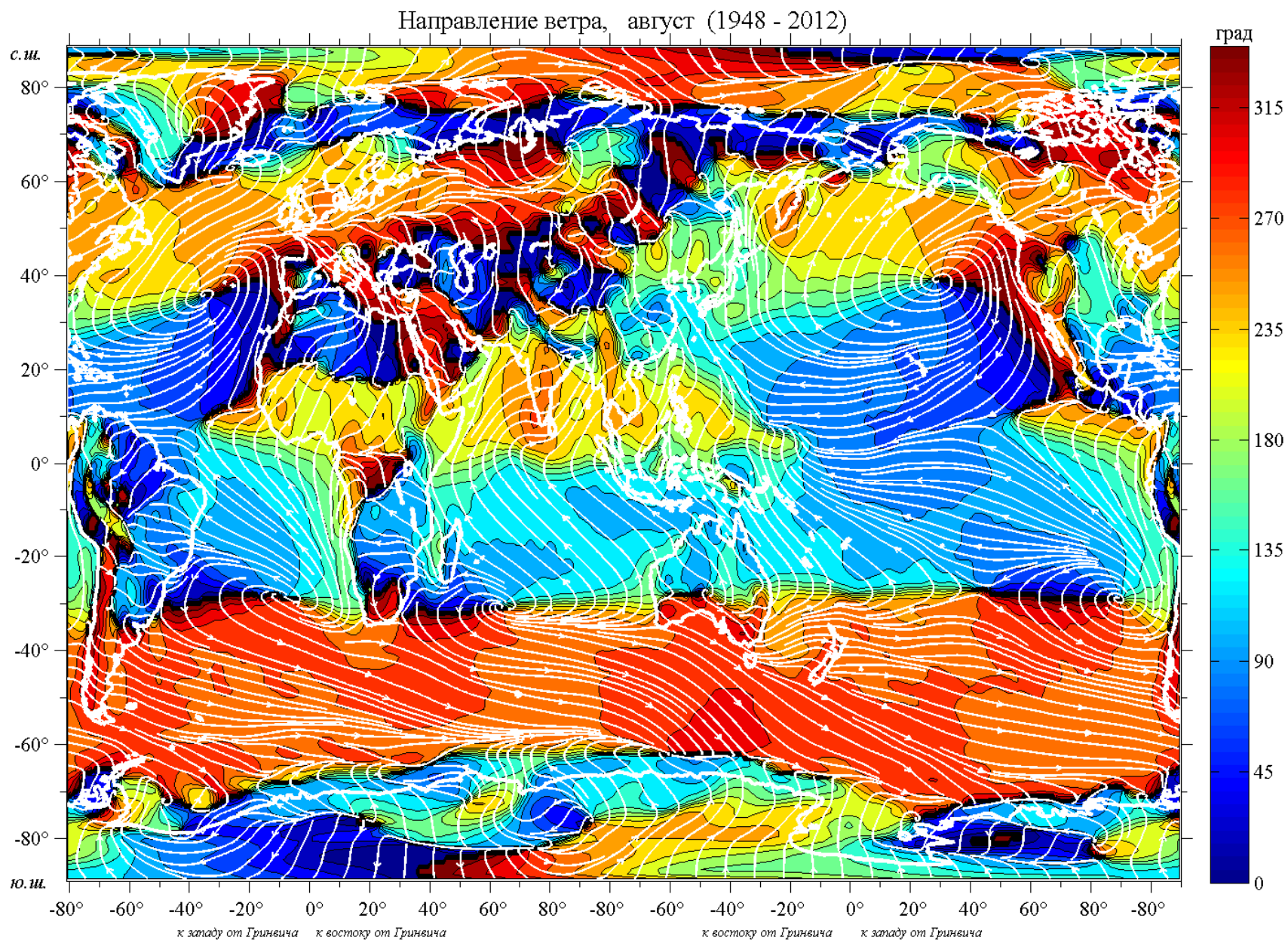




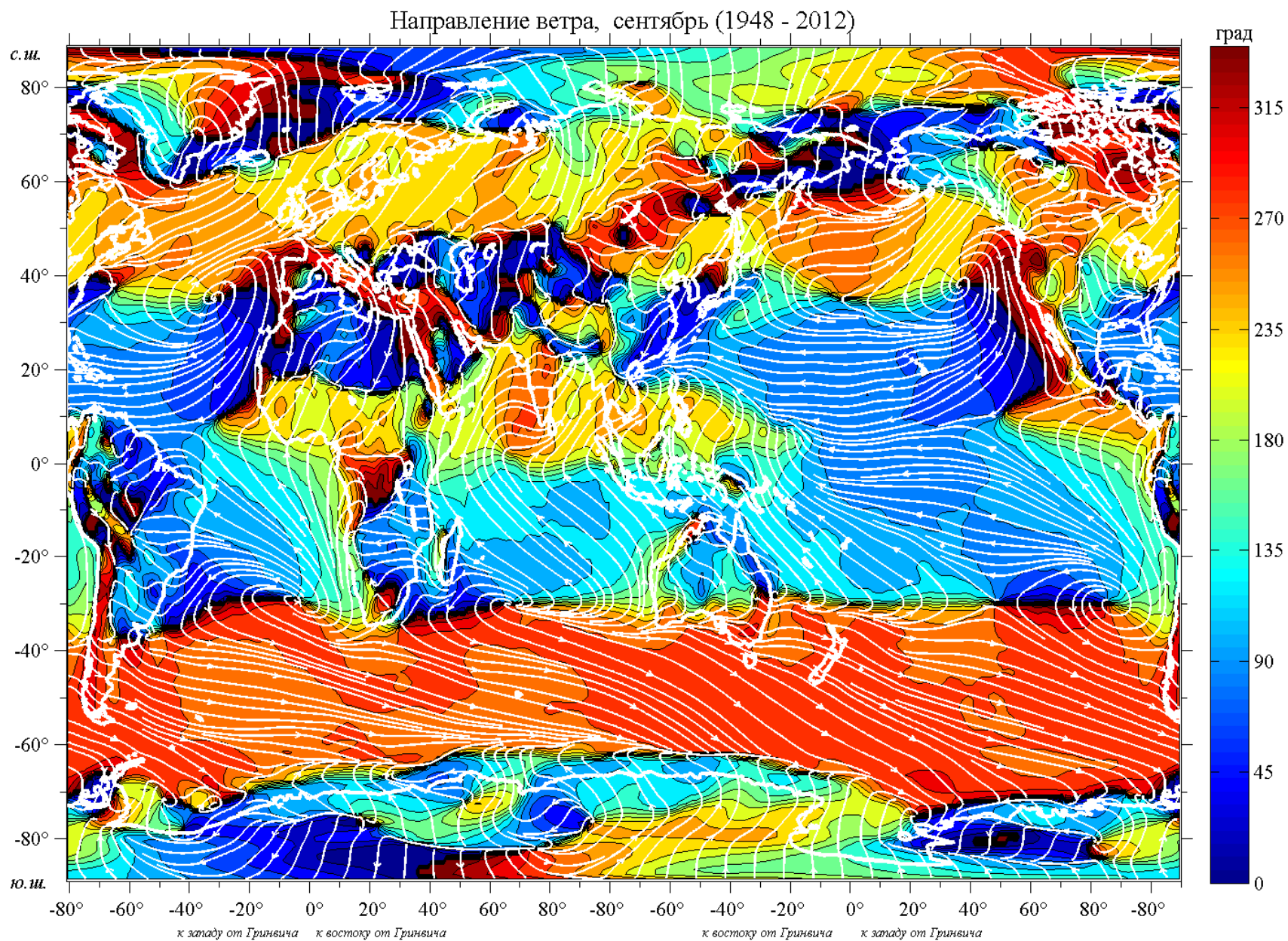


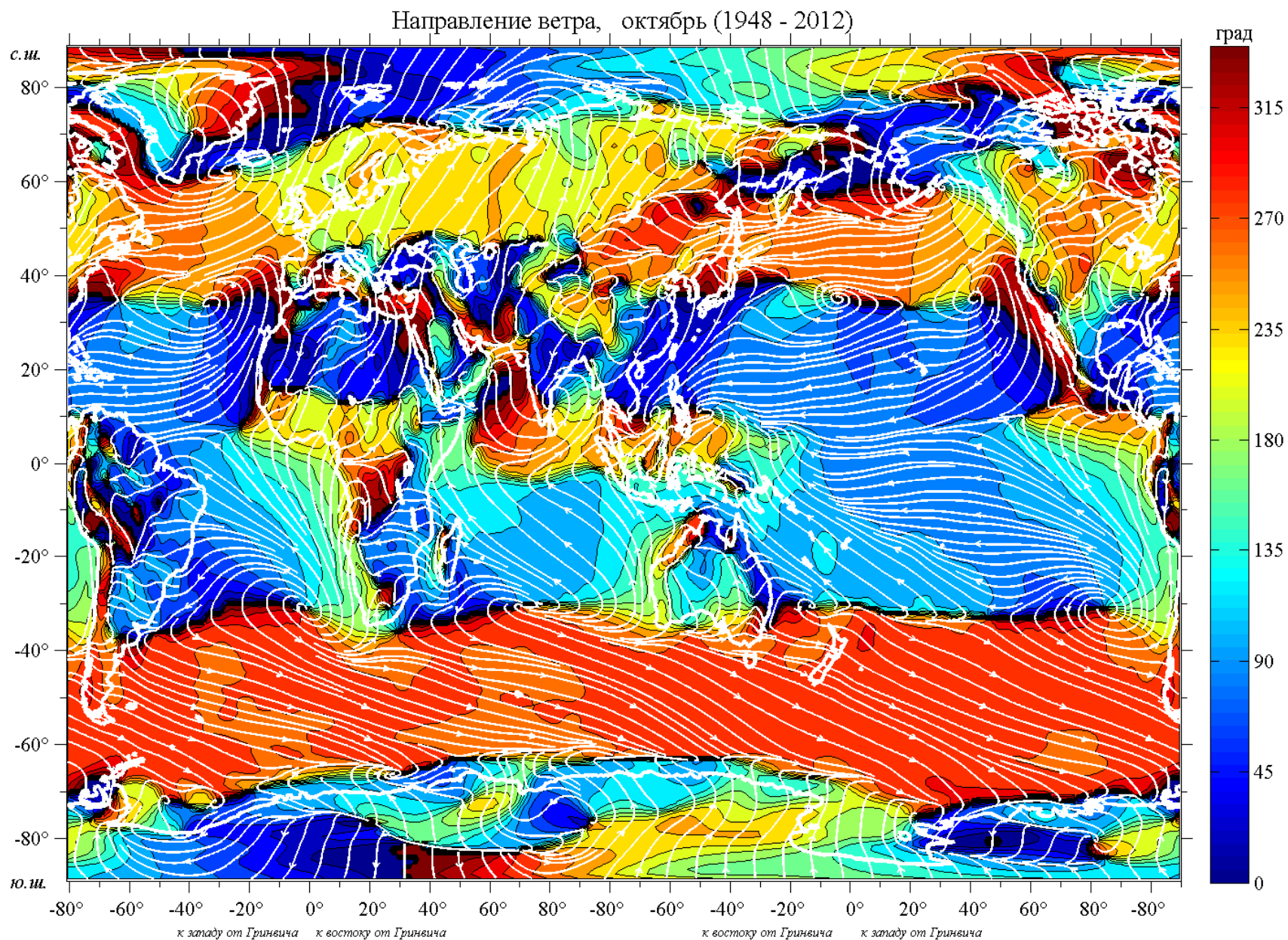




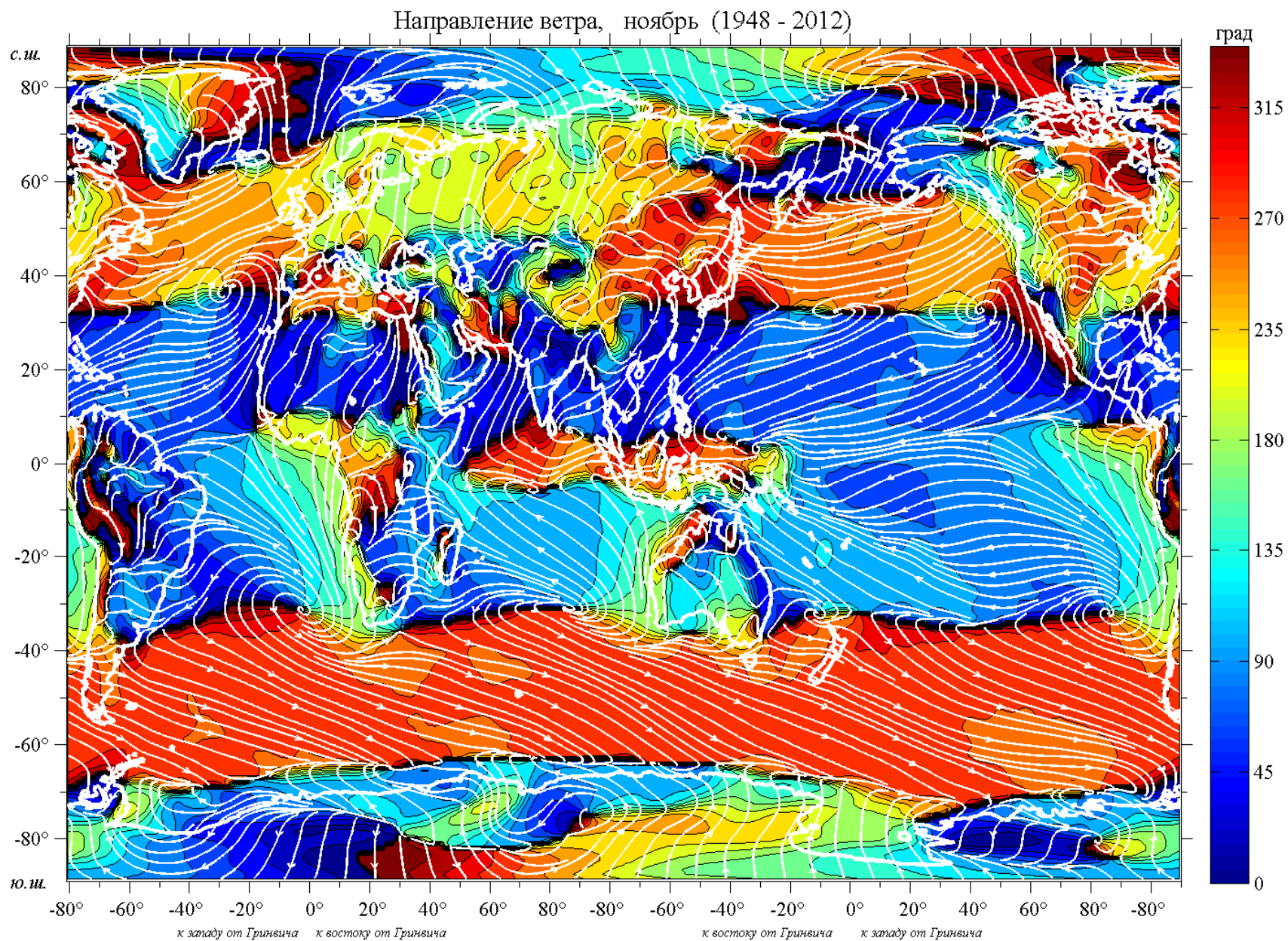


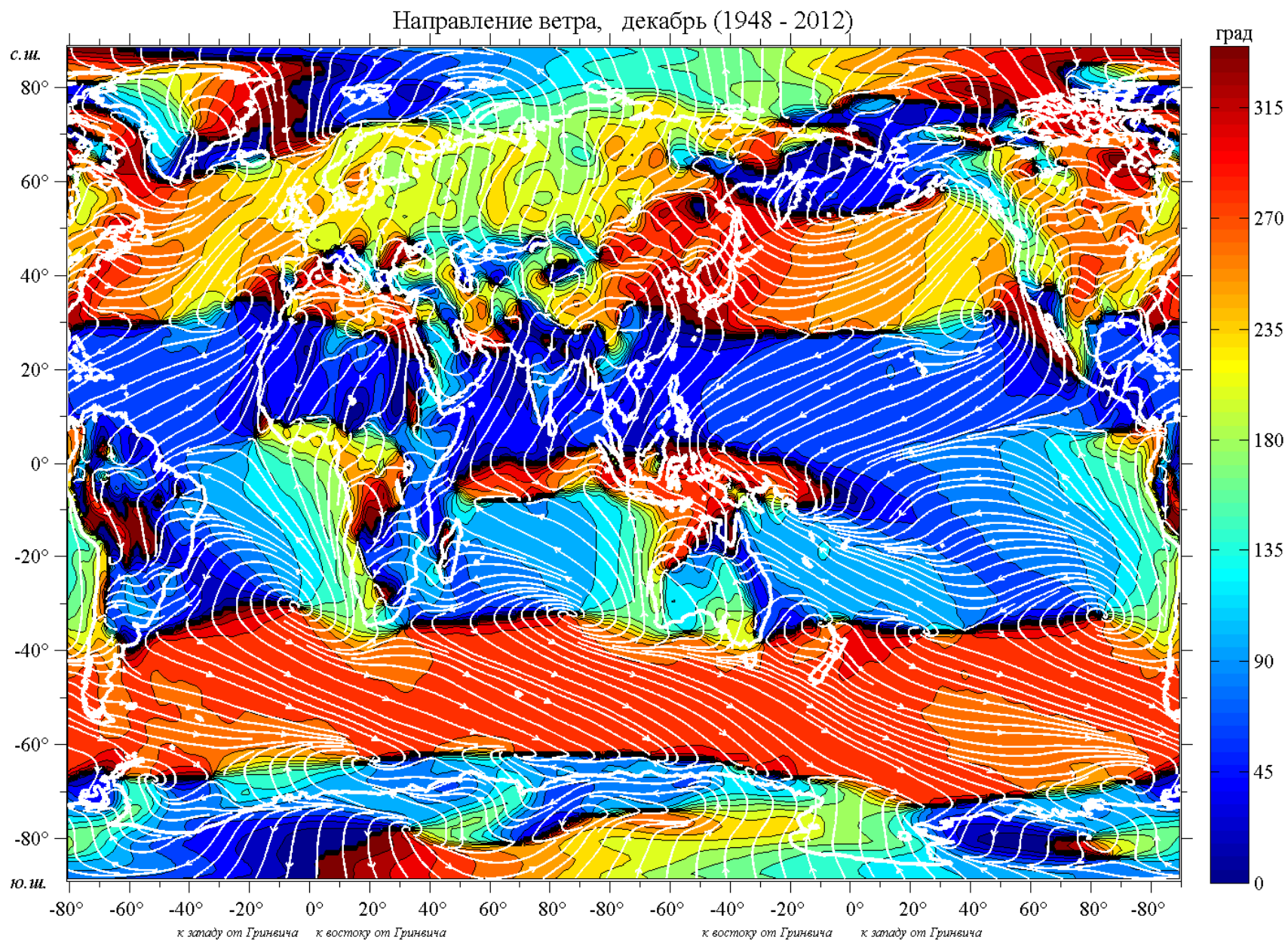








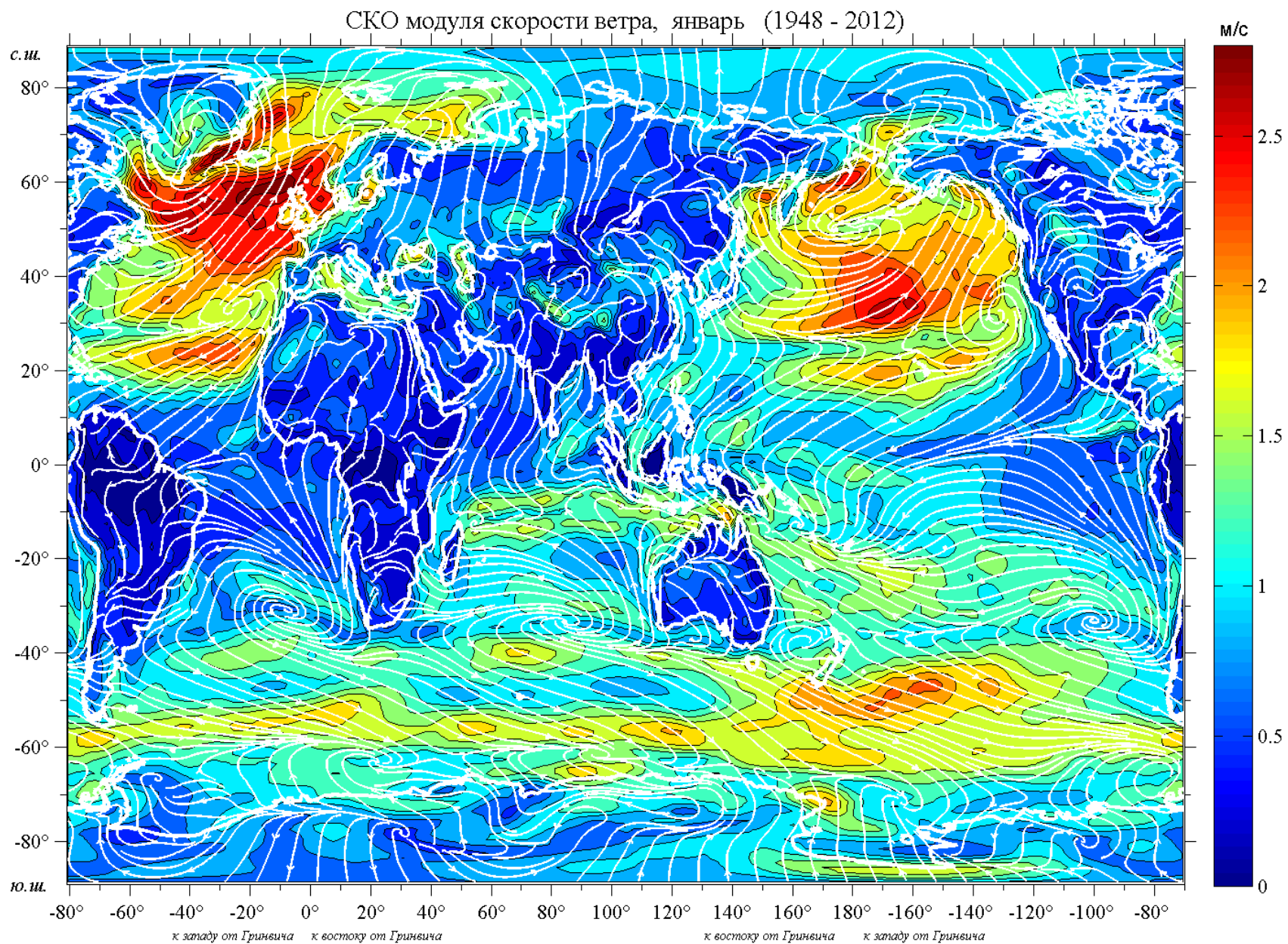


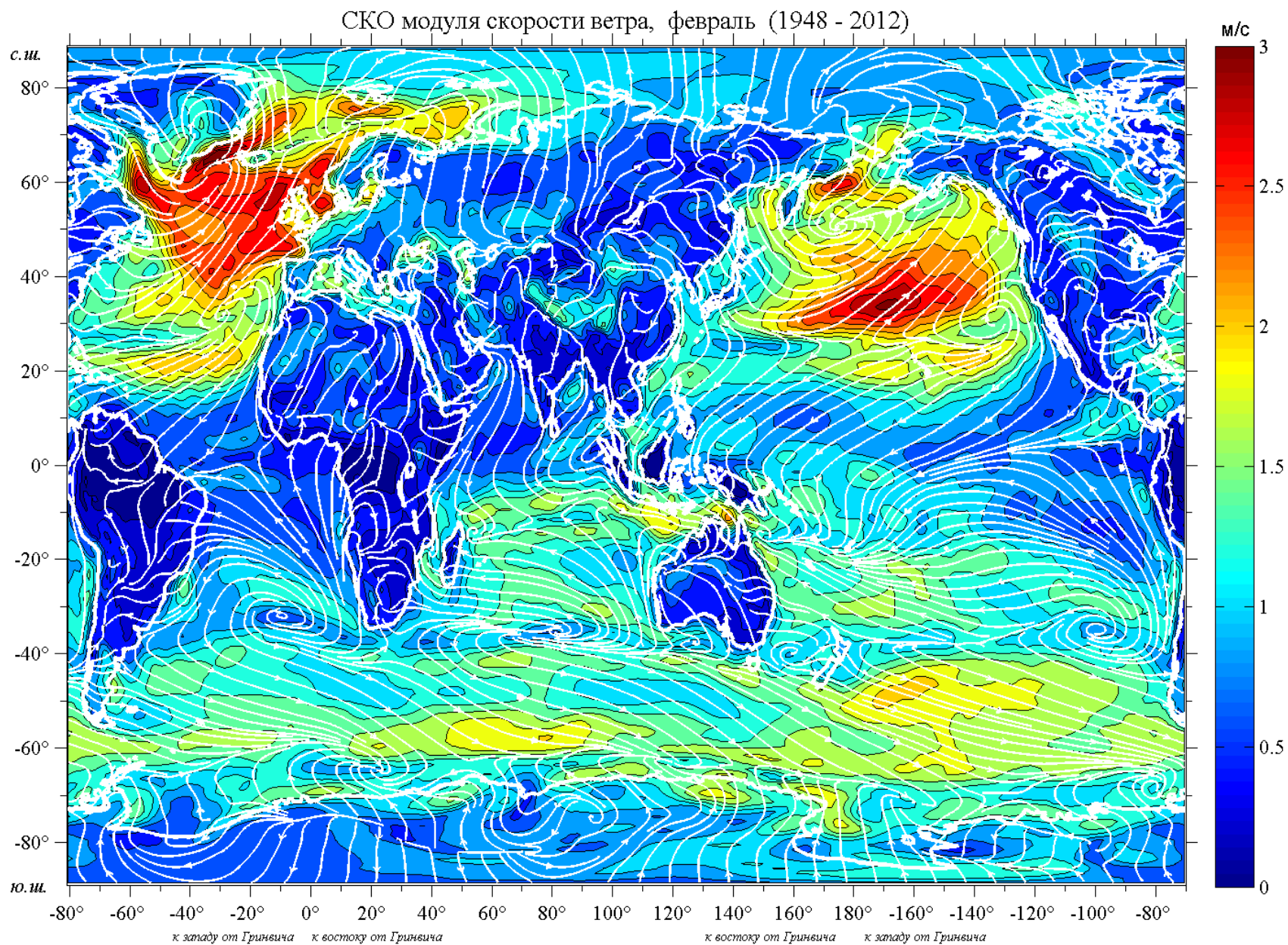




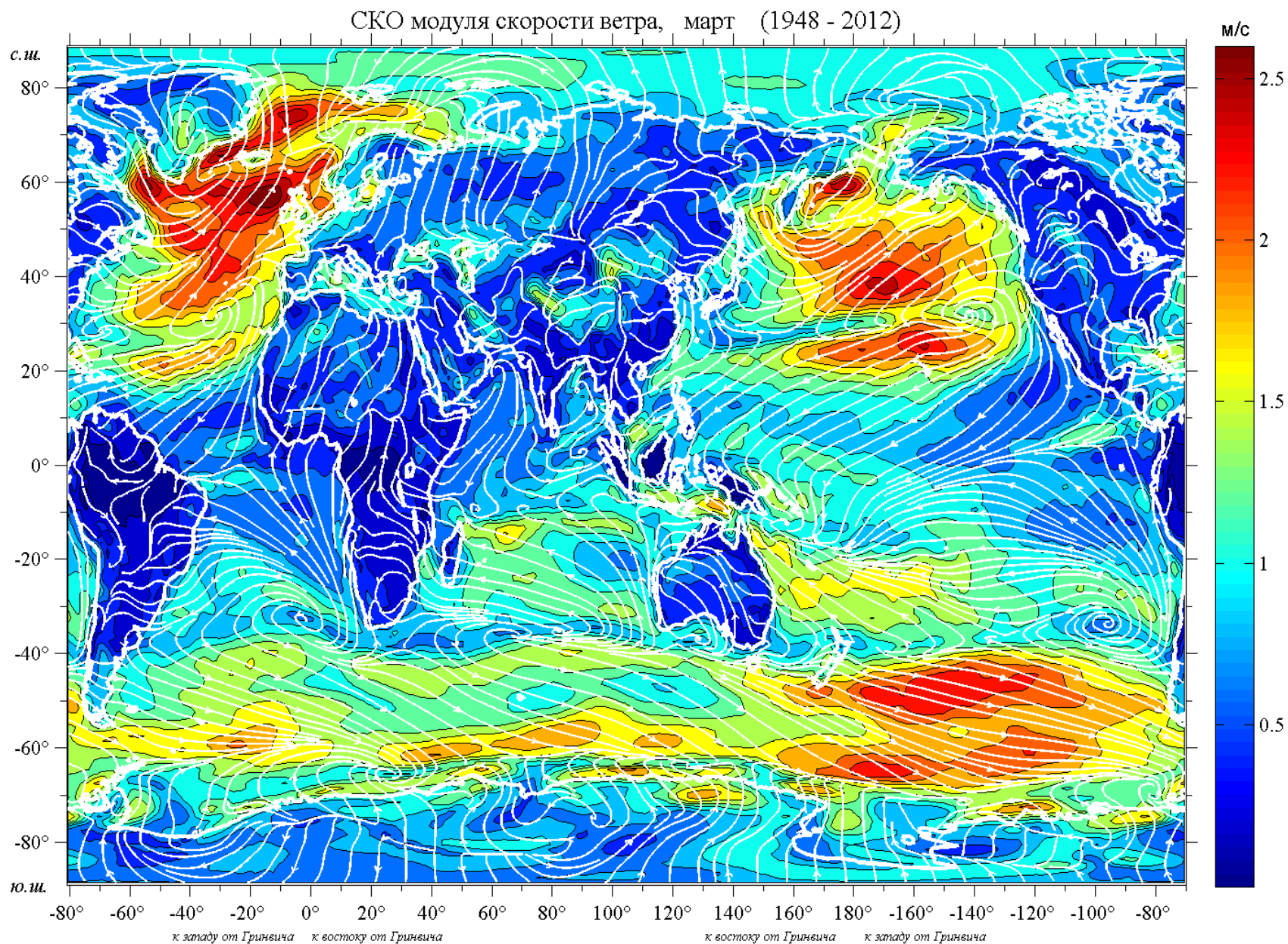
### **1.3. Среднеквадратическое отклонение (СКО) модуля вектора скорости ветра**

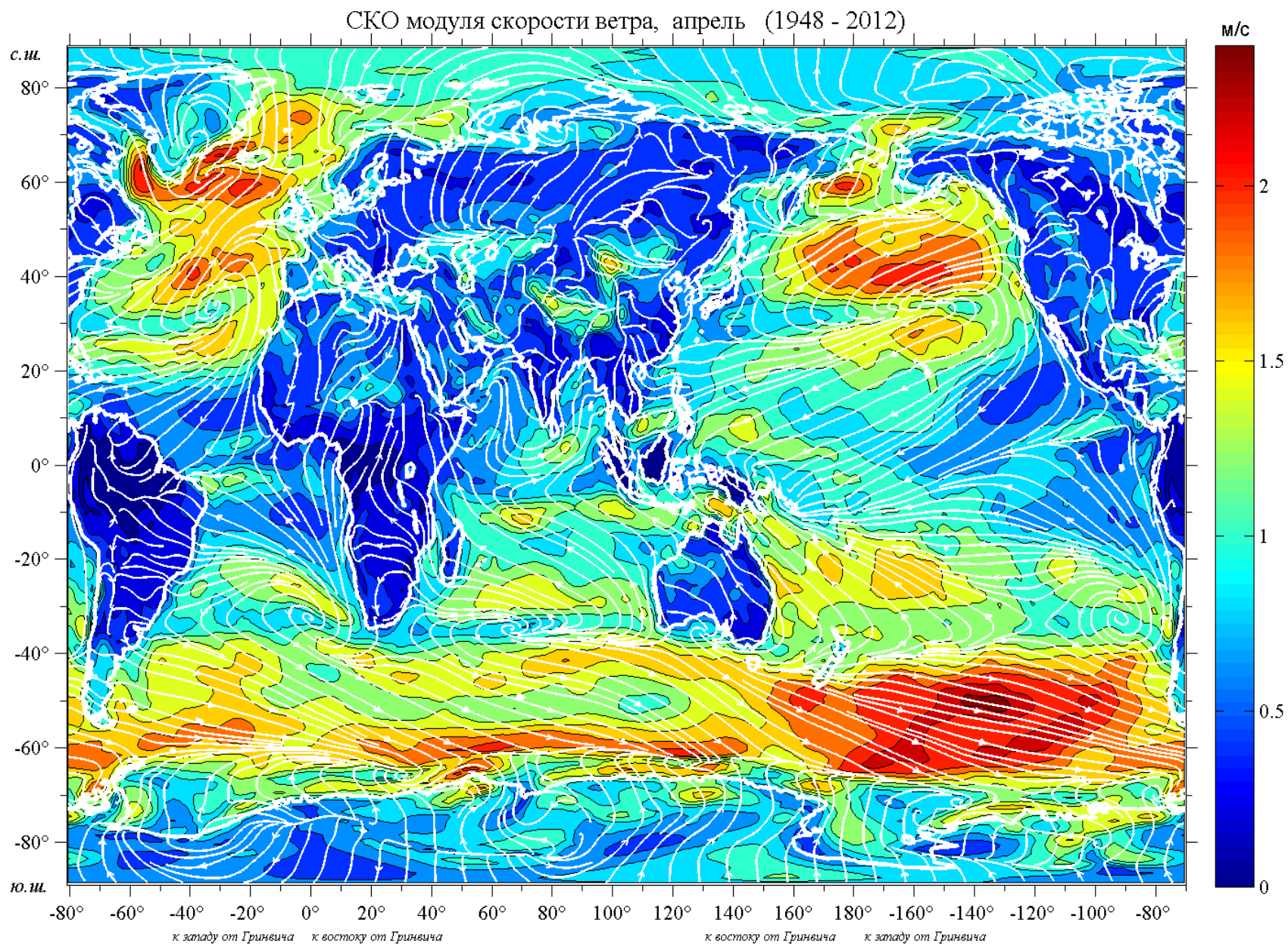
На картах для каждого месяца с шагом 0.5 м/с приведены изолинии значений СКО модуля вектора скорости ветра для периода 1948 – 2012 гг.



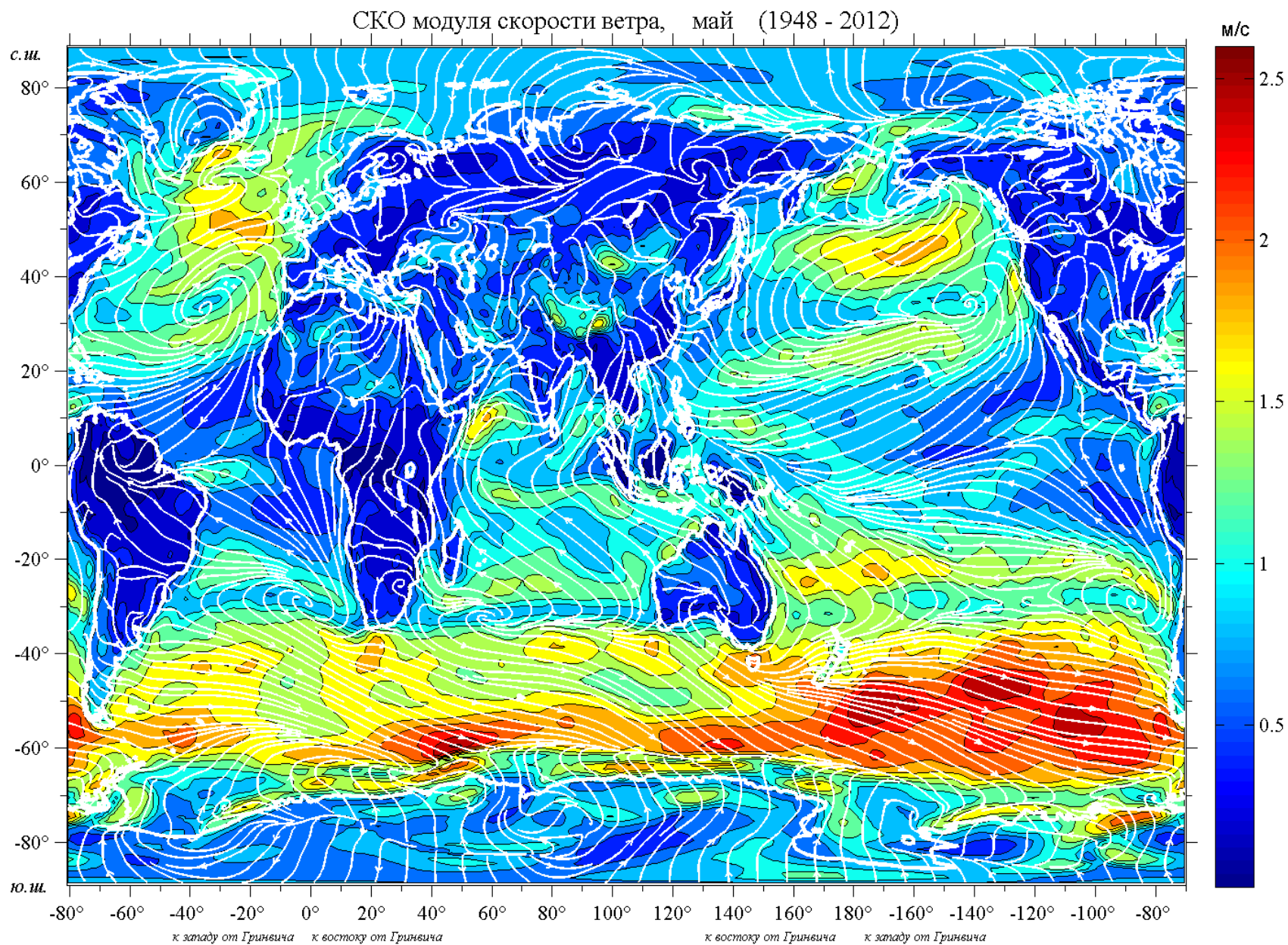


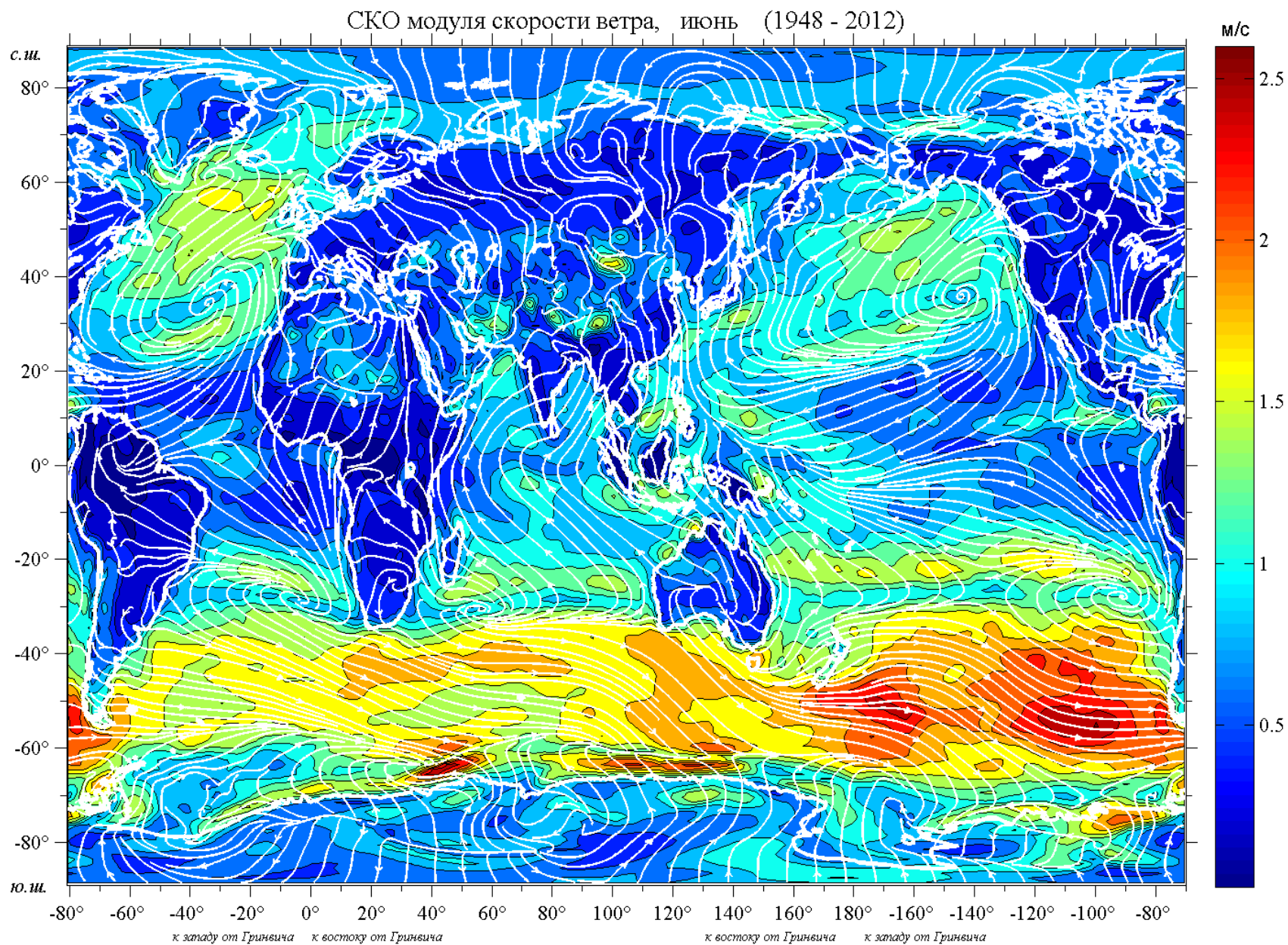




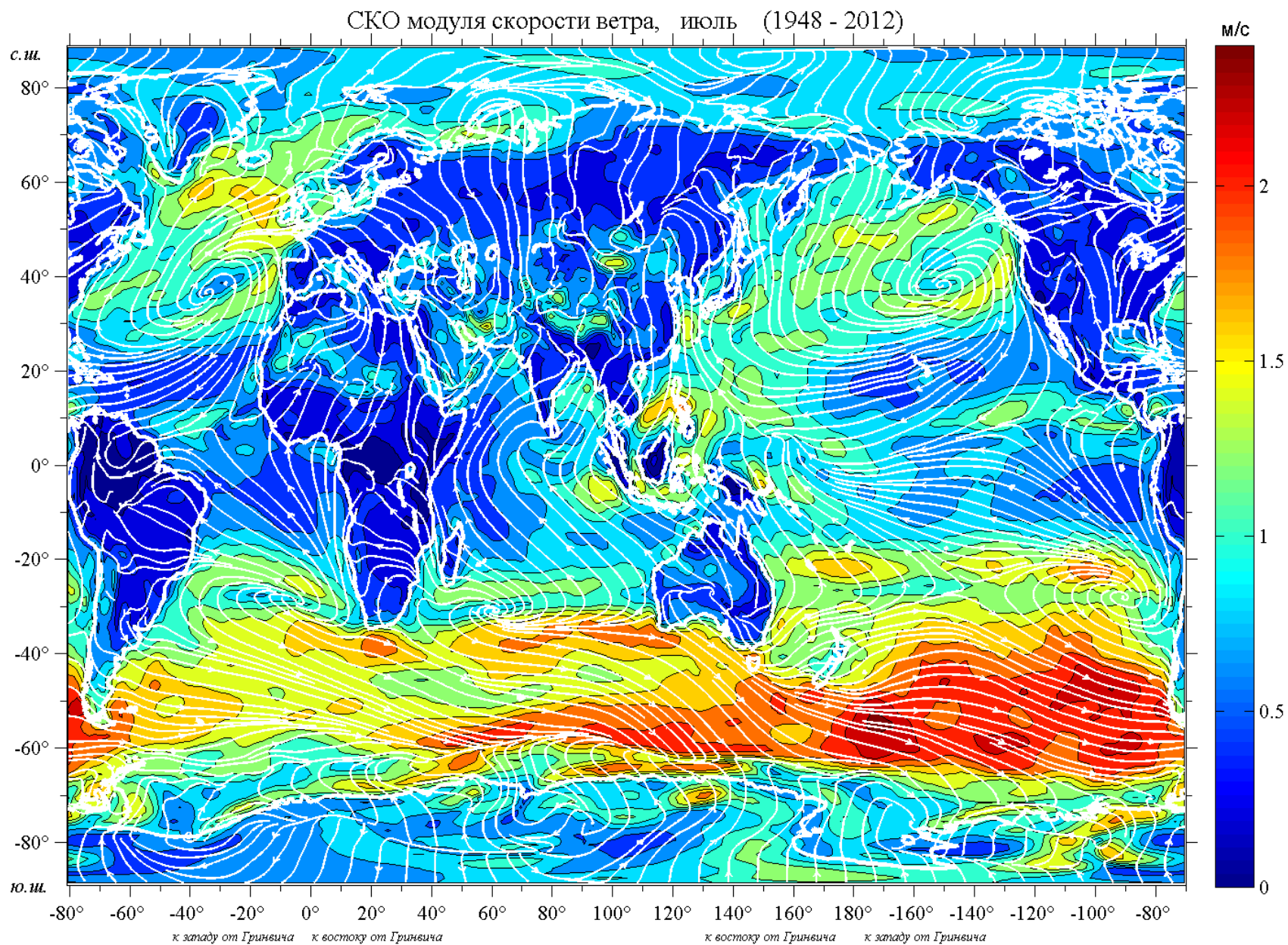


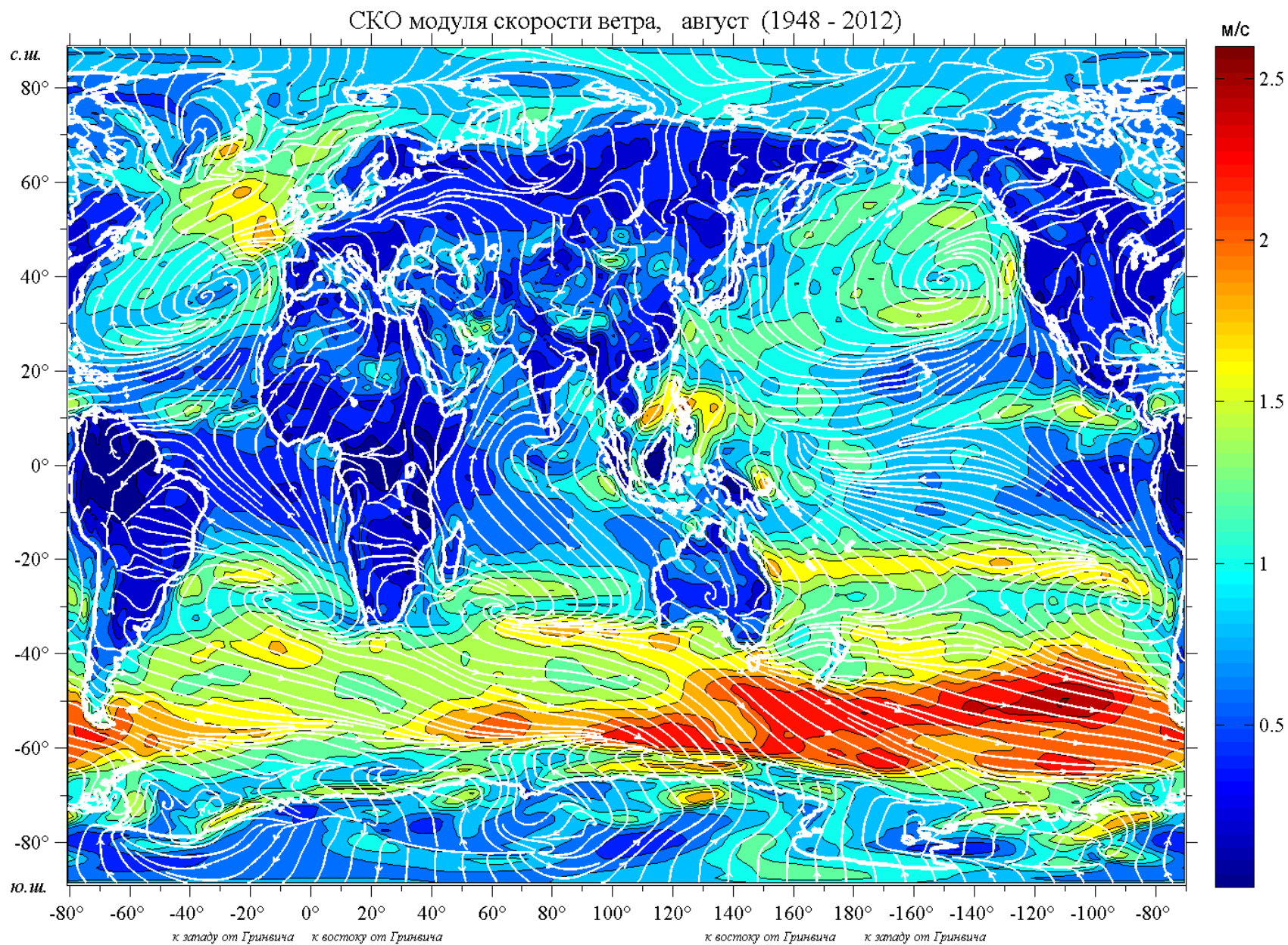




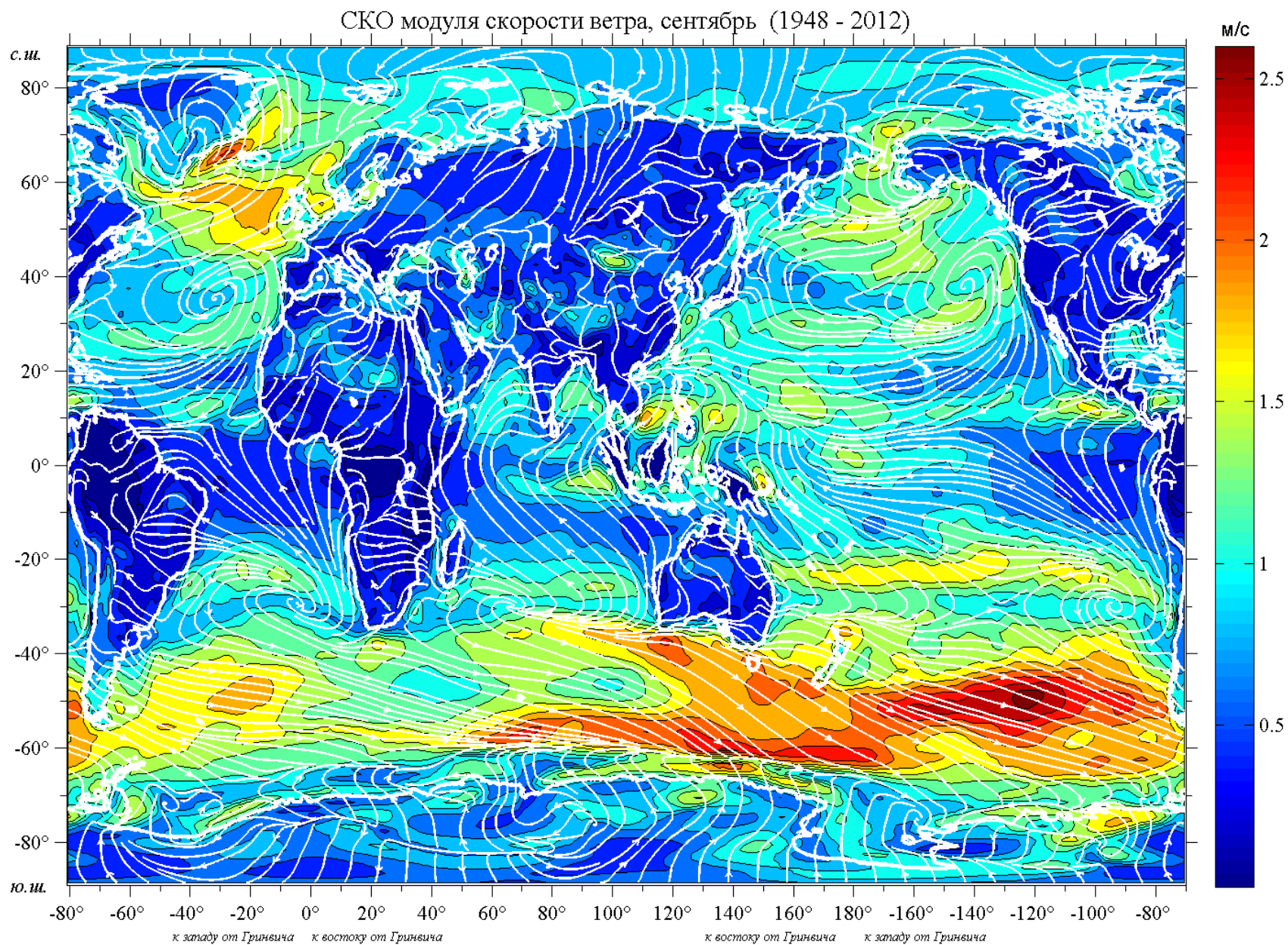


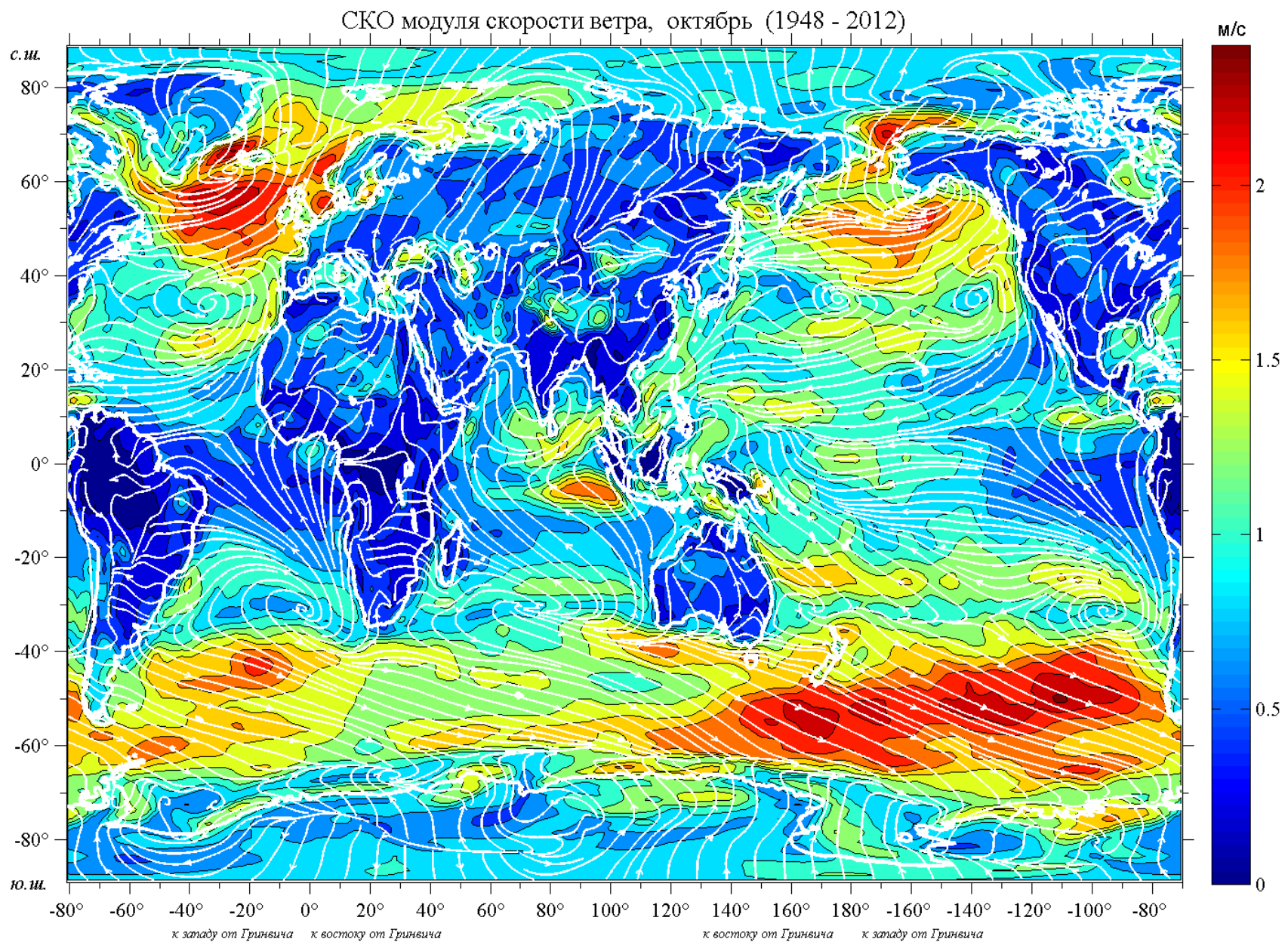




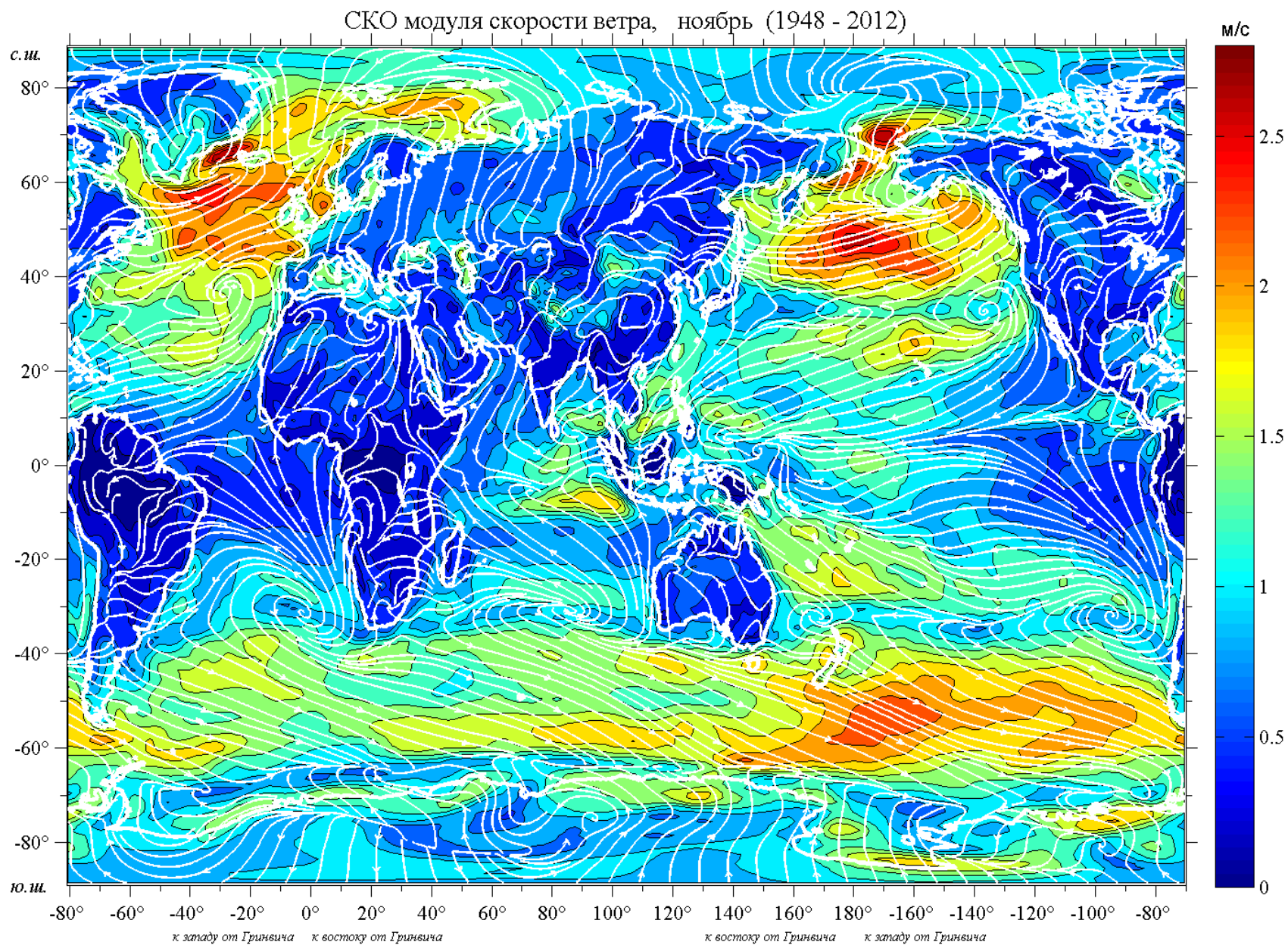




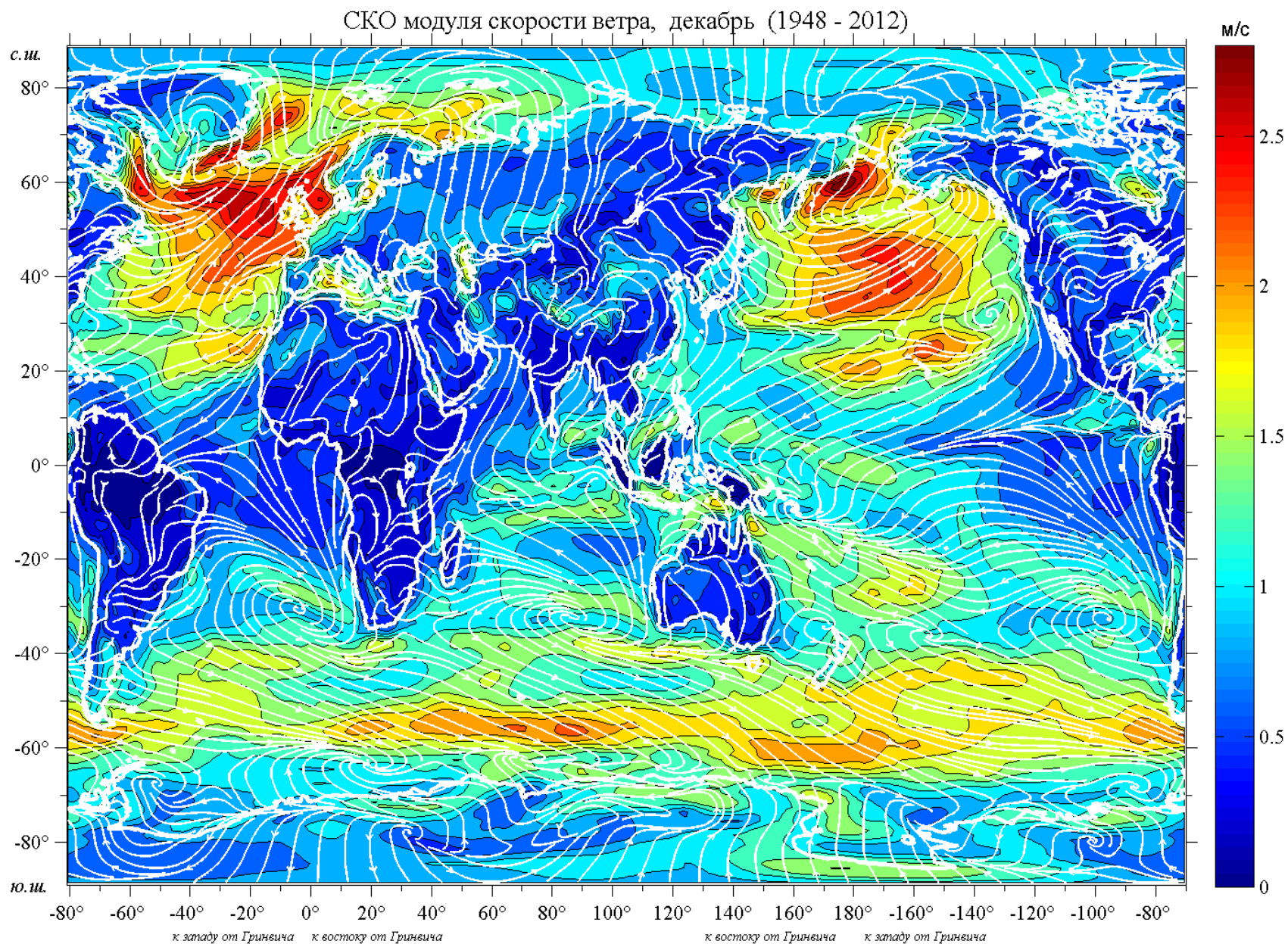






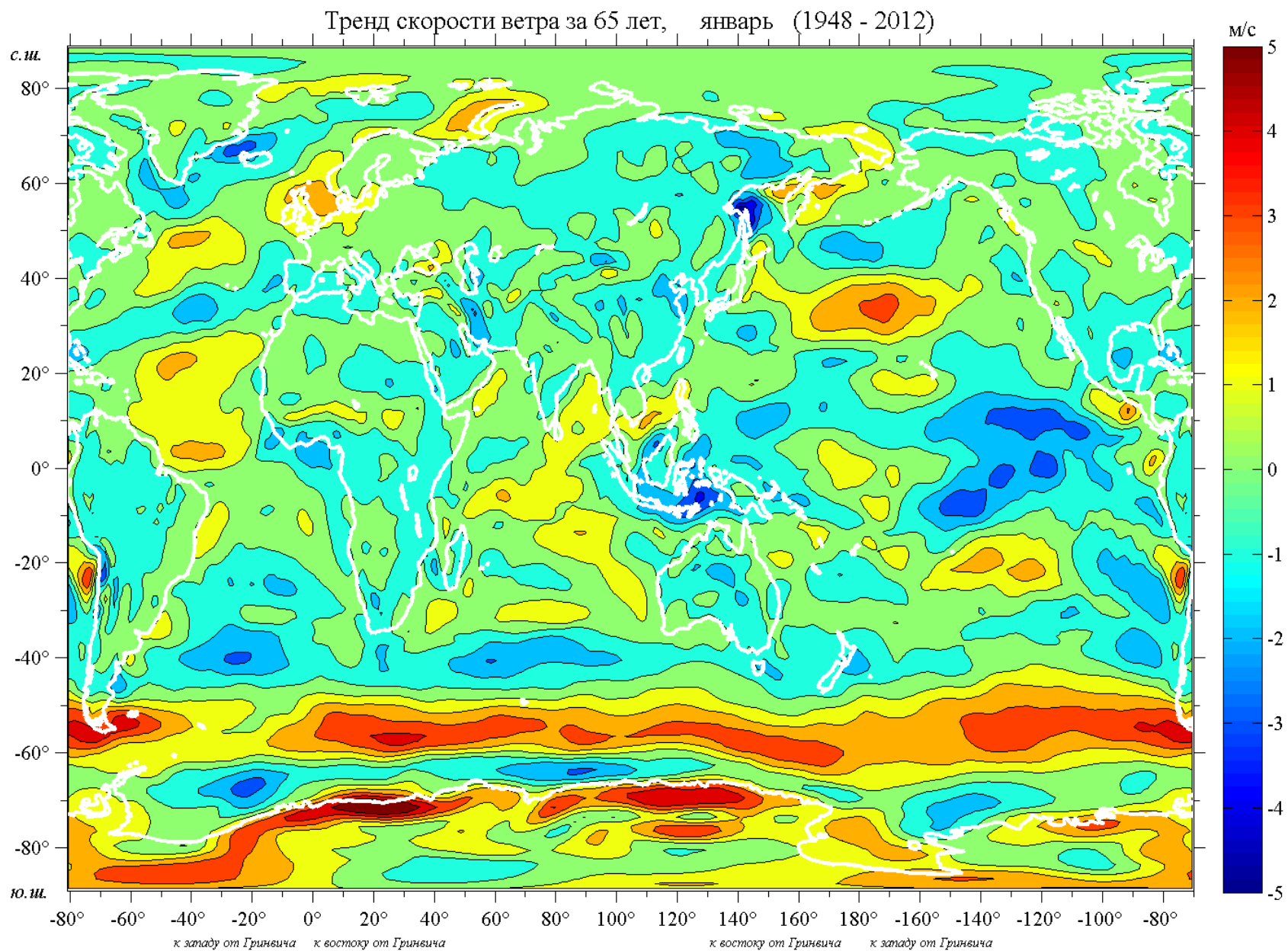




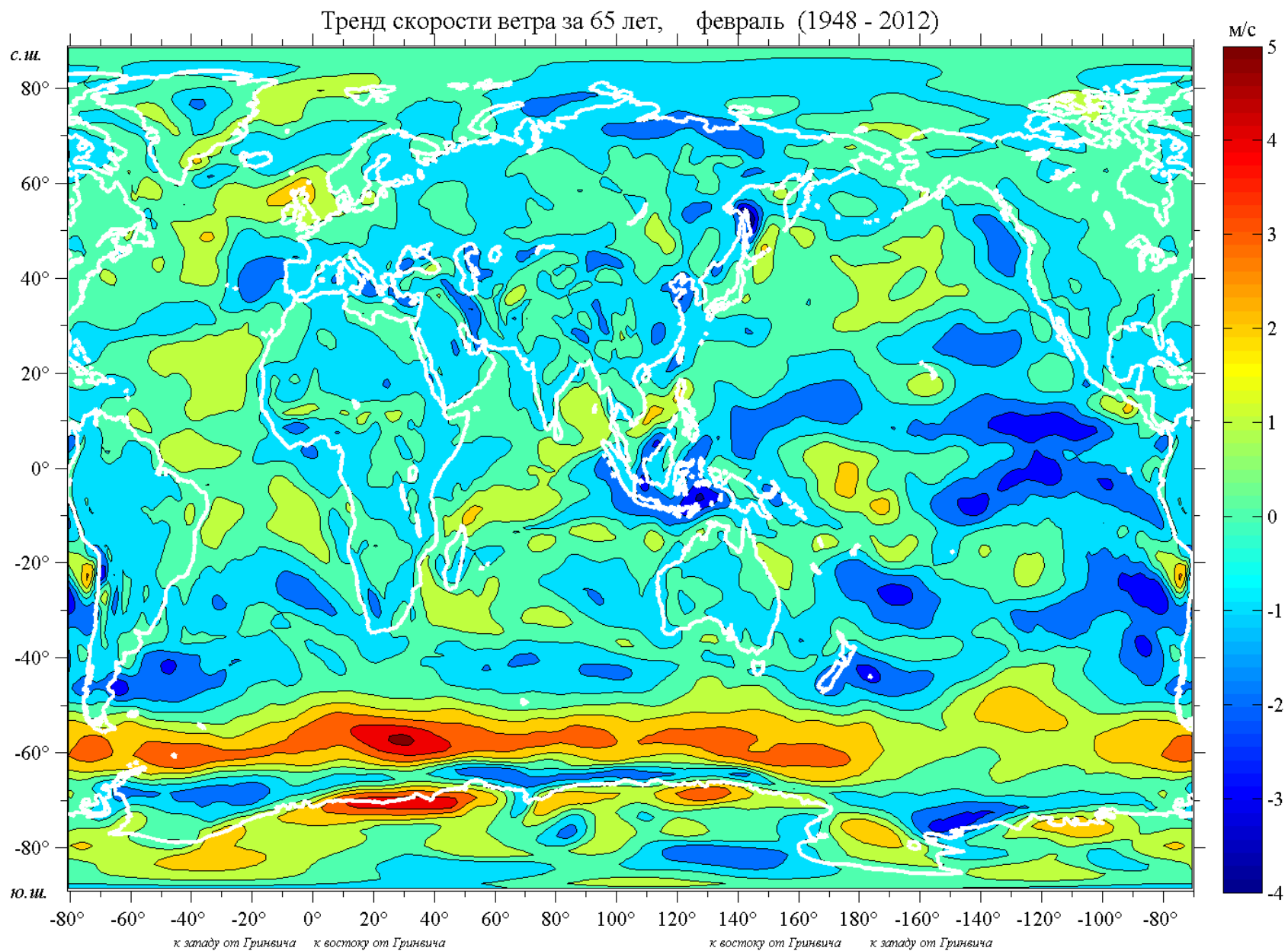


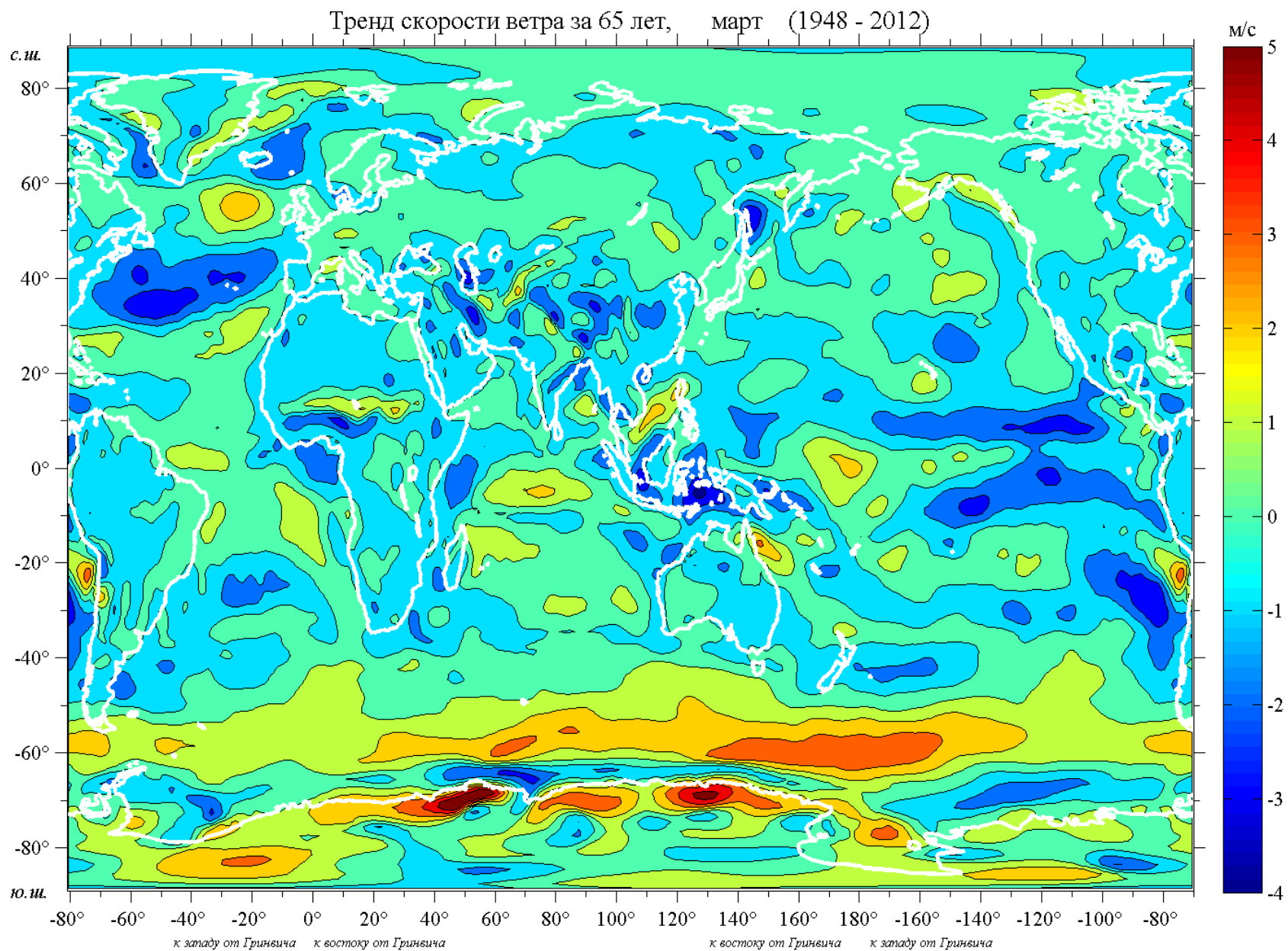
#### **1.4. Тренд скорости ветра**

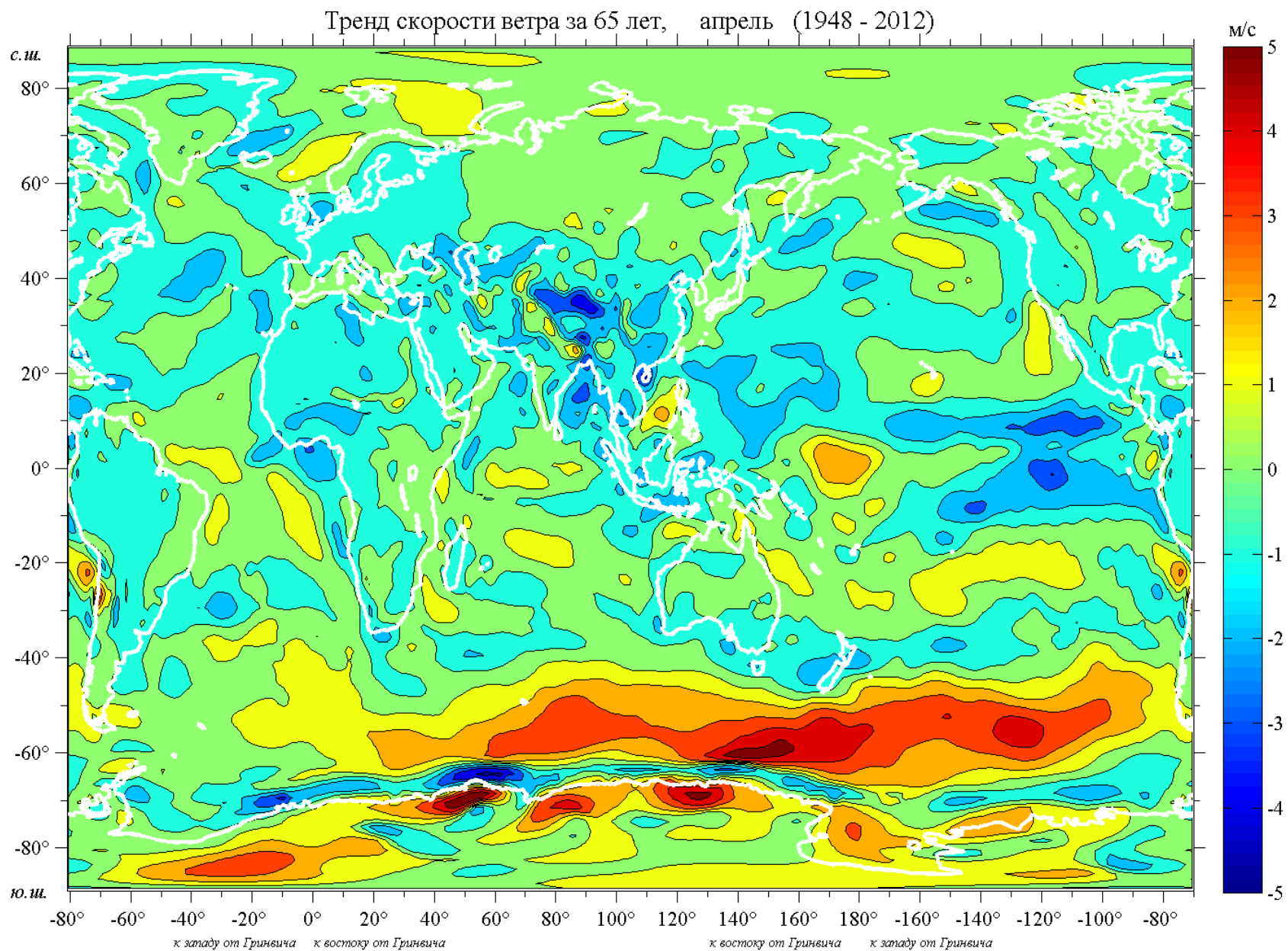
На картах для каждого месяца с шагом  $1(\text{м/с})/65\text{лет}$  приведены изолинии значений тренда модуля вектора скорости ветра для периода 1948 – 2012 гг.



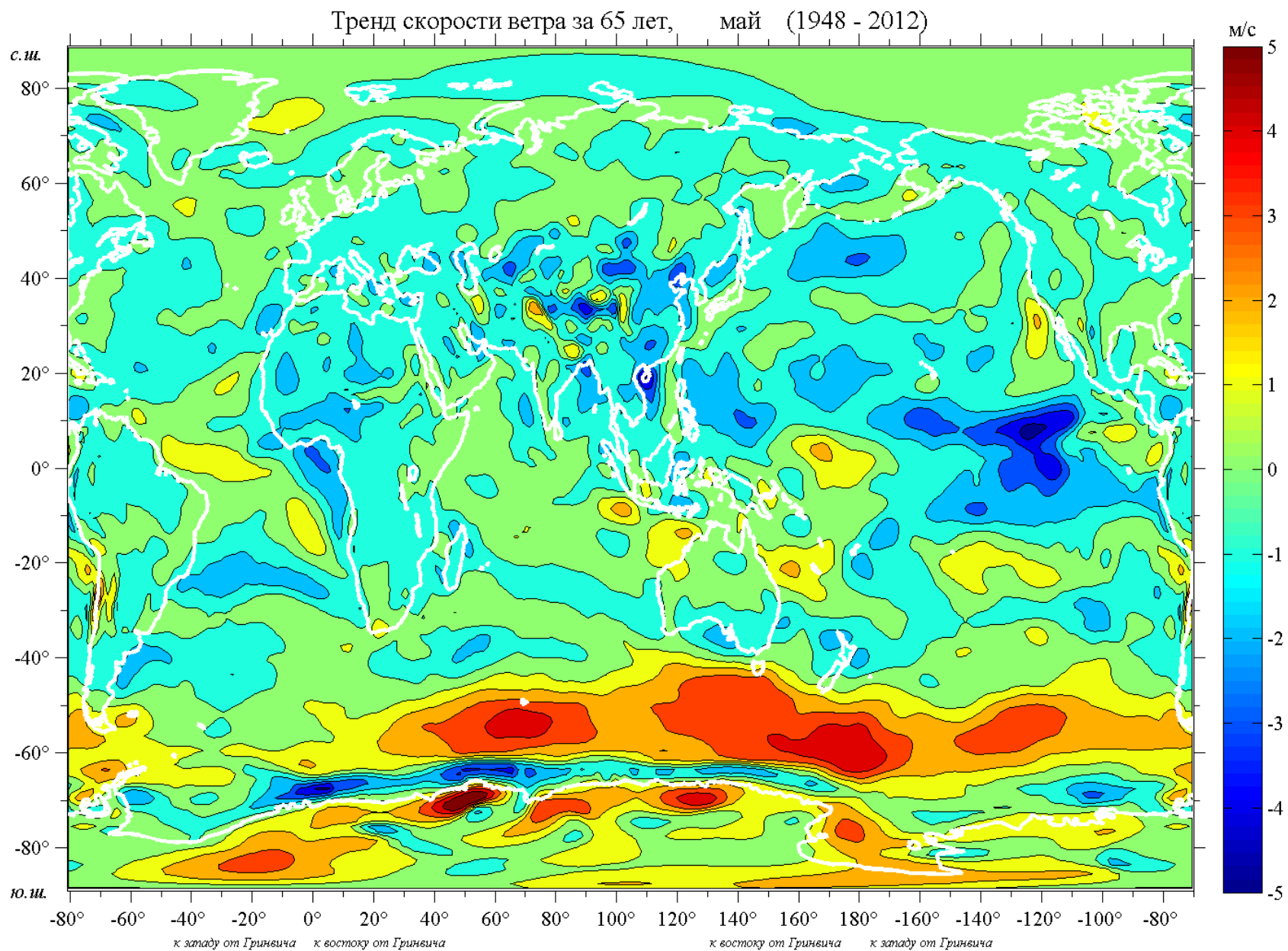


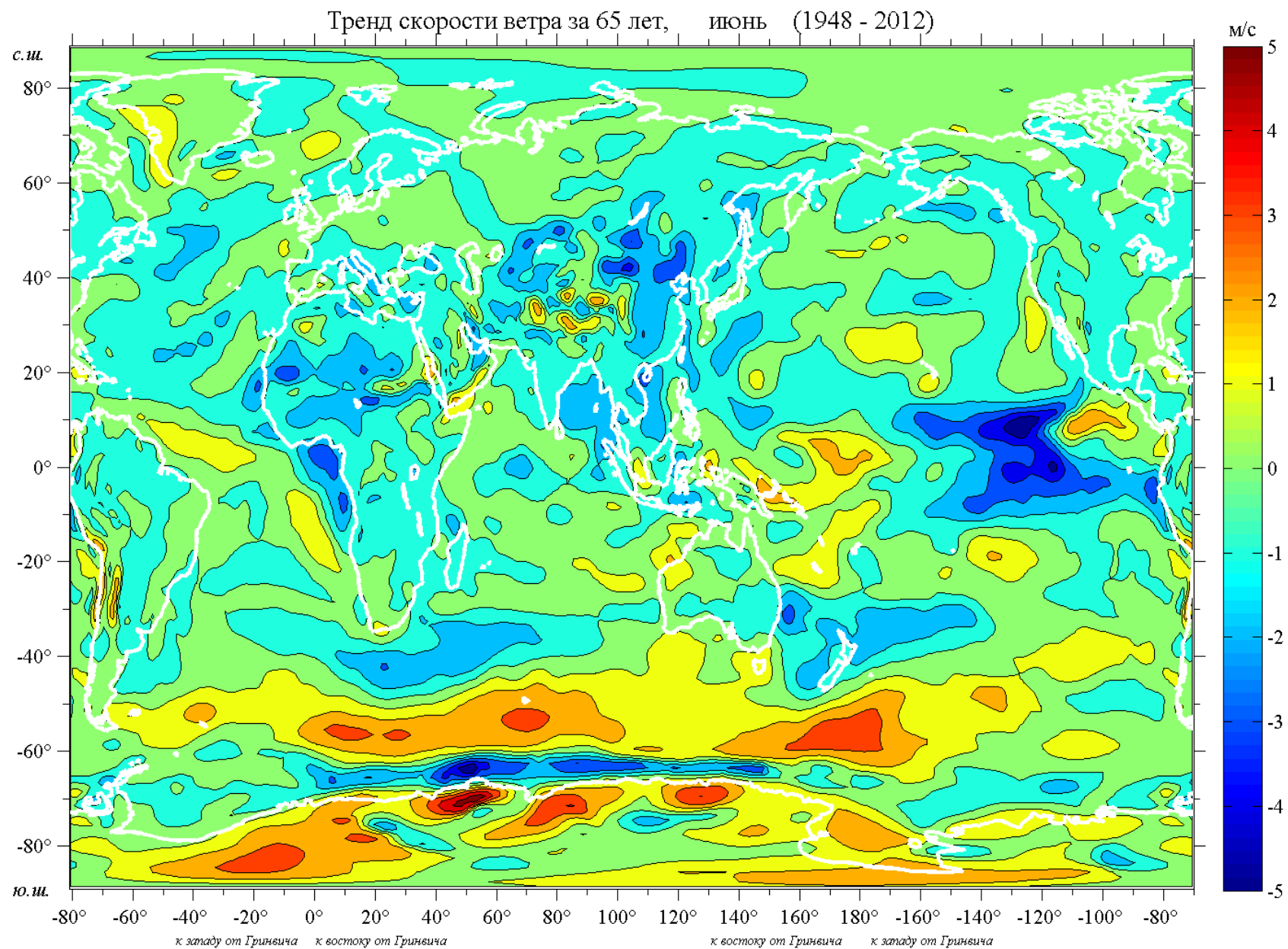


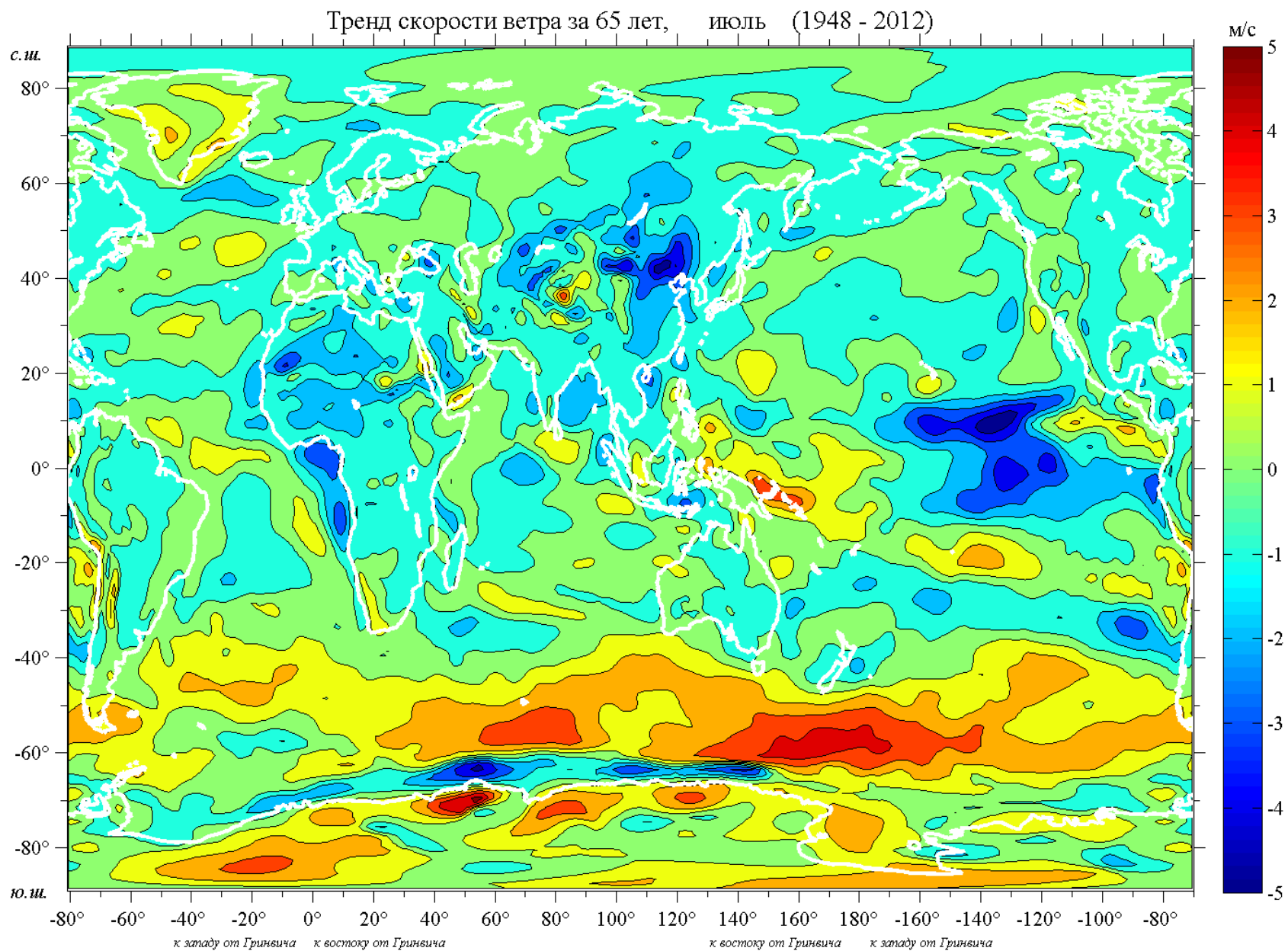




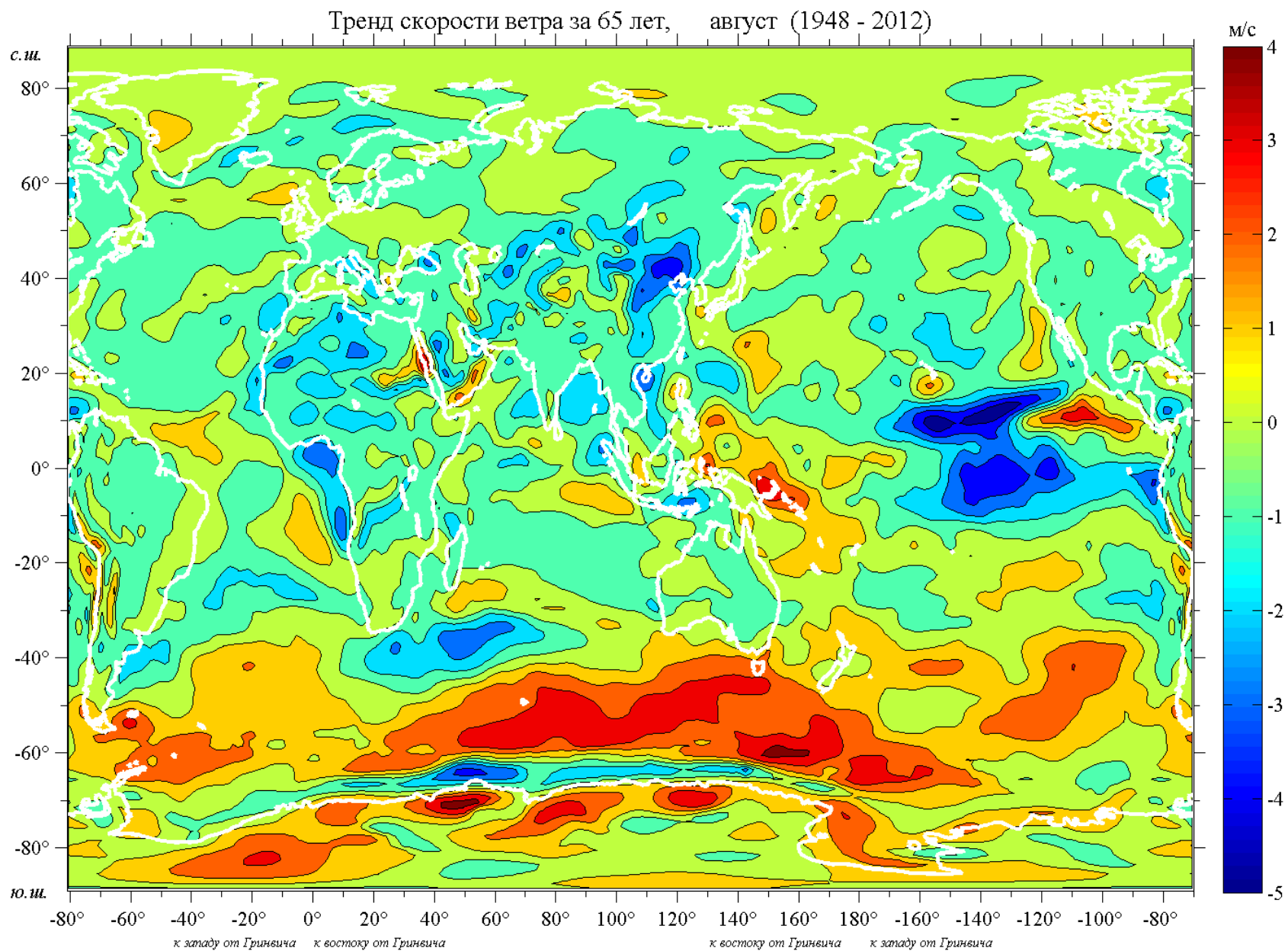


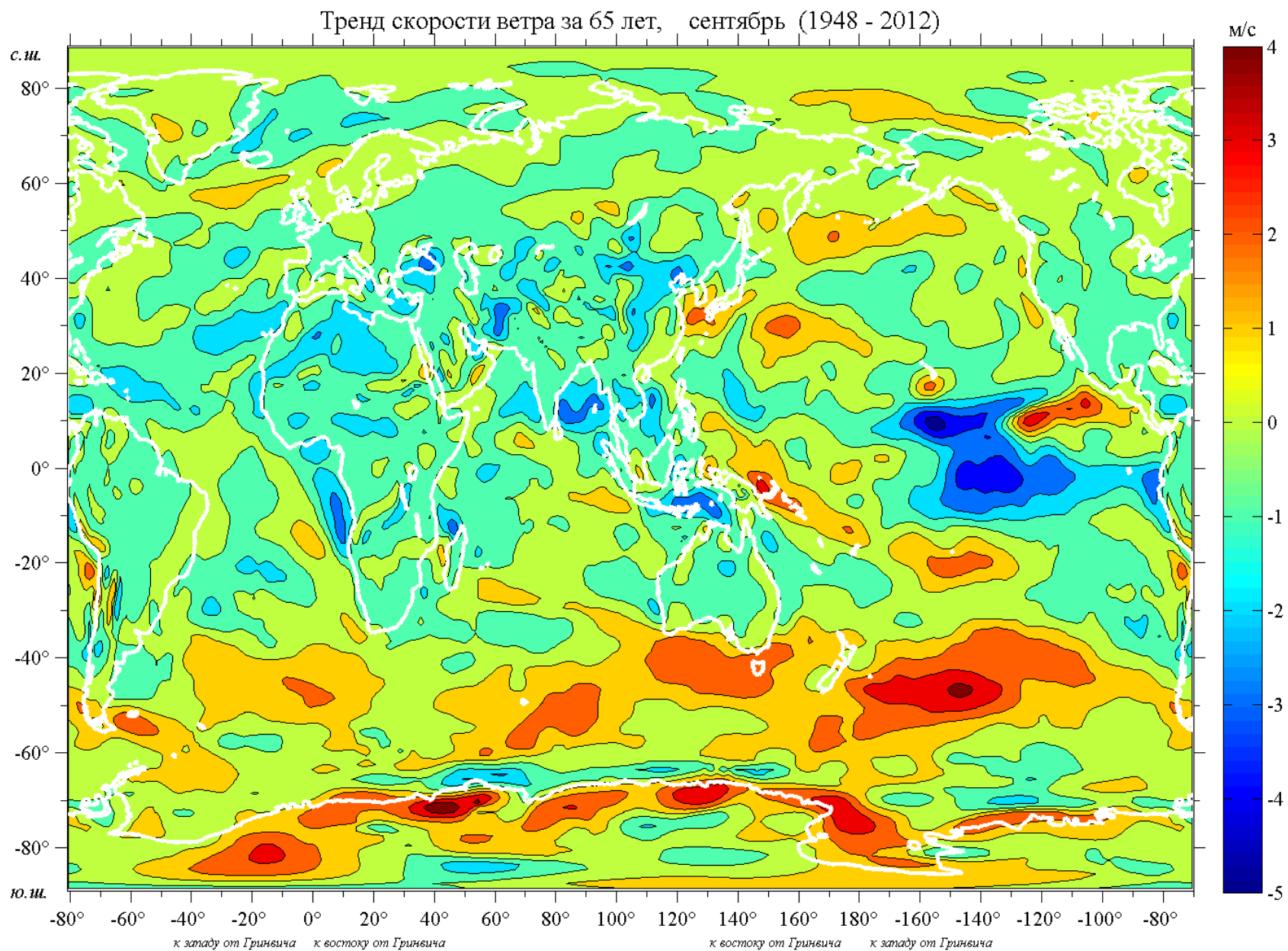


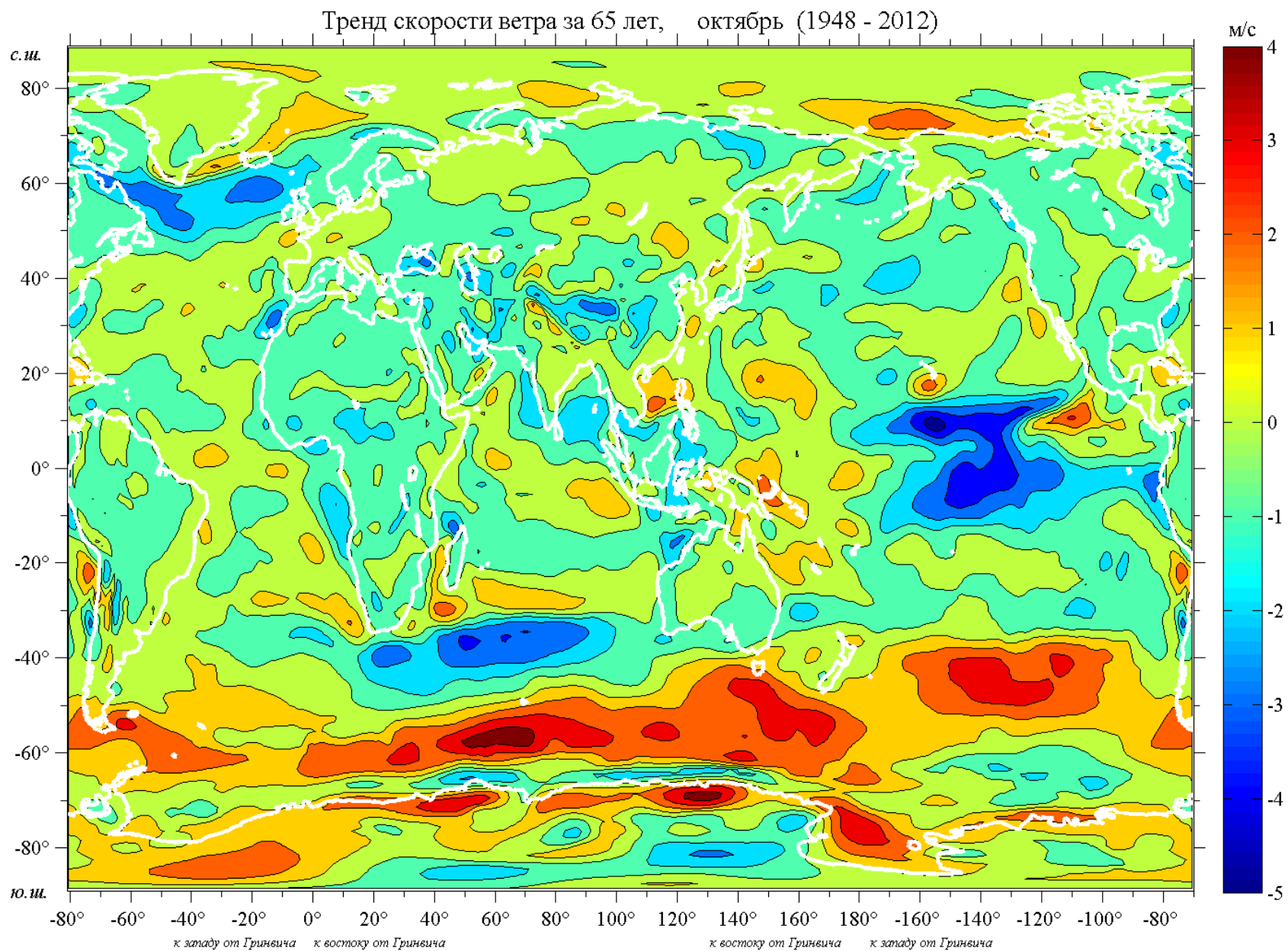




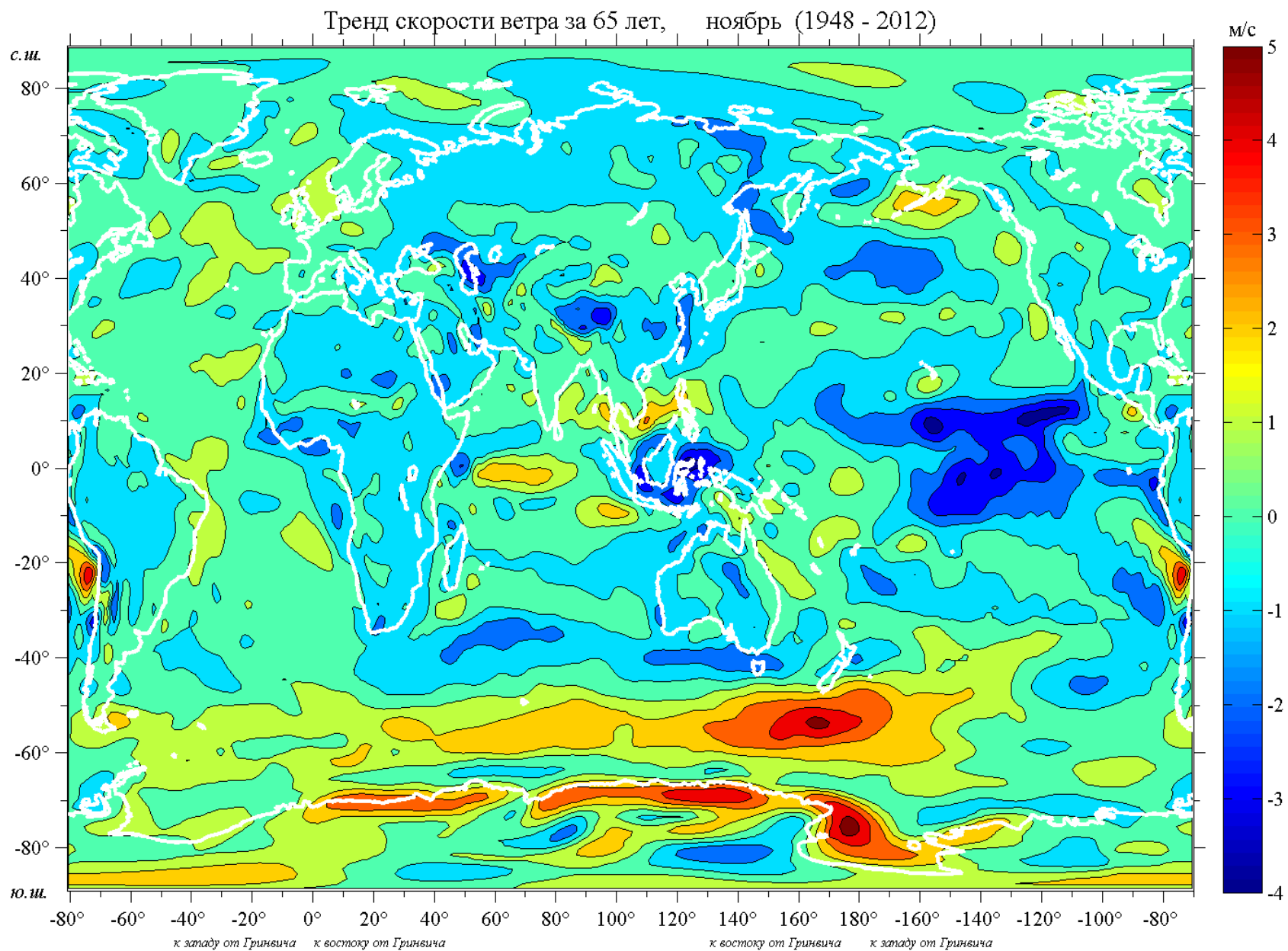


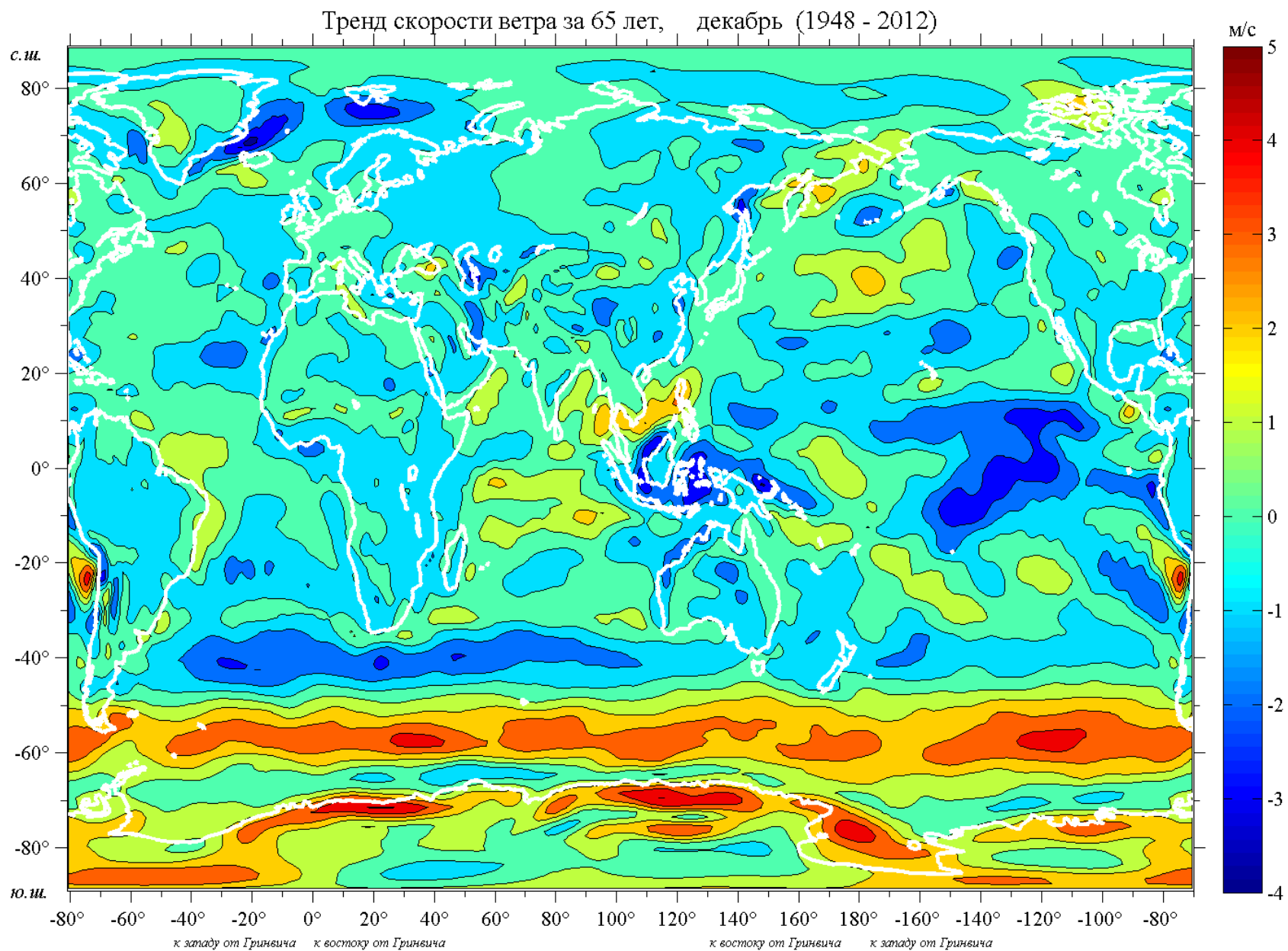








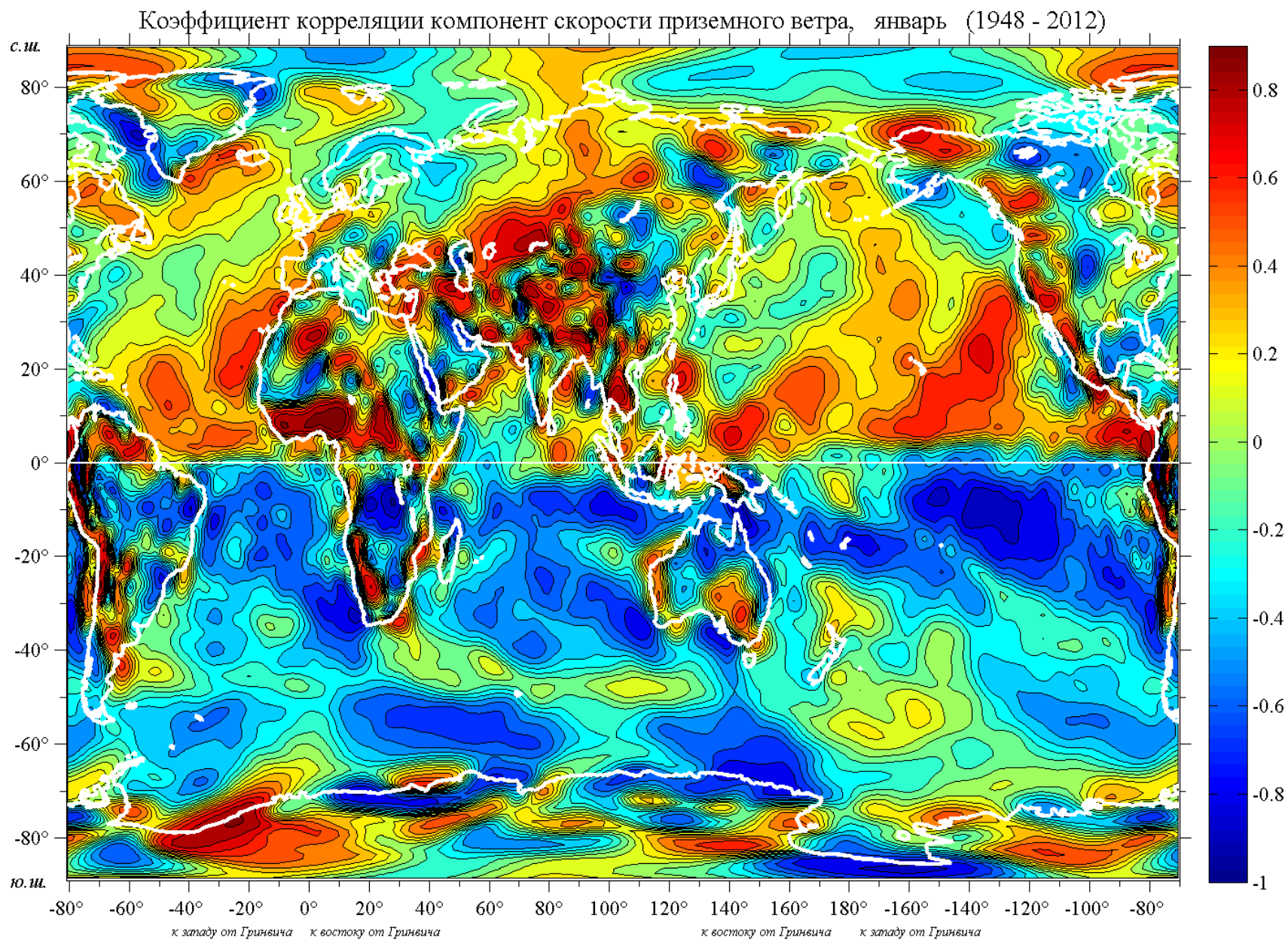


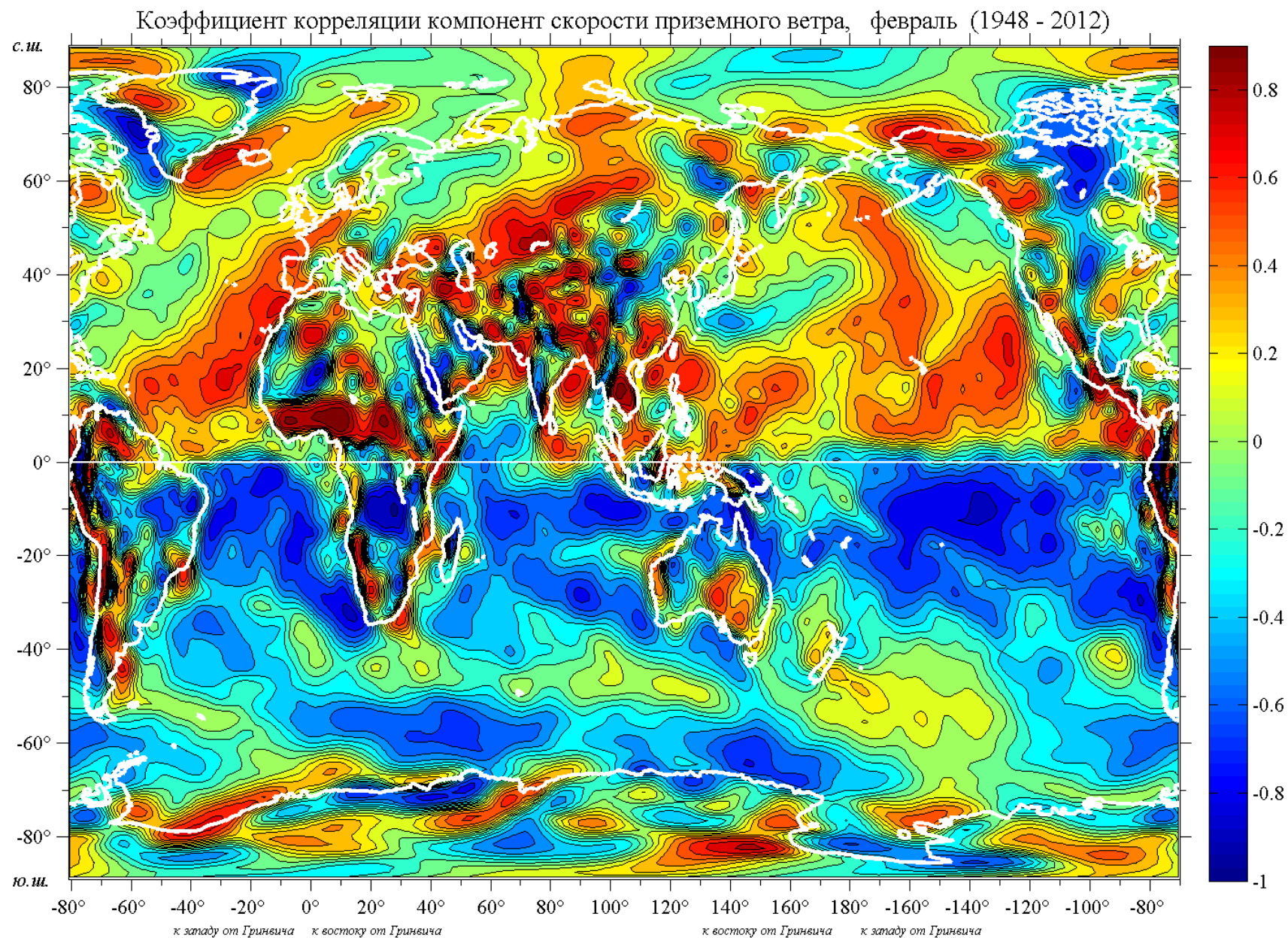


### **1.5. Корреляция компонент вектора скорости ветра**

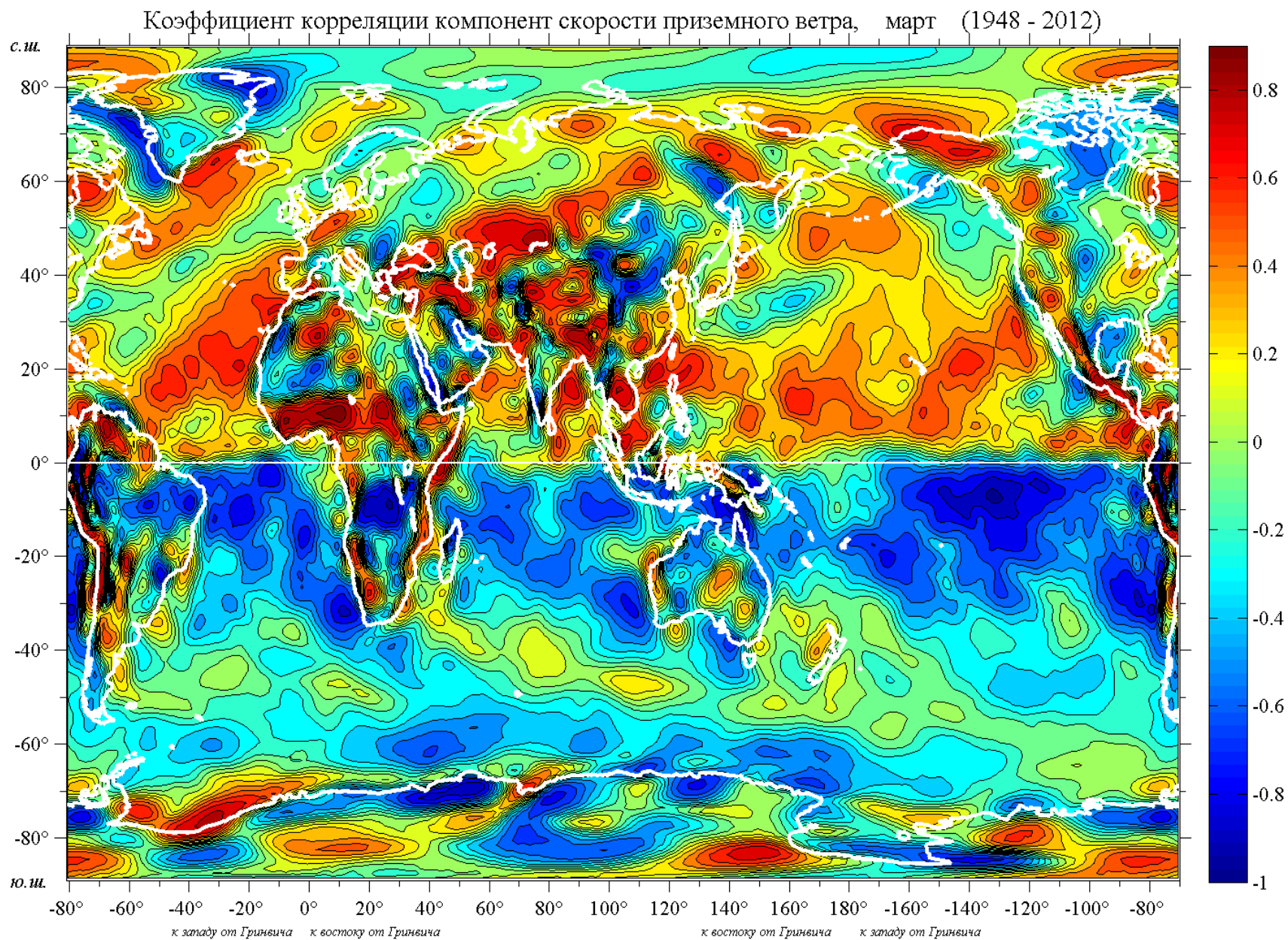
На картах для каждого месяца с шагом 0.2 приведены изолинии значений коэффициента корреляции зональной и меридиональной компонент вектора скорости ветра для периода 1948 – 2012 гг.



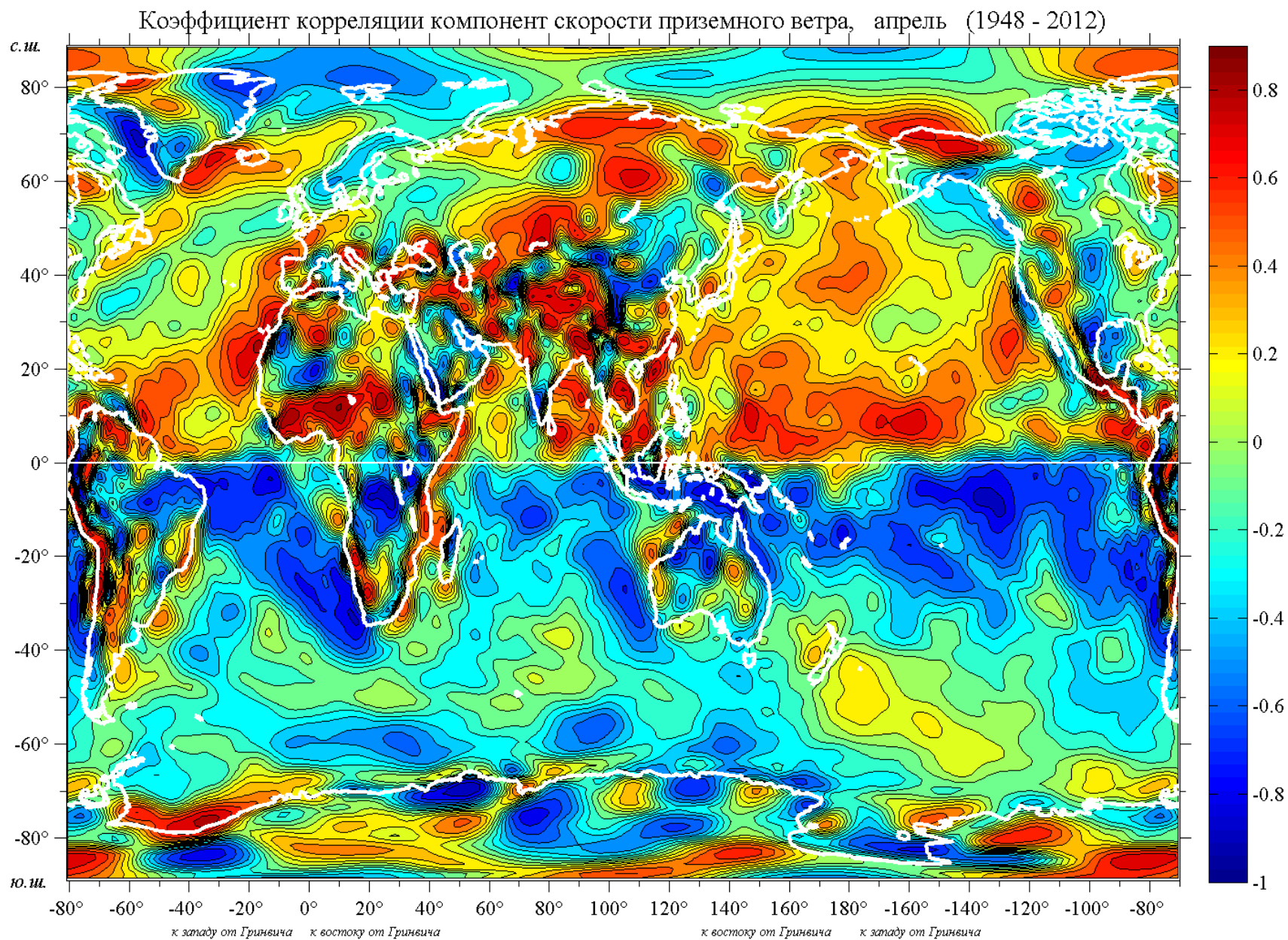


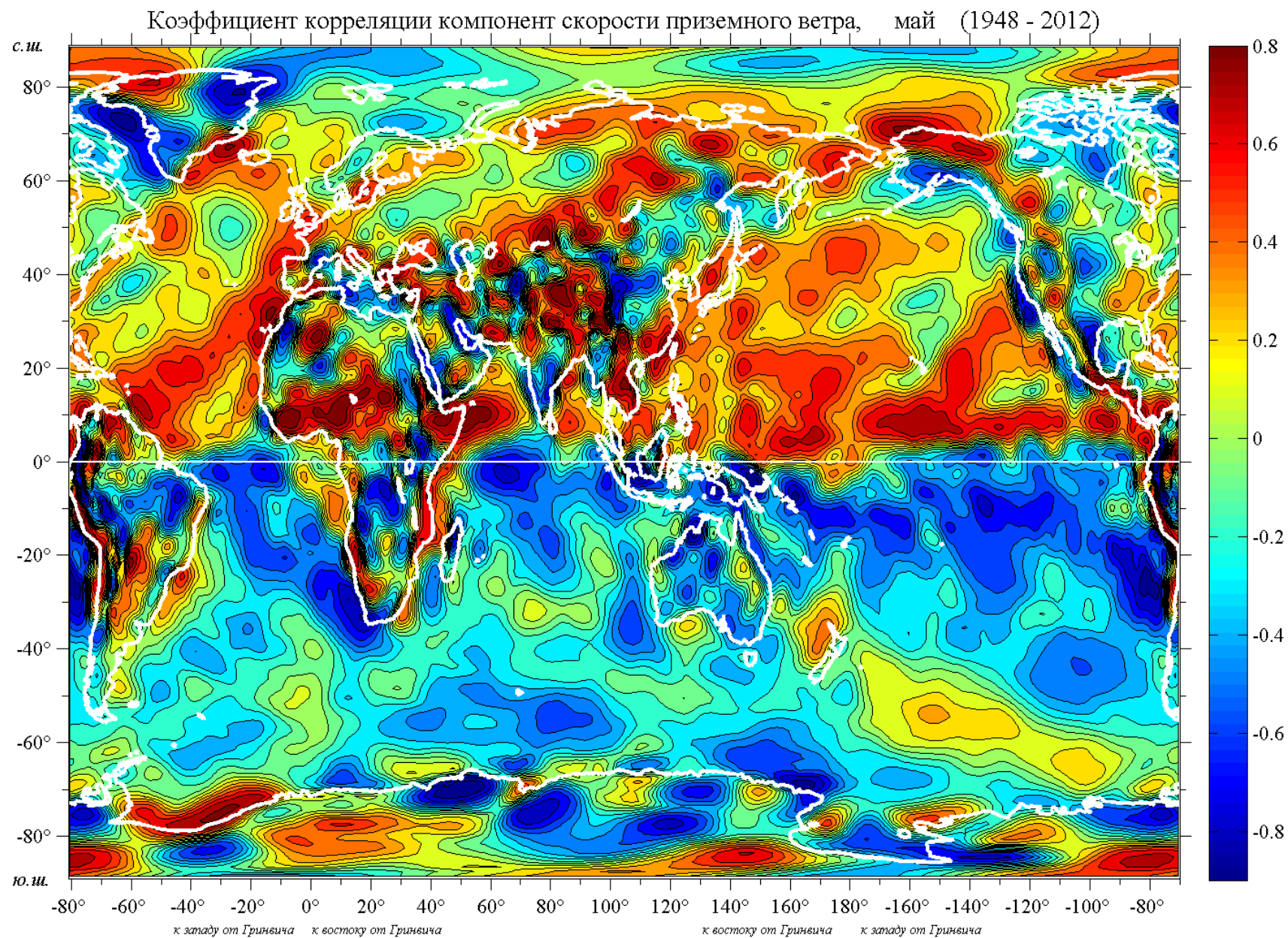




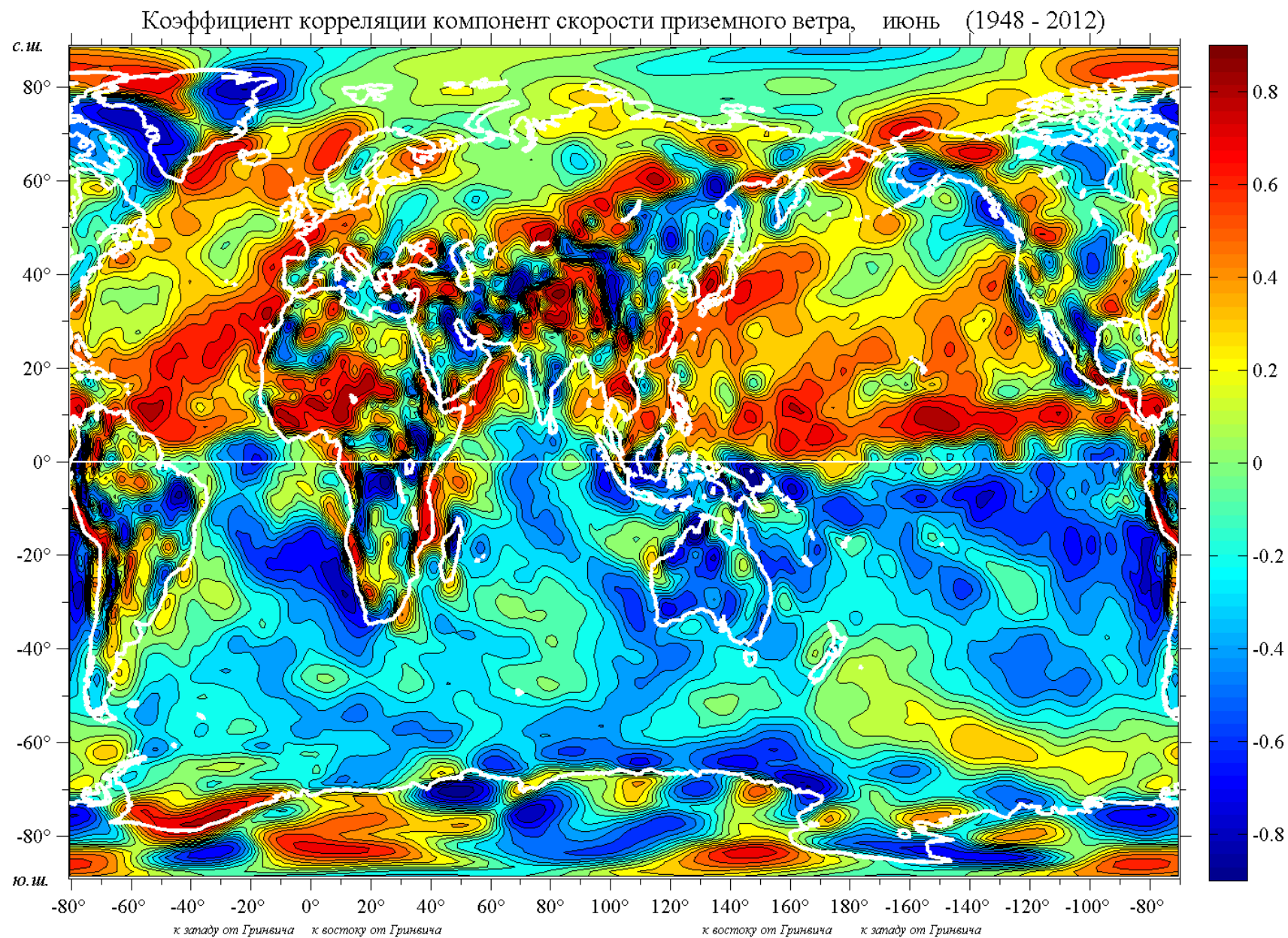




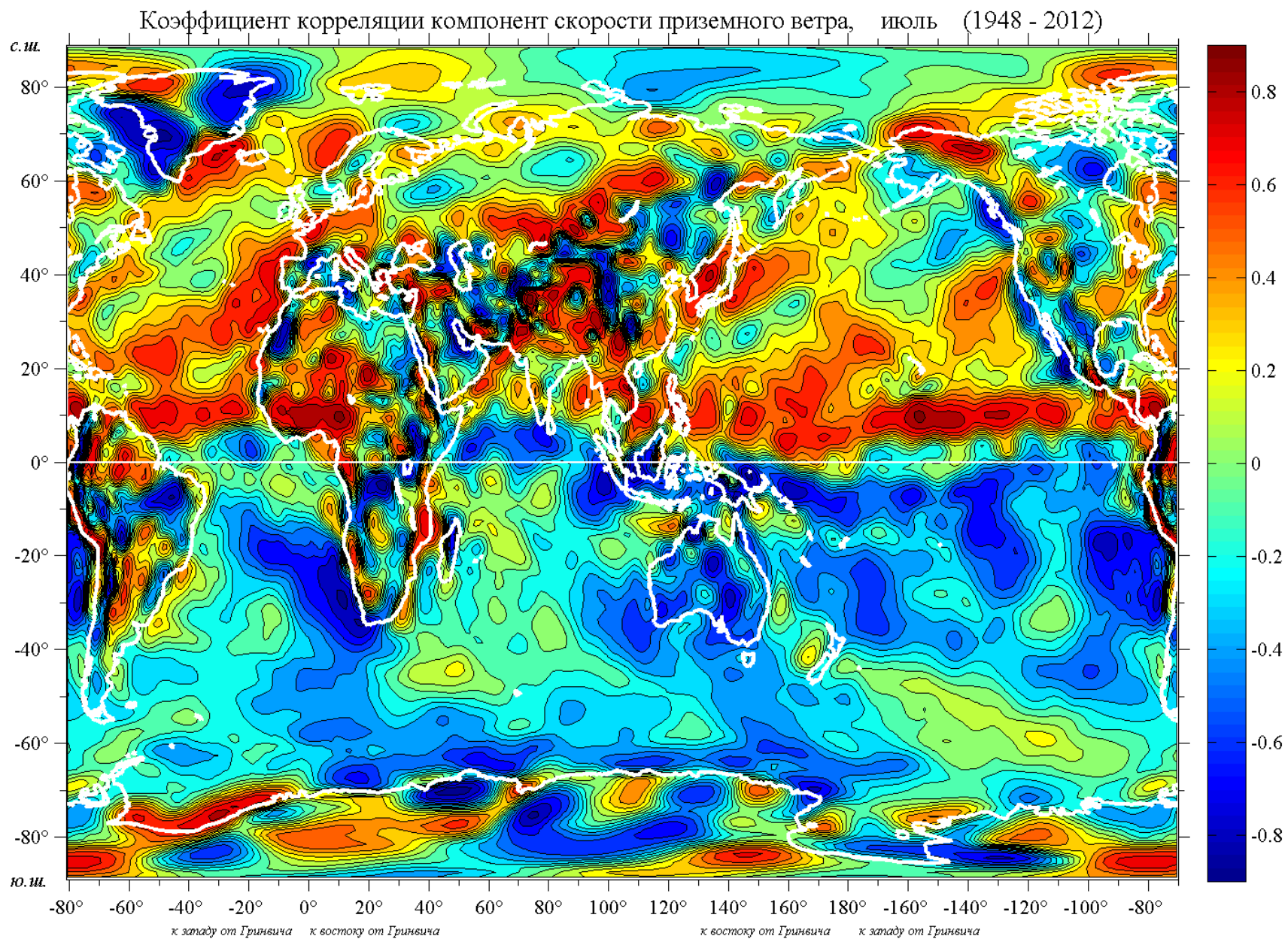


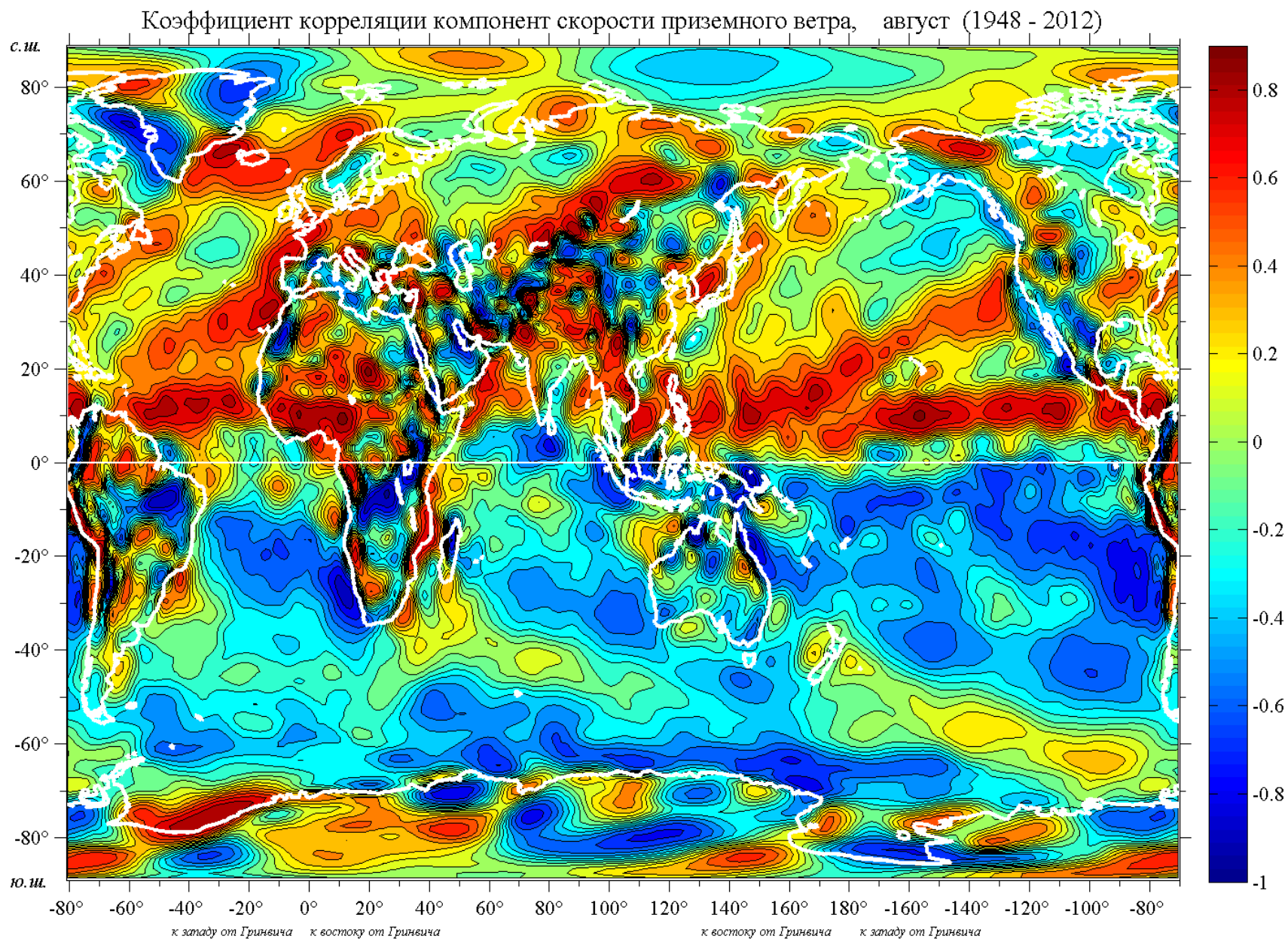




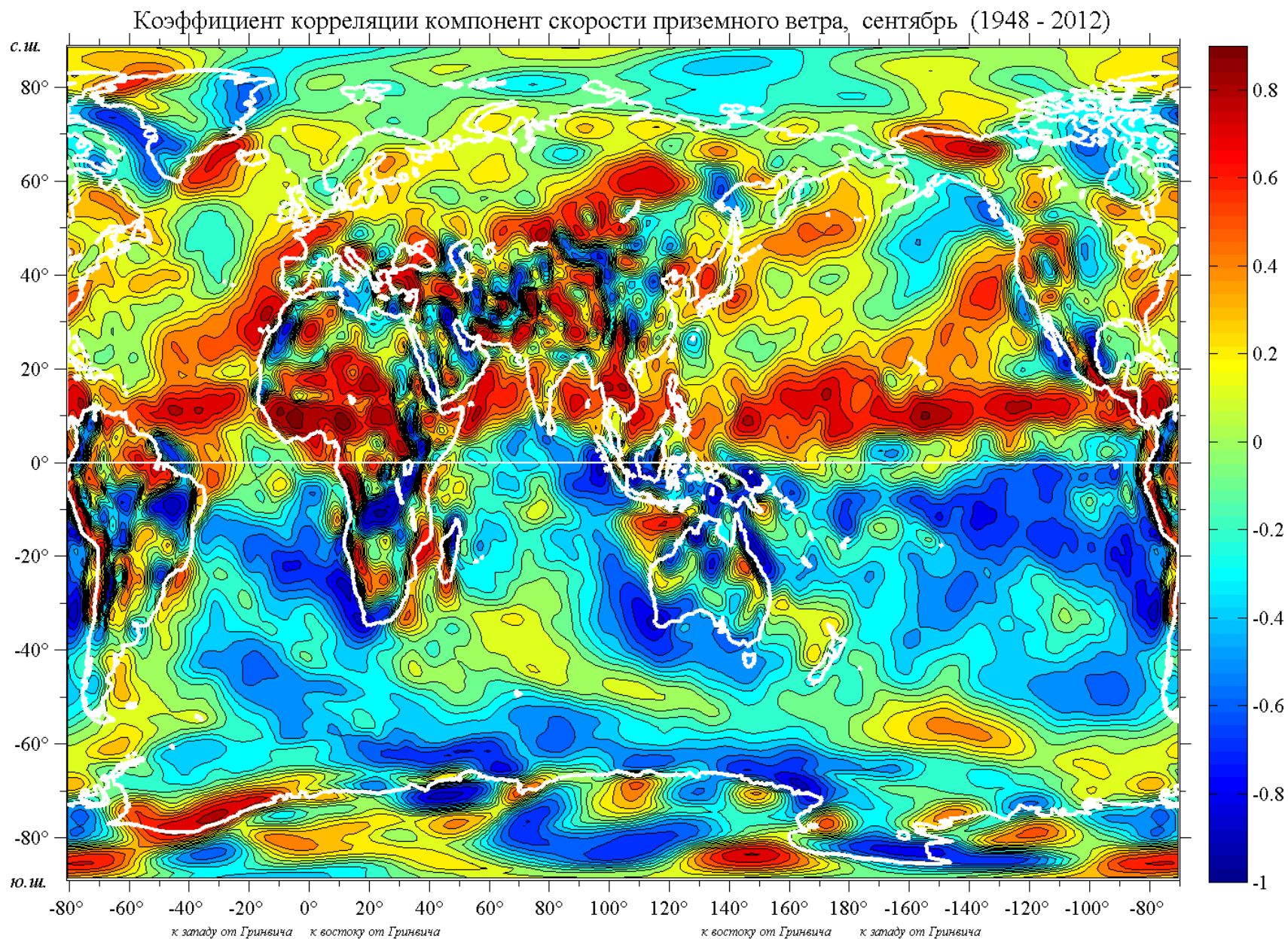




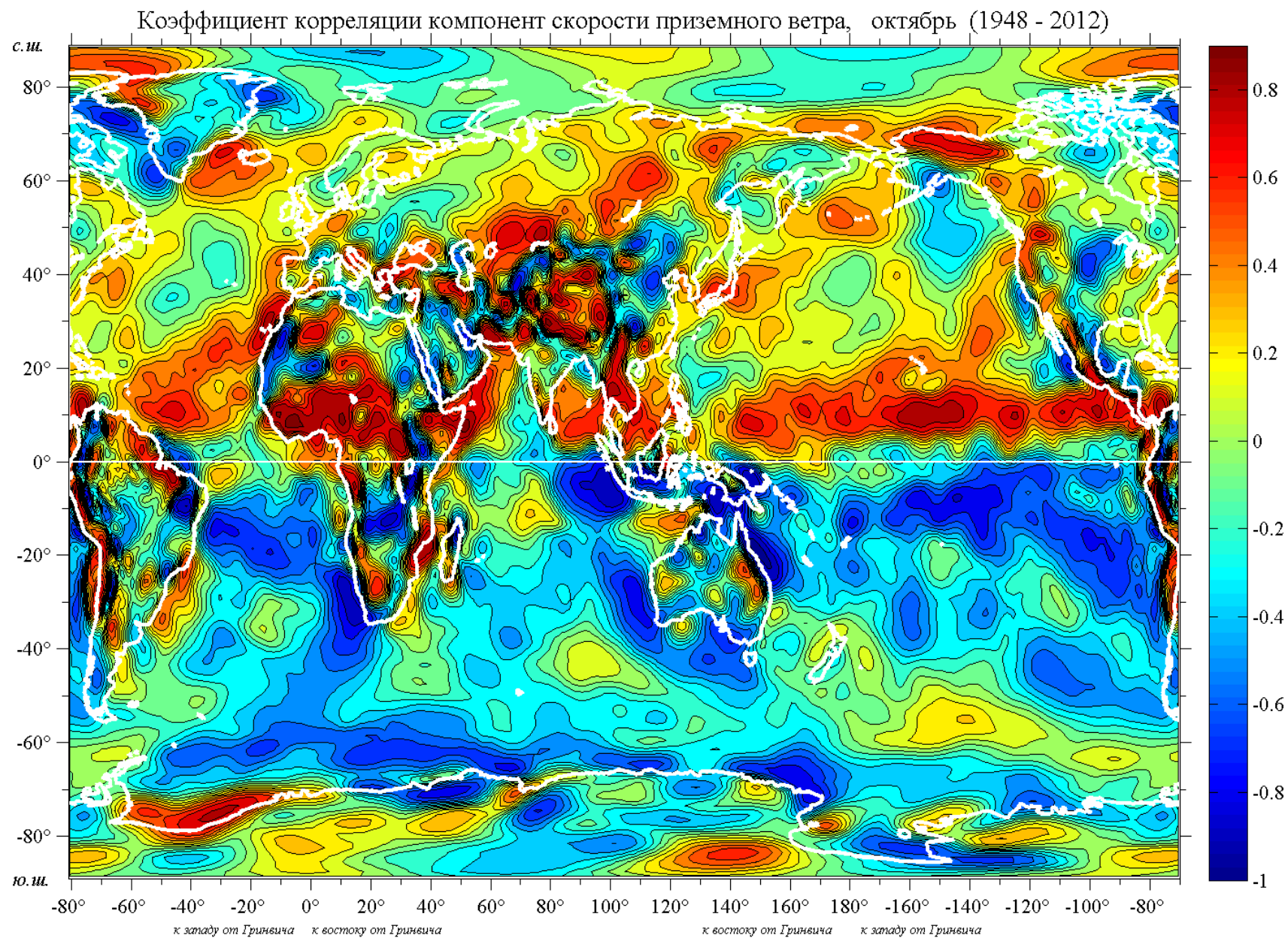


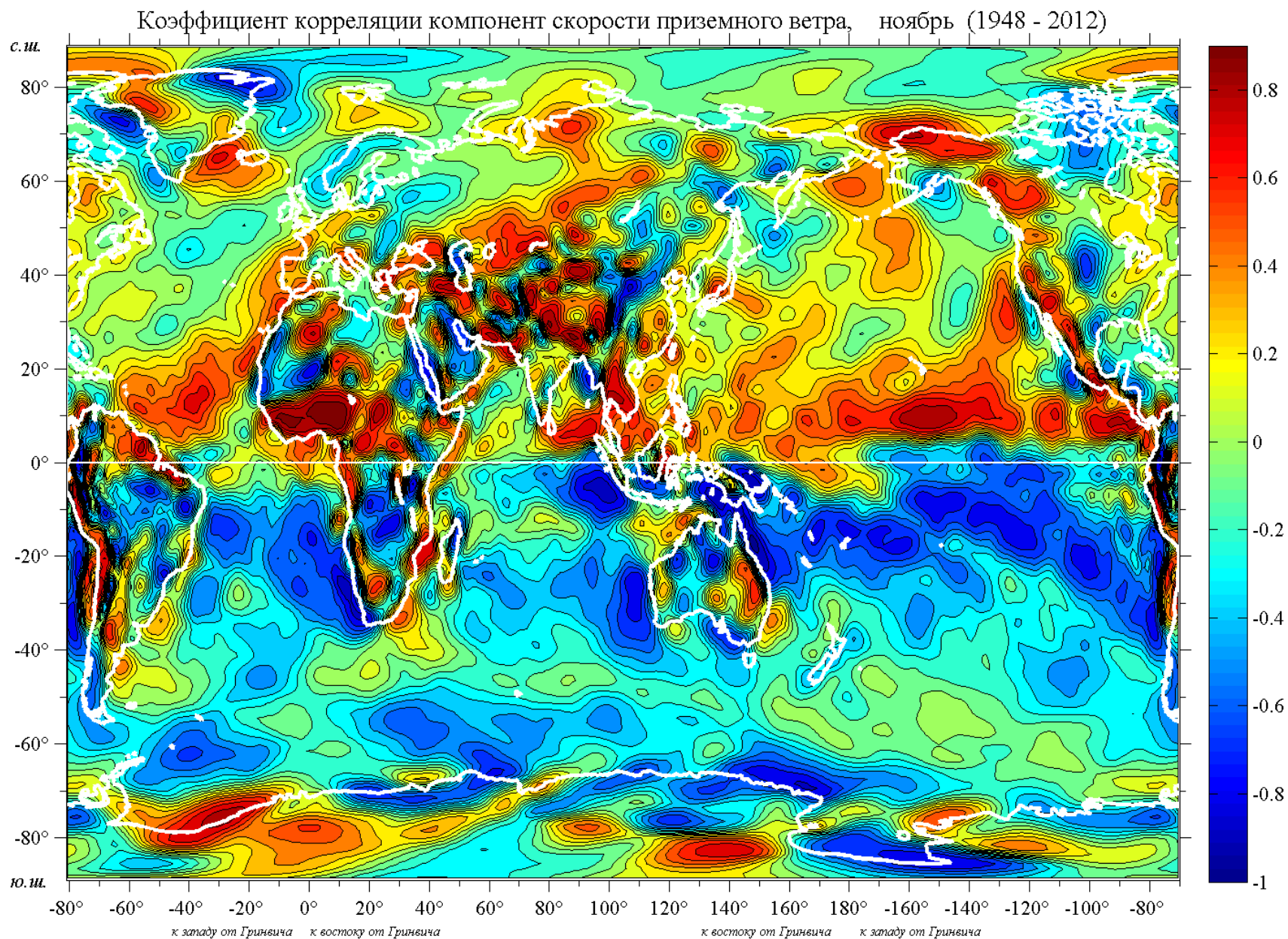




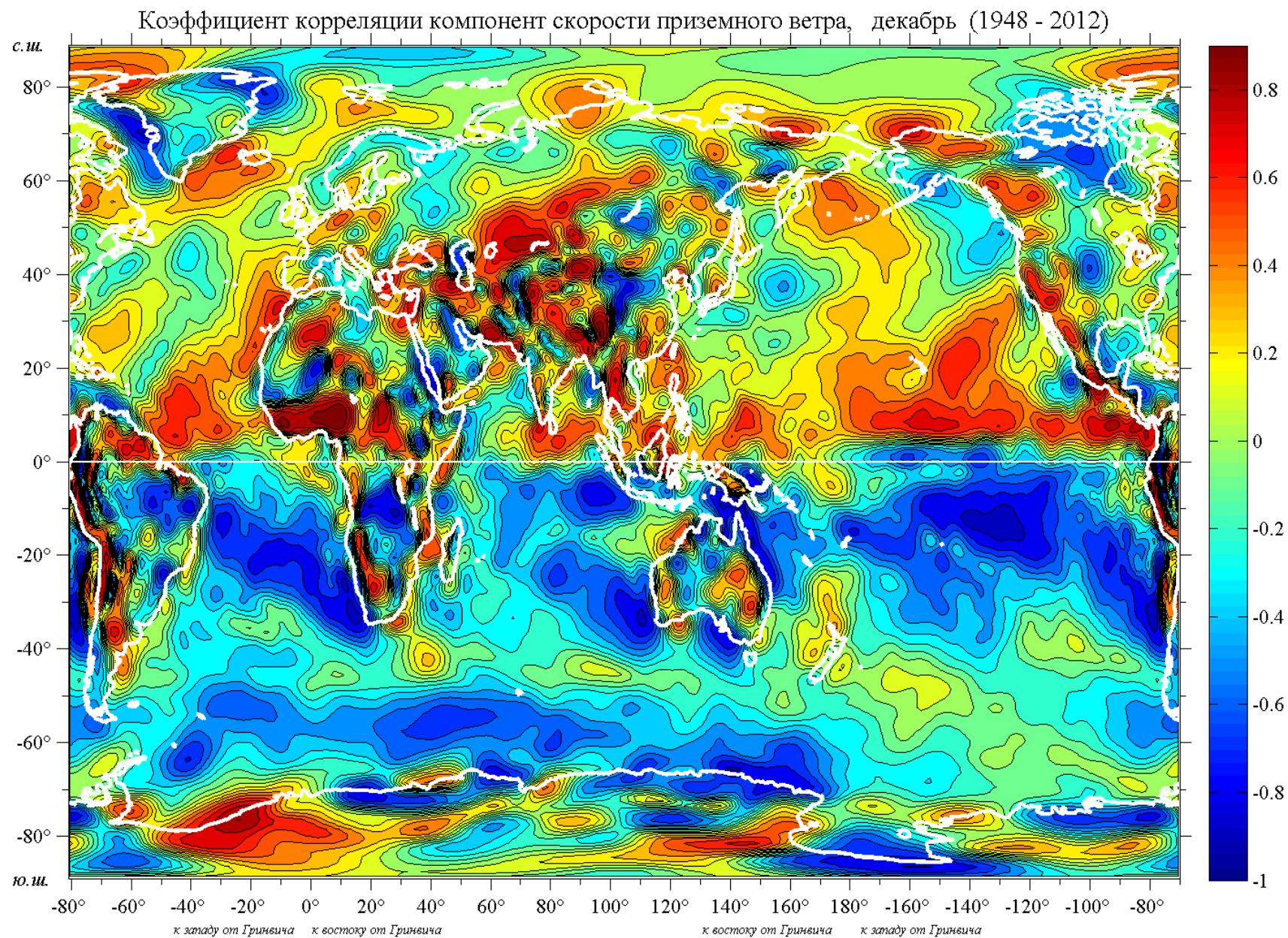










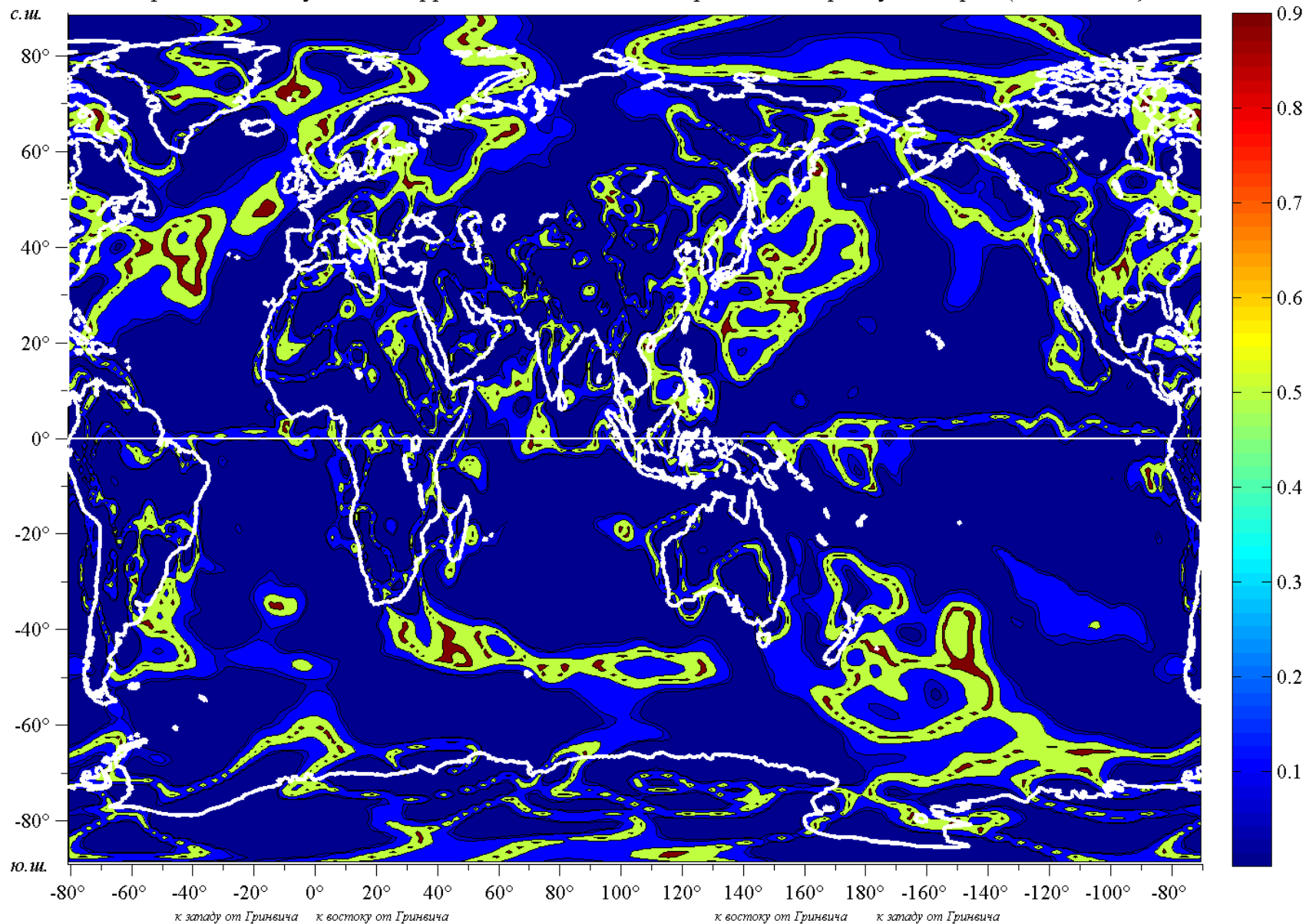




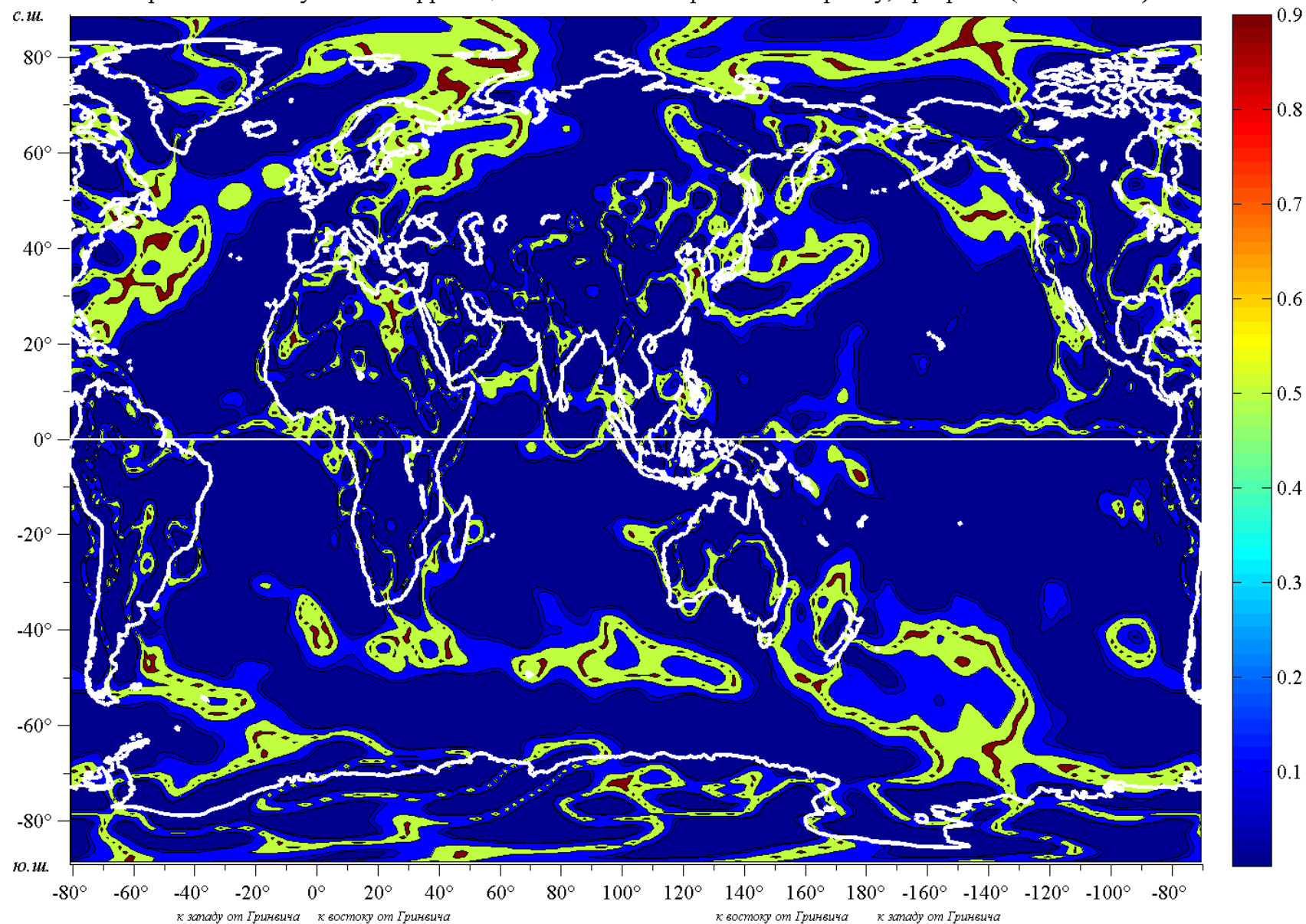
### **1.6. Вероятность отсутствия корреляции компонент вектора скорости ветра по Пирсону**

На картах для каждого месяца с шагом 0.1 приведены изолинии значений вероятности отсутствия корреляции компонент вектора скорости ветра по Пирсону для периода 1948 – 2012 гг.

Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, январь (1948 - 2012)

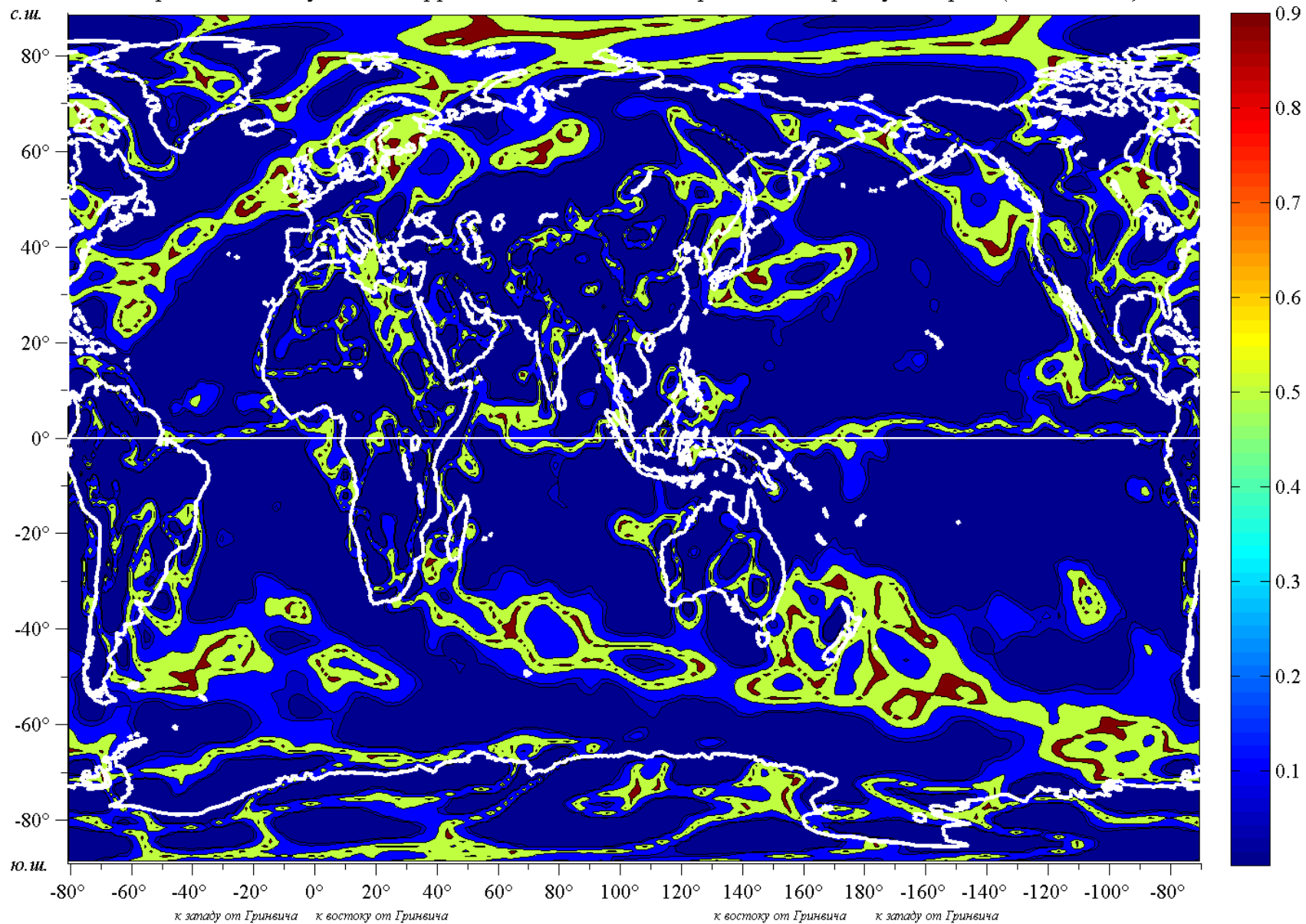


Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, февраль (1948 - 2012)

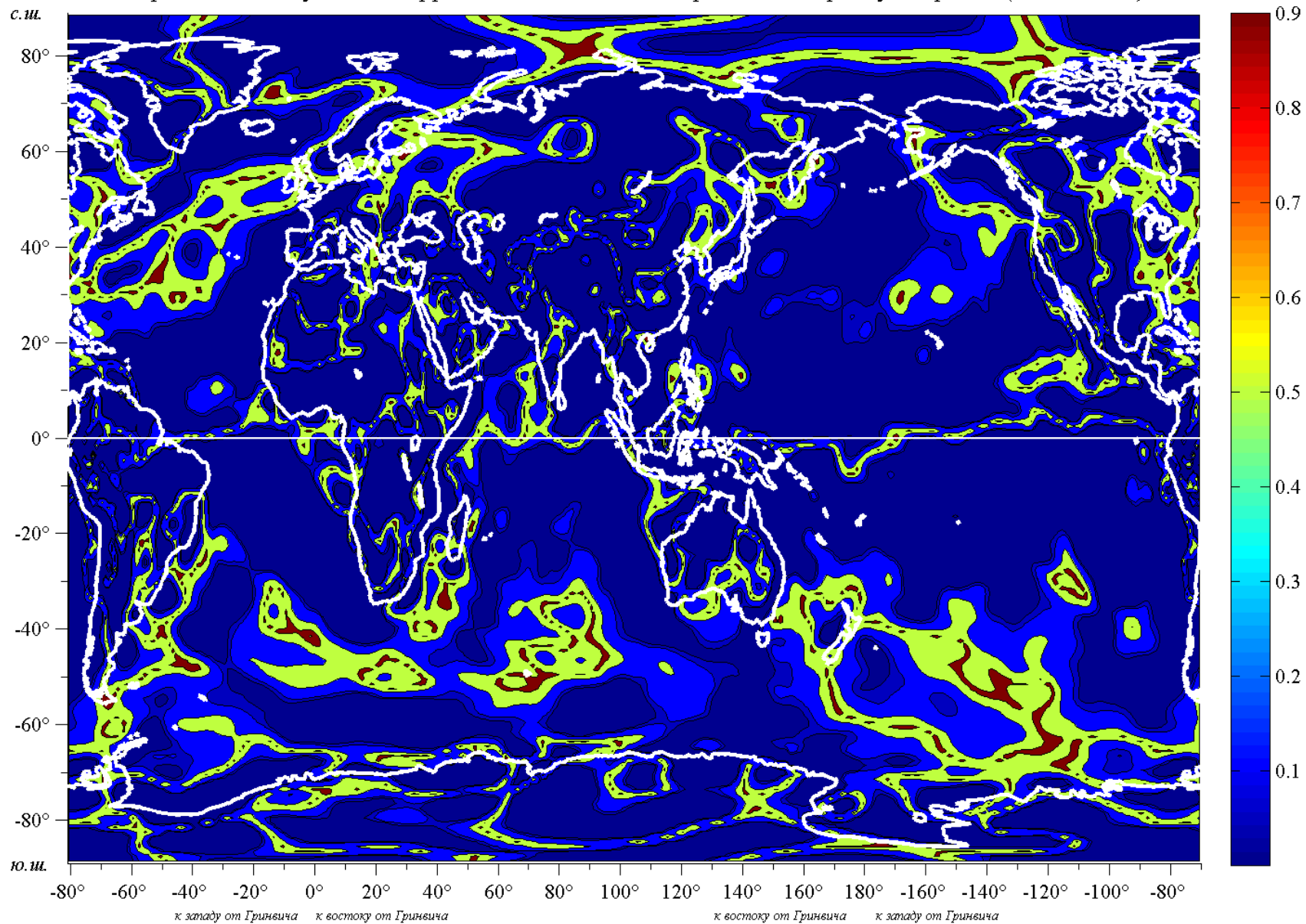




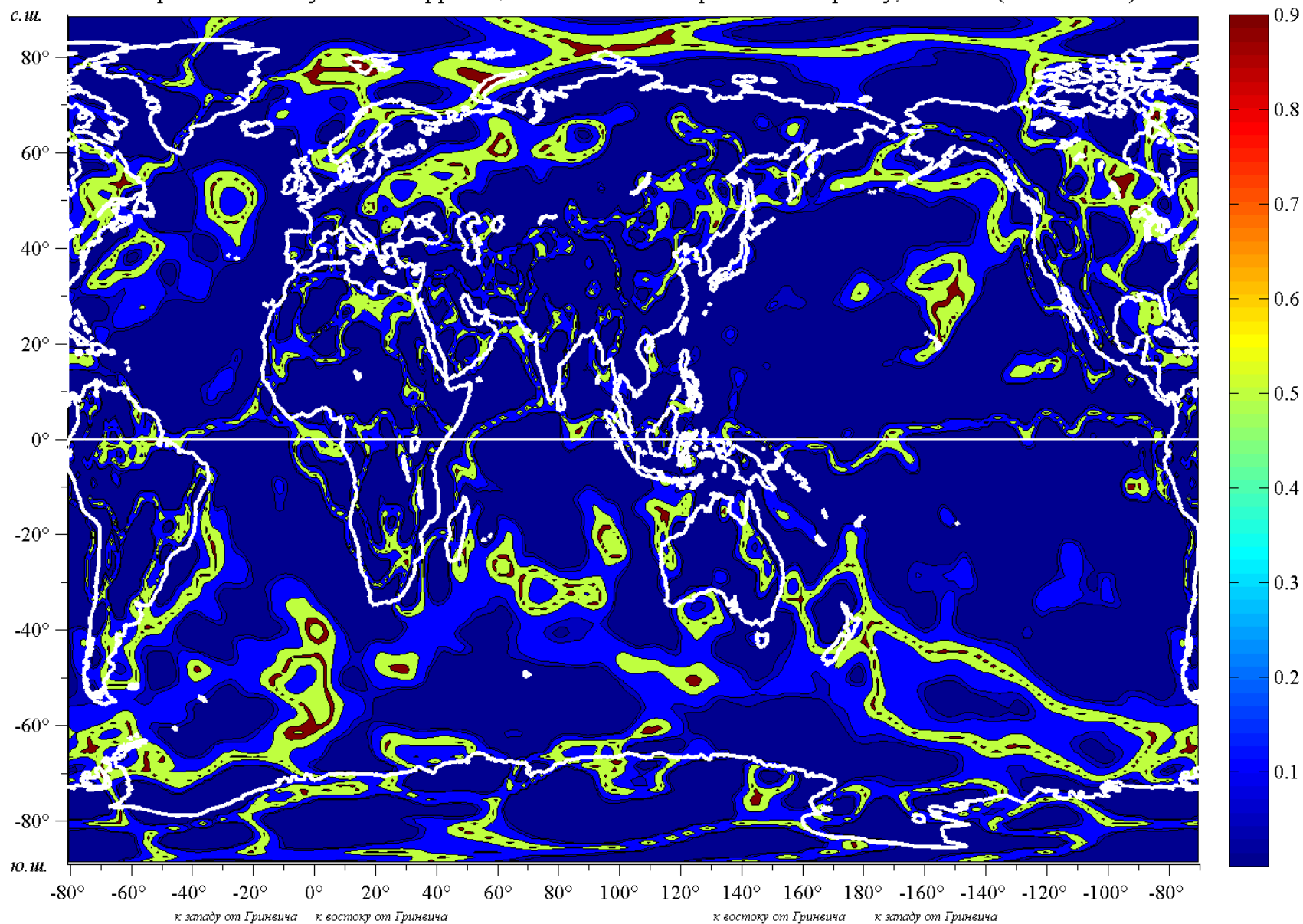
Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, март (1948 - 2012)



Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, апрель (1948 - 2012)

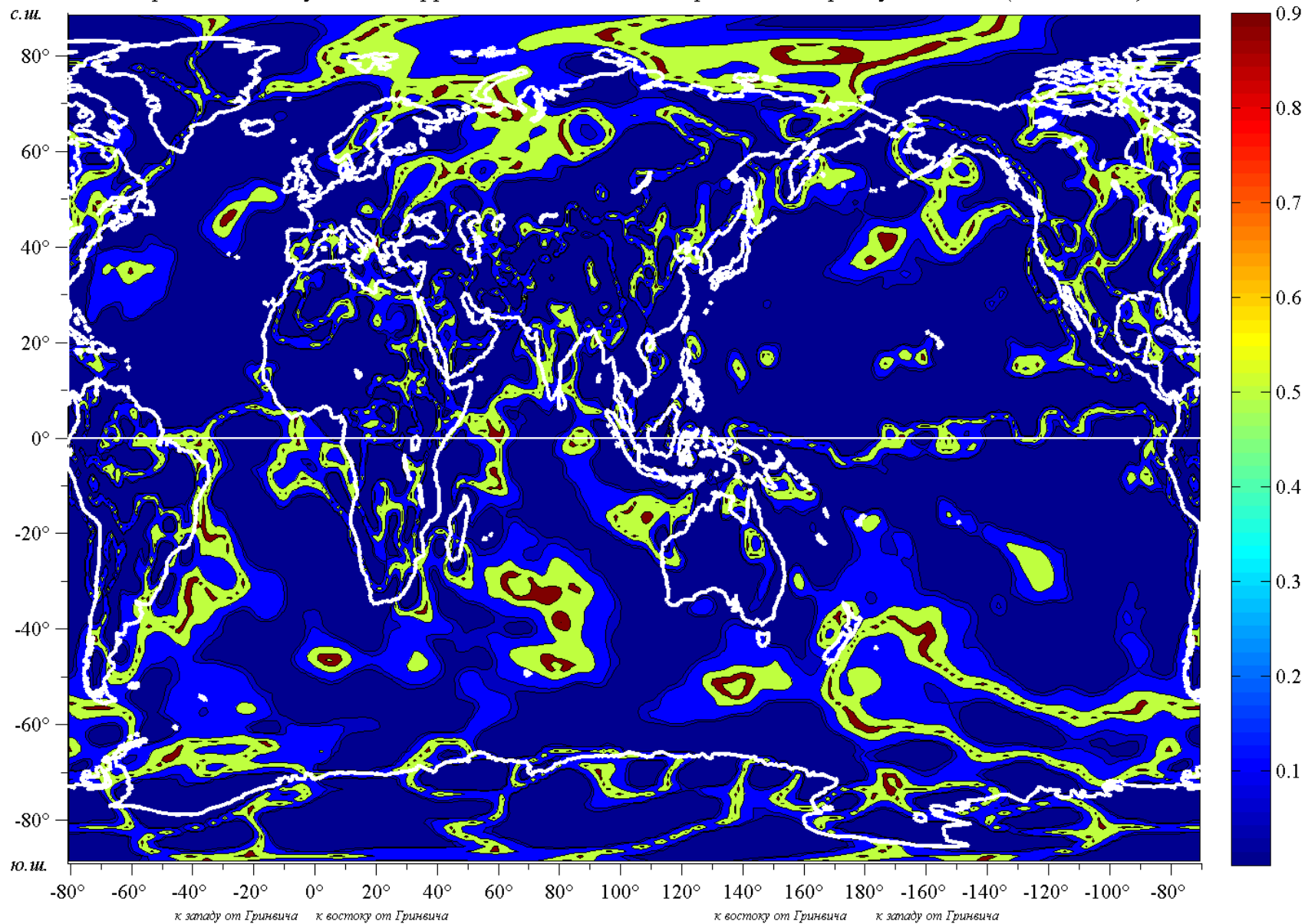


Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, май (1948 - 2012)

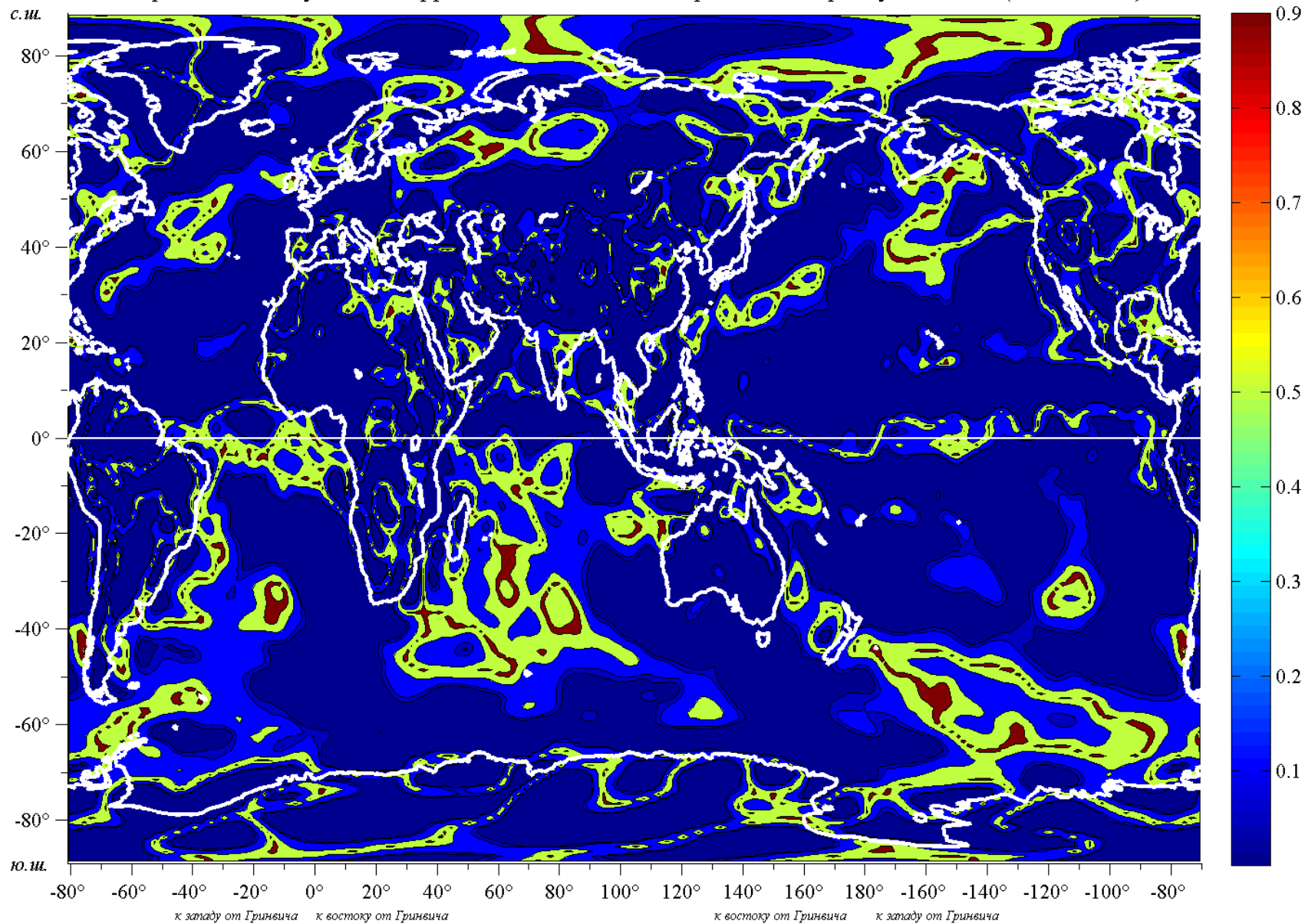




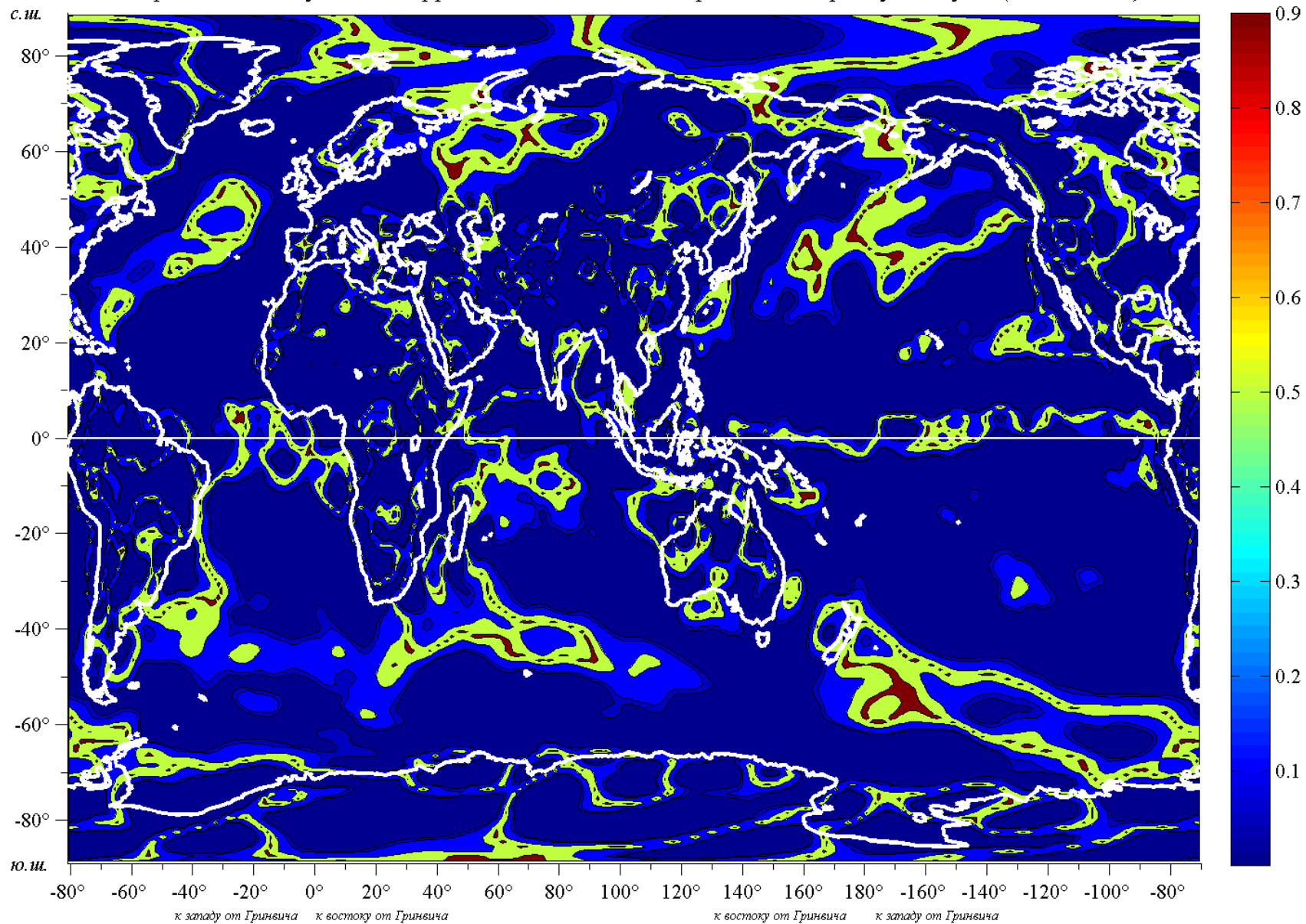
Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, июнь (1948 - 2012)



Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, июль (1948 - 2012)

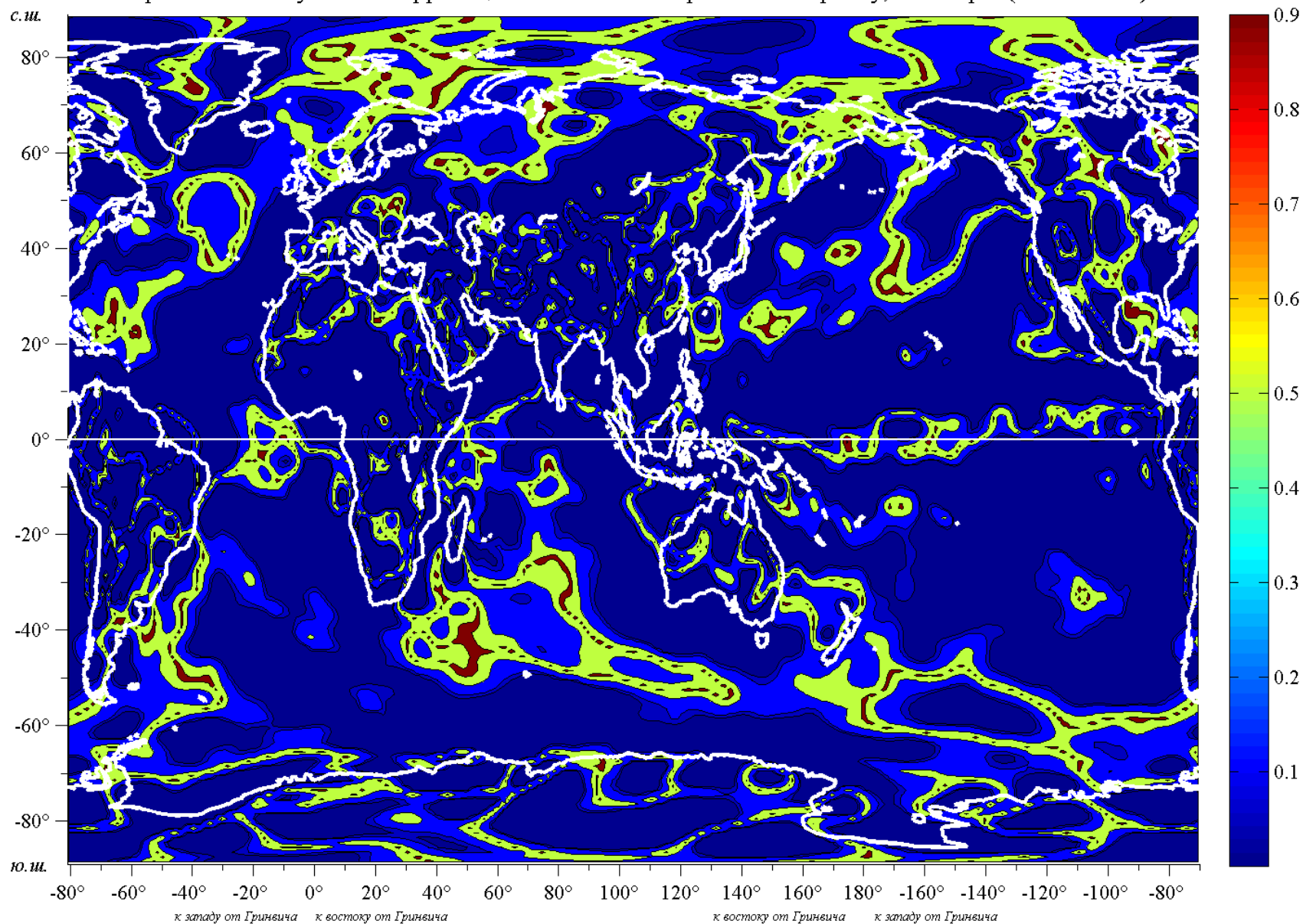


Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, август (1948 - 2012)

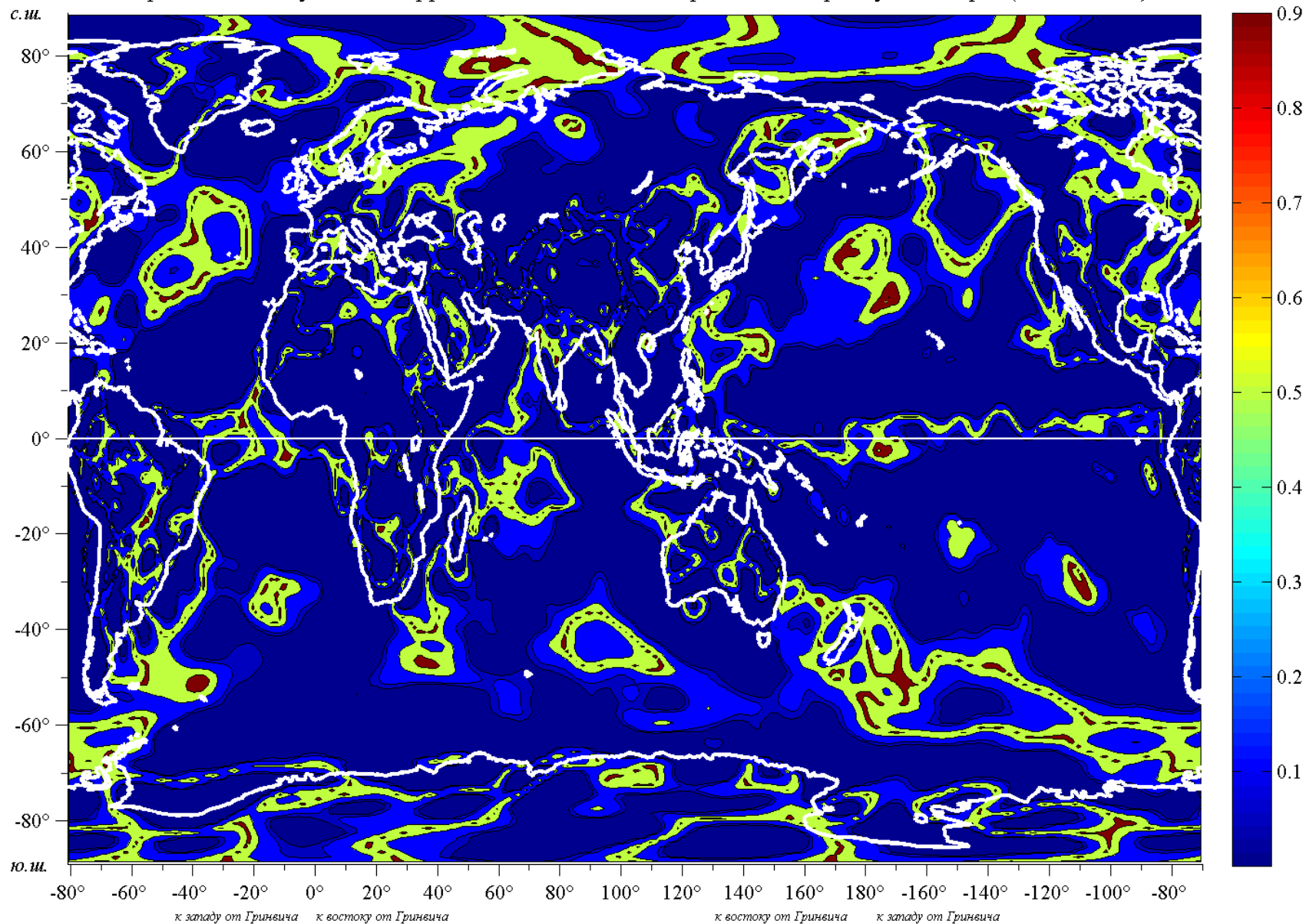




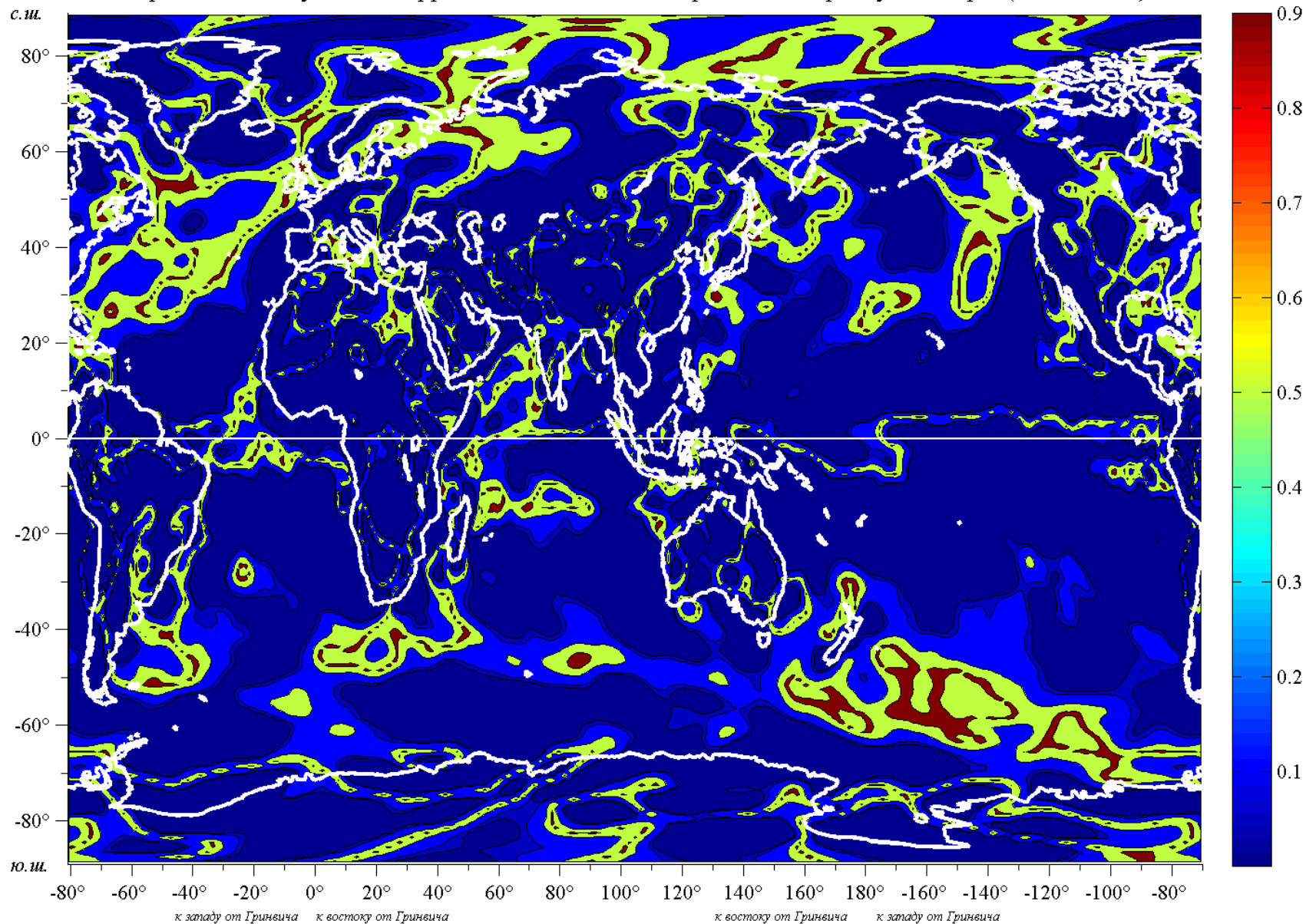
Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, сентябрь (1948 - 2012)



Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, октябрь (1948 - 2012)

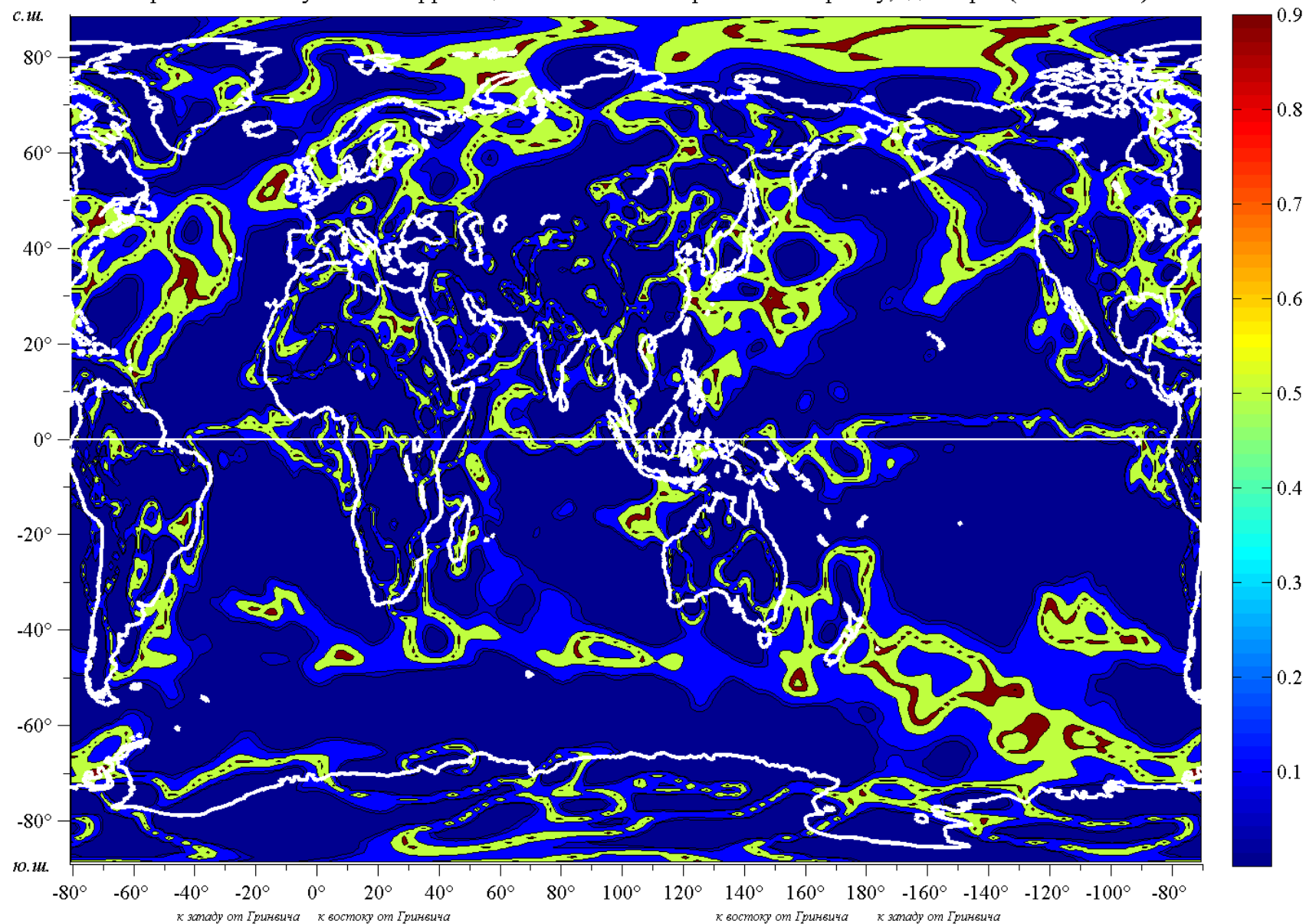


Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, ноябрь (1948 - 2012)





Вероятность отсутствия корреляции компонент скорости по Пирсону, декабрь (1948 - 2012)

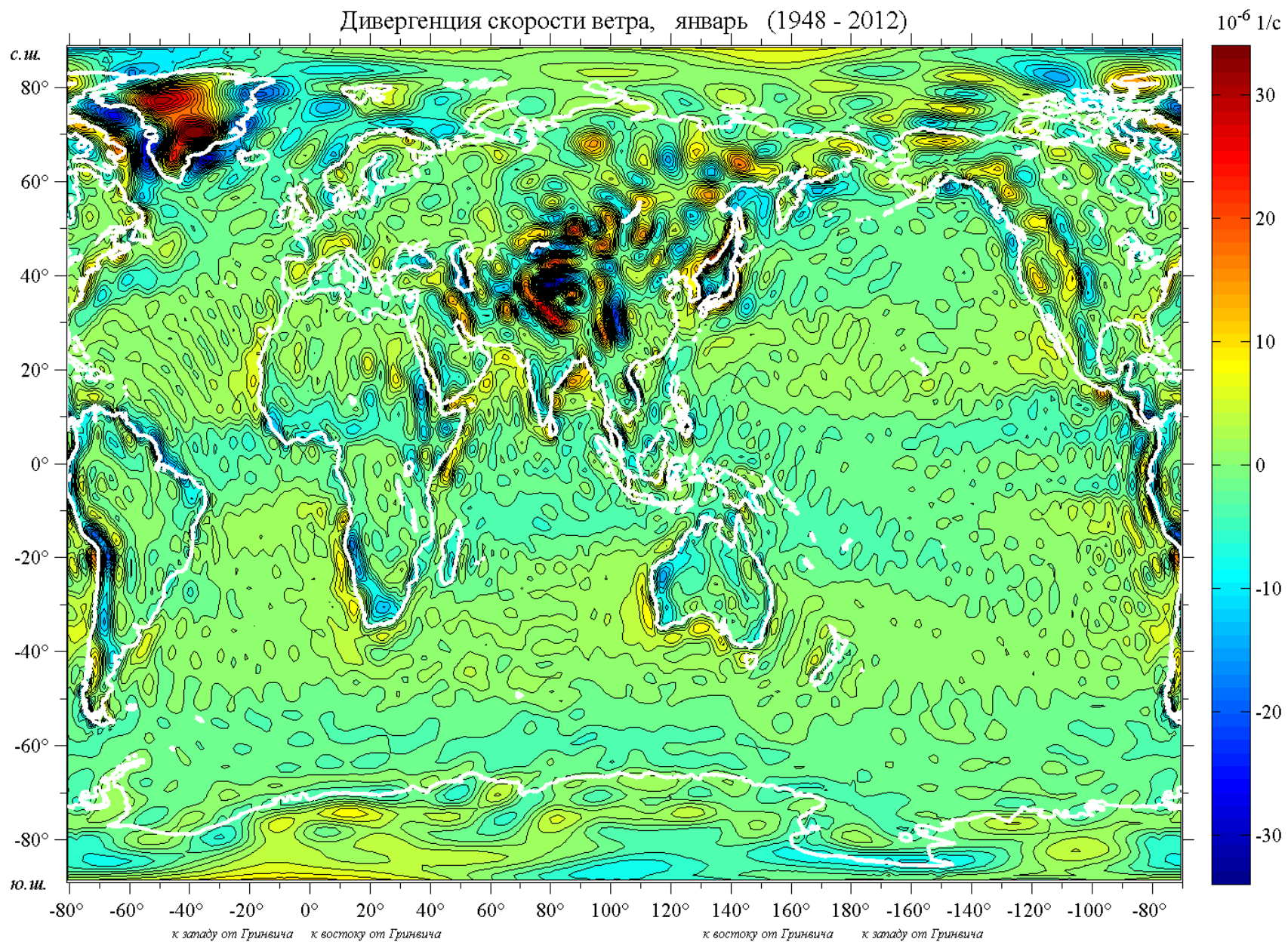


## **2. Кинематические характеристики ветра**

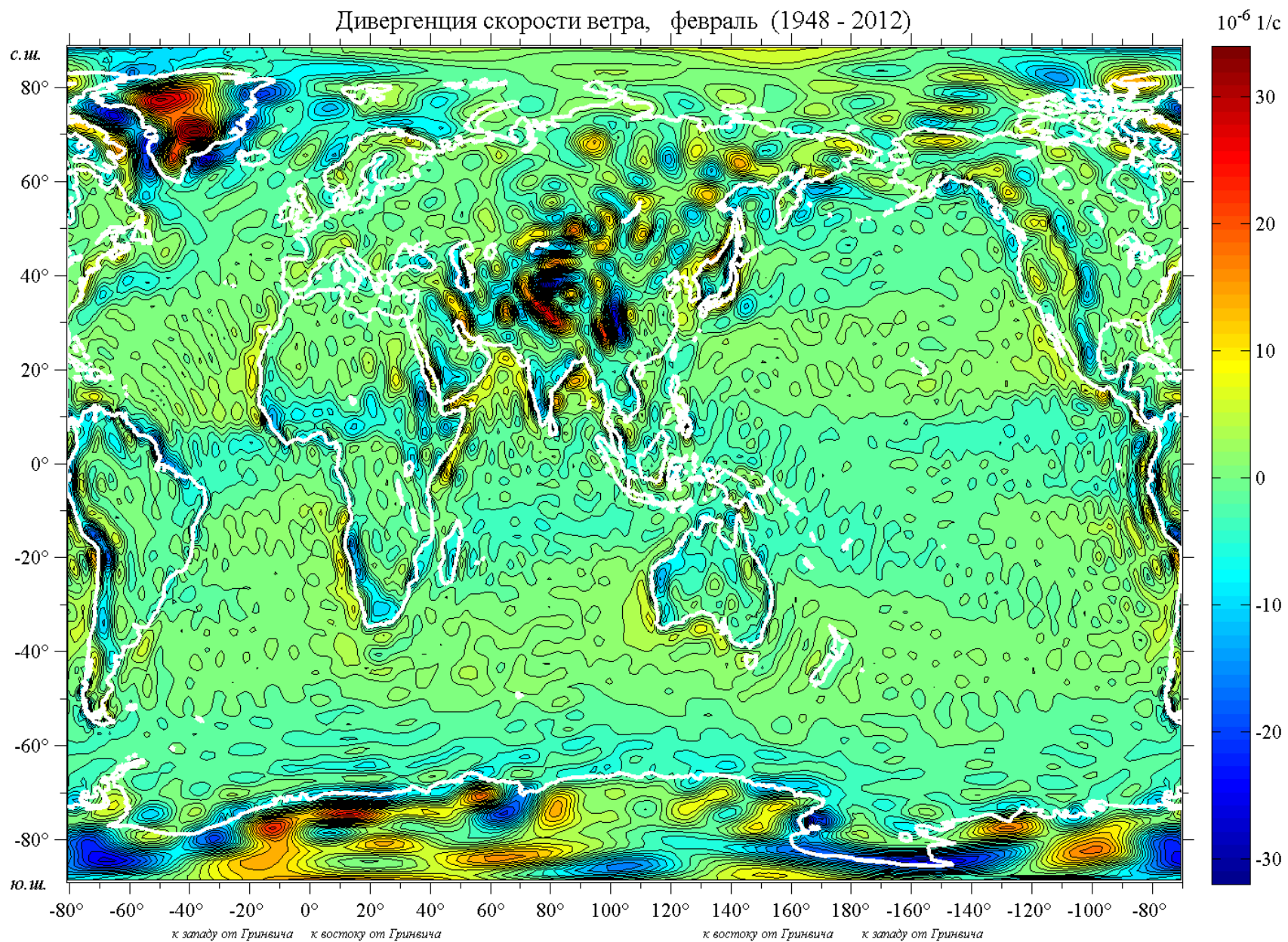
### **2.1. Дивергенция**

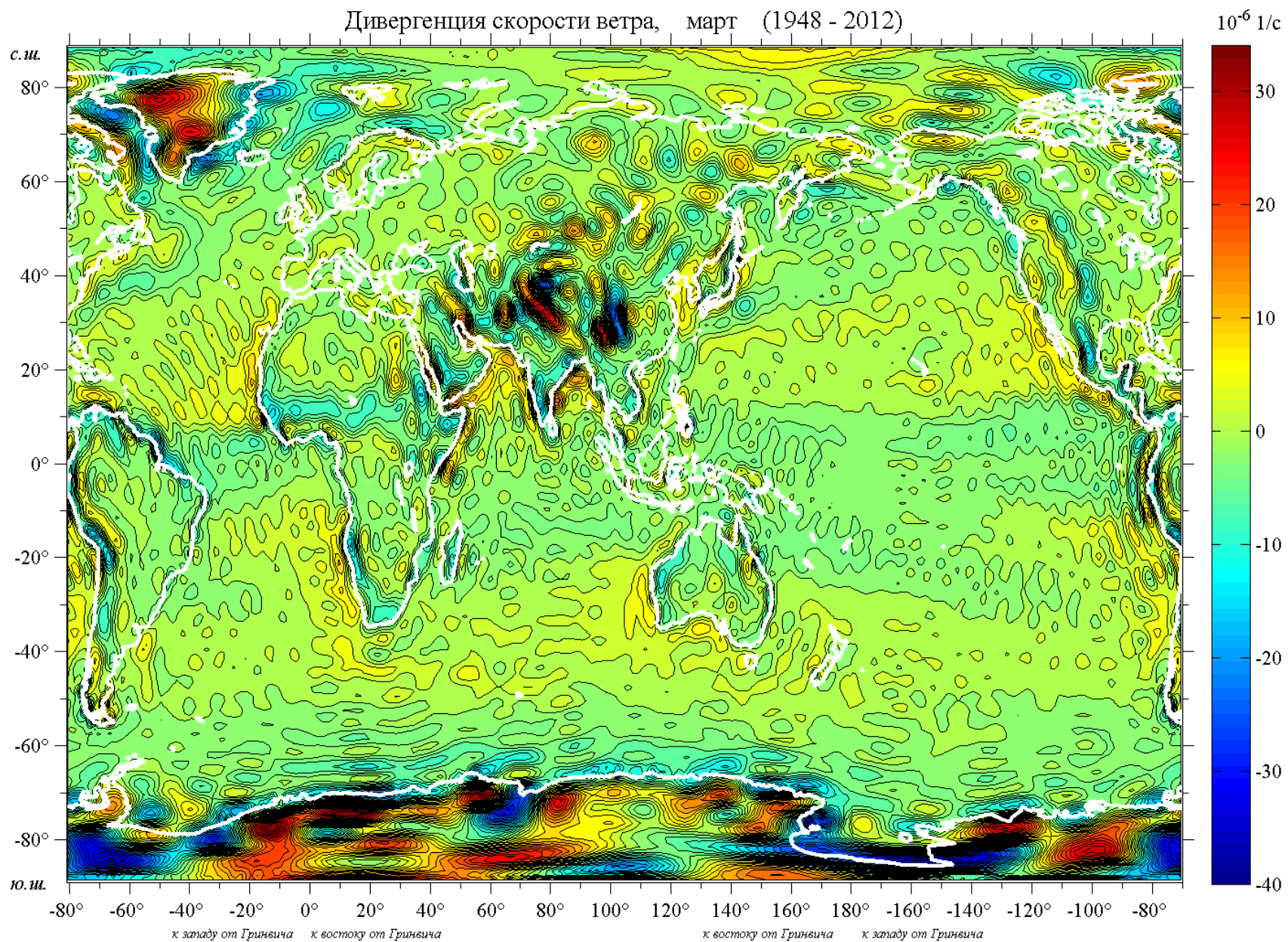
На картах для каждого месяца с шагом  $2 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$  приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг значений дивергенции

скорости ветра  $\left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$ .

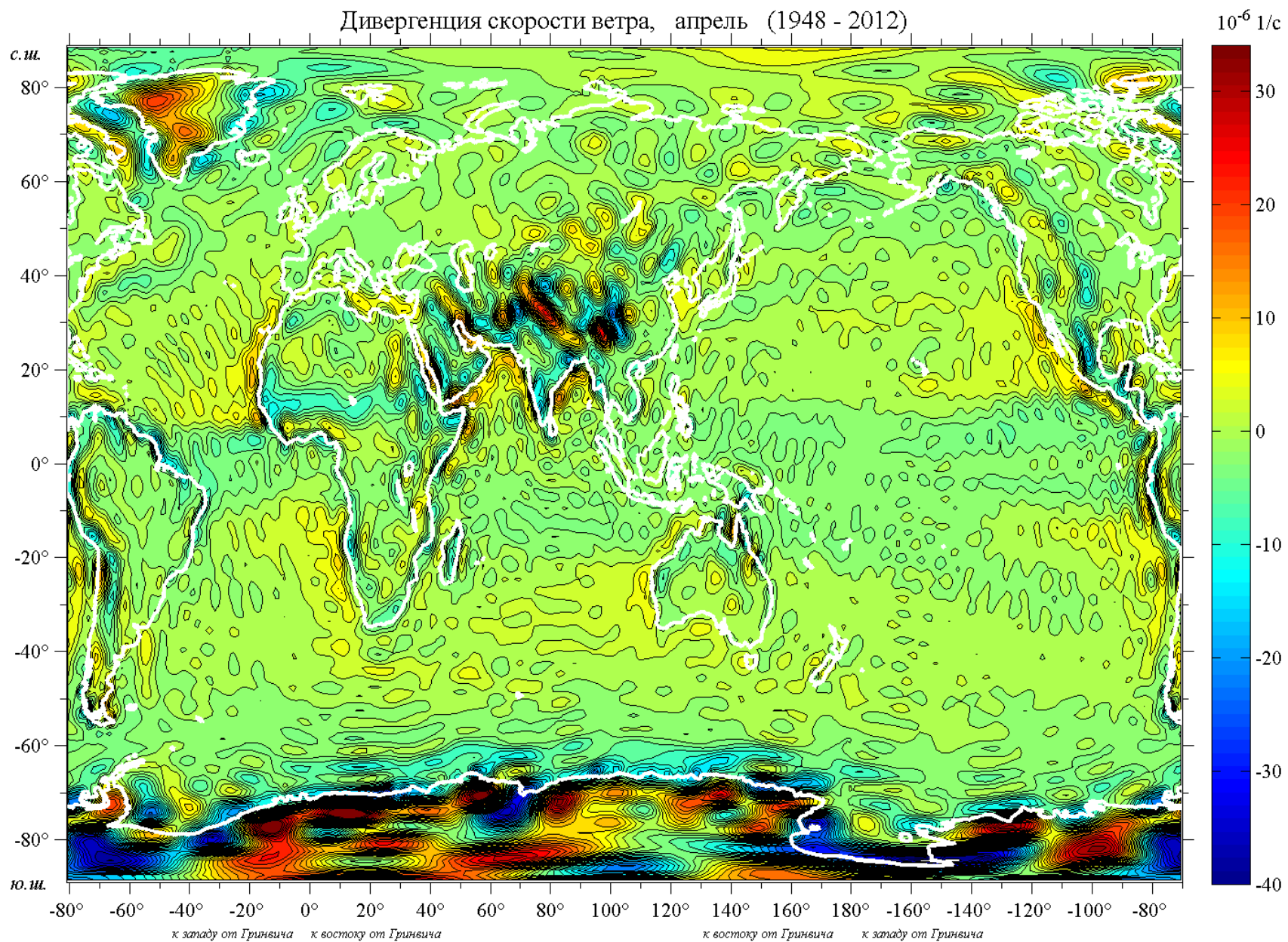




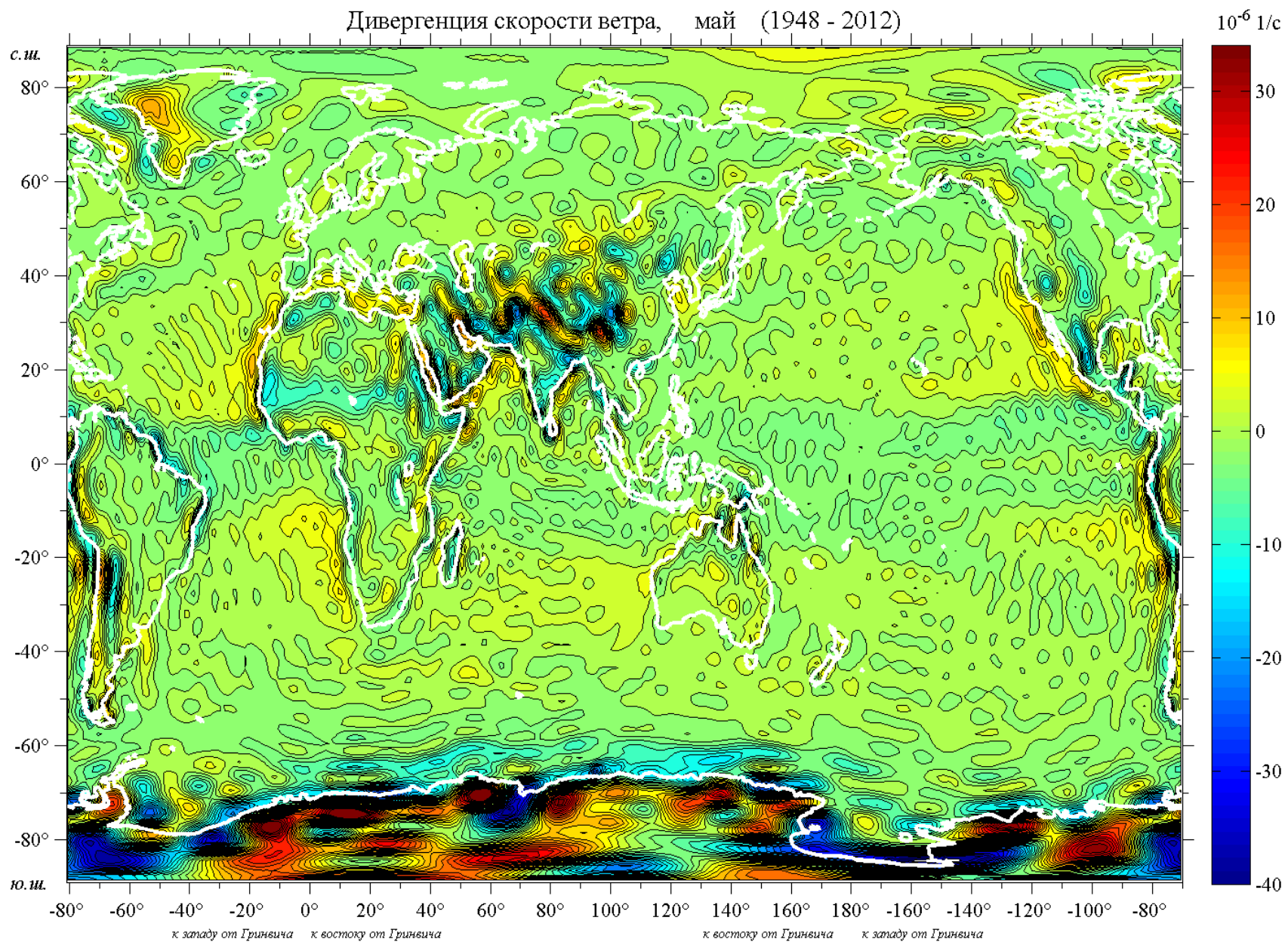


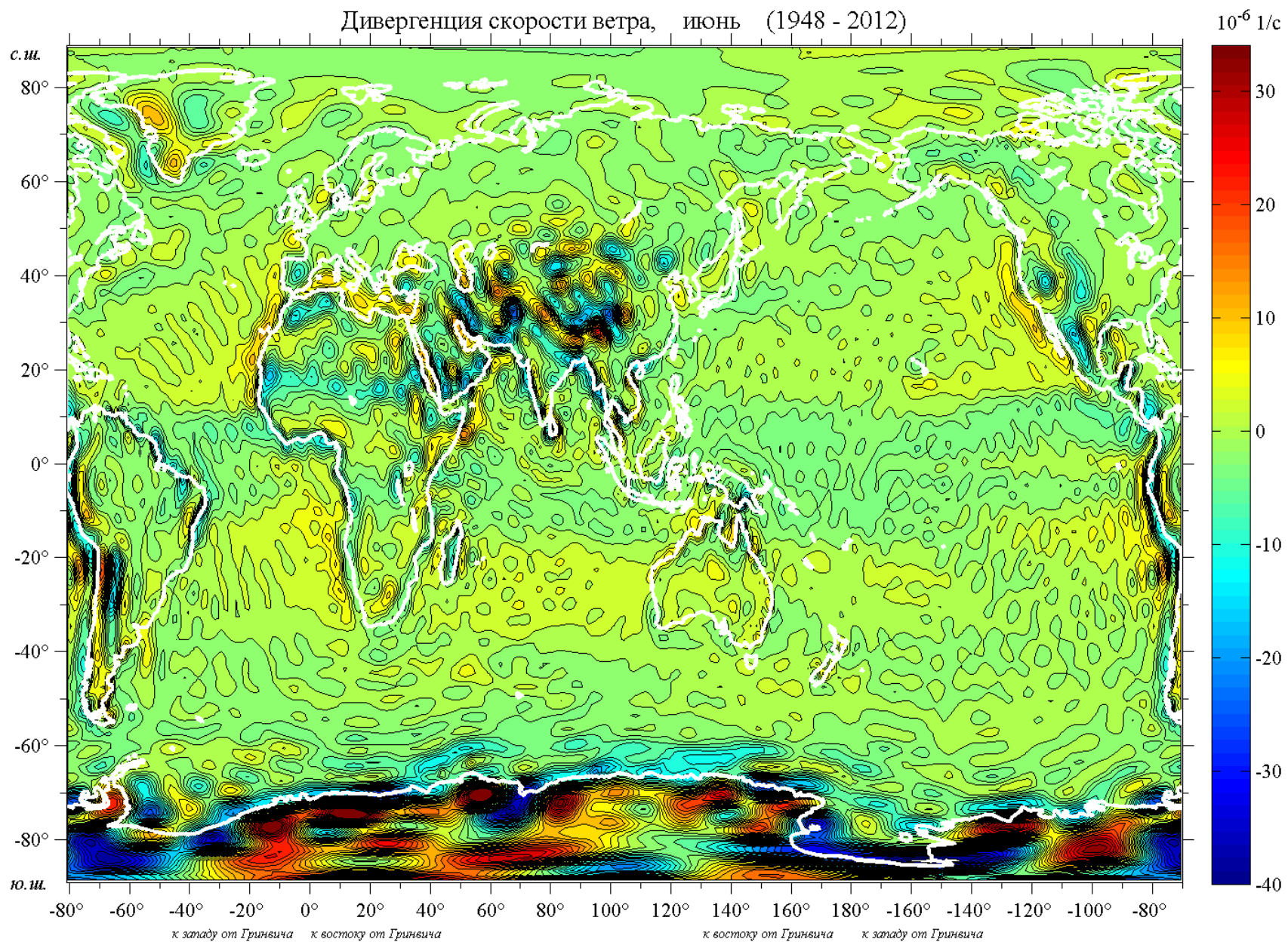




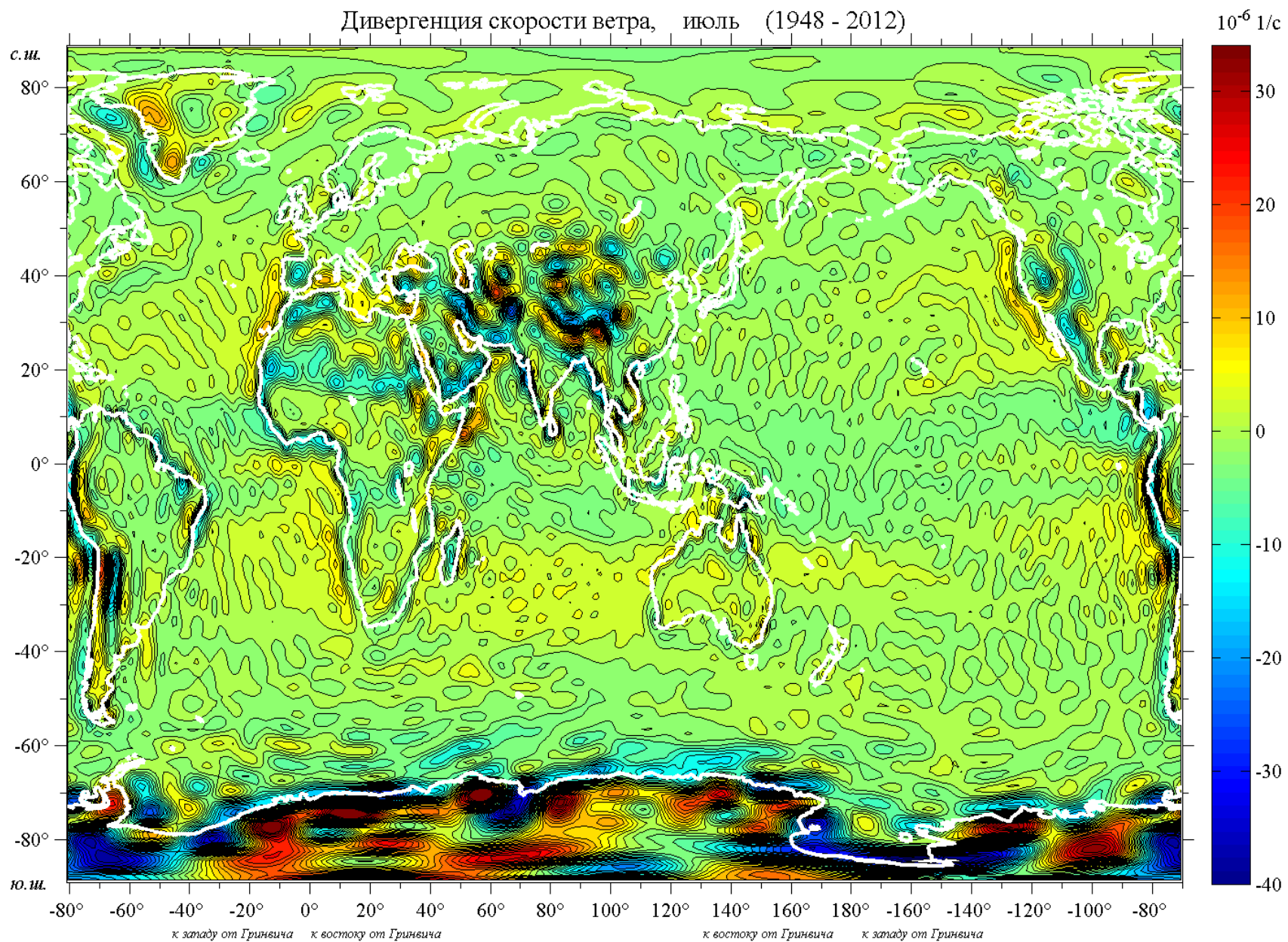




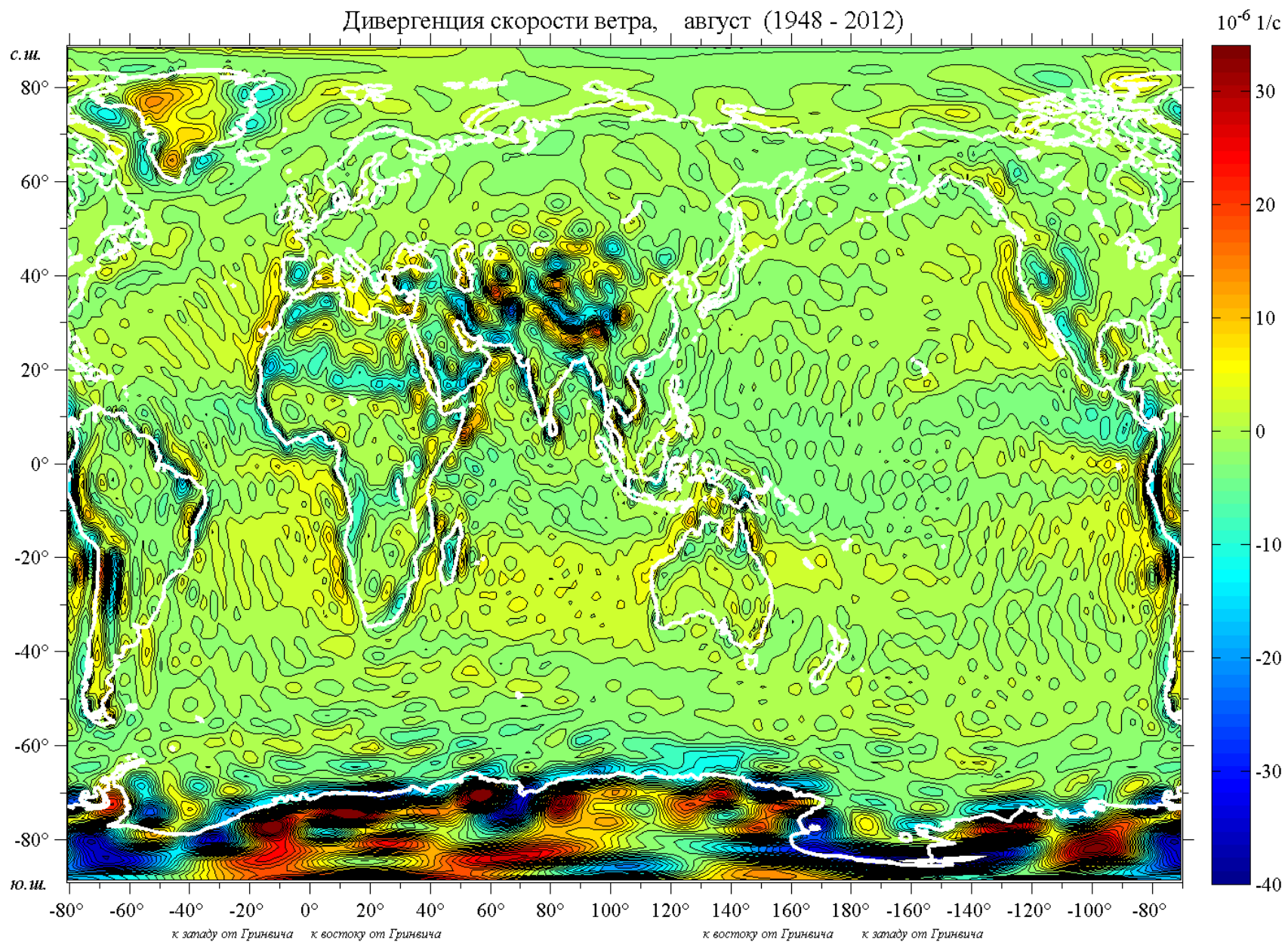


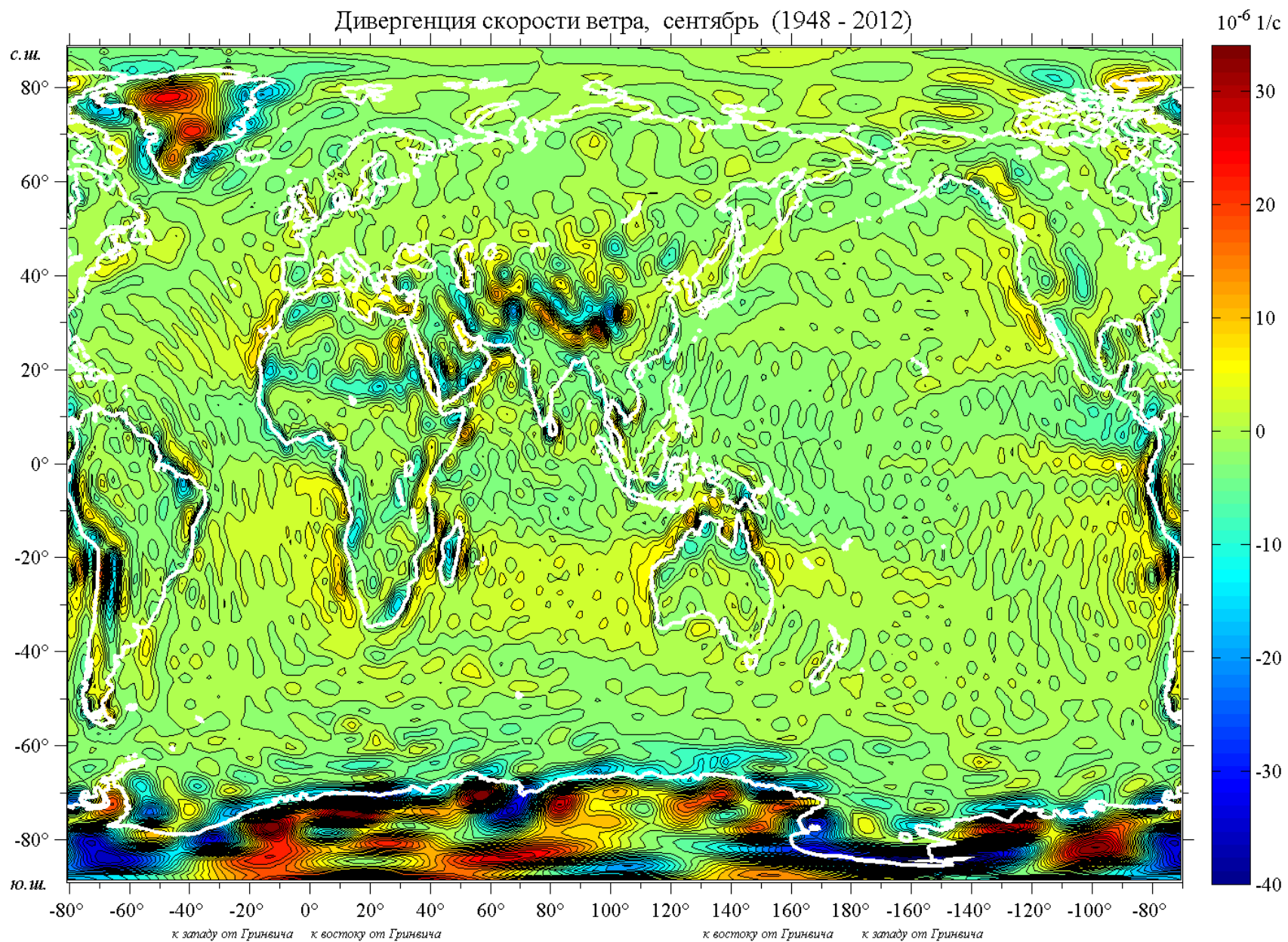




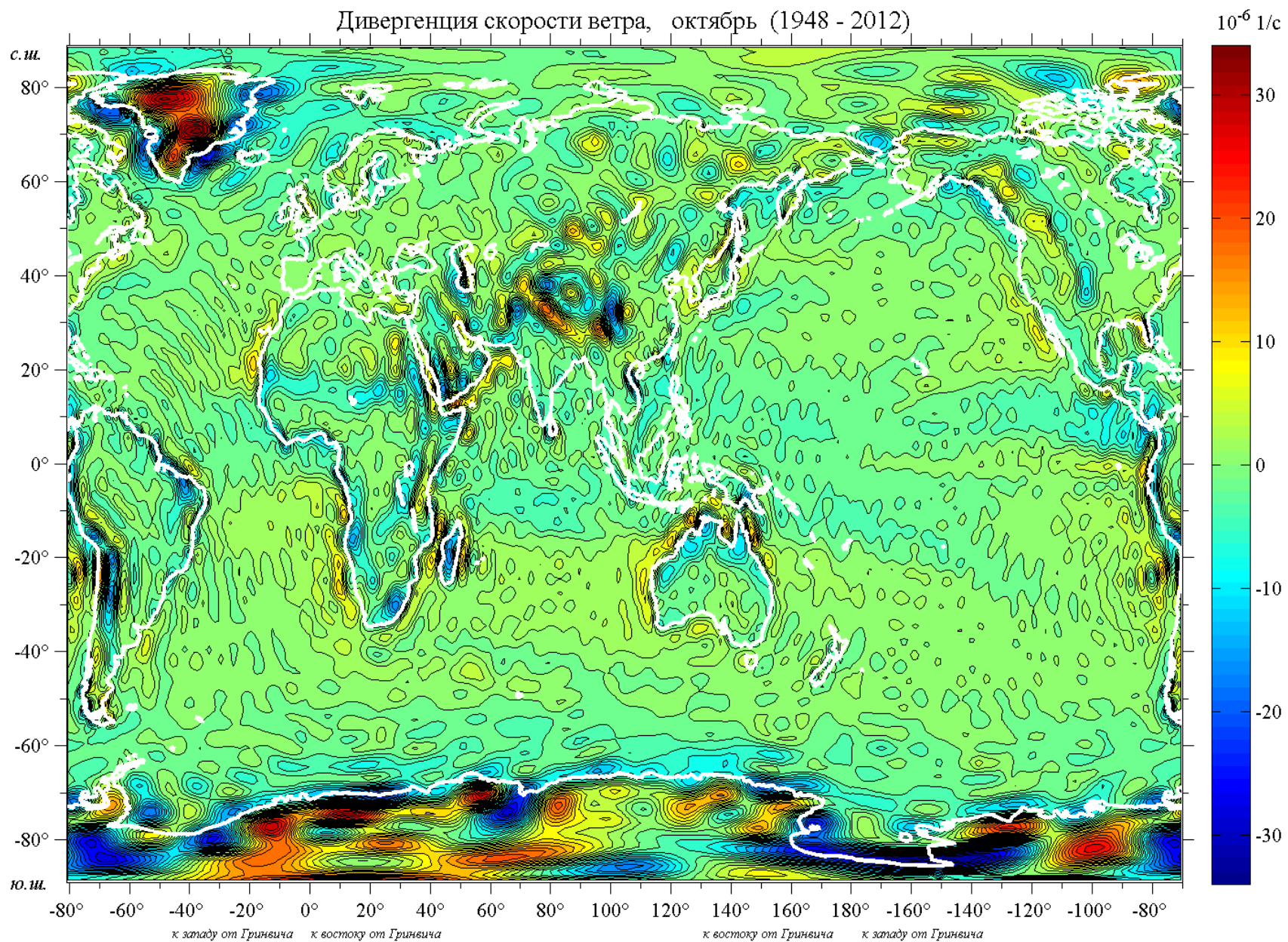




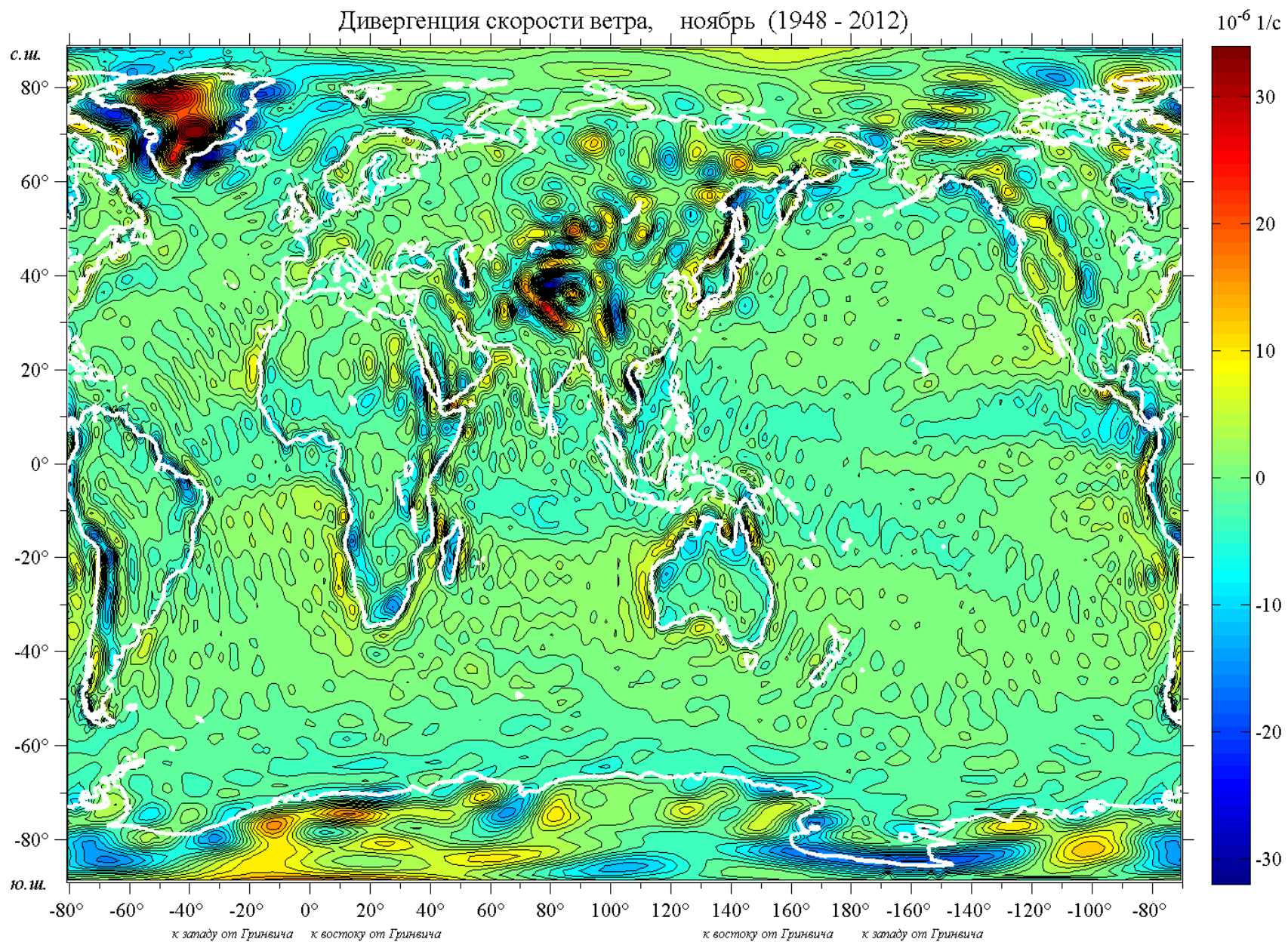


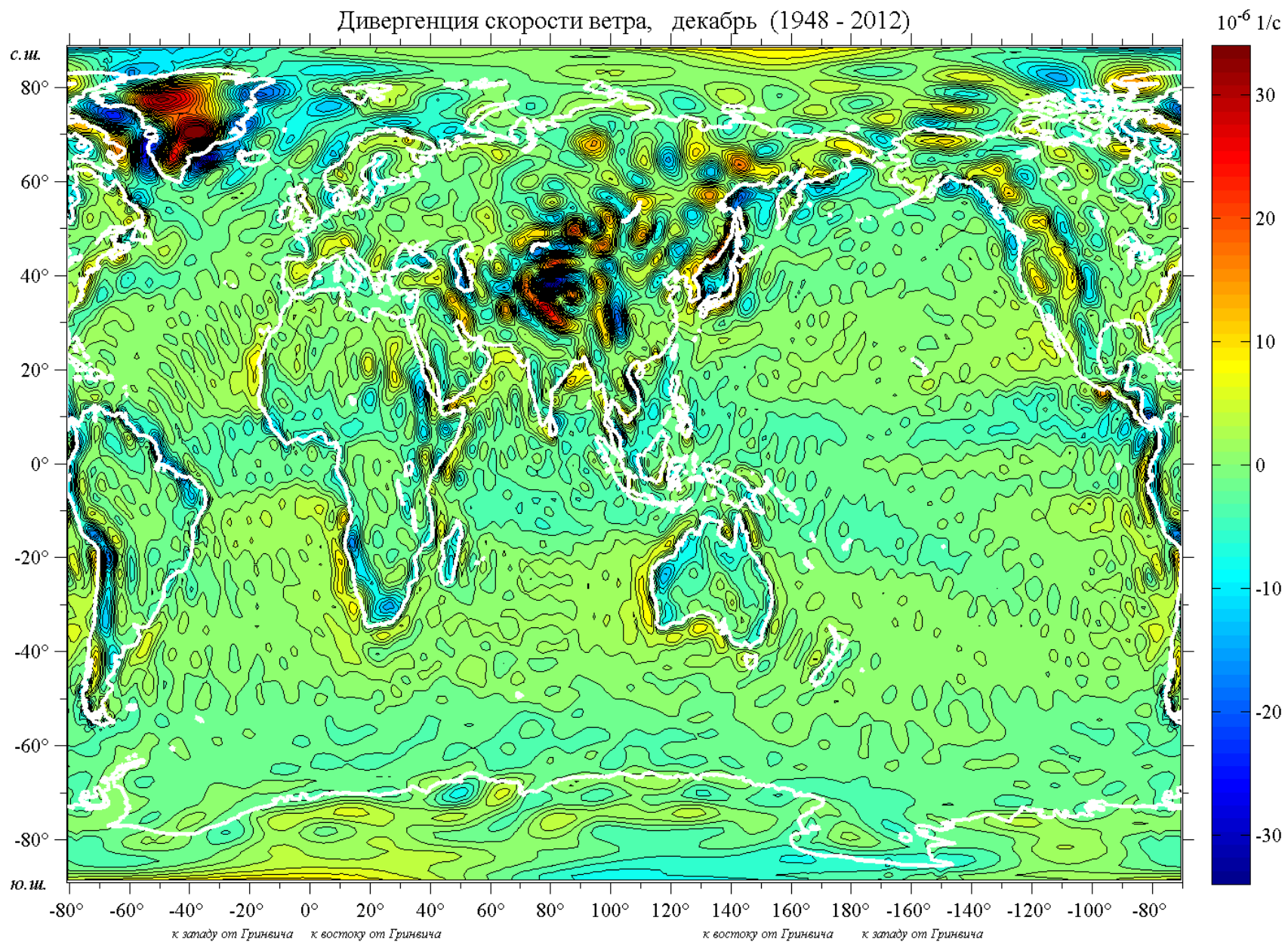










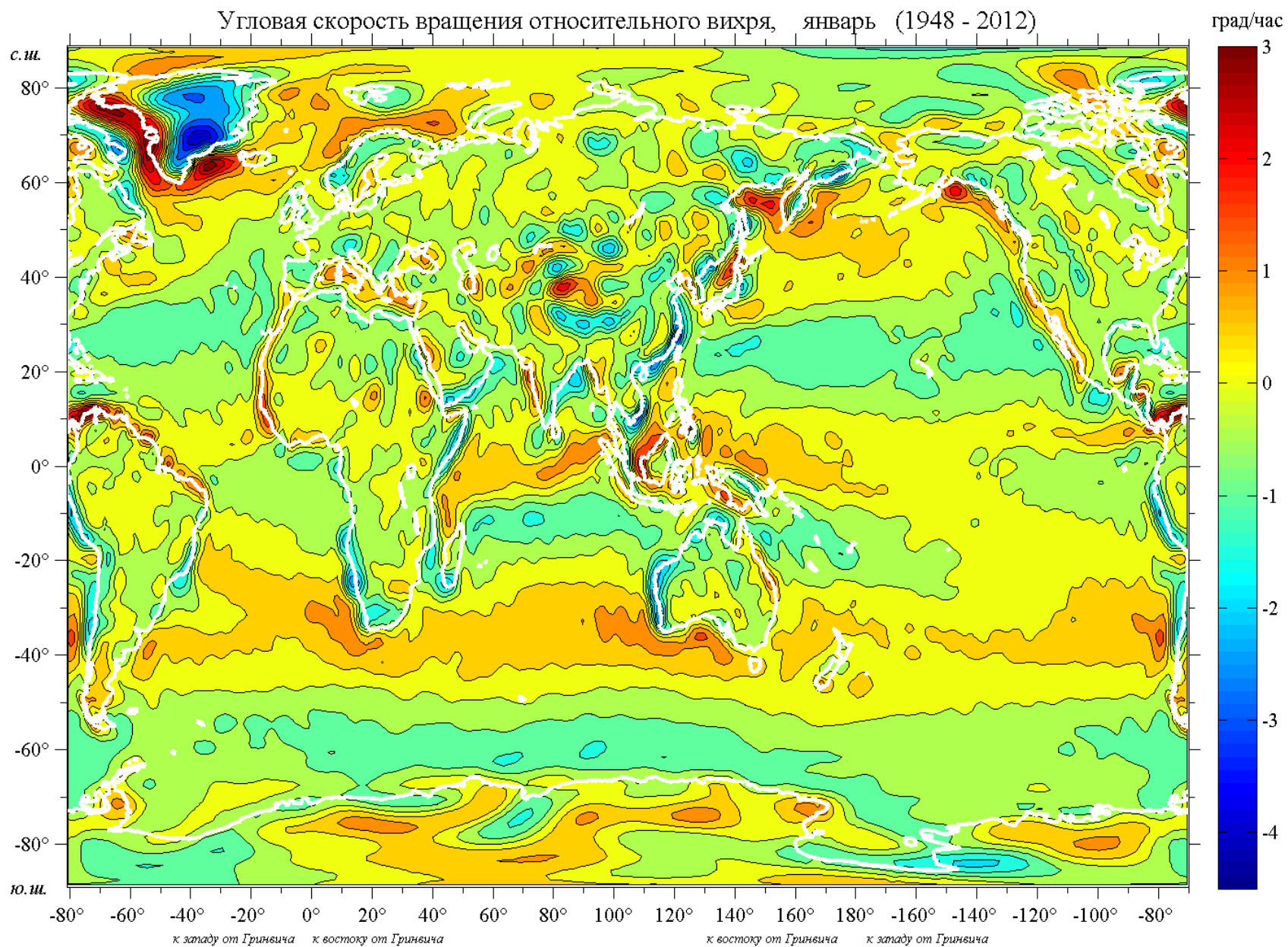


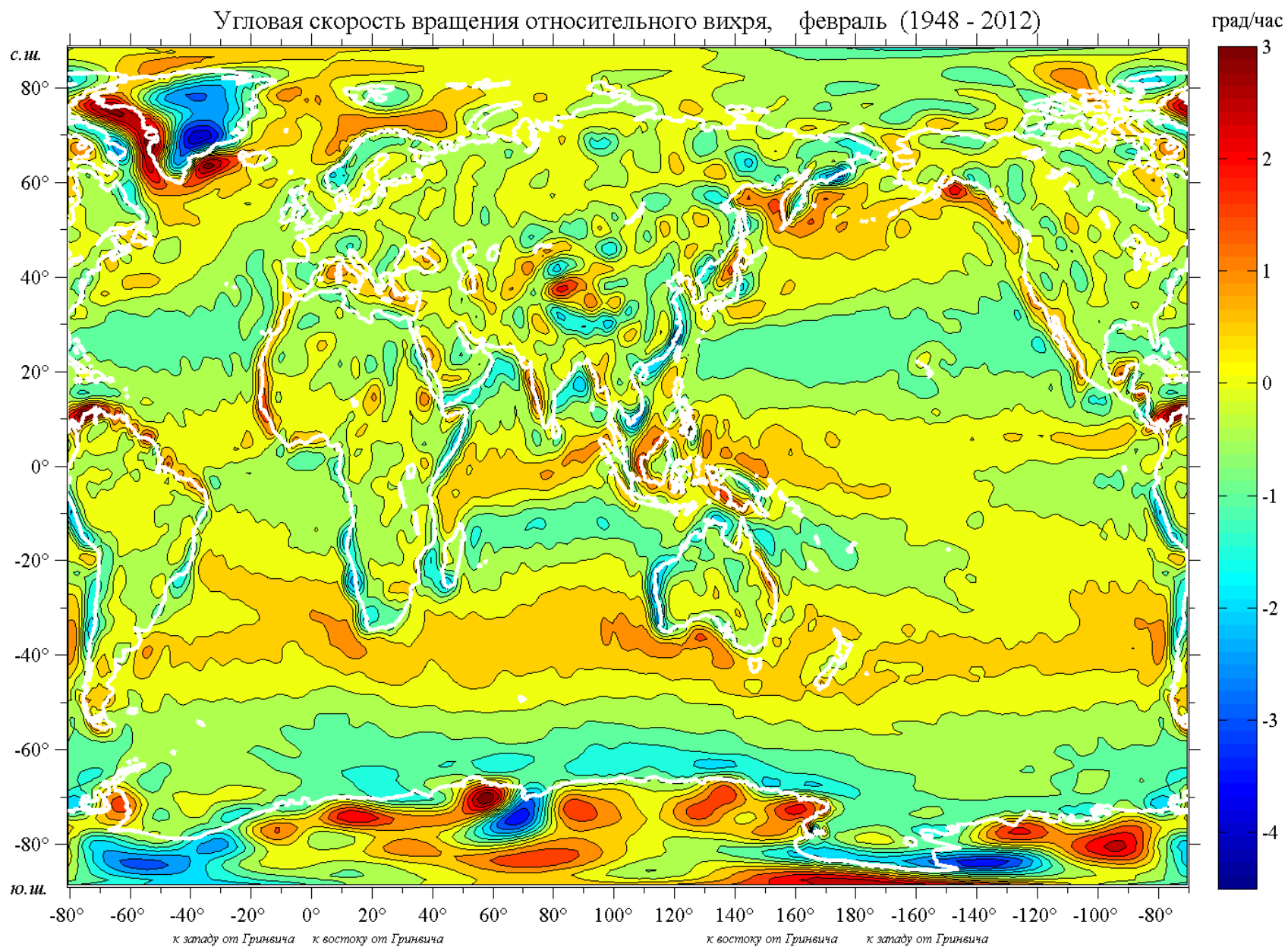
## 2.2. Угловая скорость

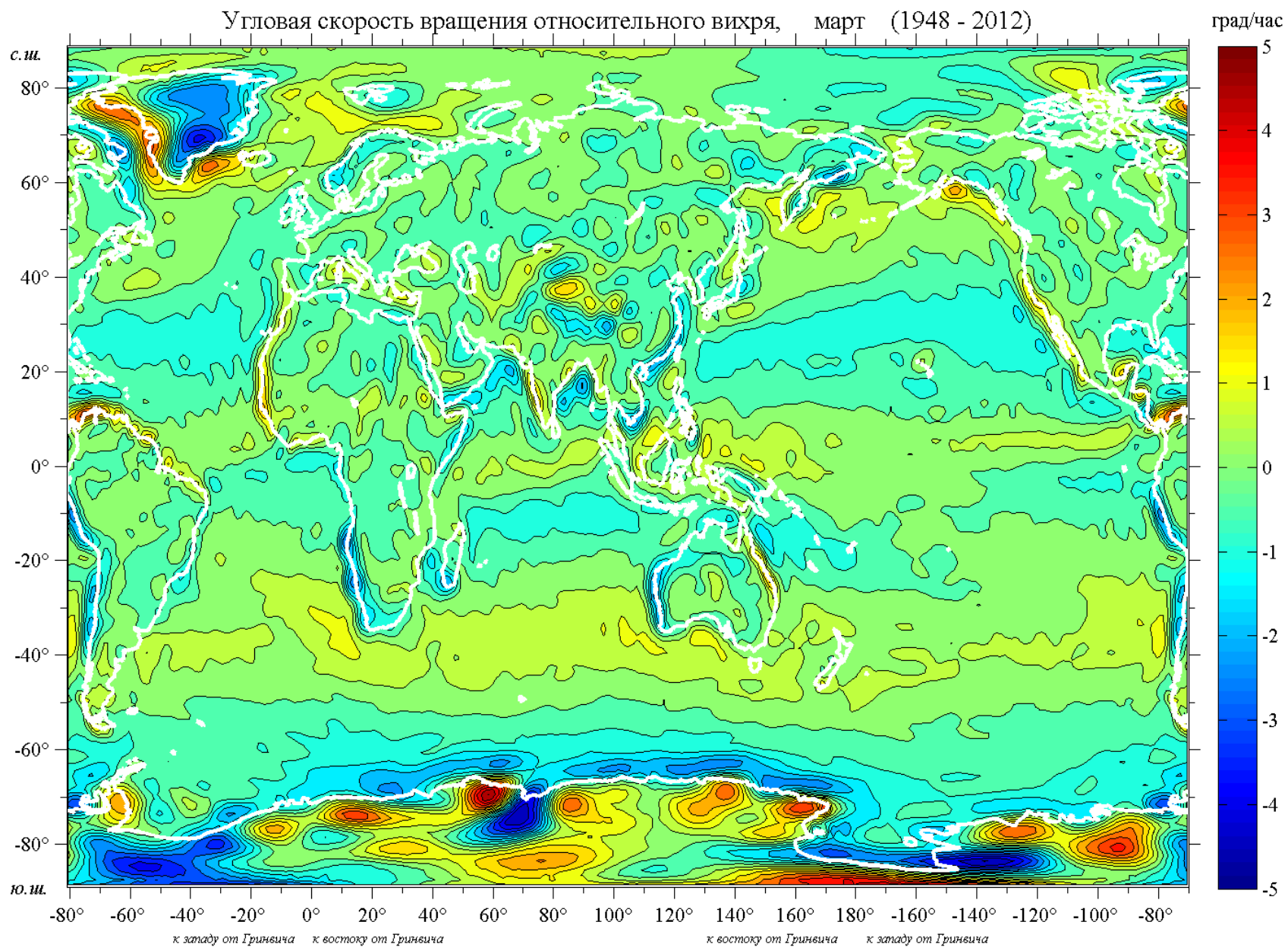
На картах для каждого месяца с шагом 0,5град/час приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений угловой скорости вращения

$\frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$  относительного вихря.

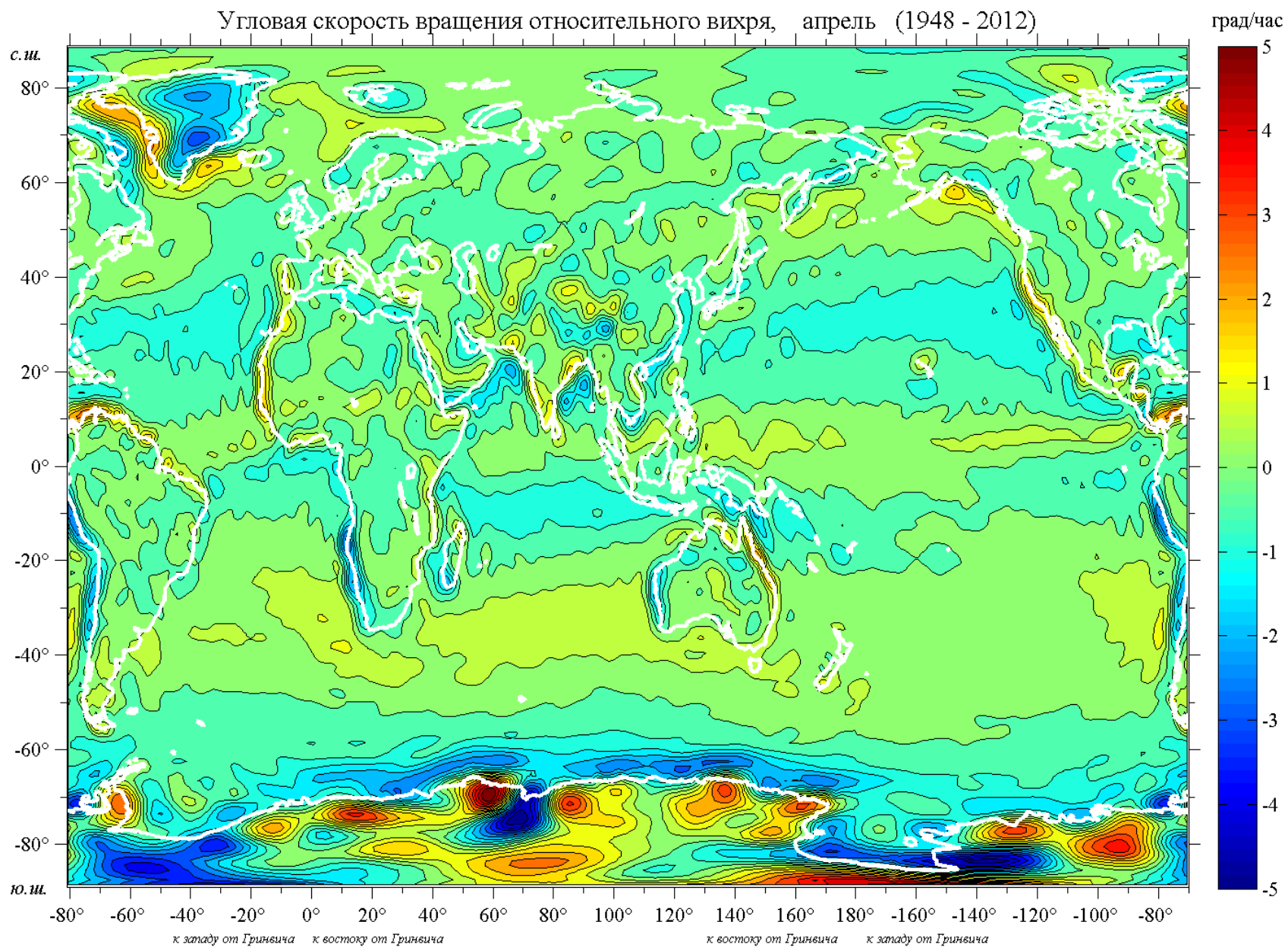


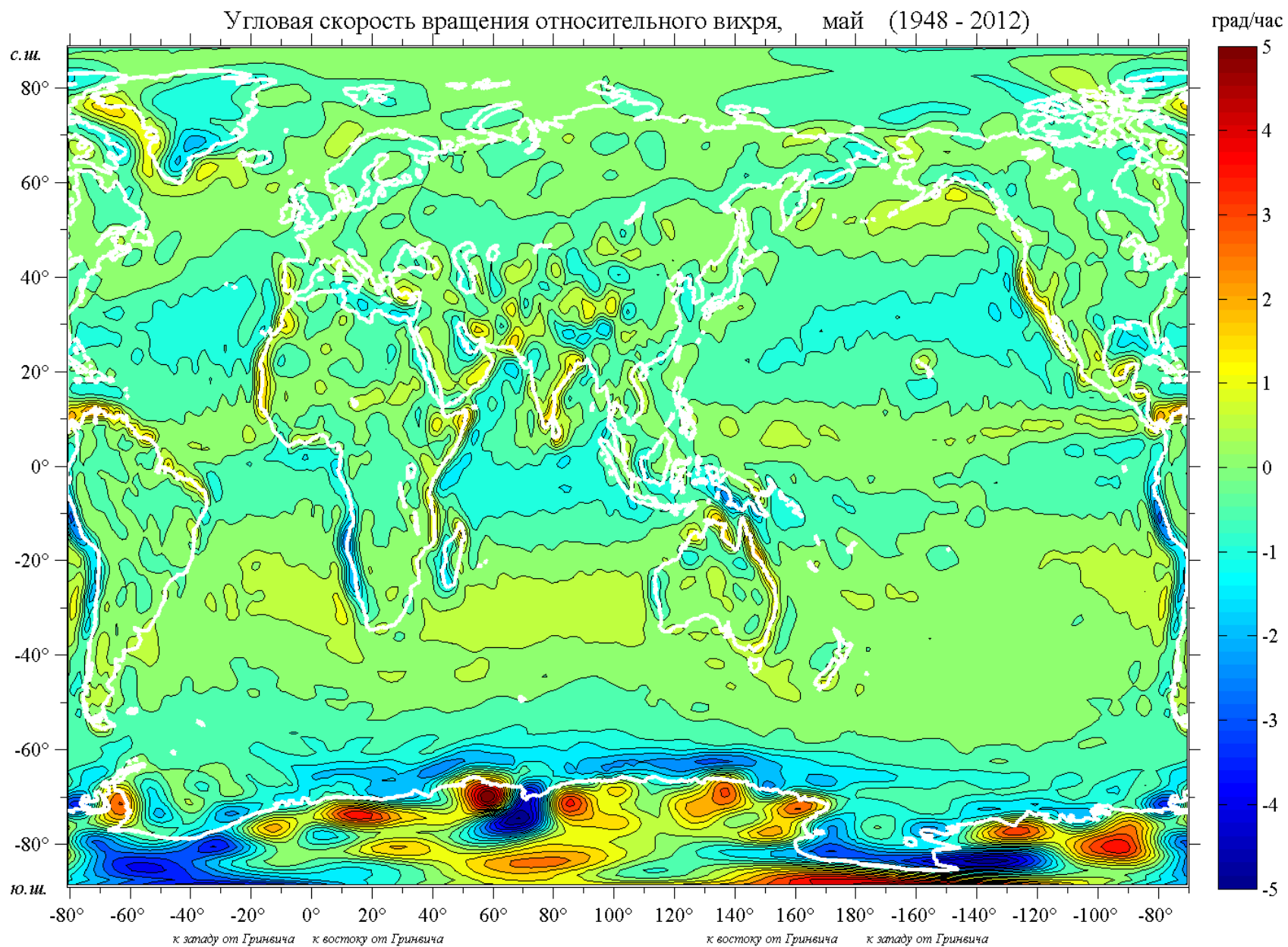


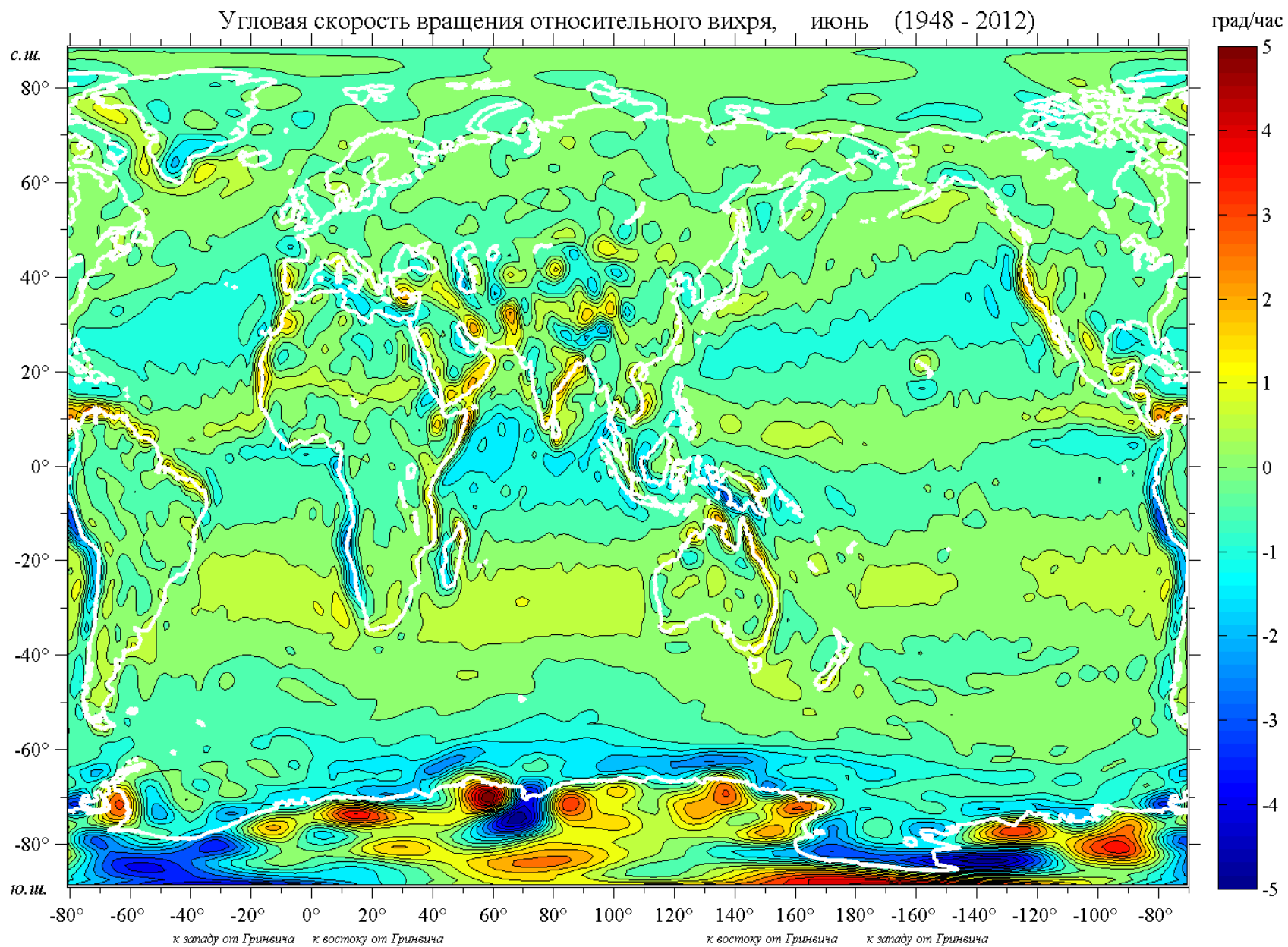




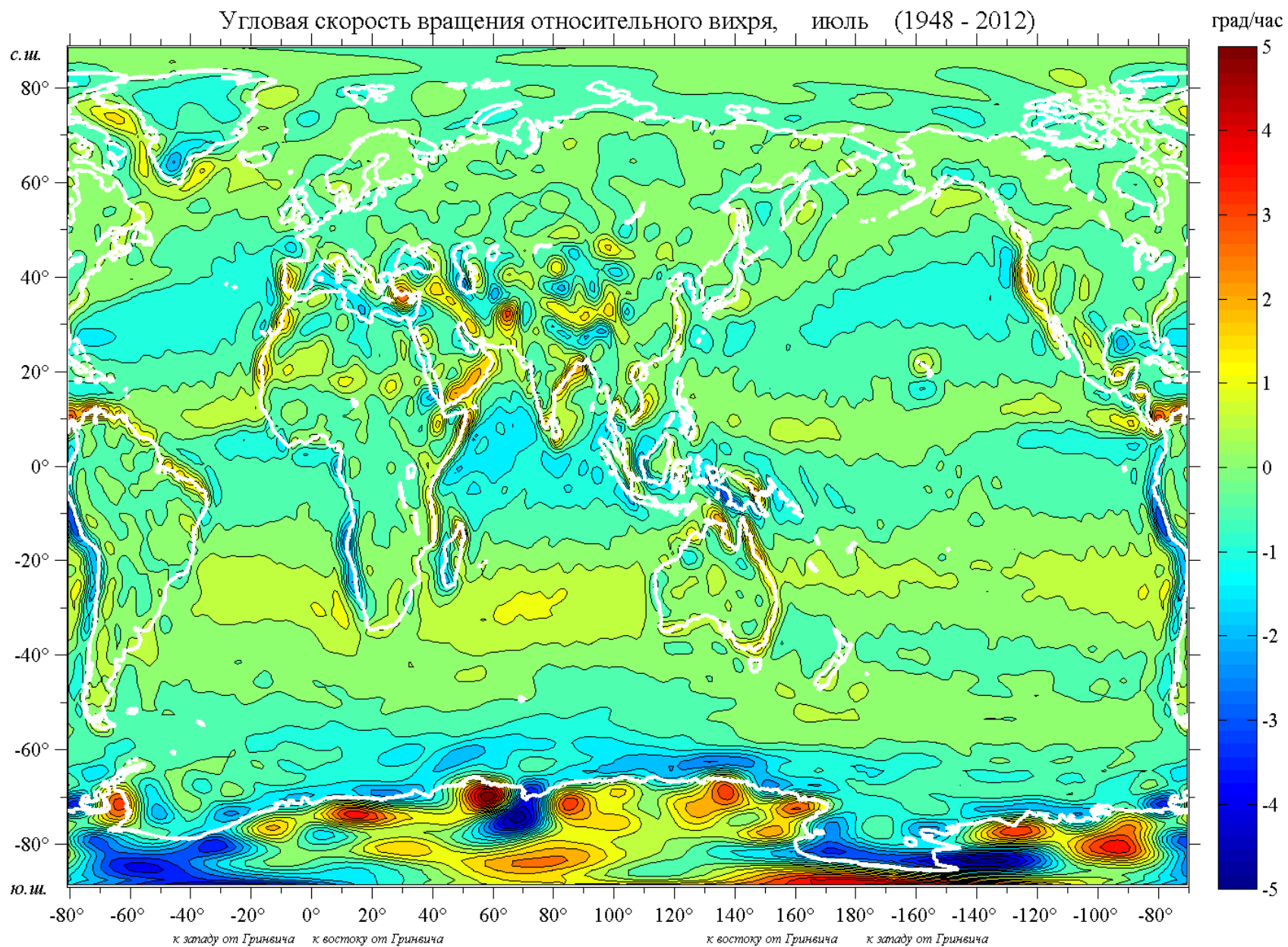


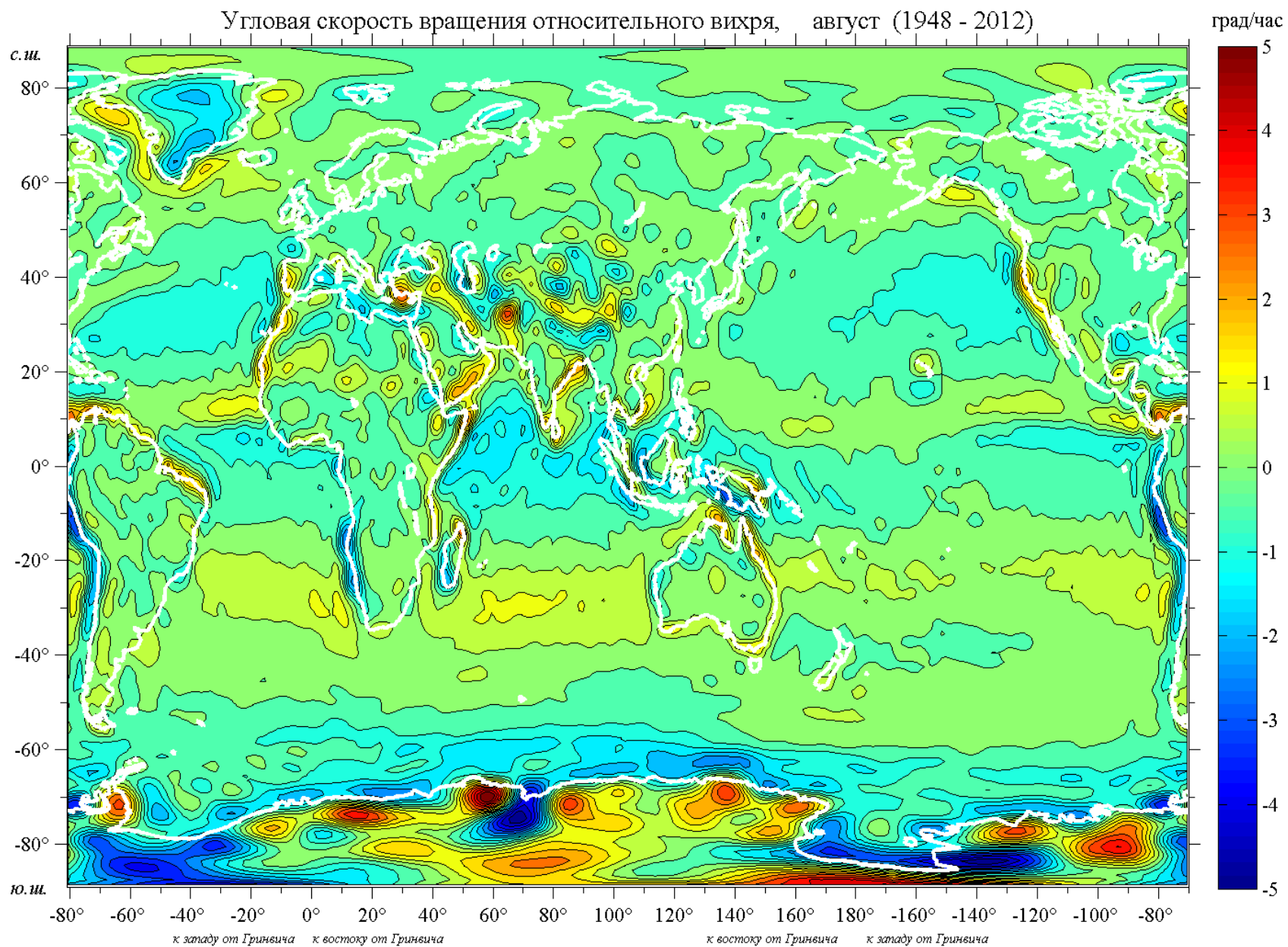


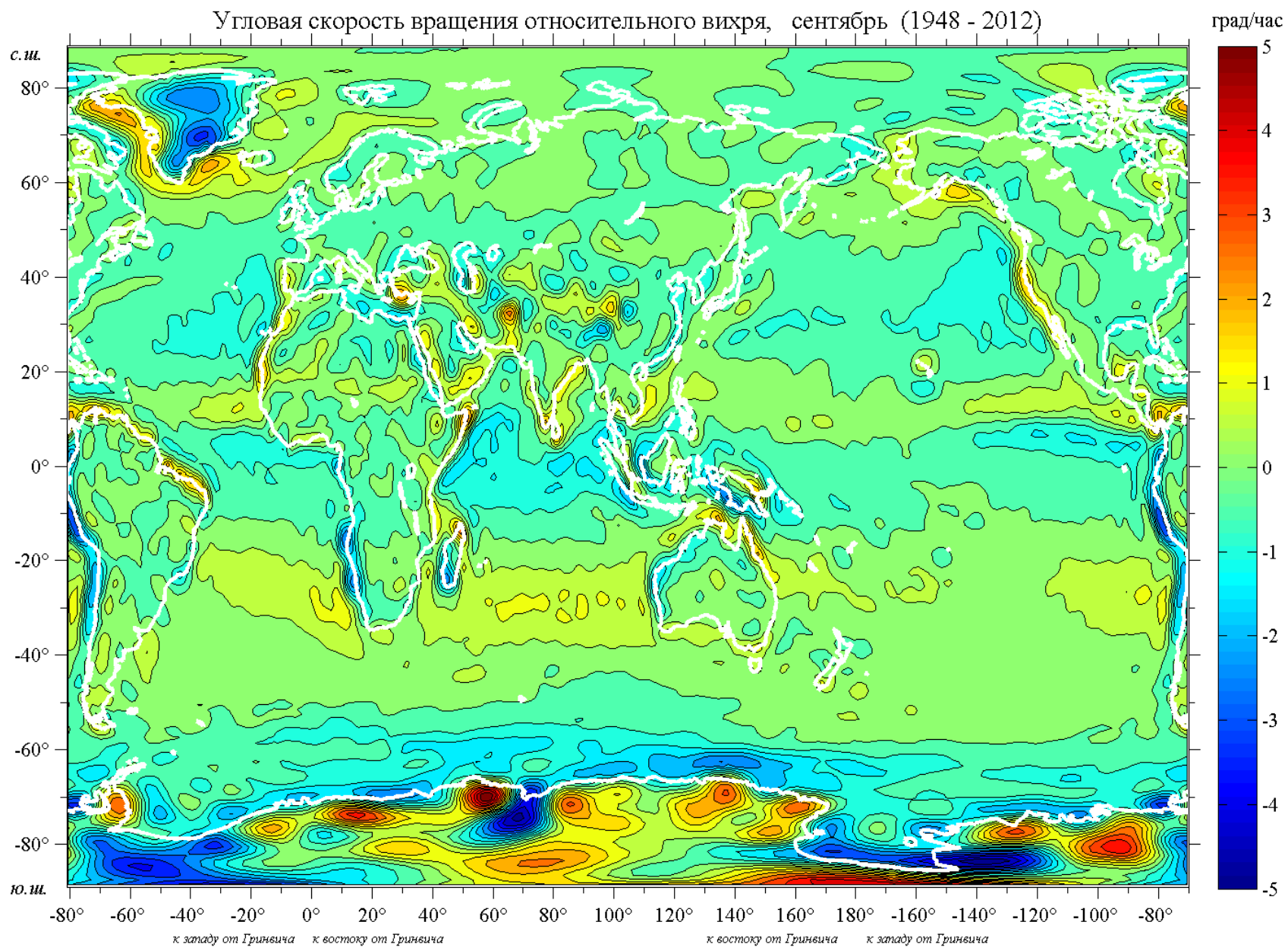




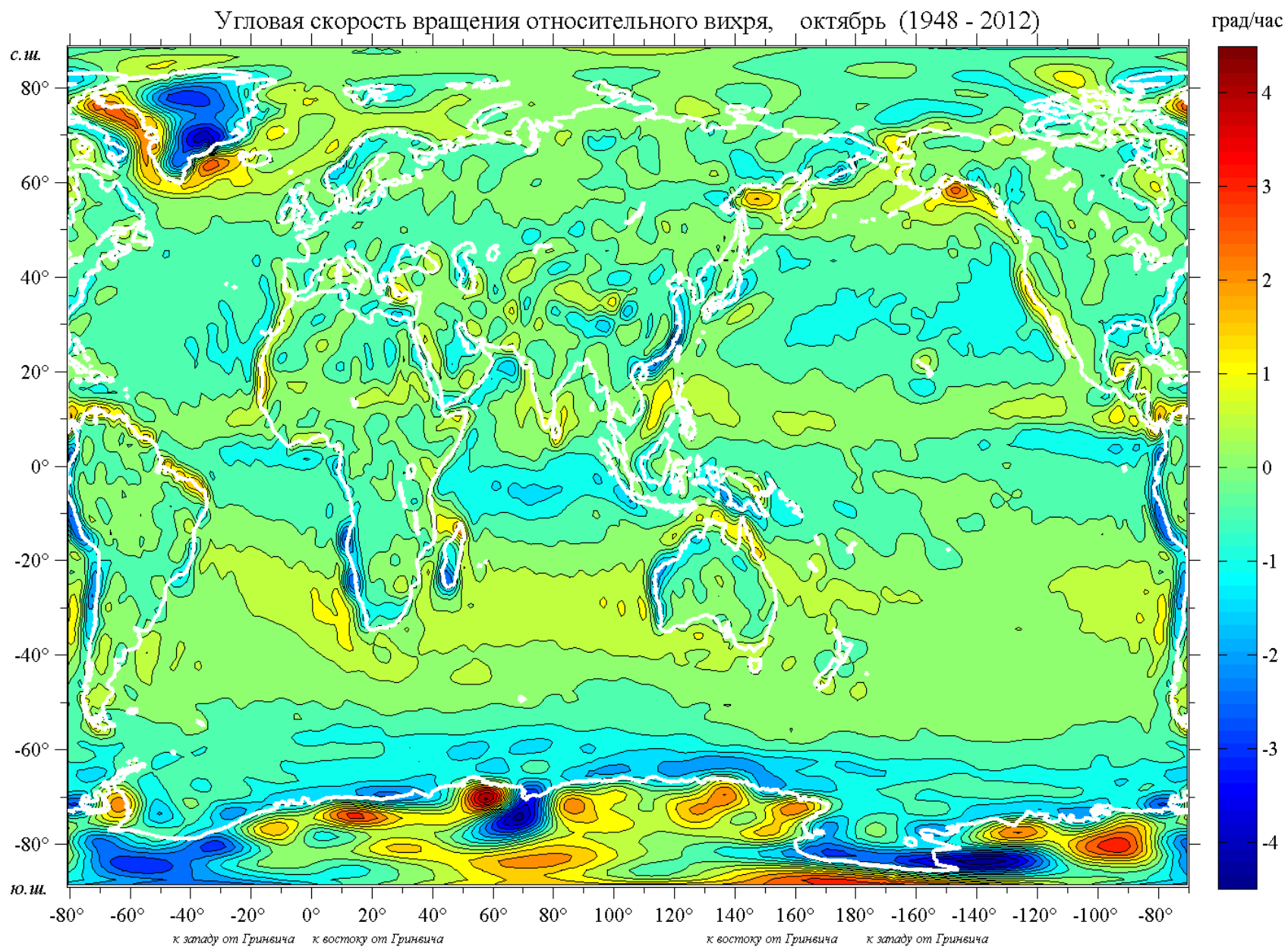


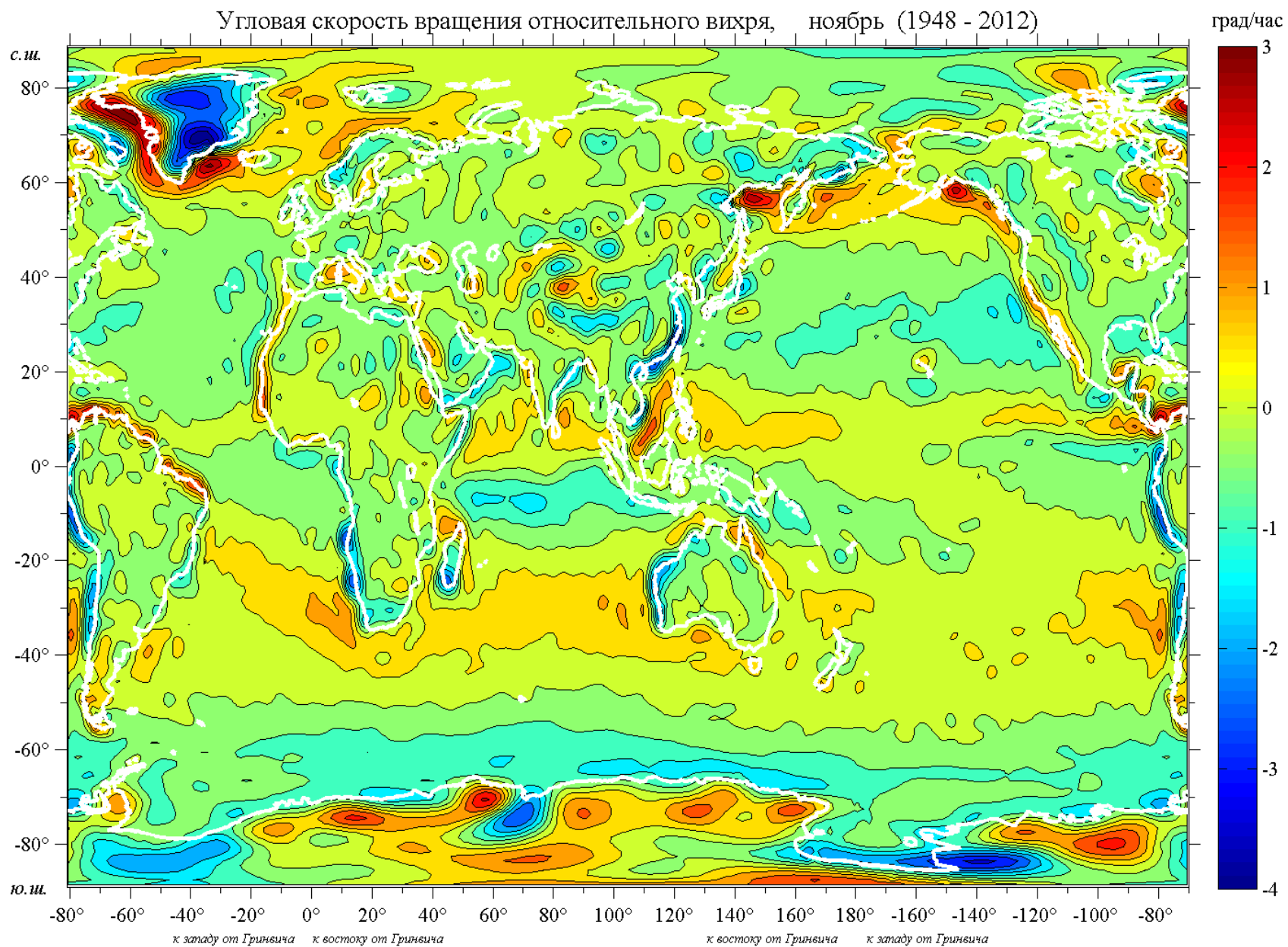


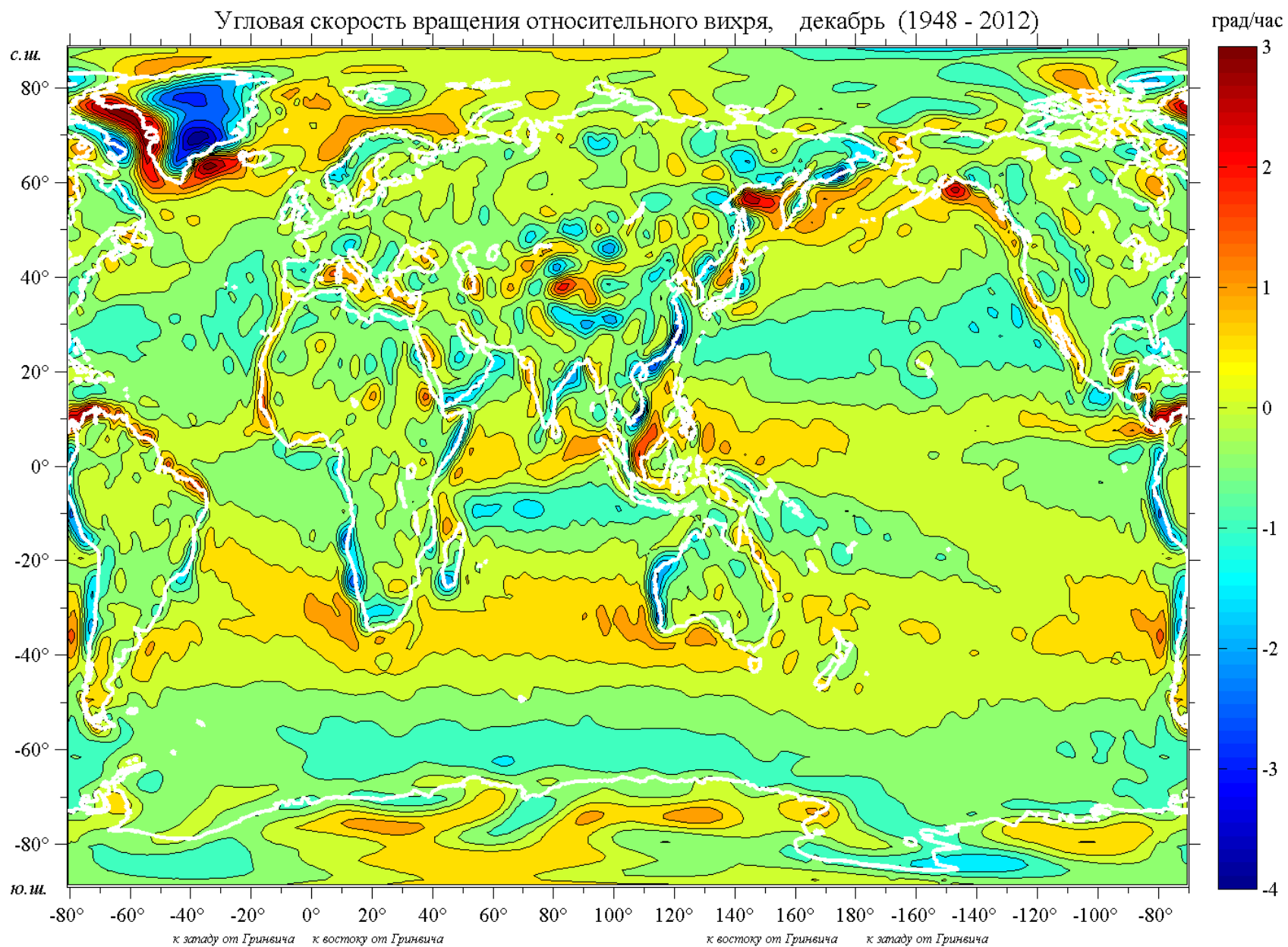










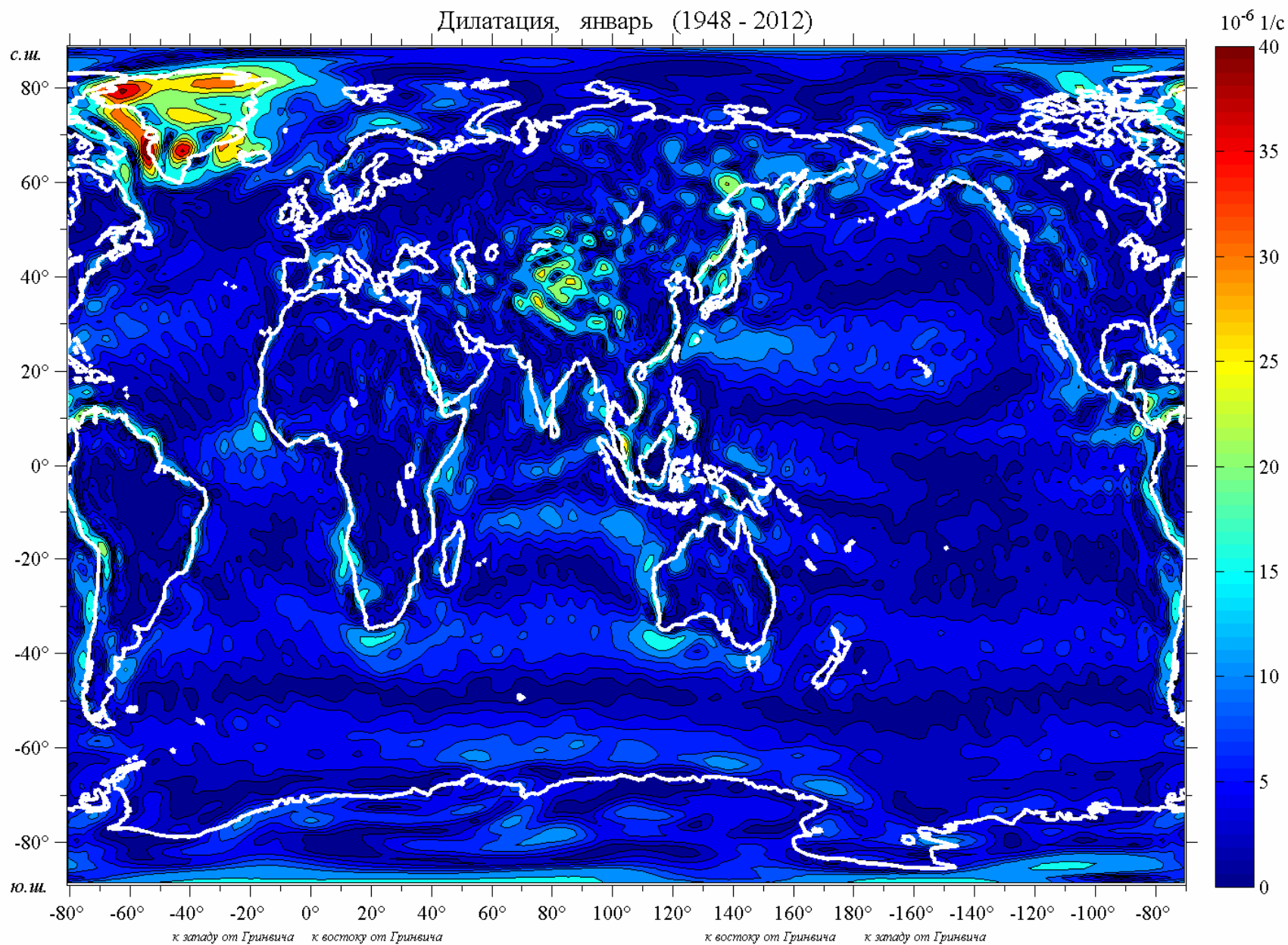


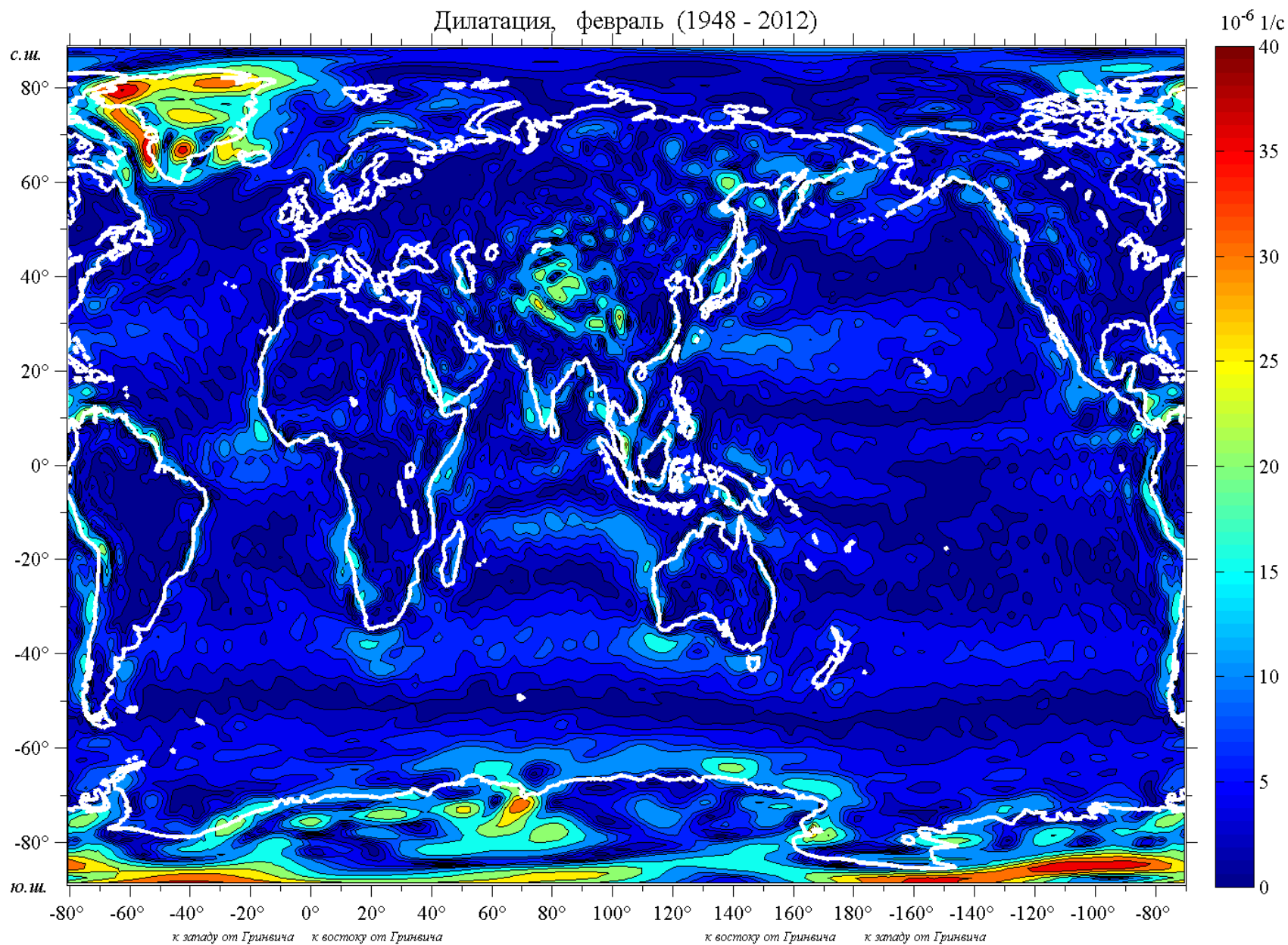


### 2.3. Дилатация

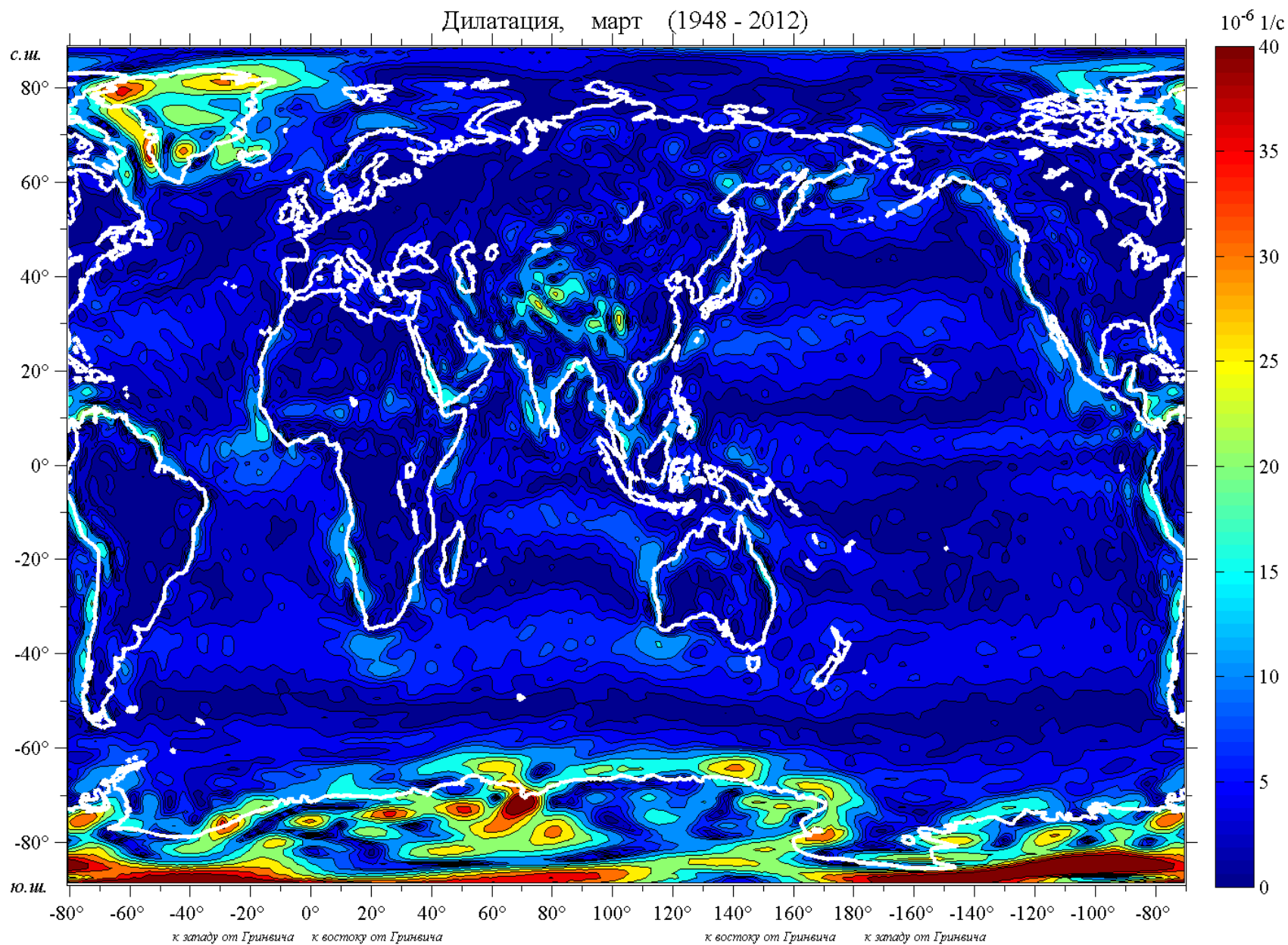
На картах для каждого месяца с шагом  $2 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$  в диапазоне  $[0 - 10] \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$  и с шагом  $5 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$  в диапазоне  $[10 - 40] \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$  приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений дилатации (результатирующей деформации)

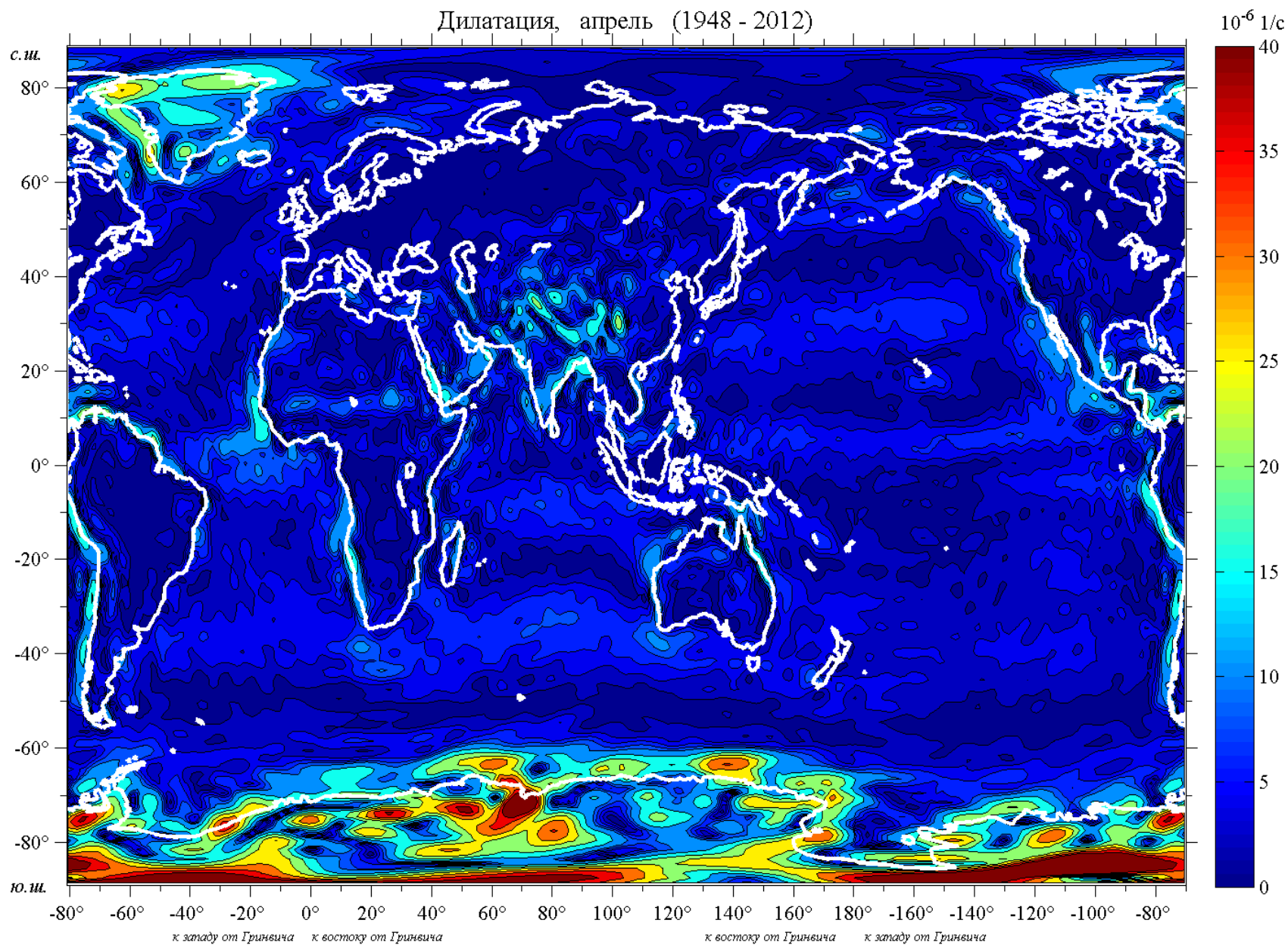
$$\left( \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right)^{1/2}$$

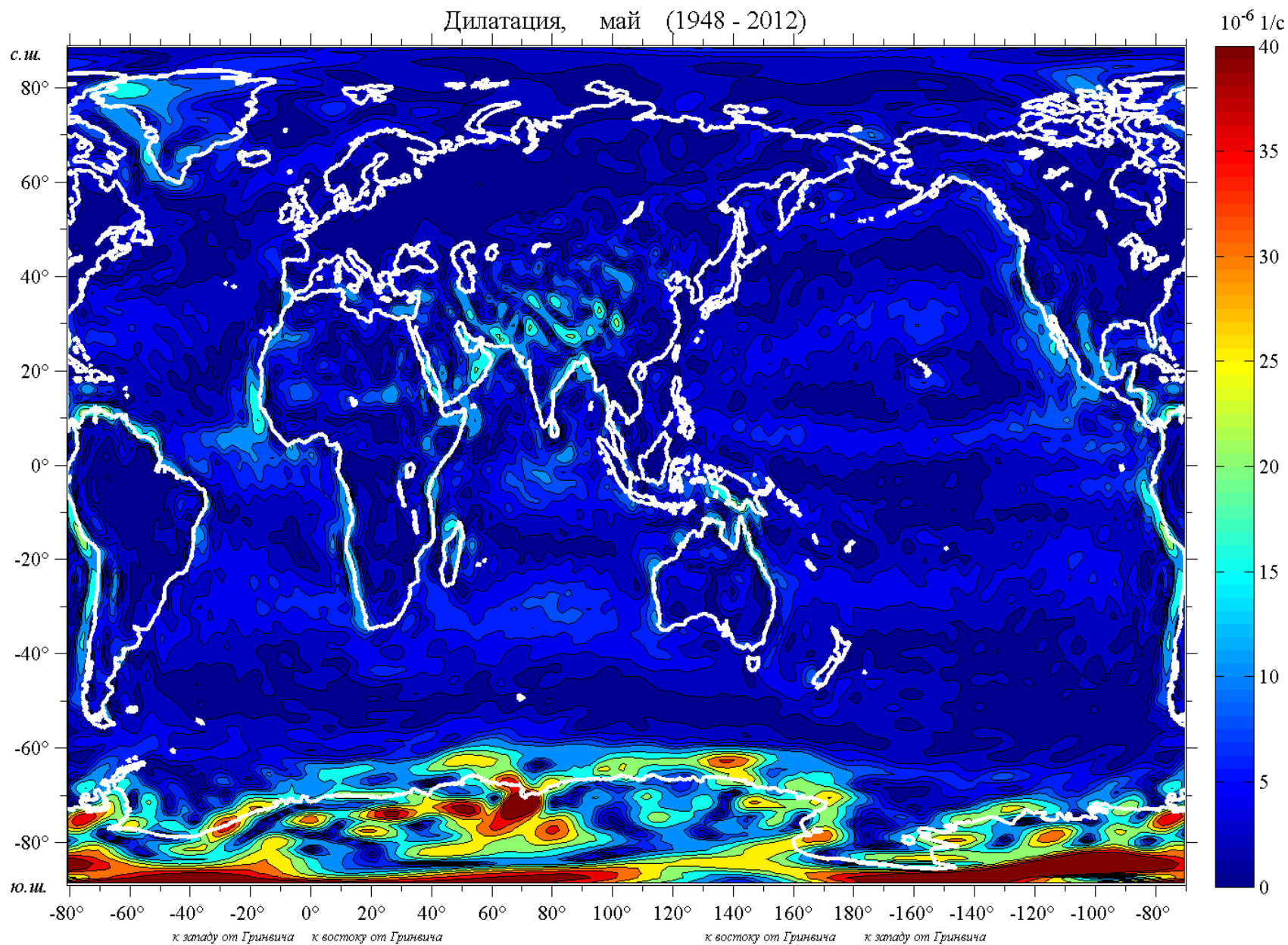




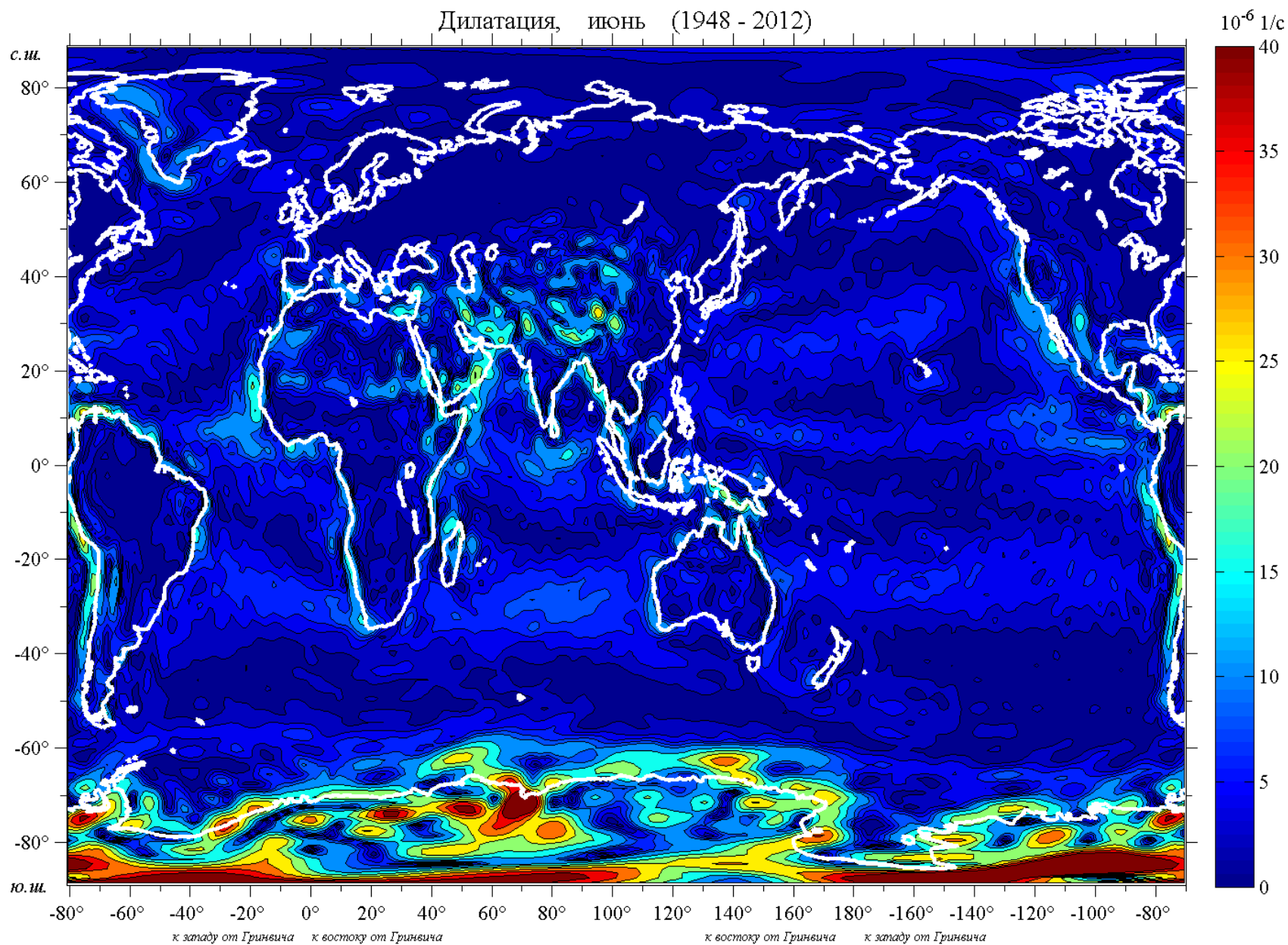


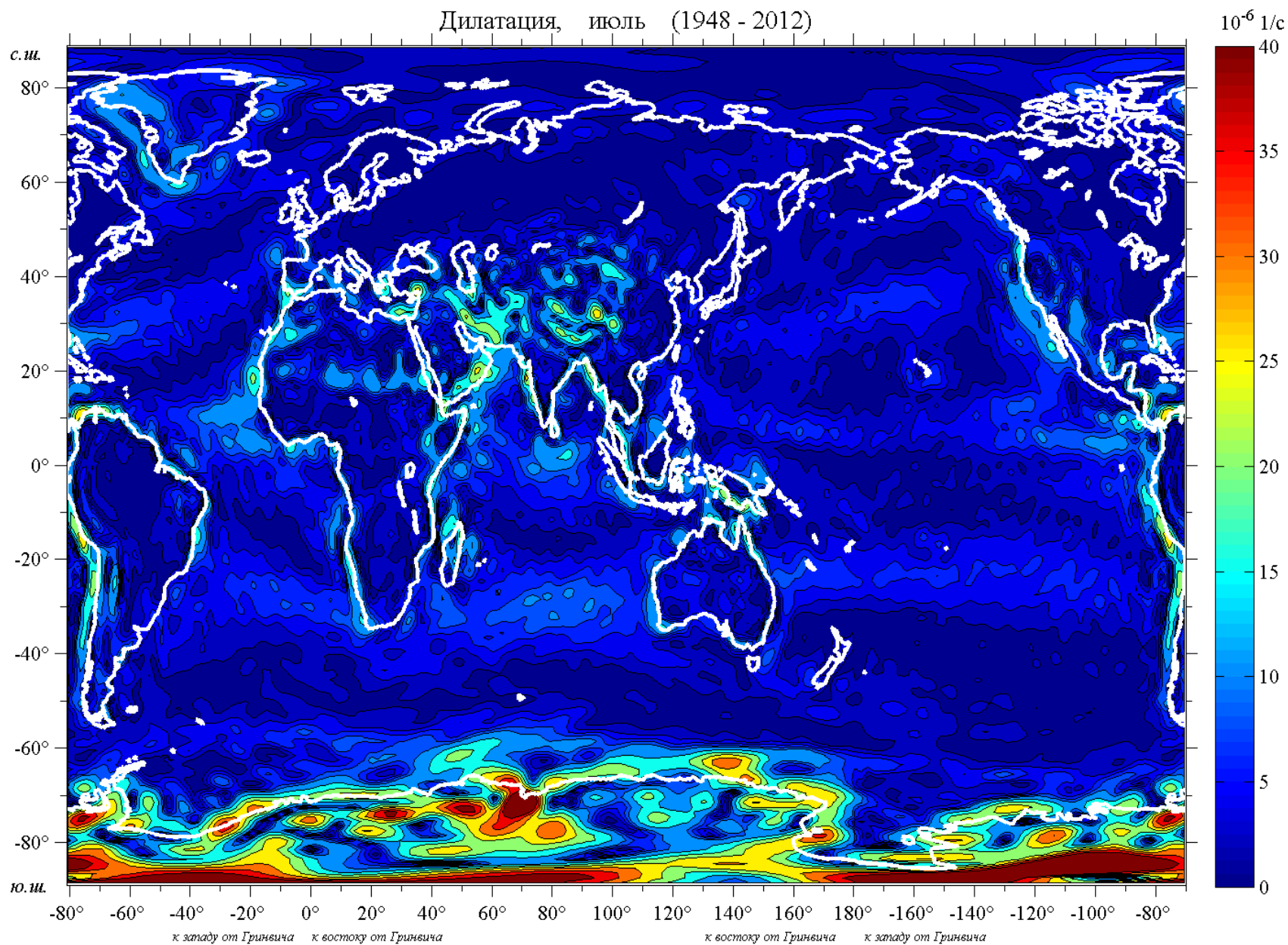


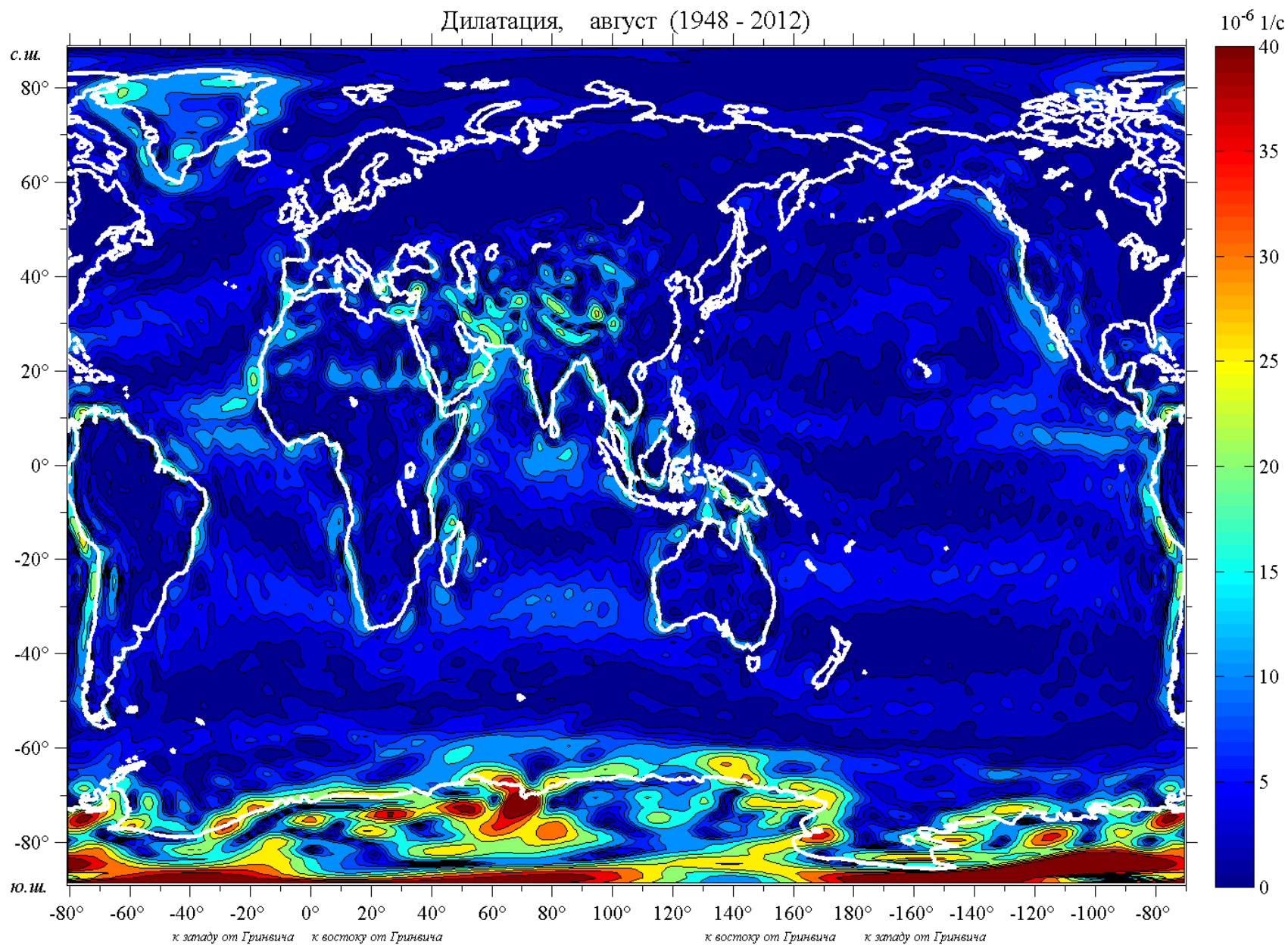




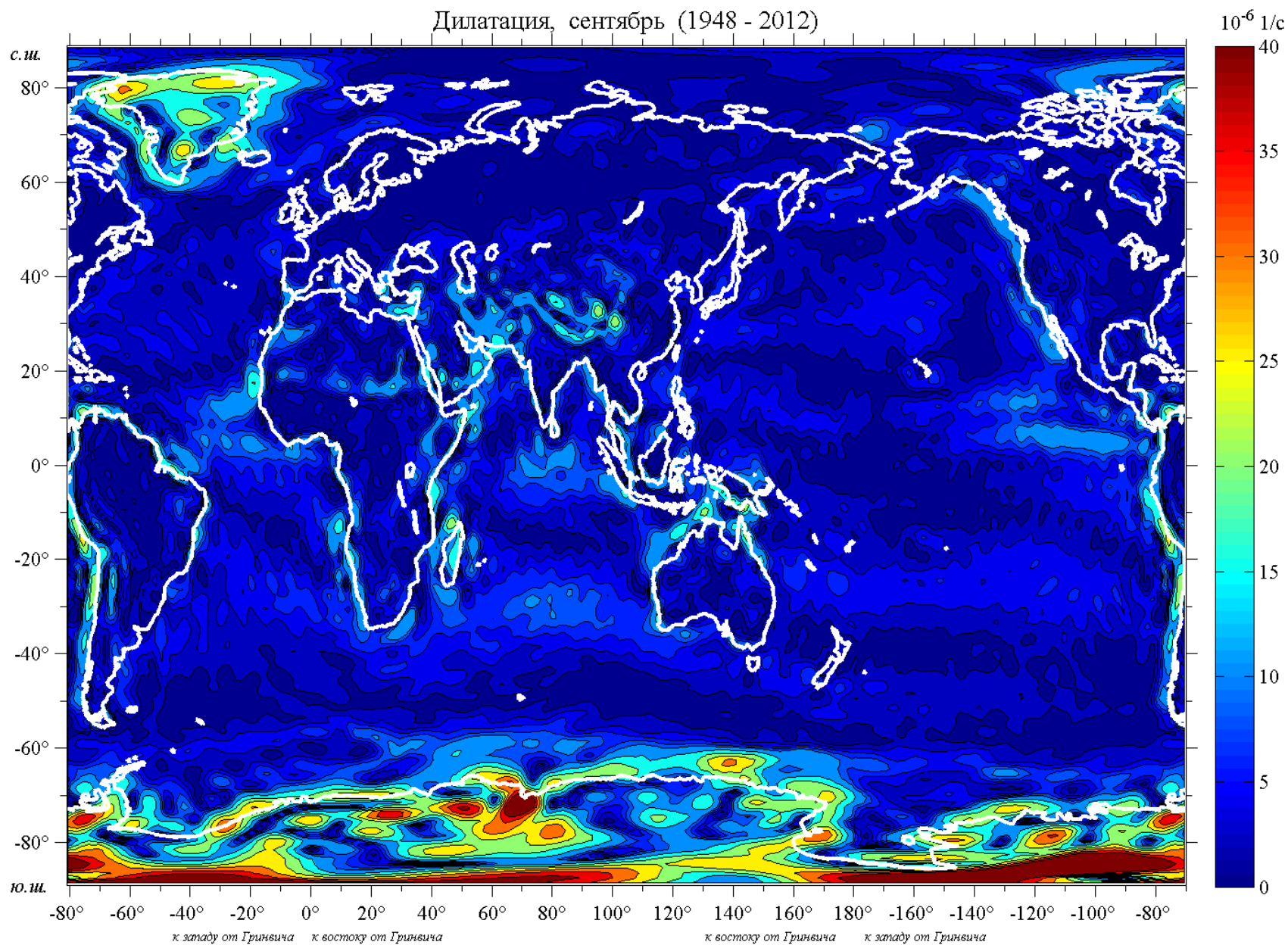


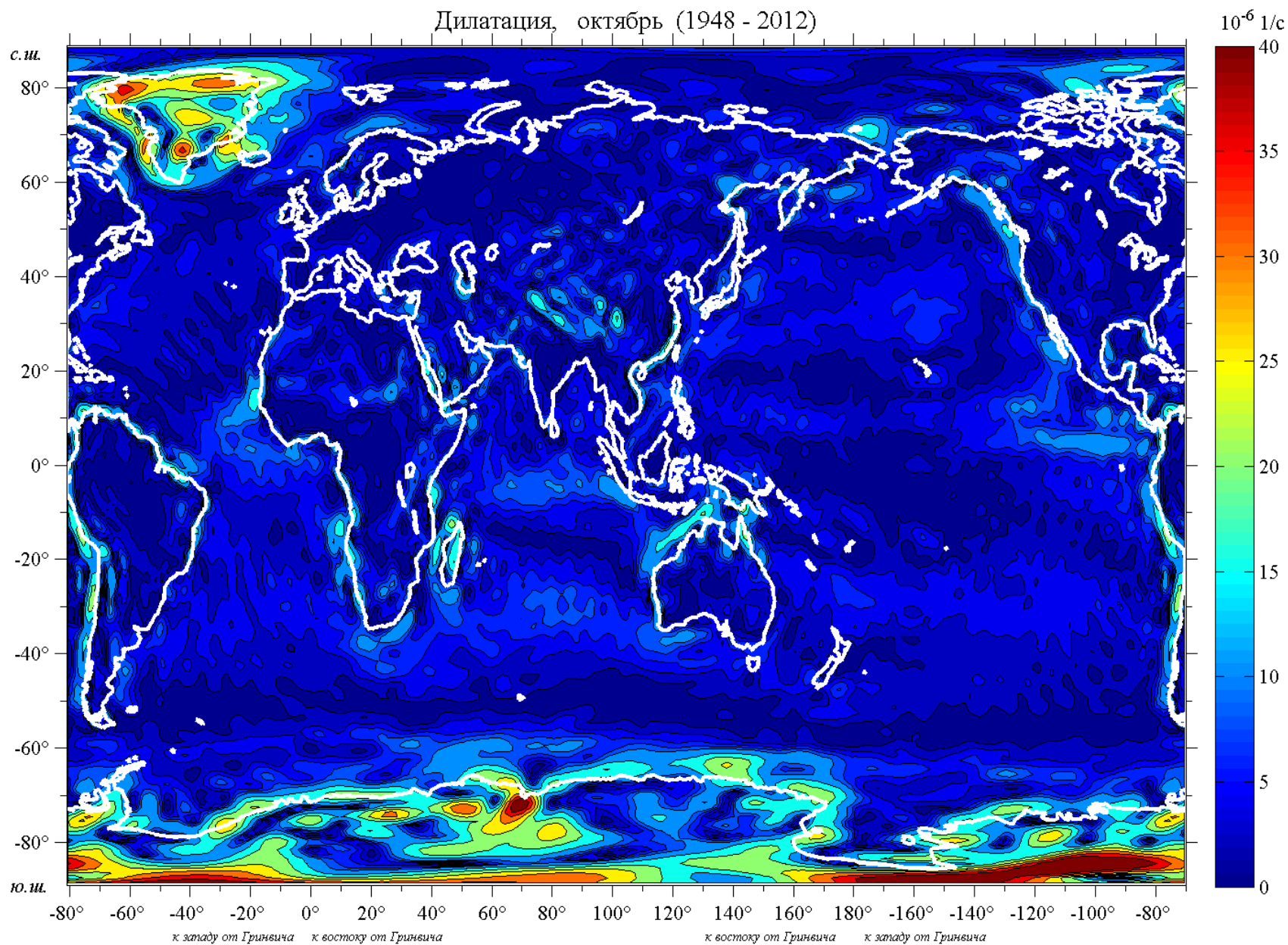


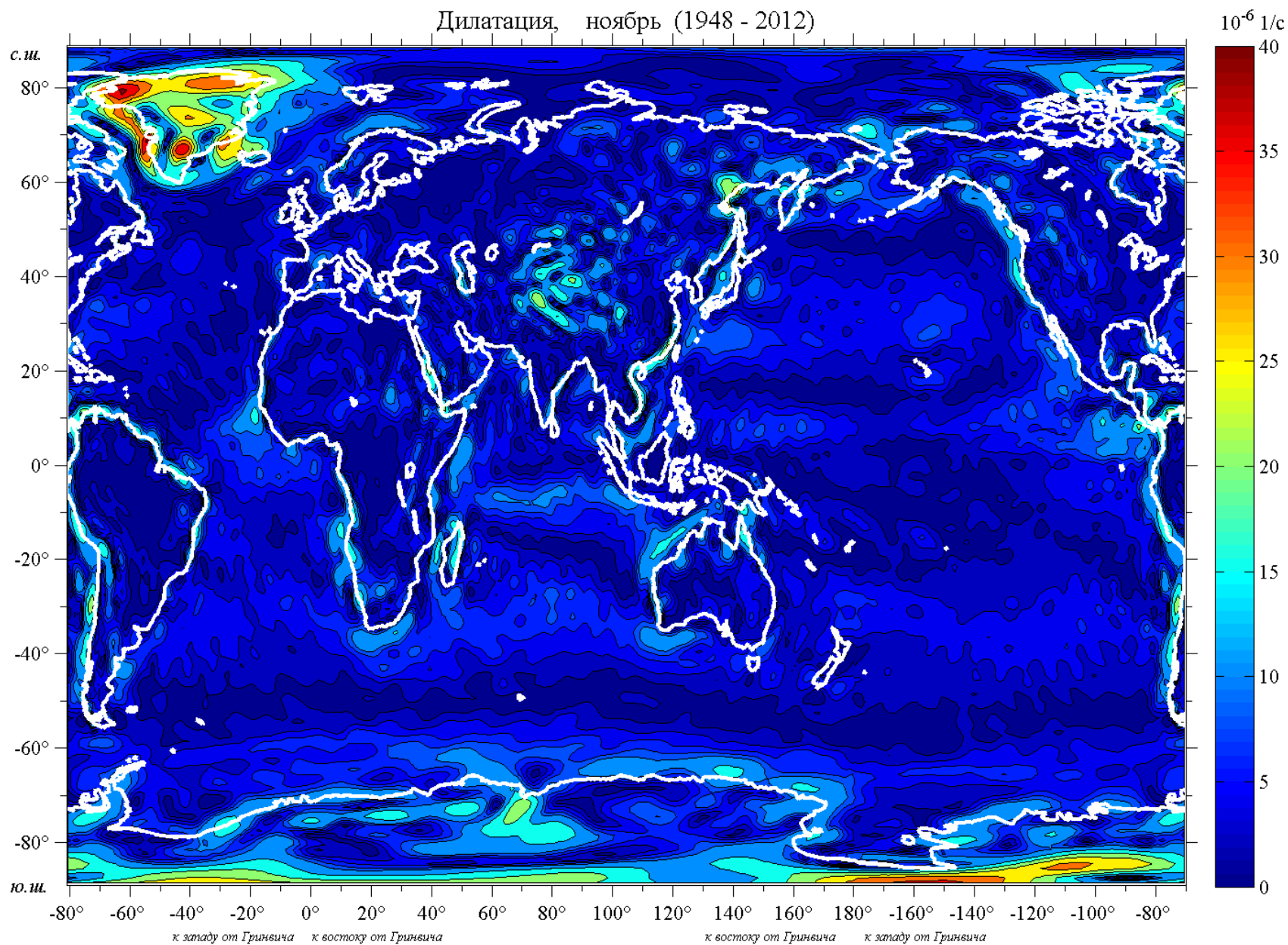




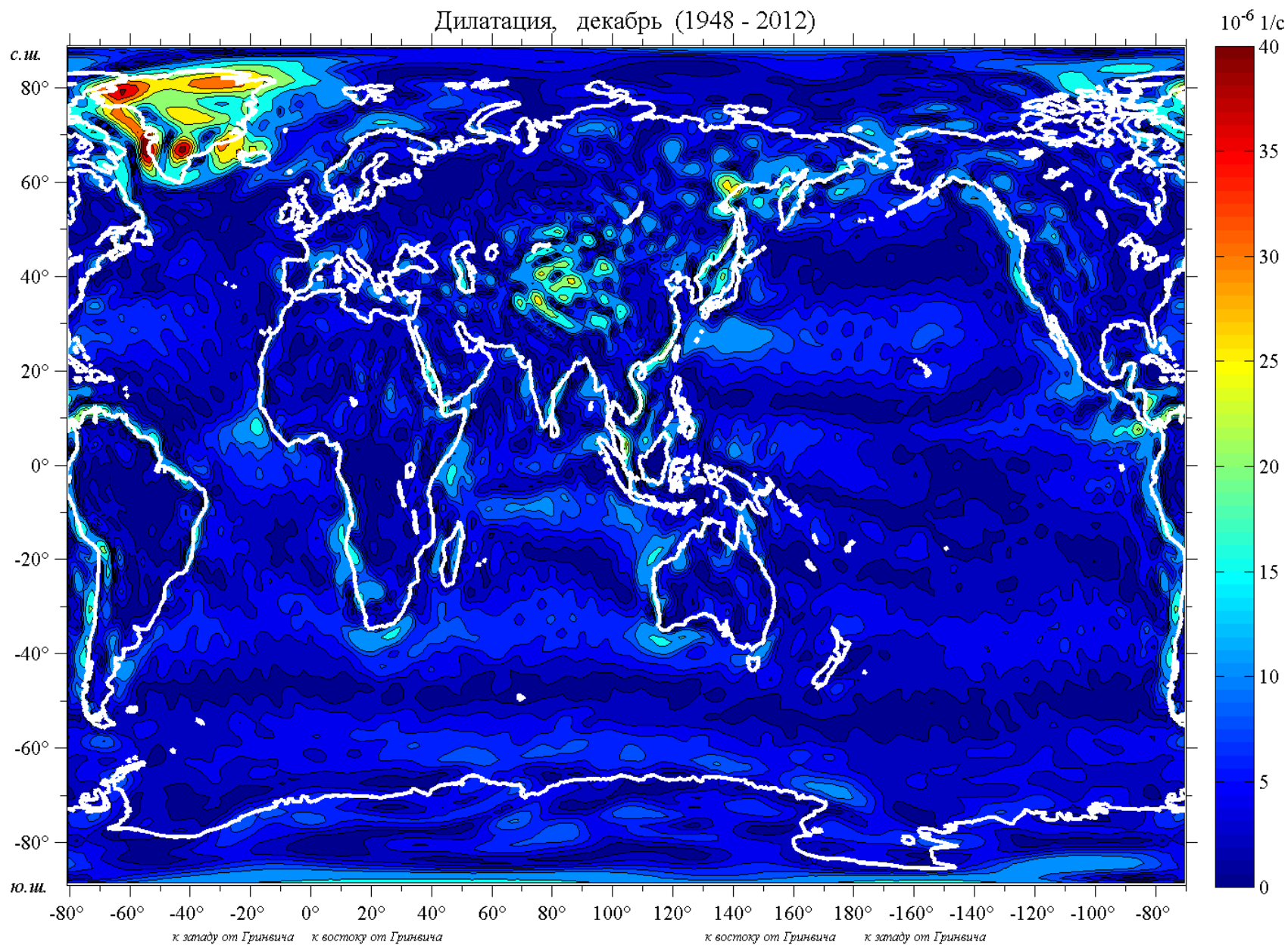








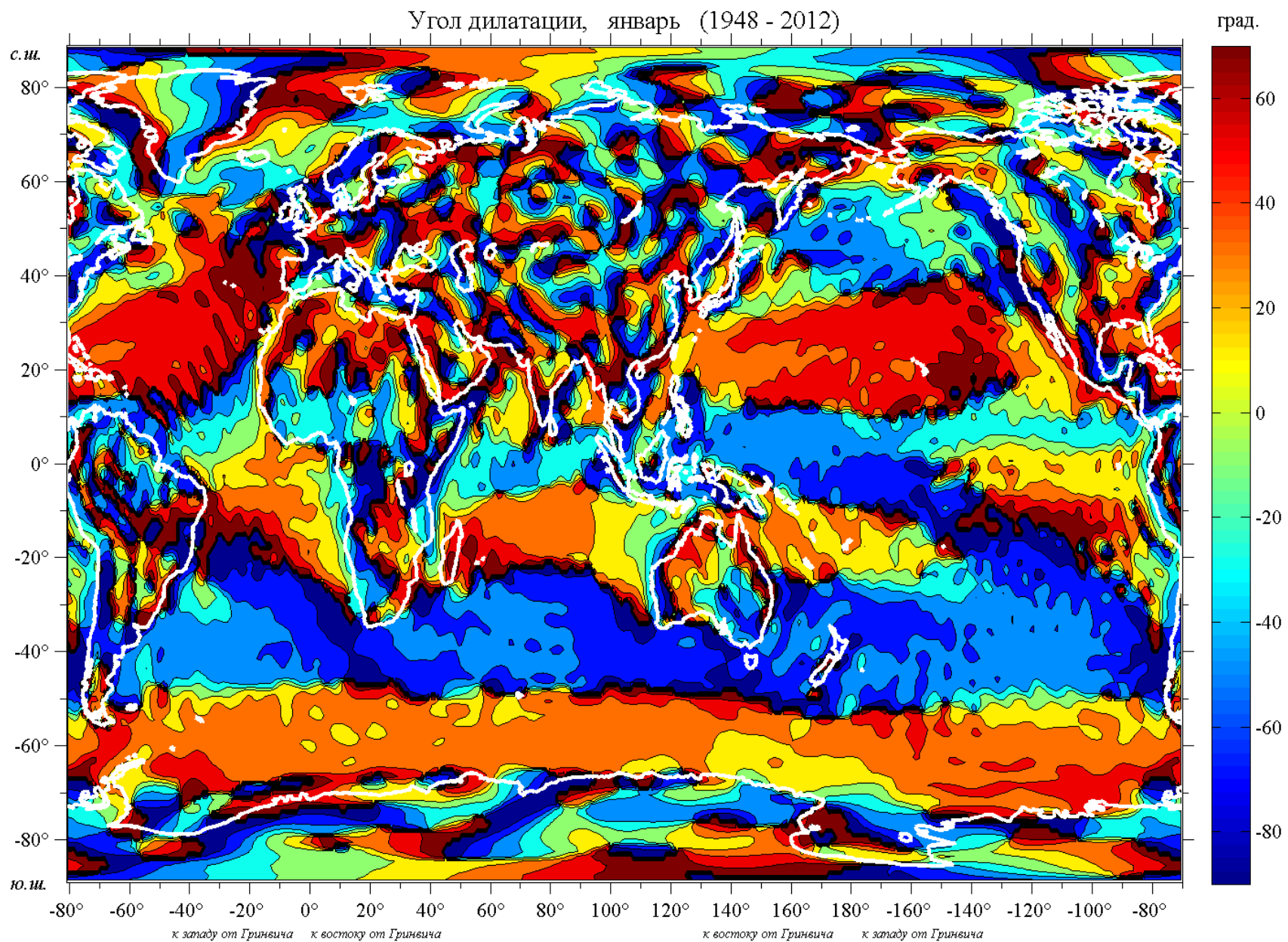




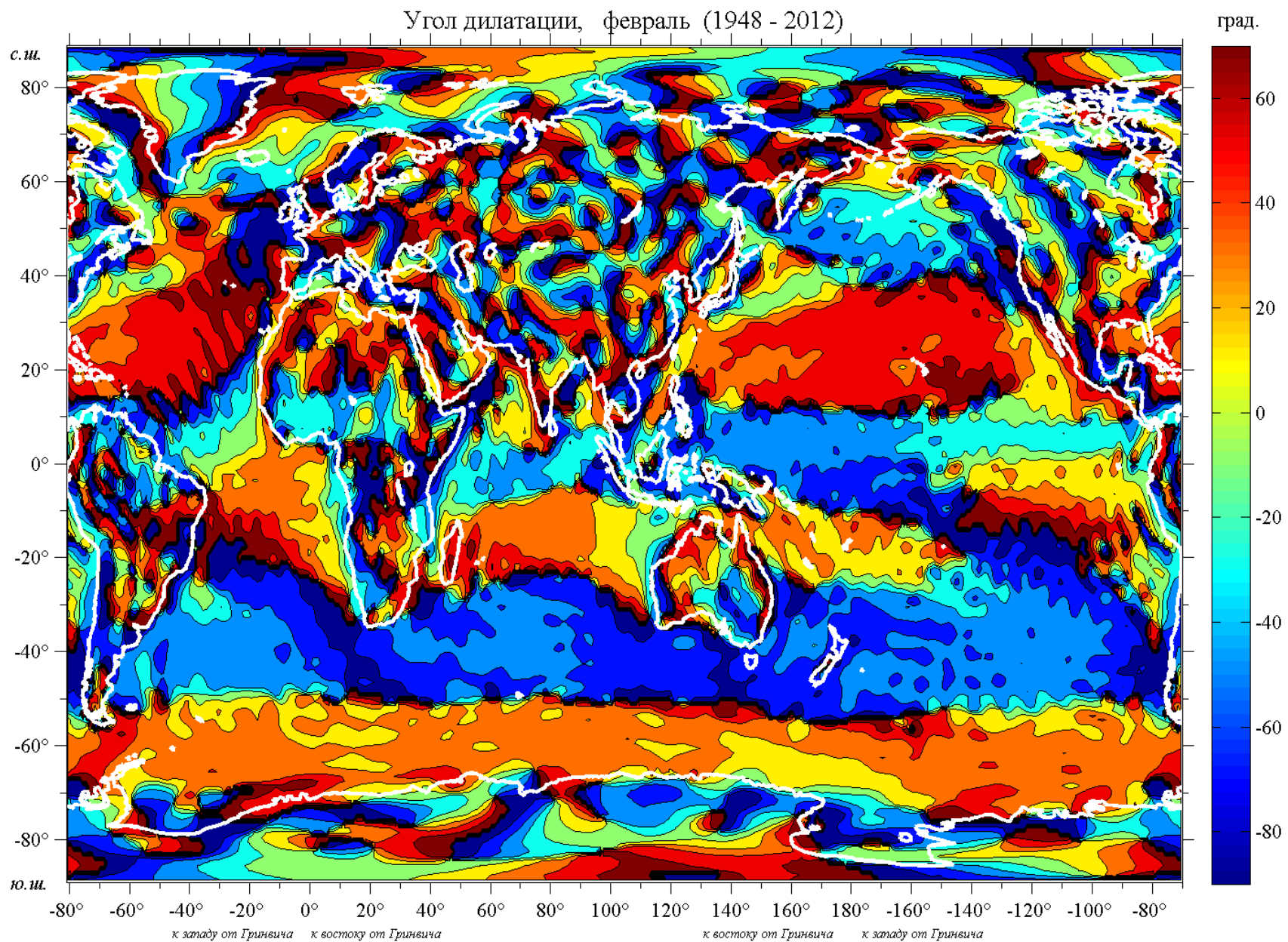
## 2.4. Угол дилатации

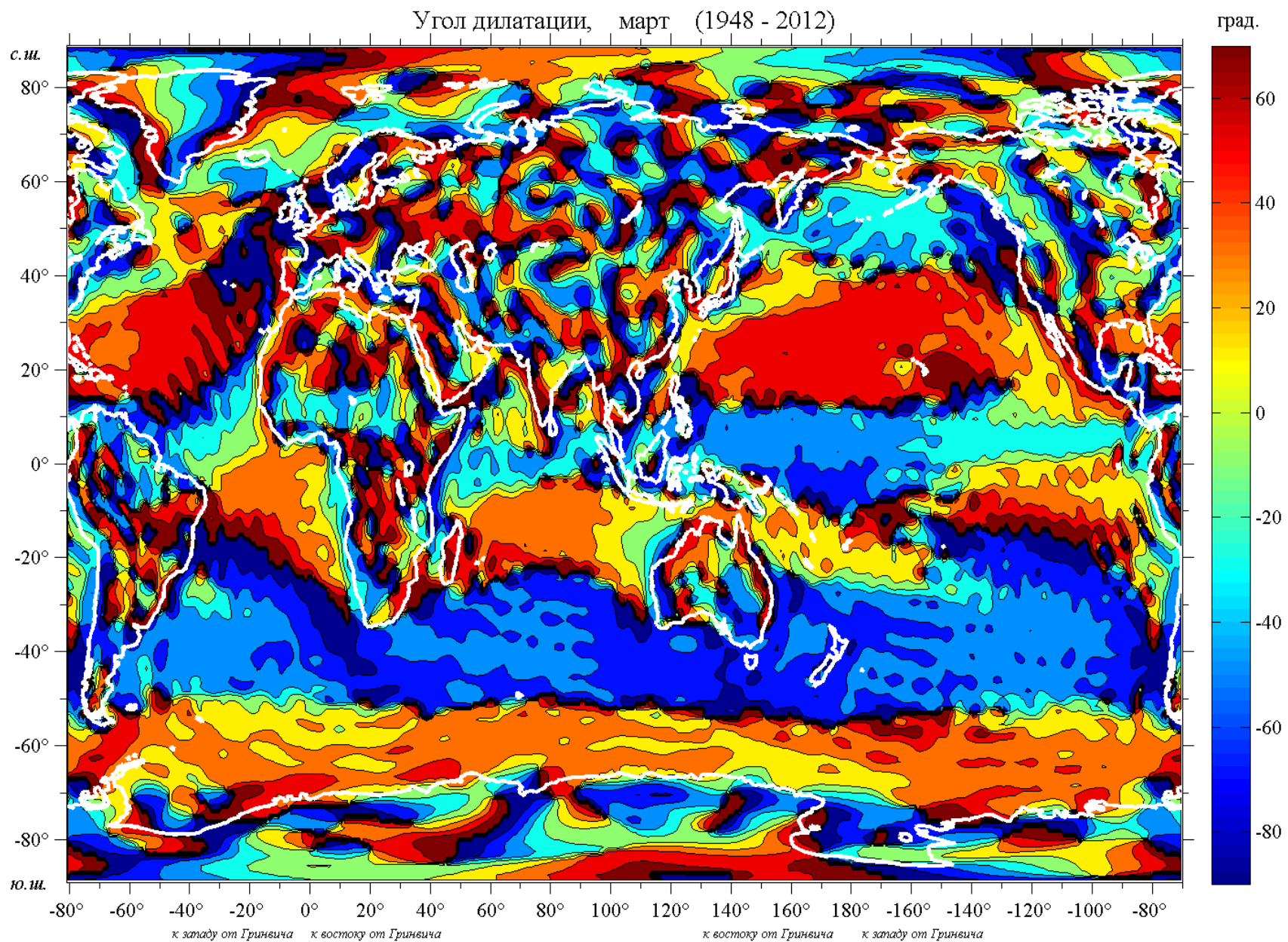
На картах для каждого месяца с шагом  $20^\circ$  приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений угла дилатации

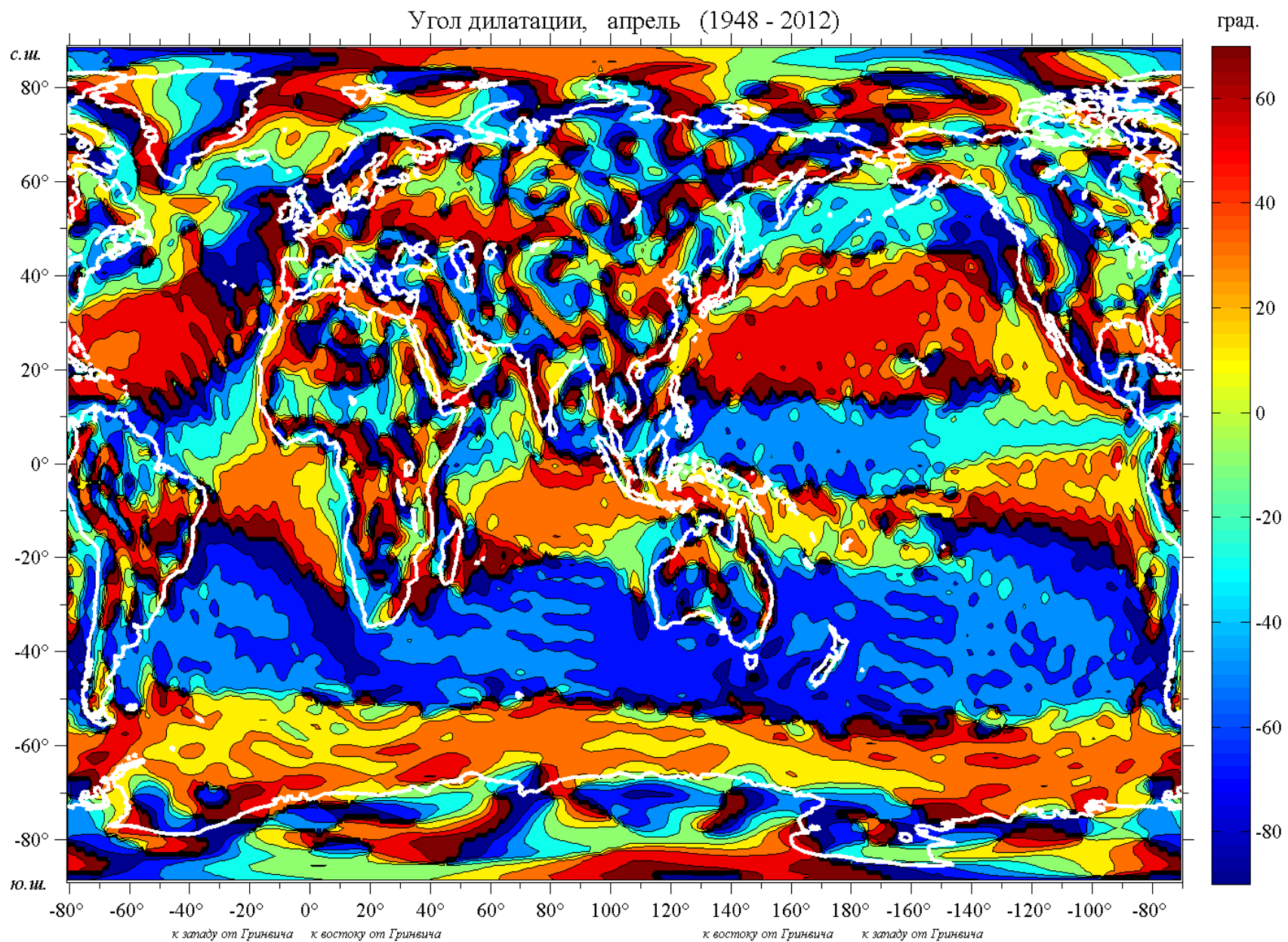
$$\theta = \frac{1}{2} \operatorname{Arctg} \left( \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) / \left( \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right).$$



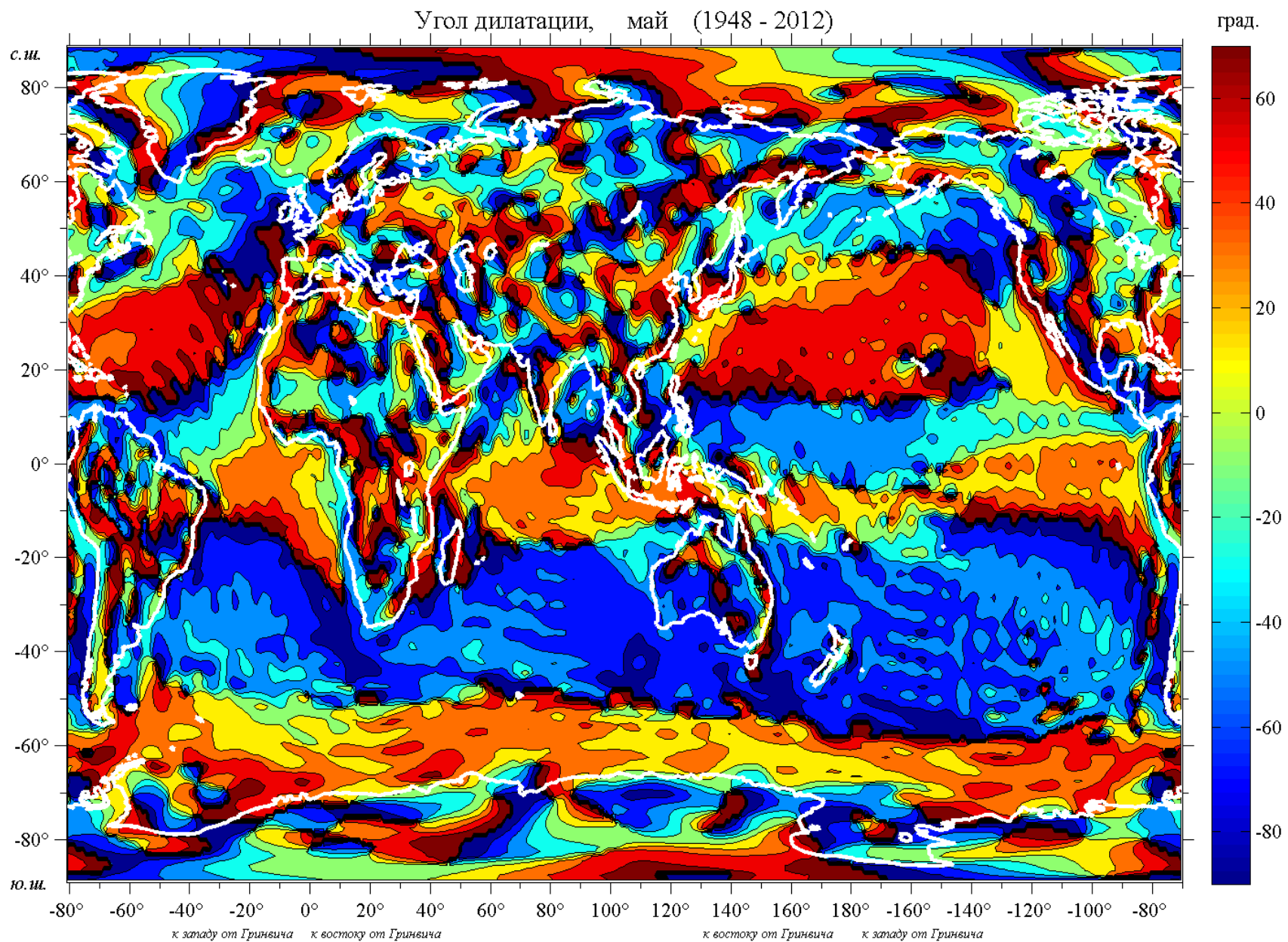


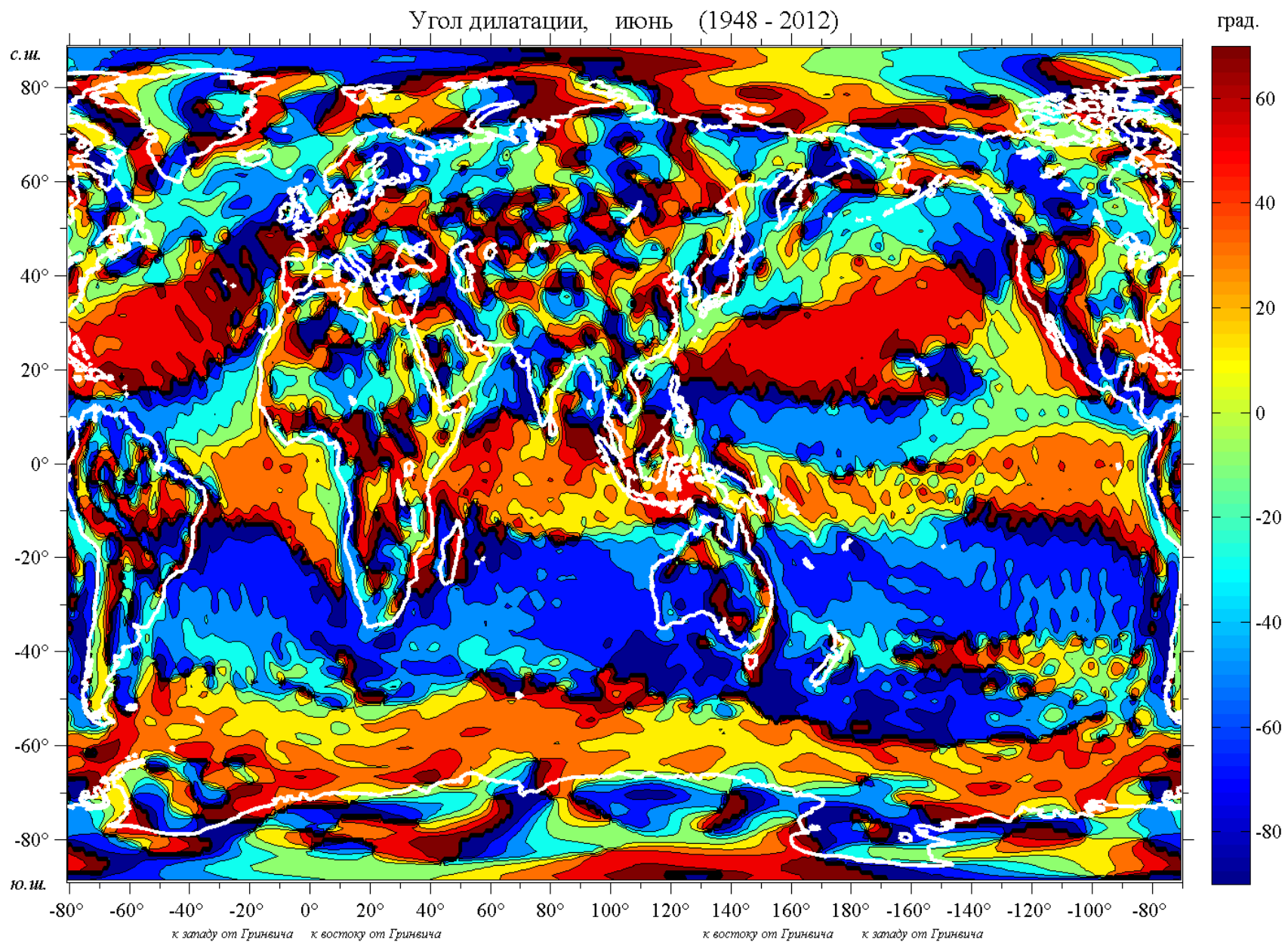


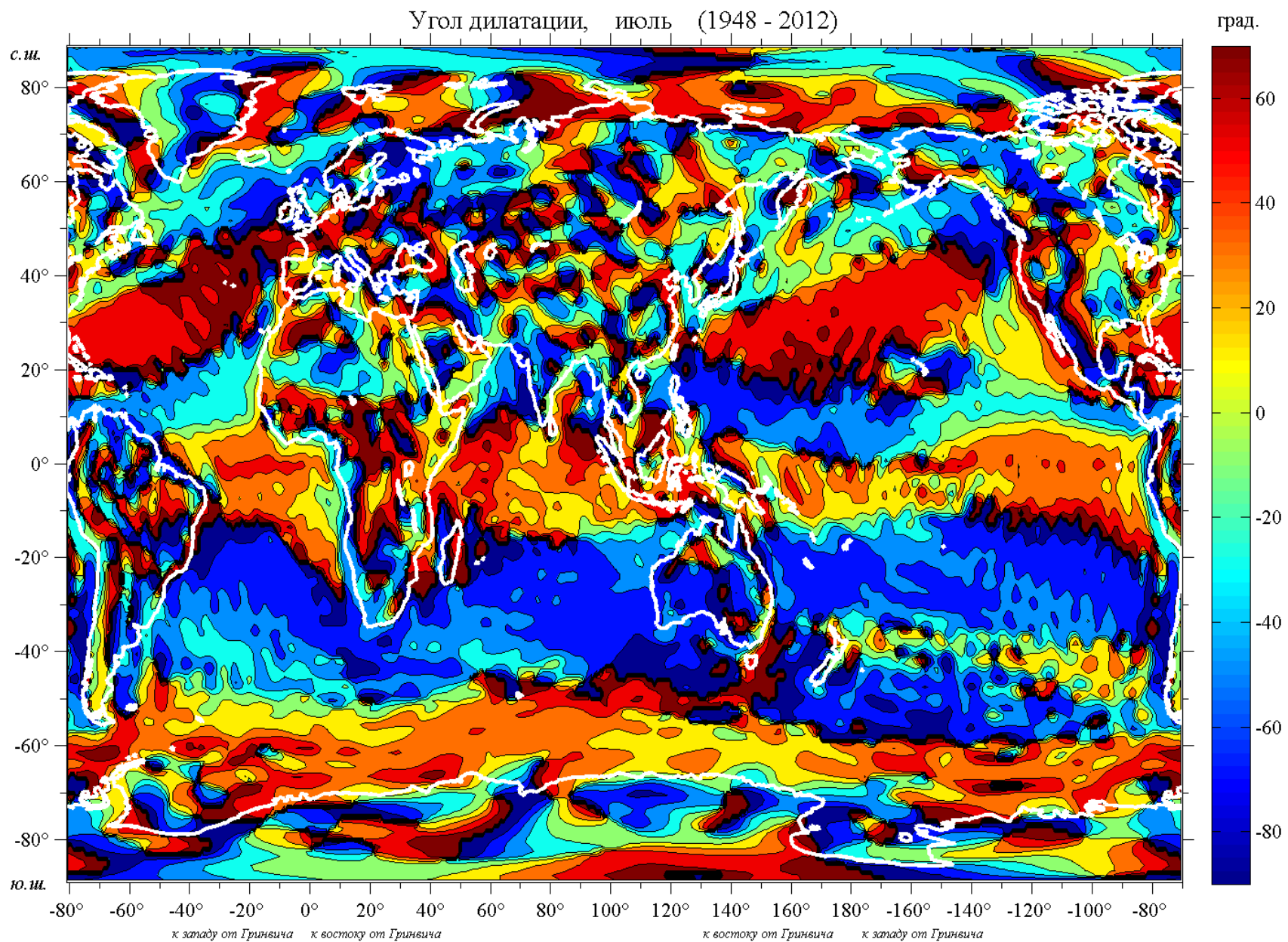




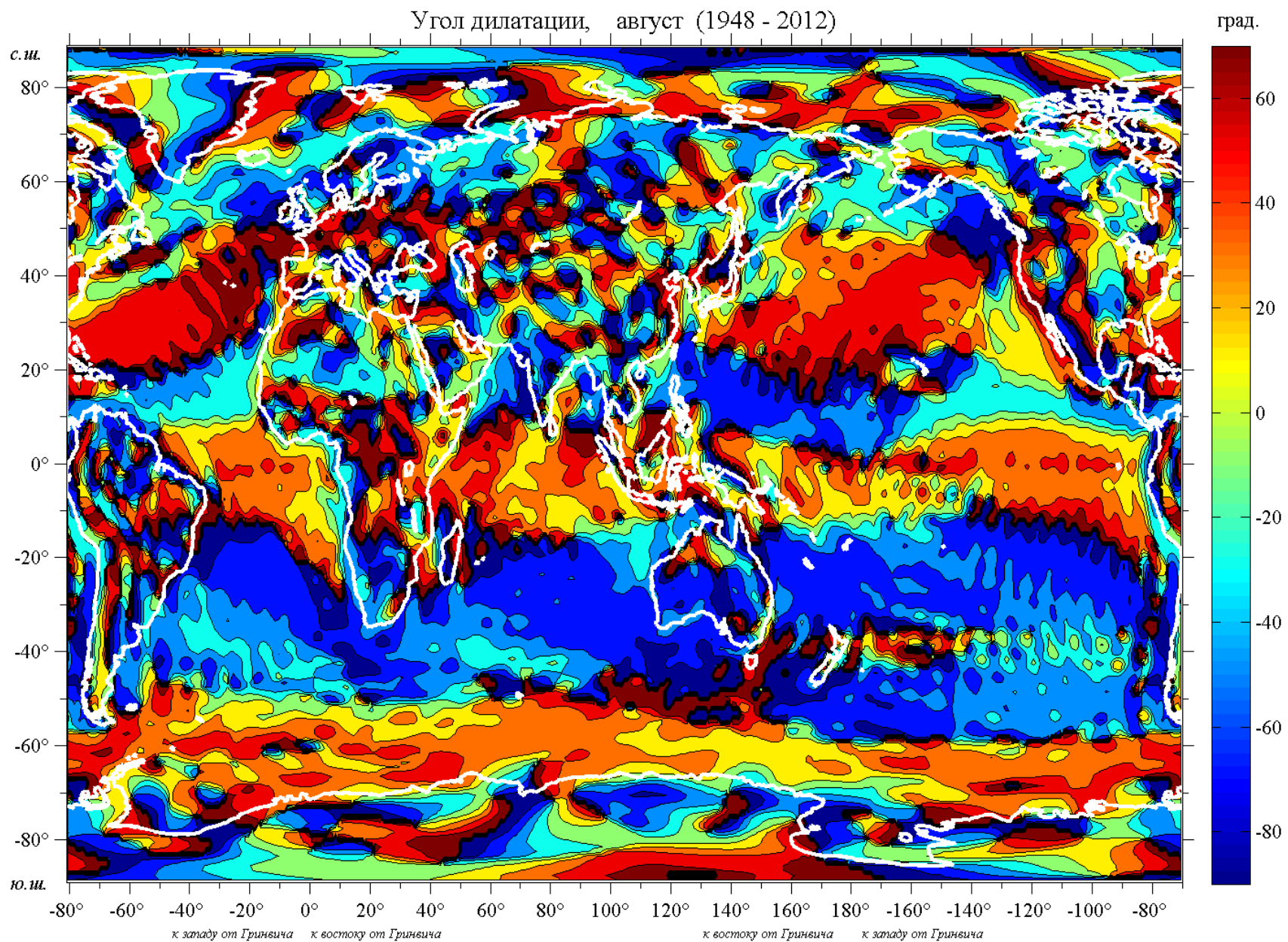


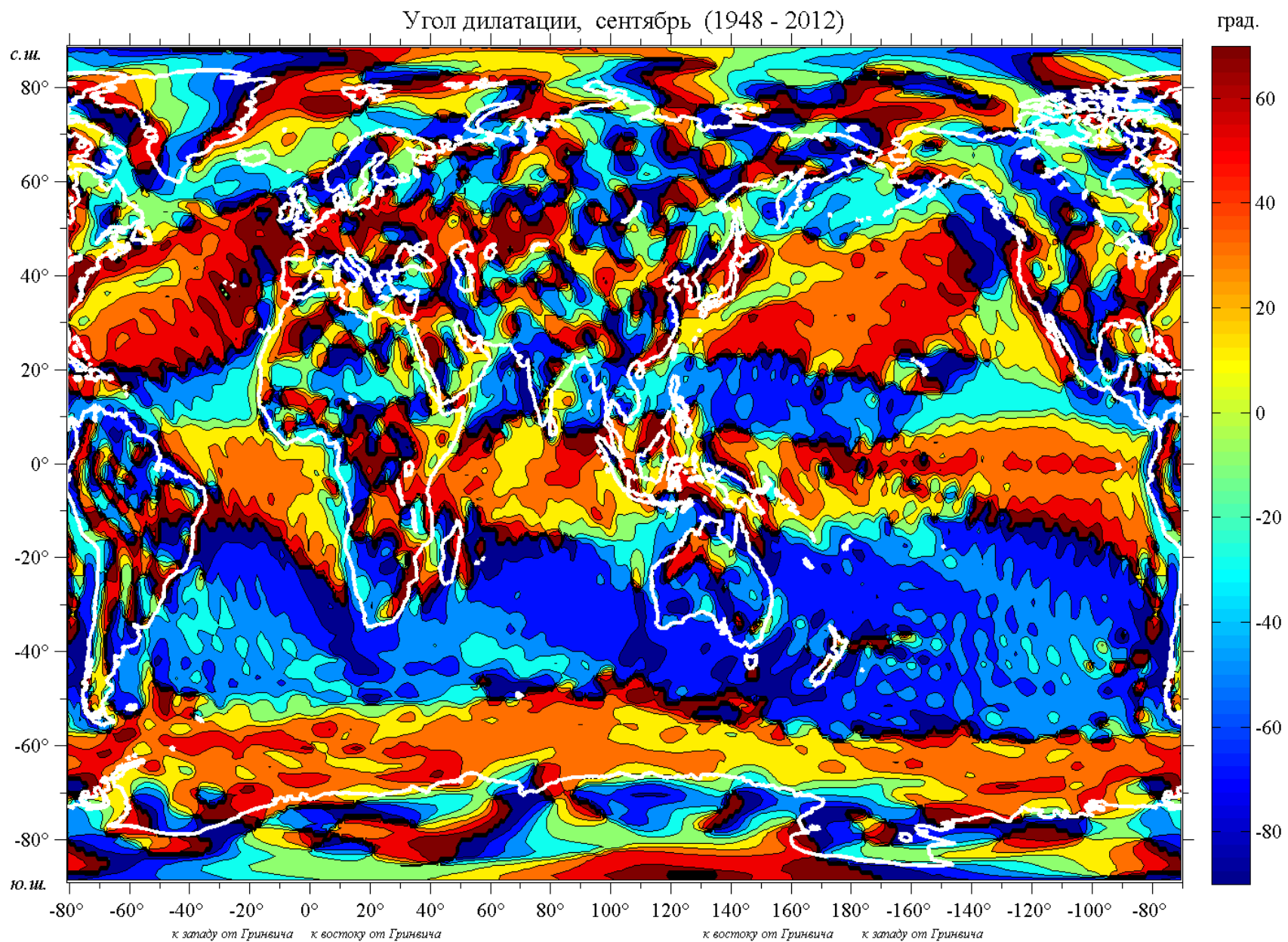


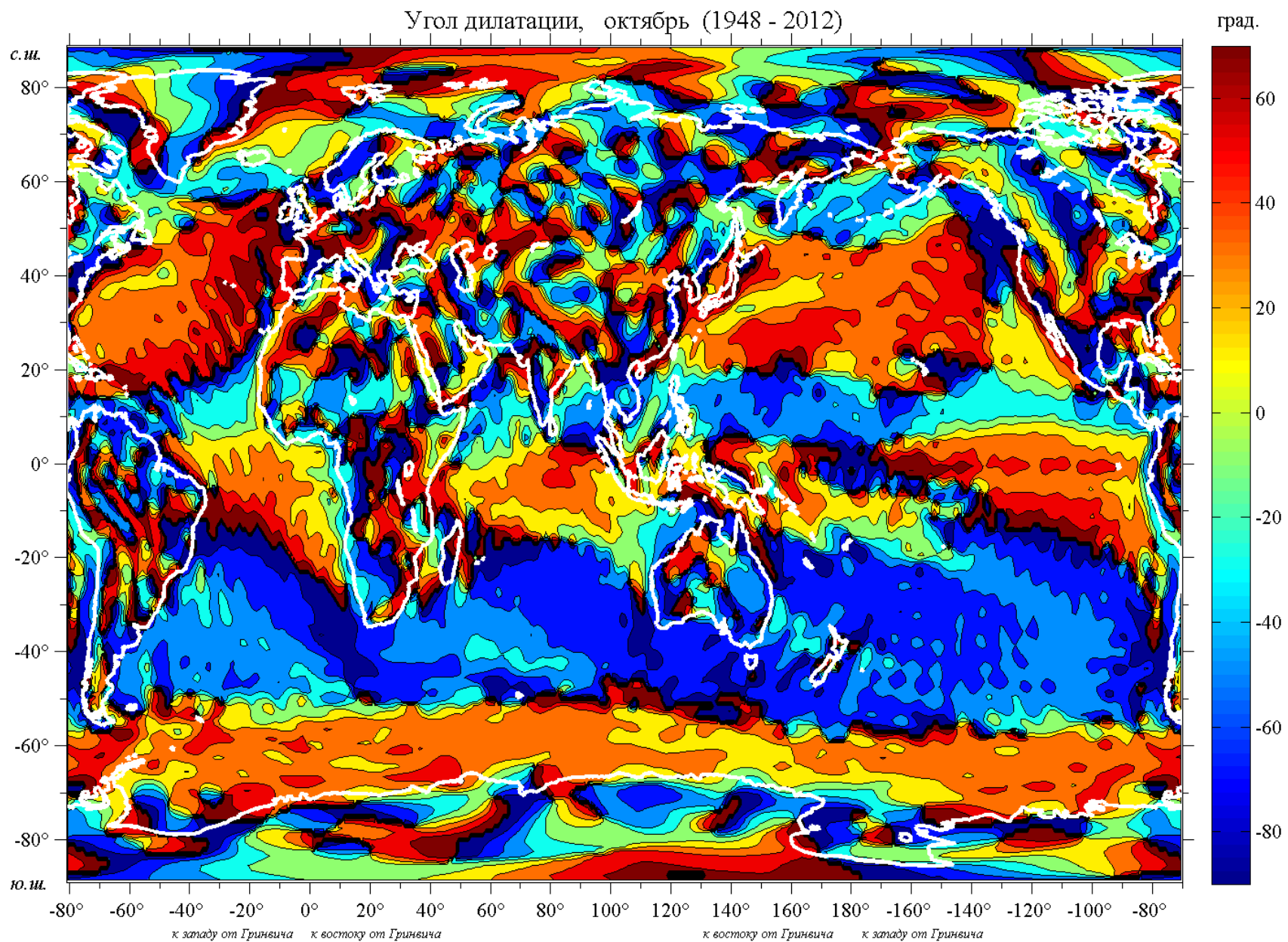




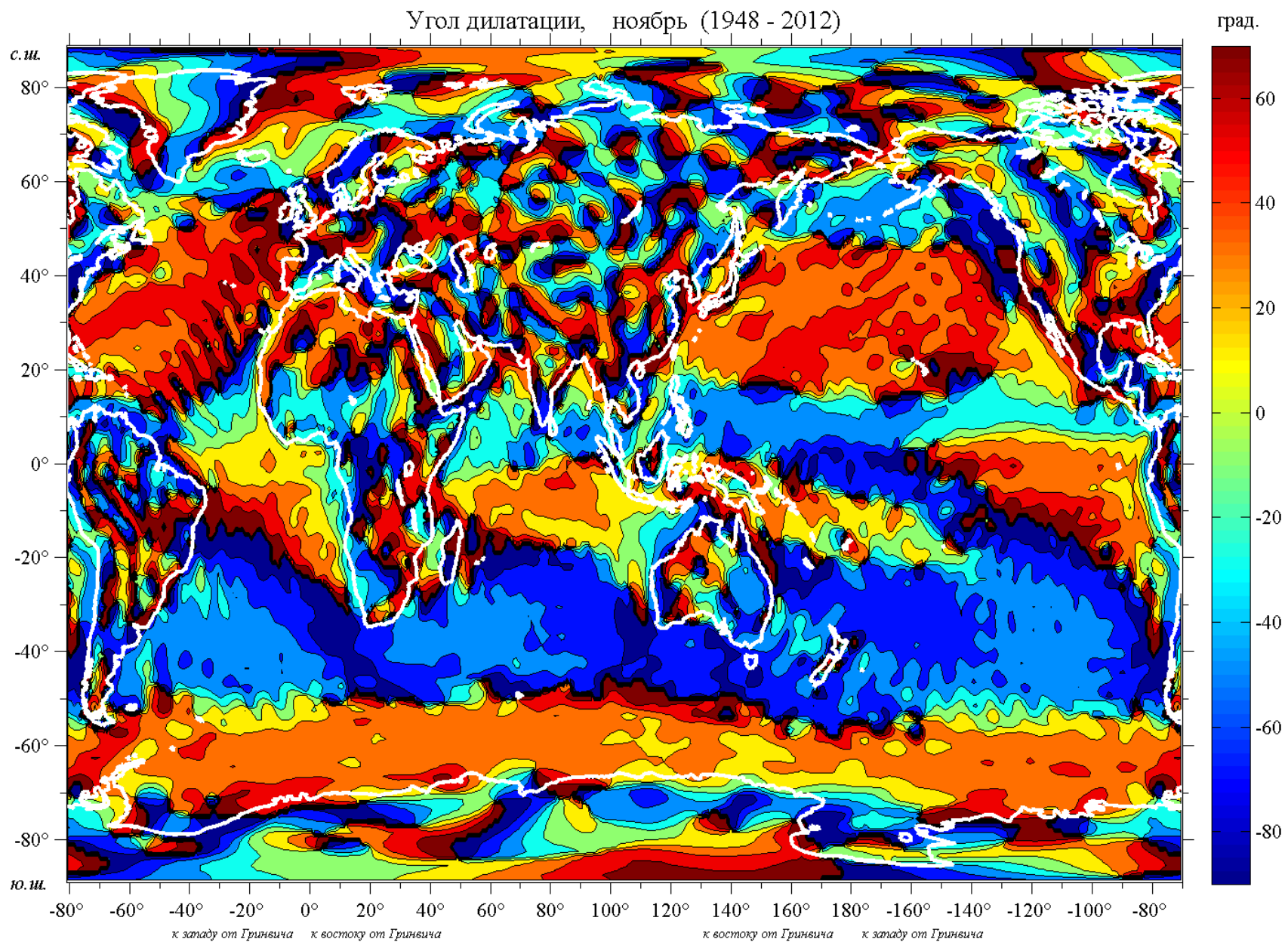


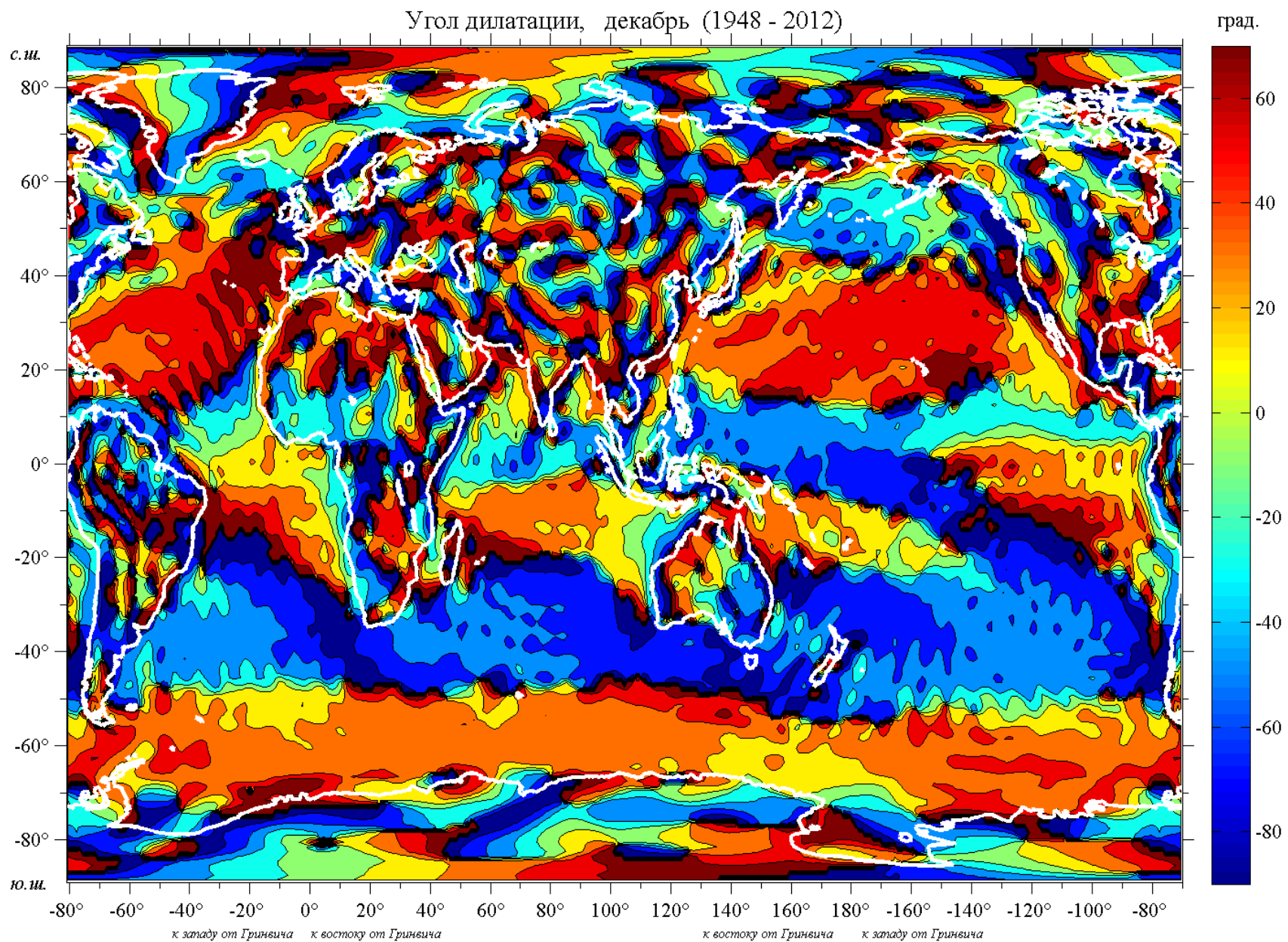










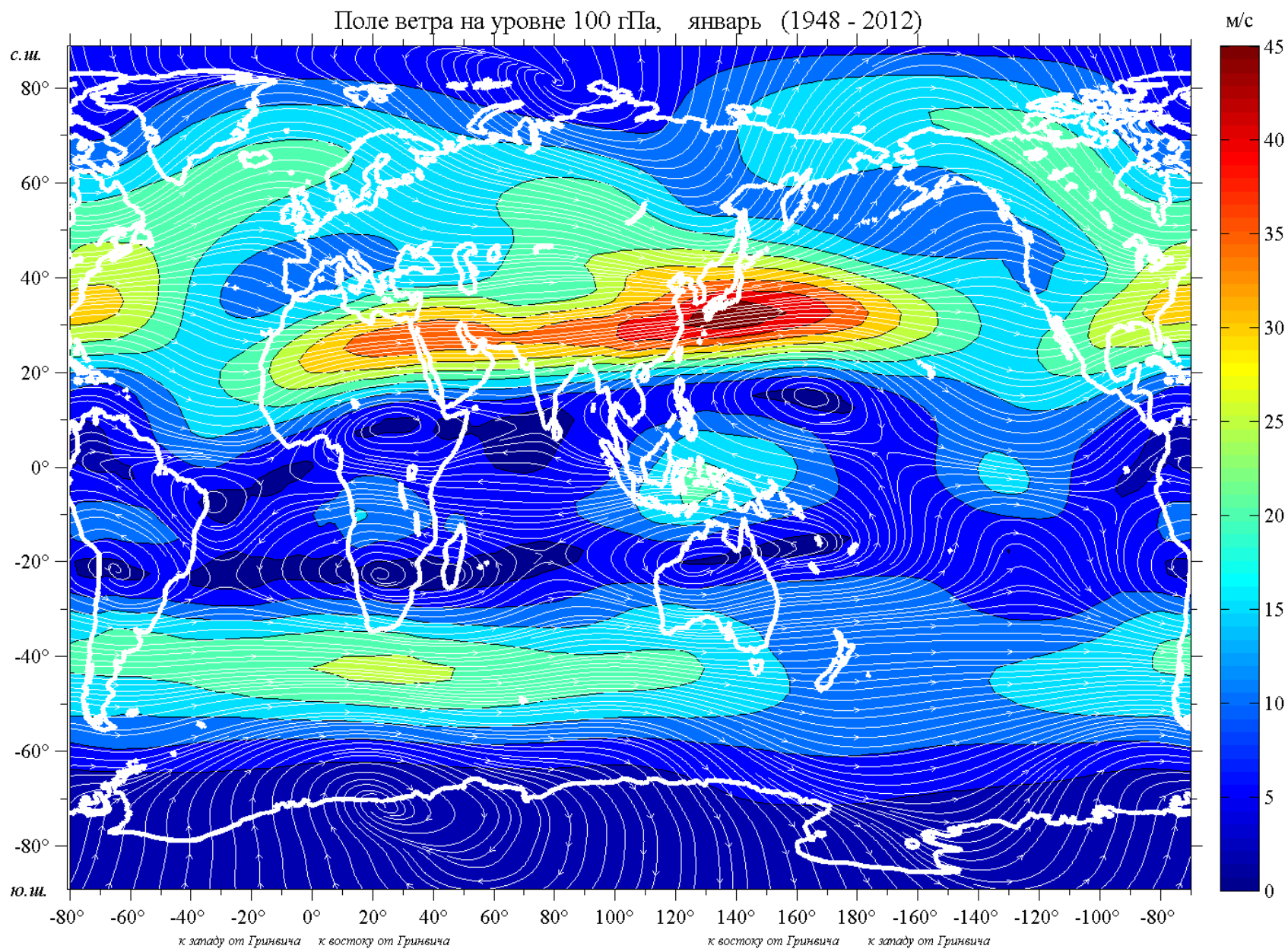


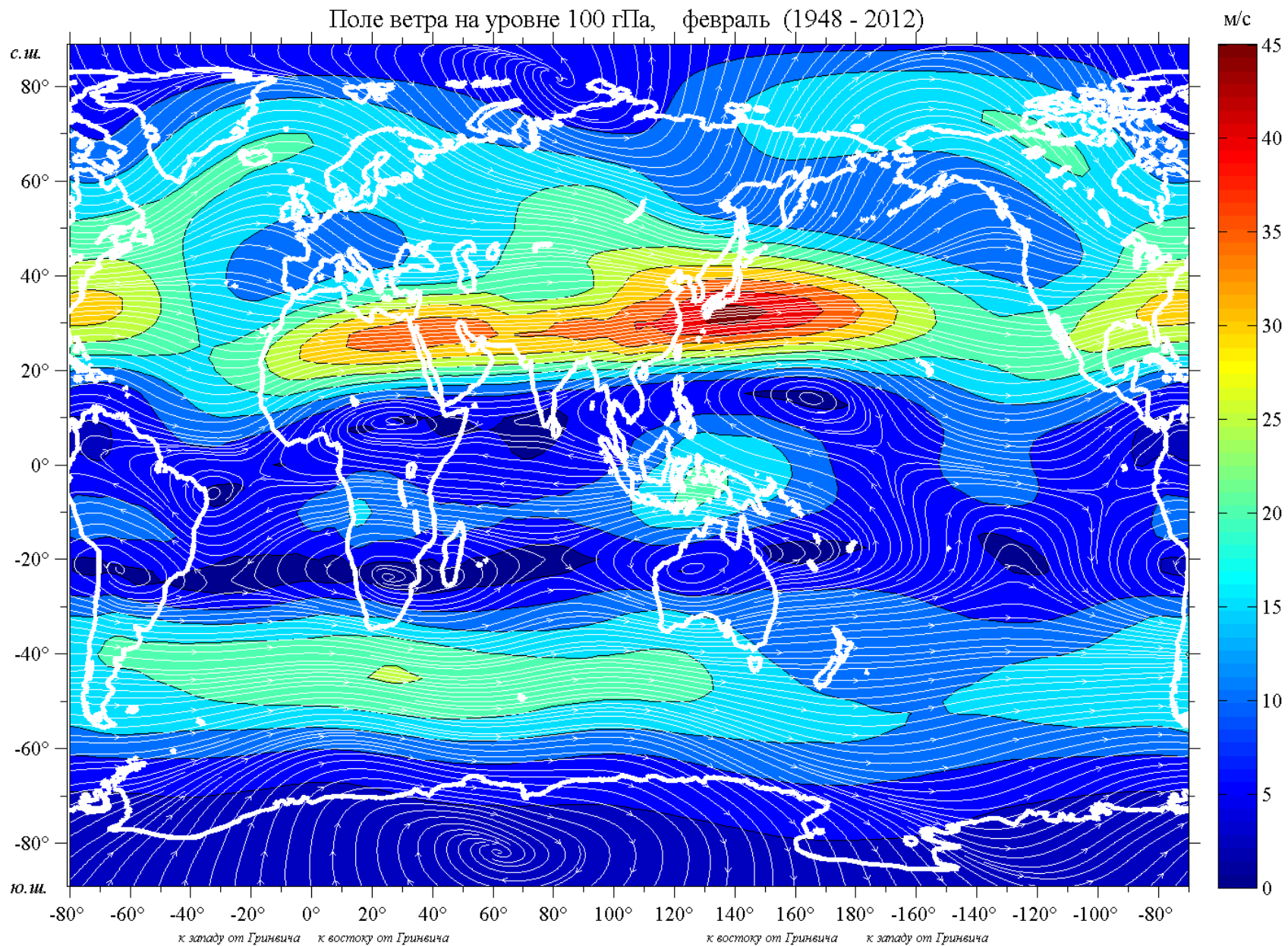
## **Часть II. Климатическое поле ветра в тропосфере на 11 уровнях**



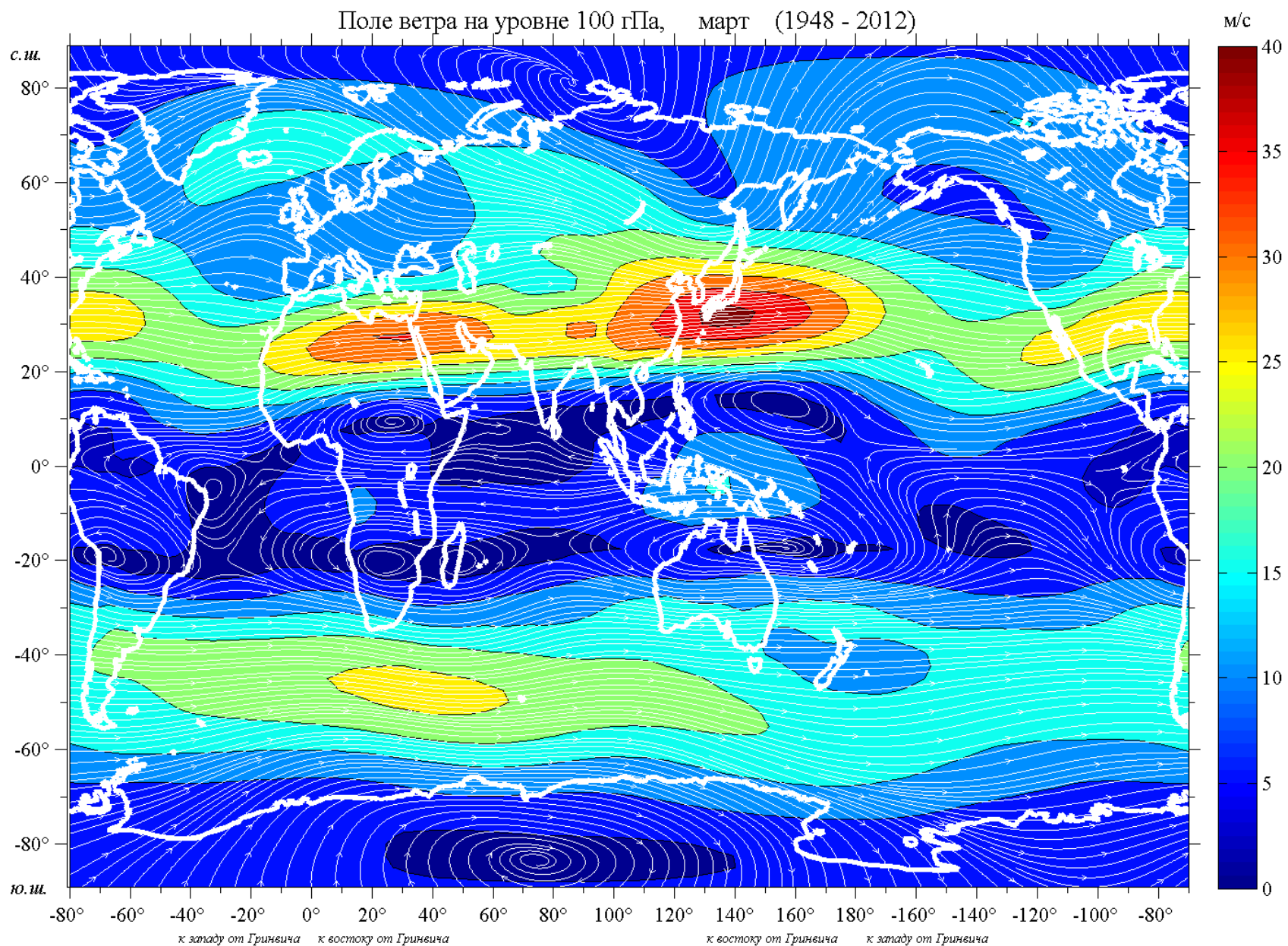
### **1. Поле ветра на уровне 100 гПа**

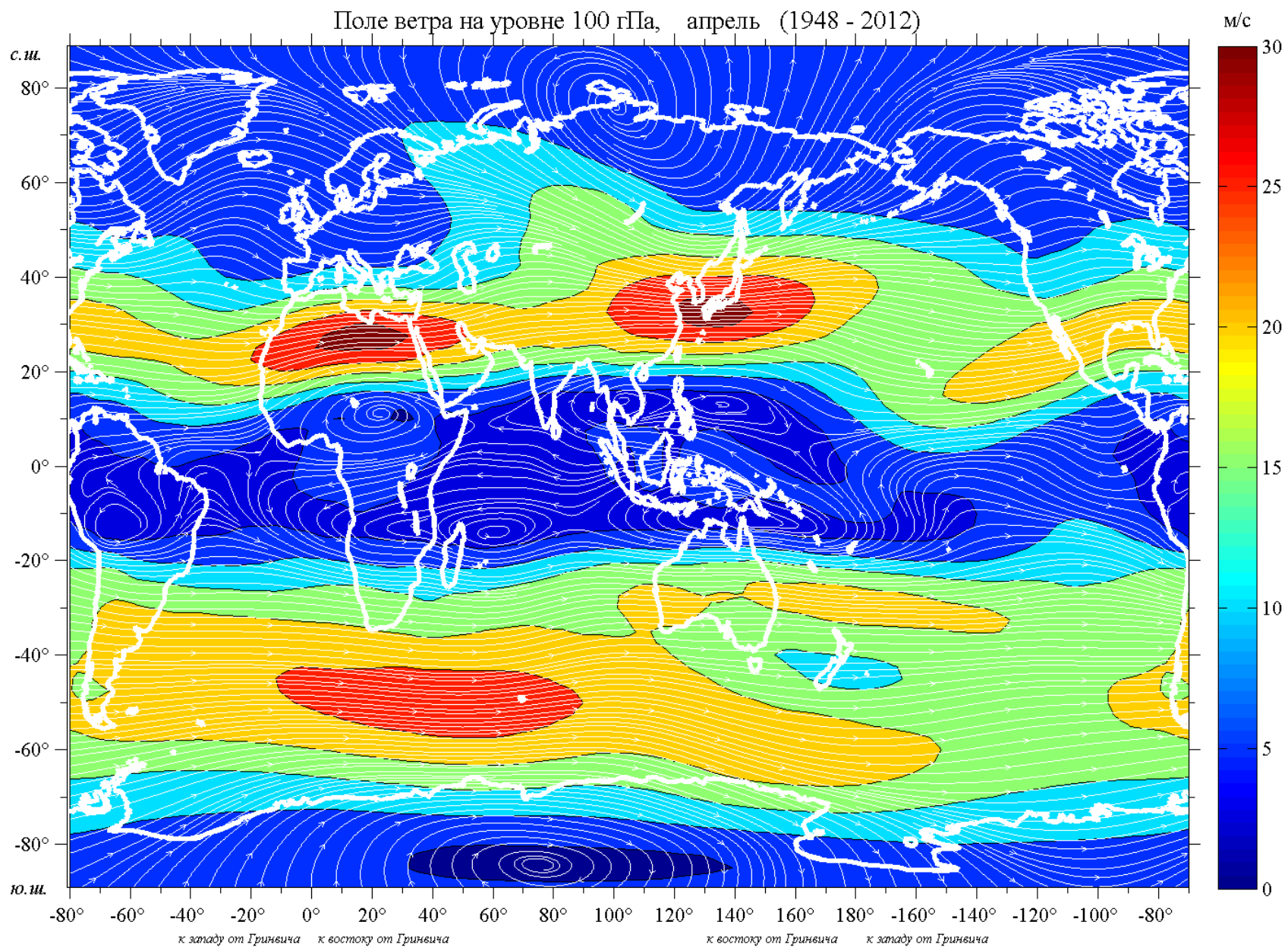
На картах для каждого месяца с шагом 5м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

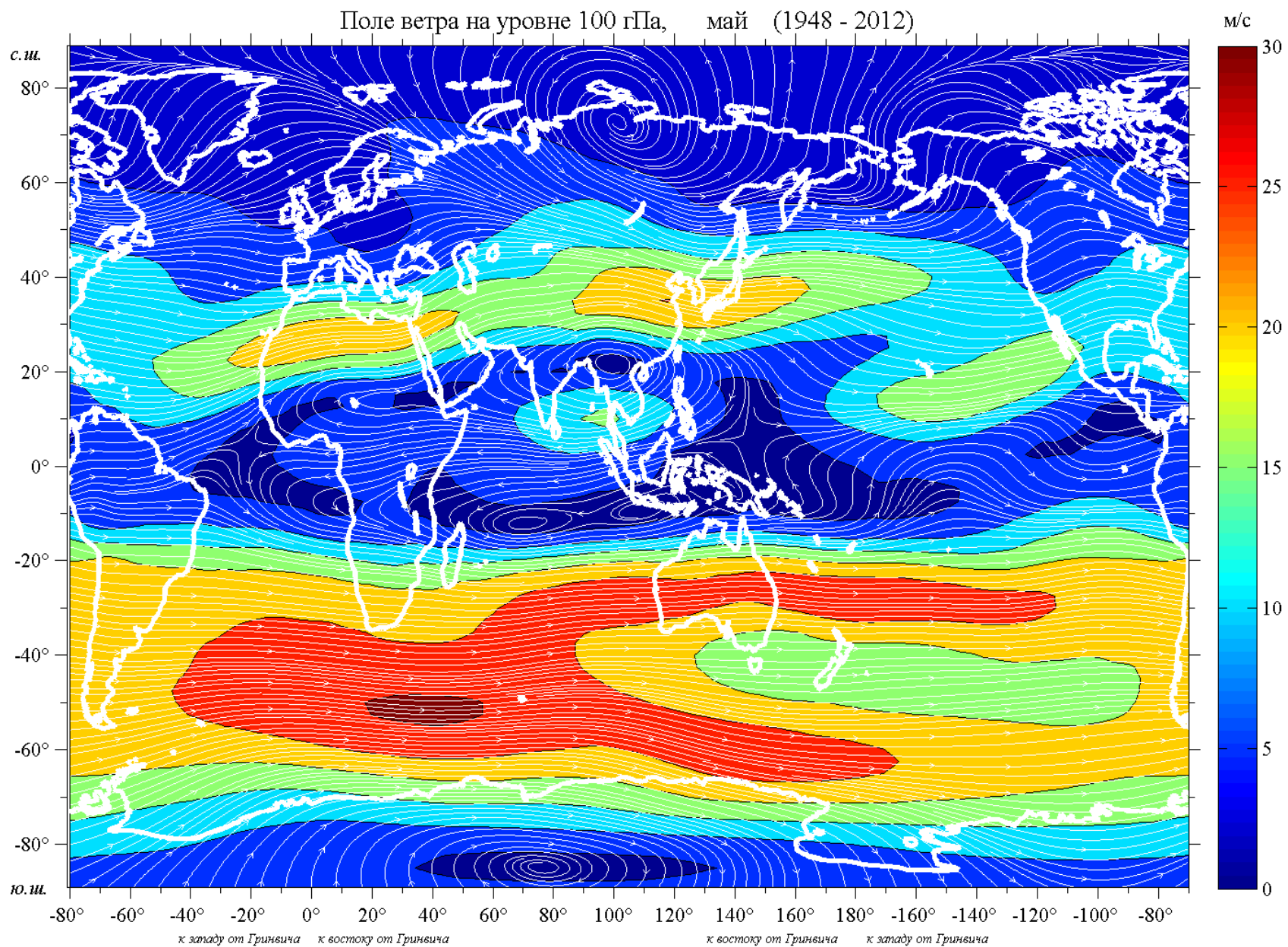




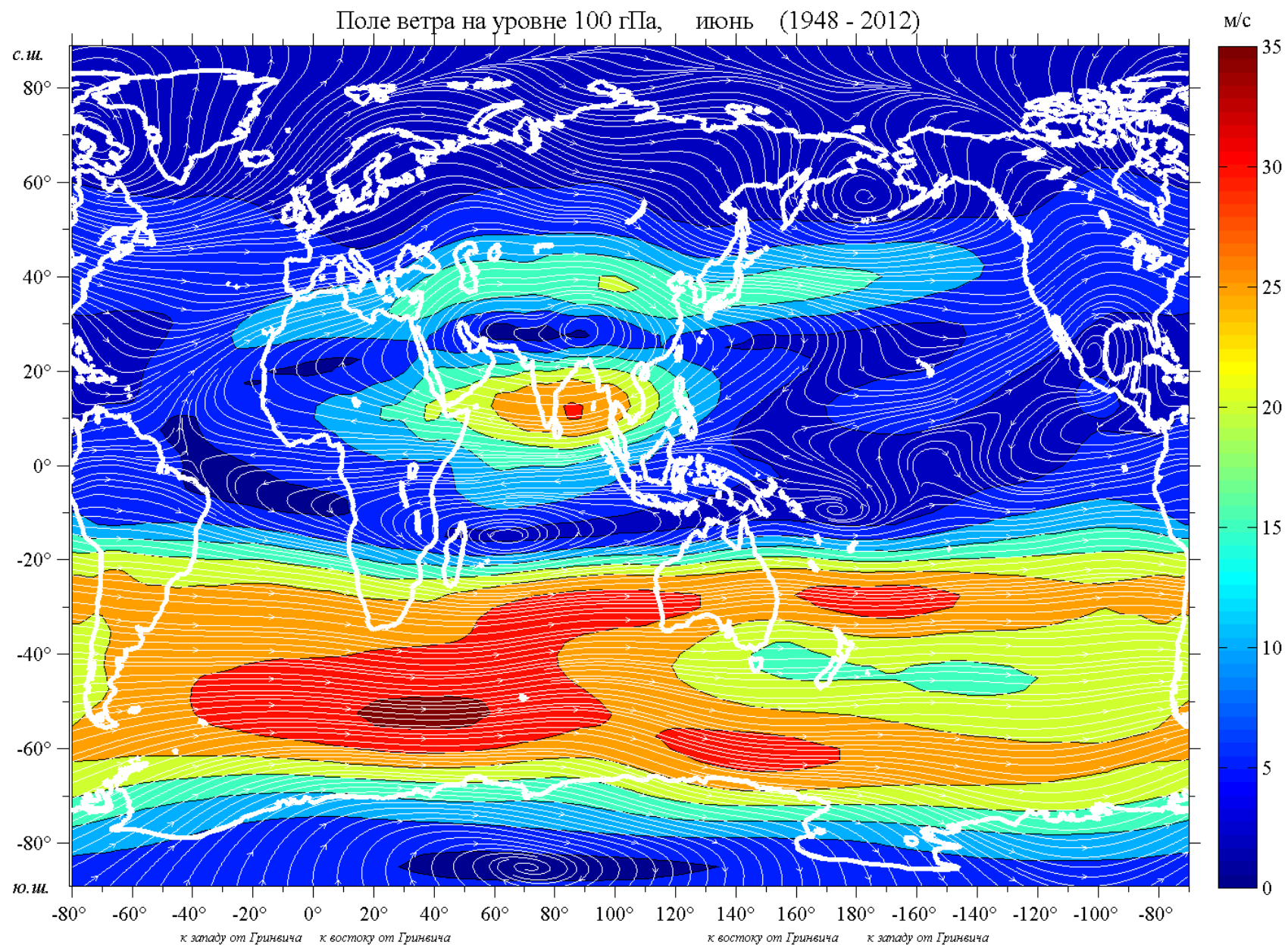


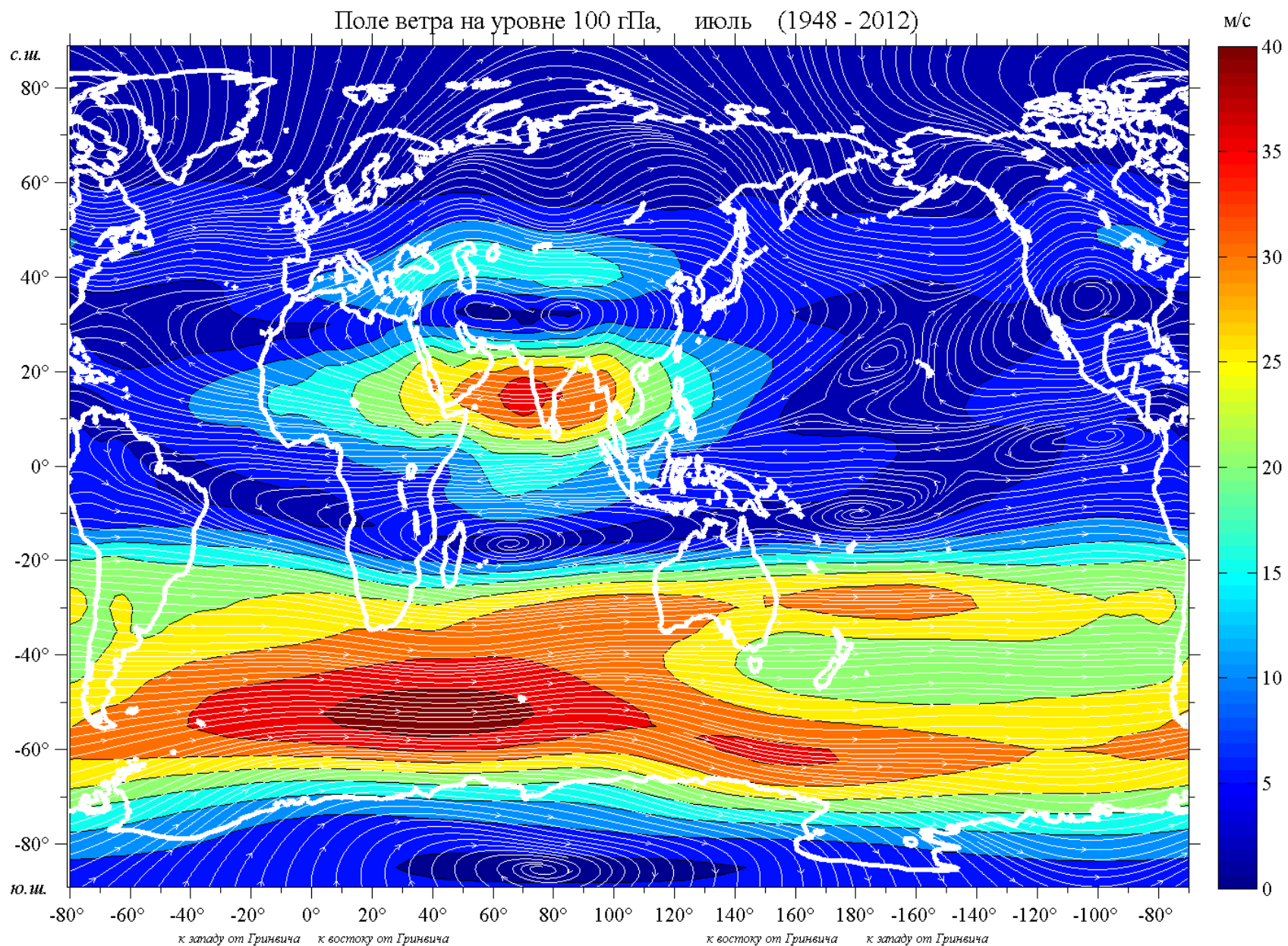


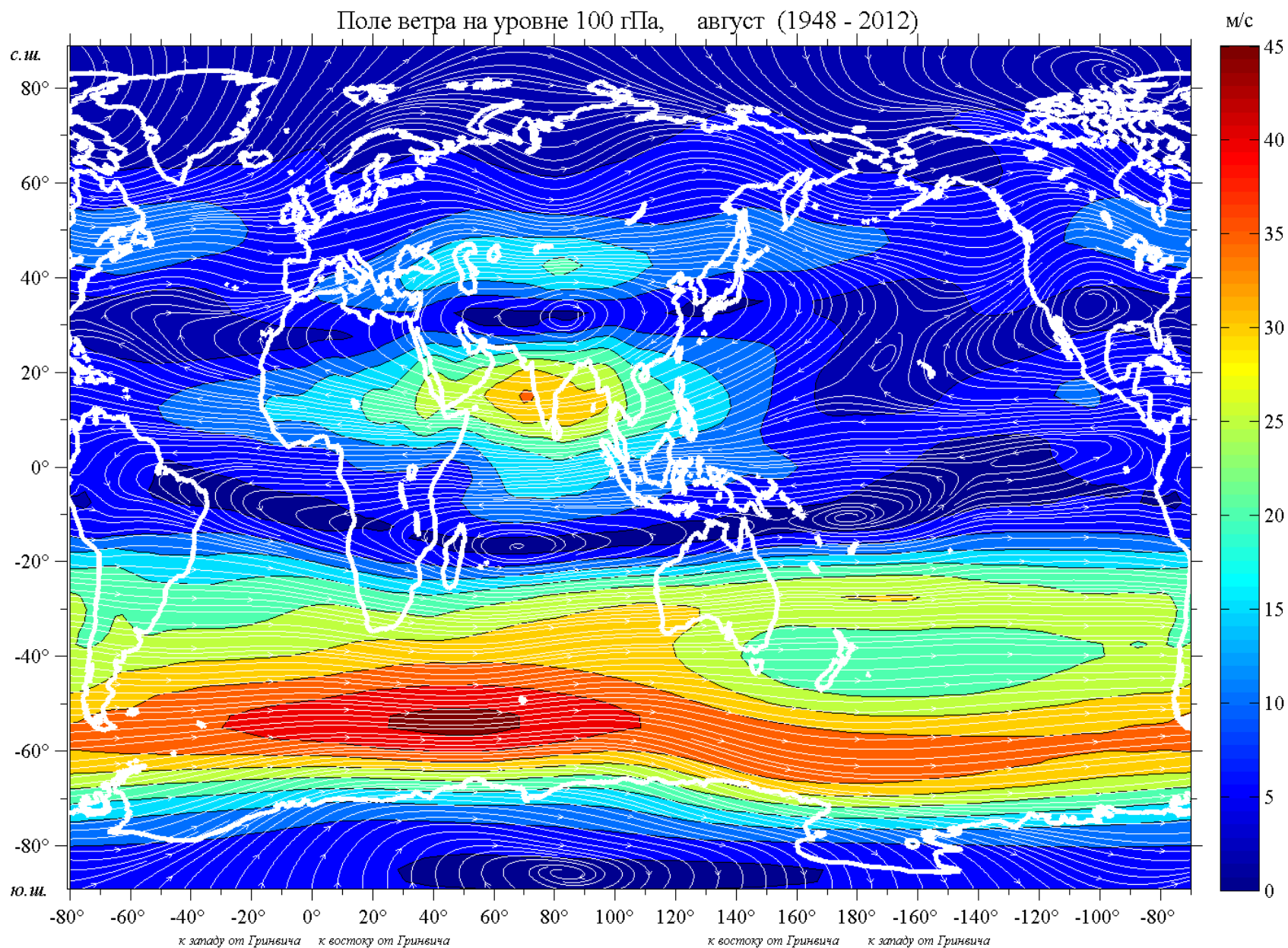




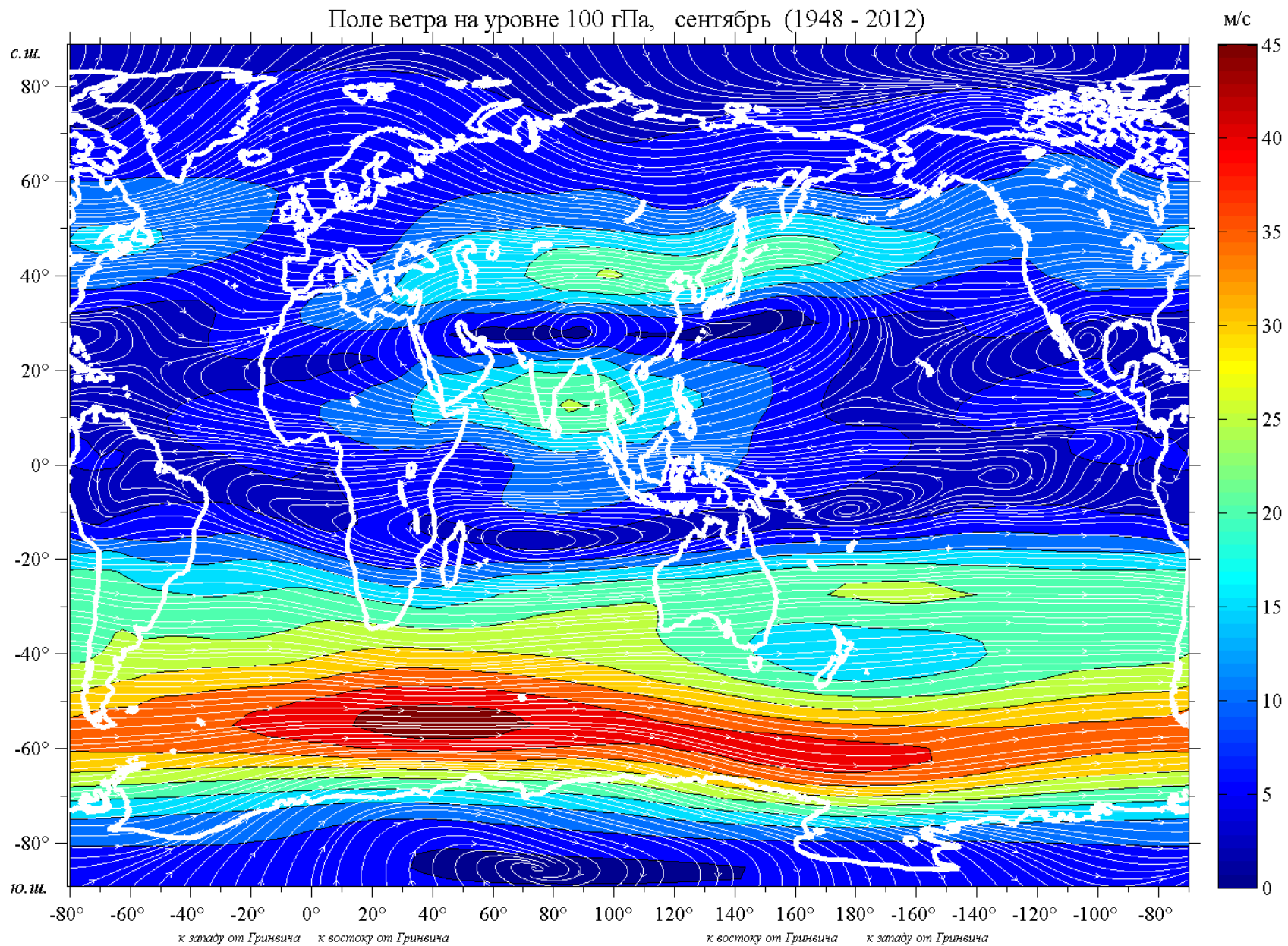


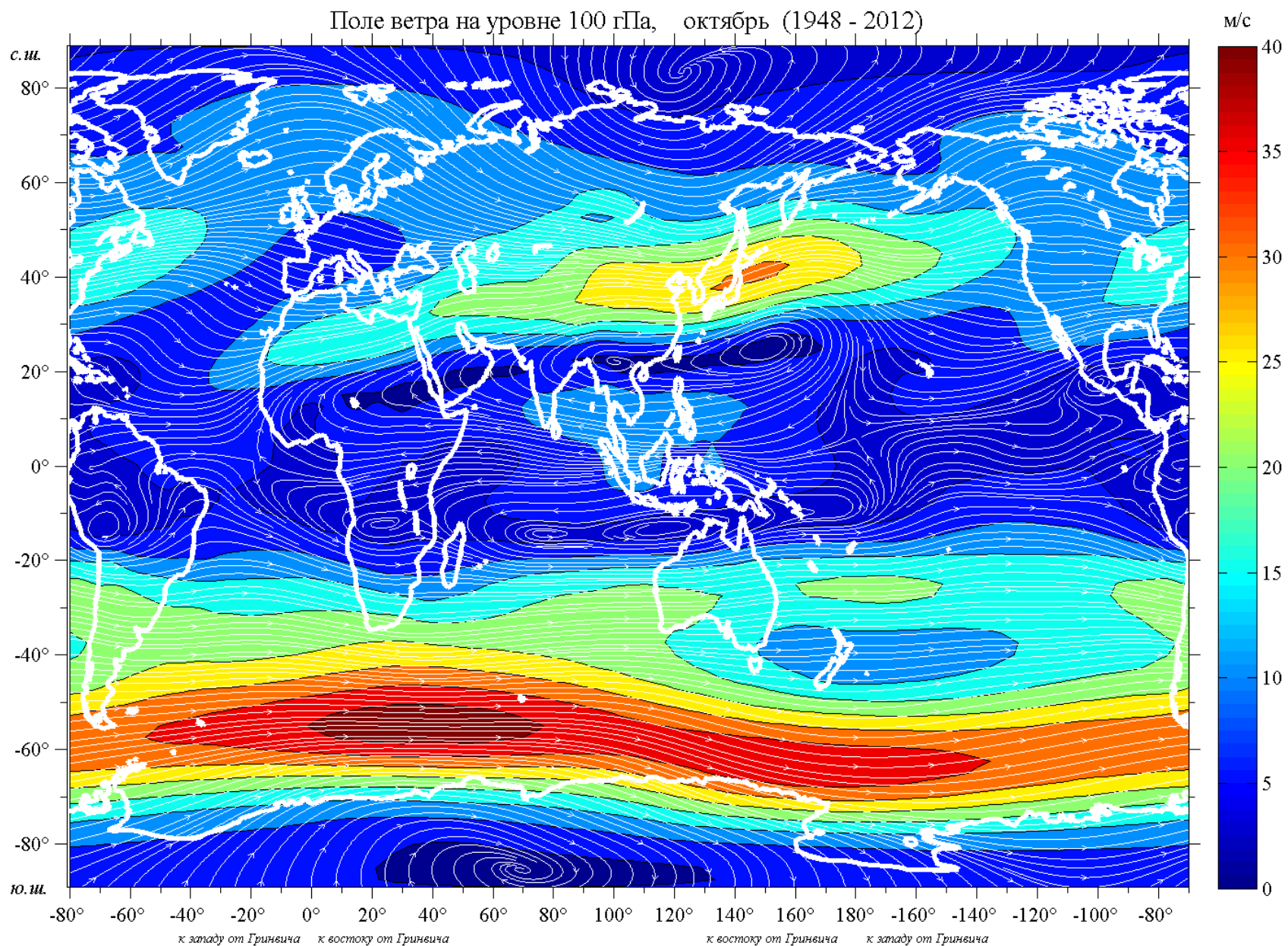


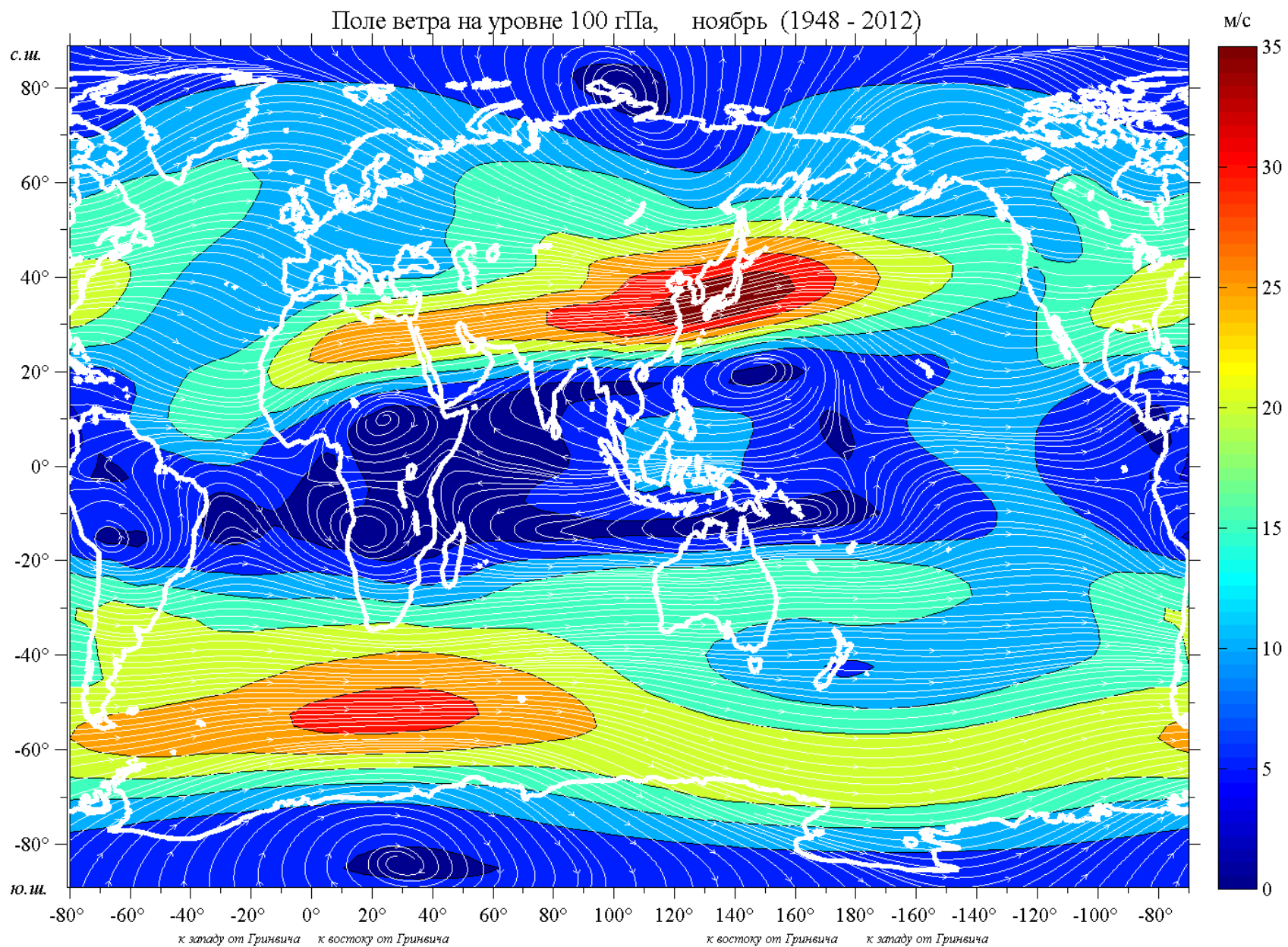




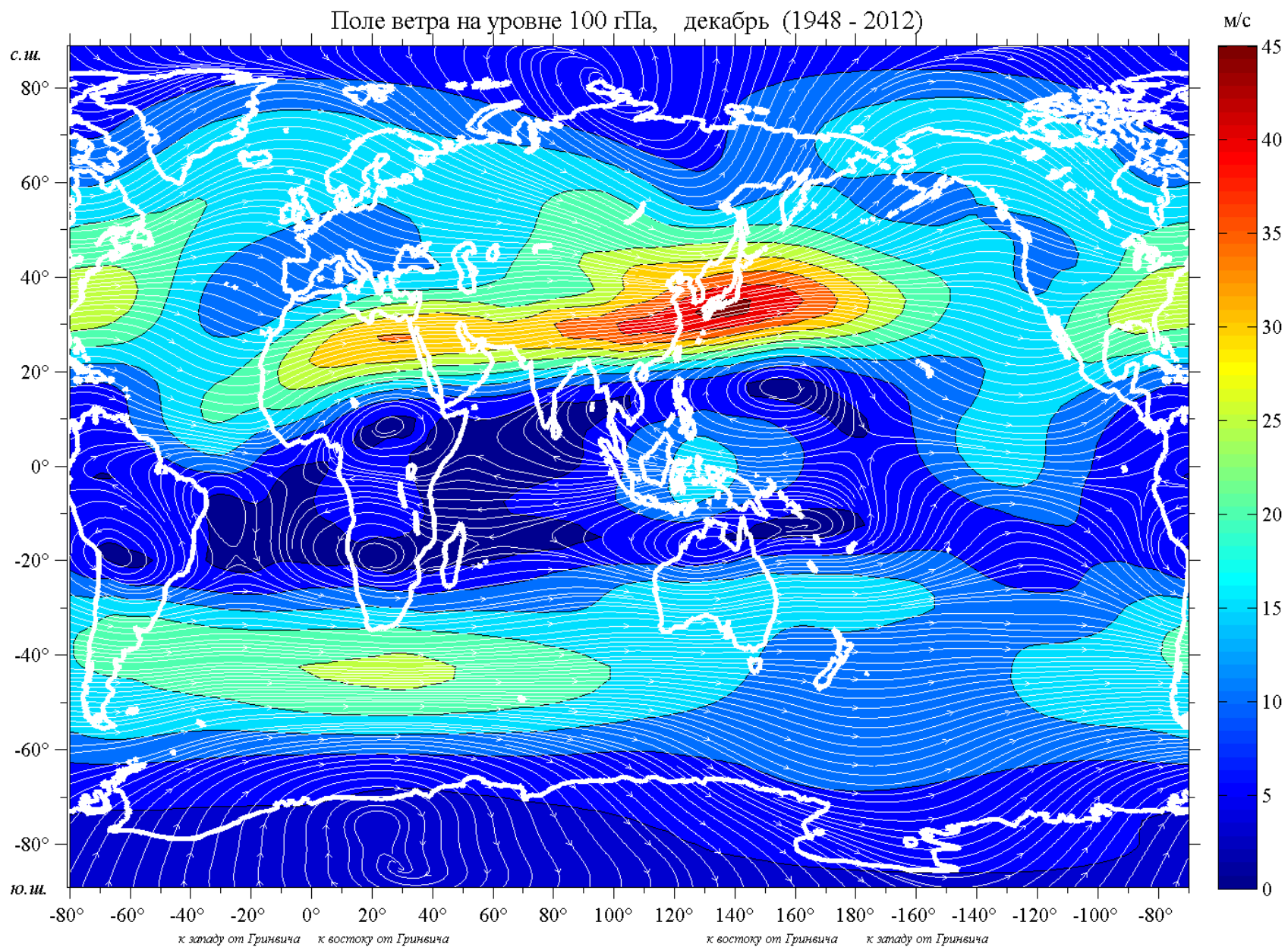






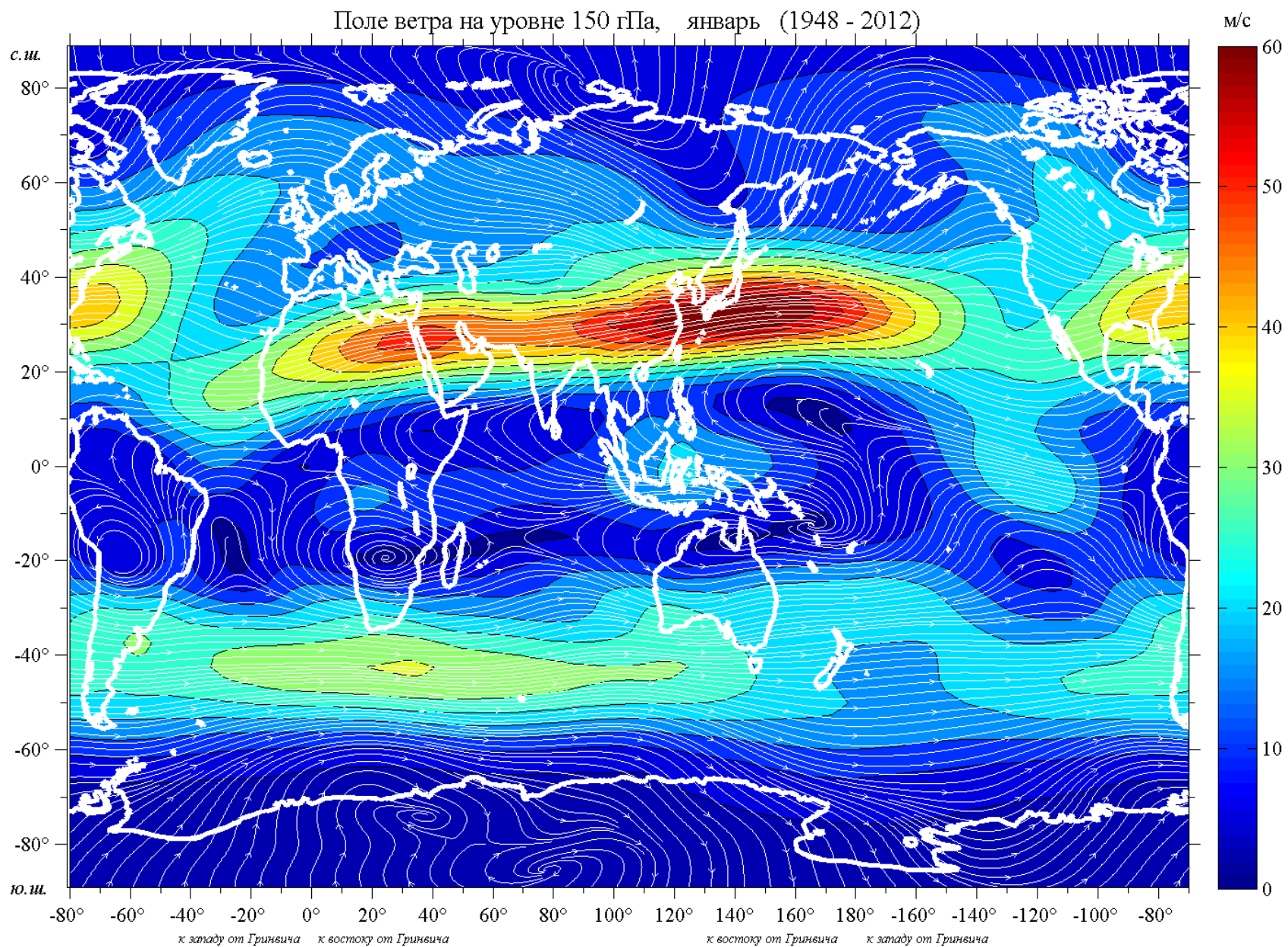




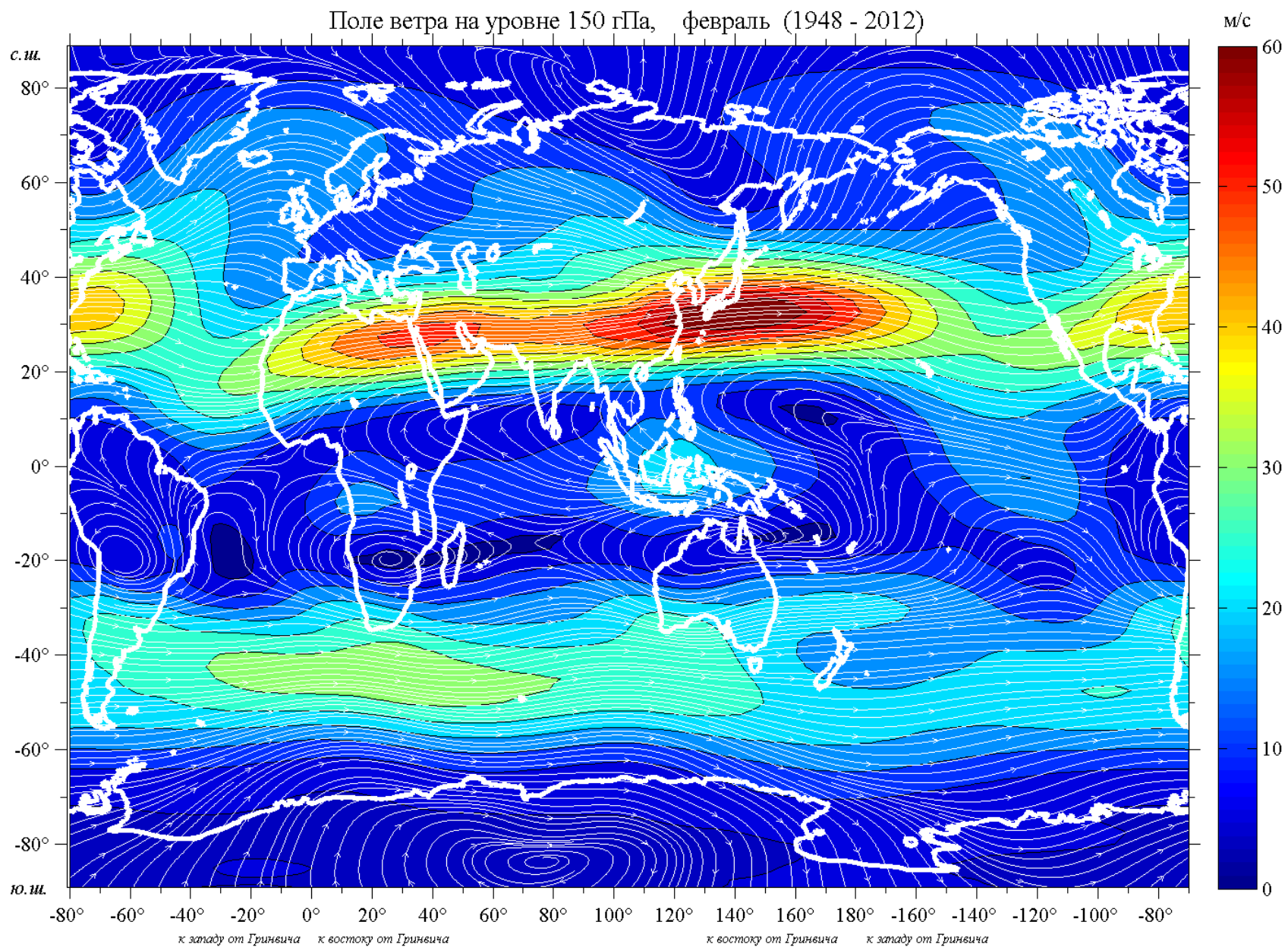


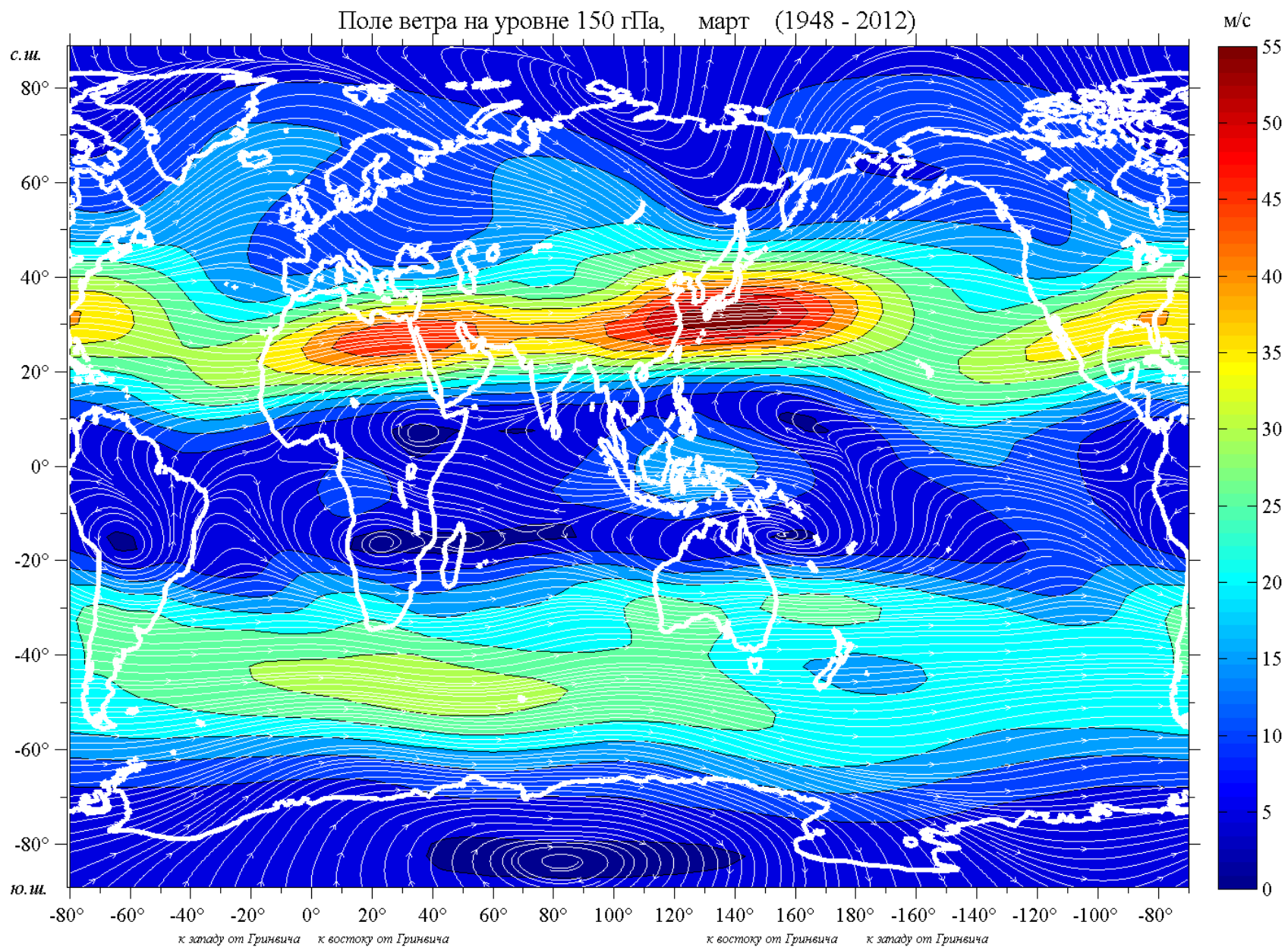
## **2. Поле ветра на уровне 150 гПа**

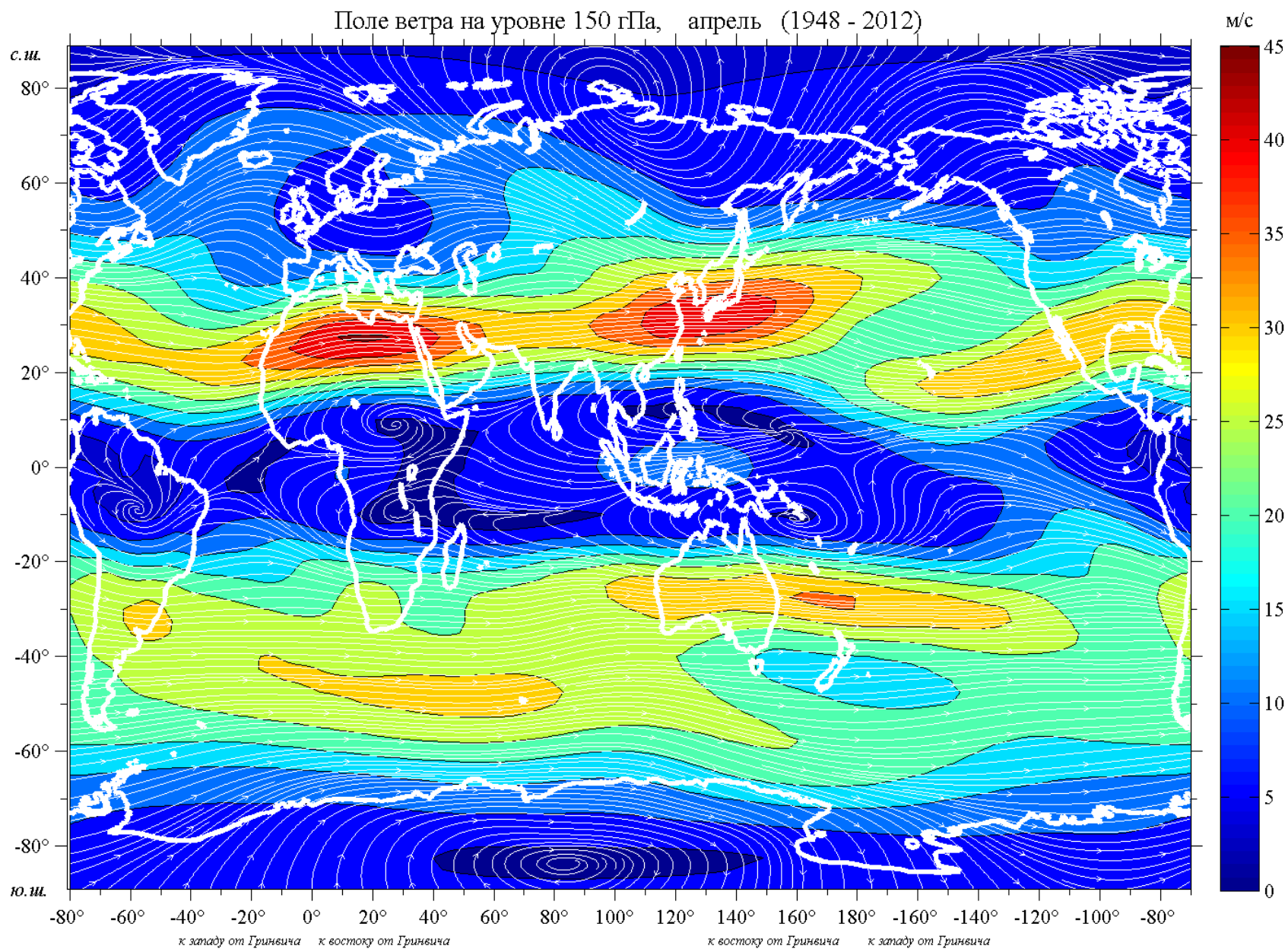
На картах для каждого месяца с шагом 5м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.



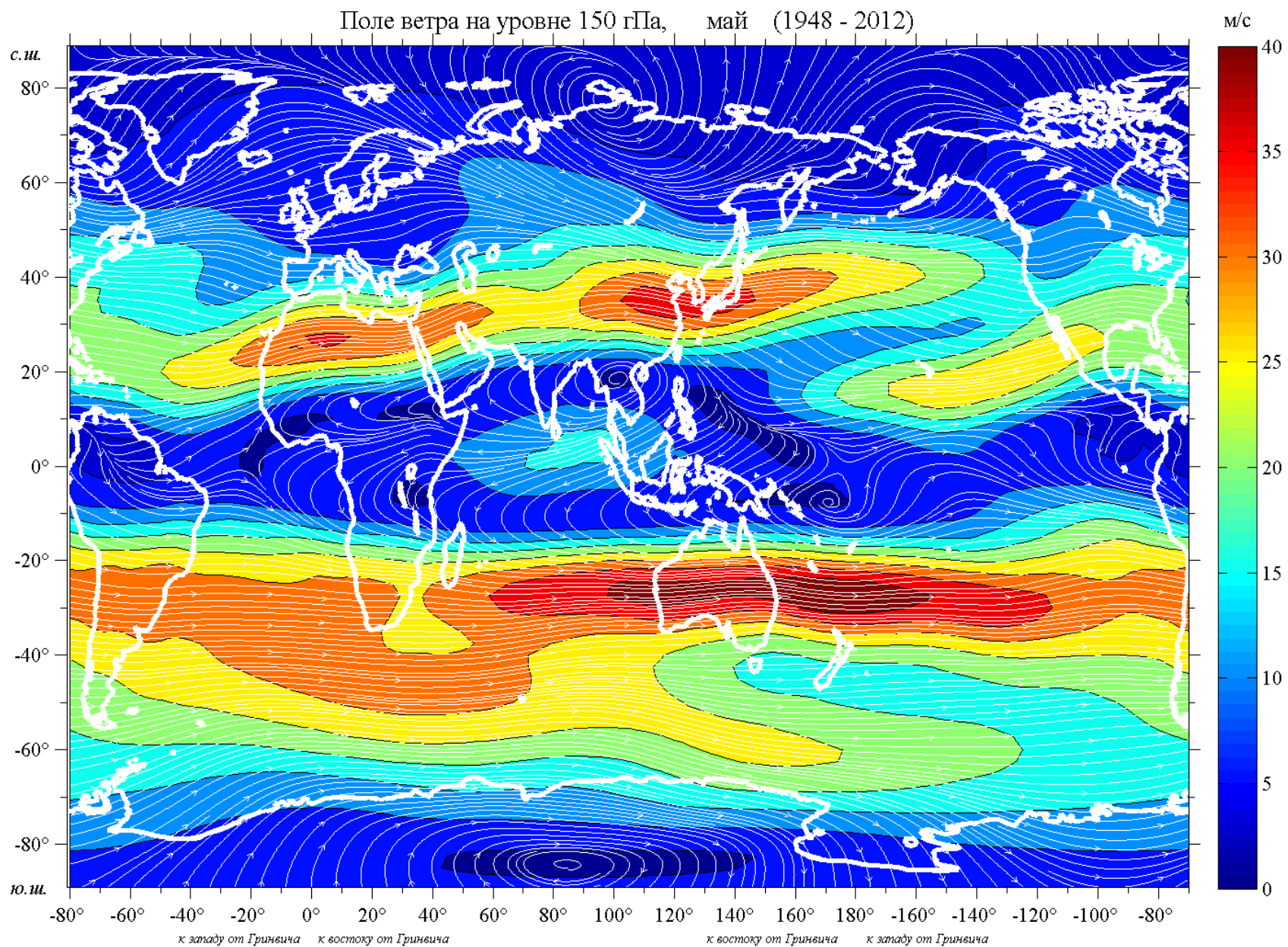


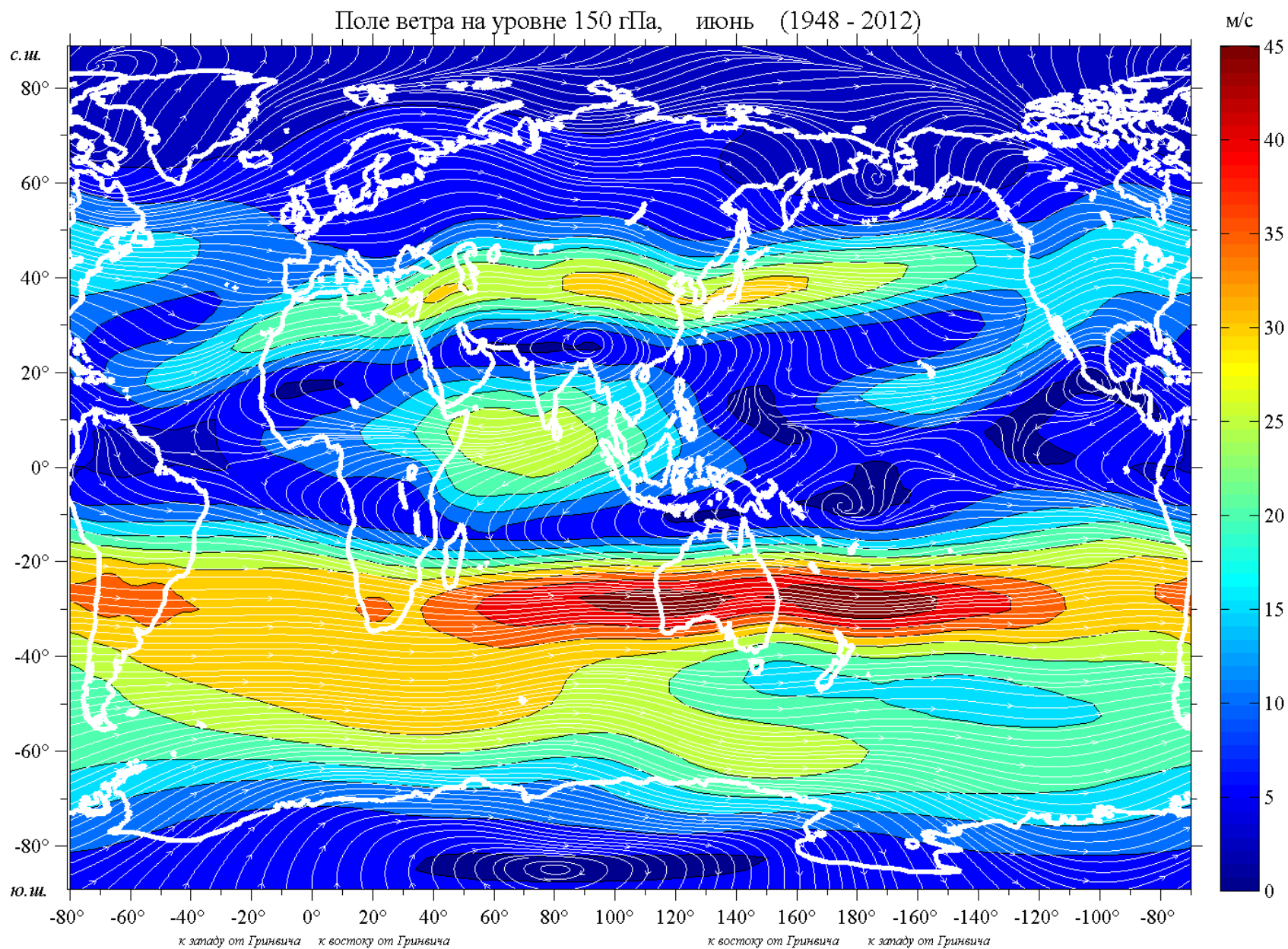


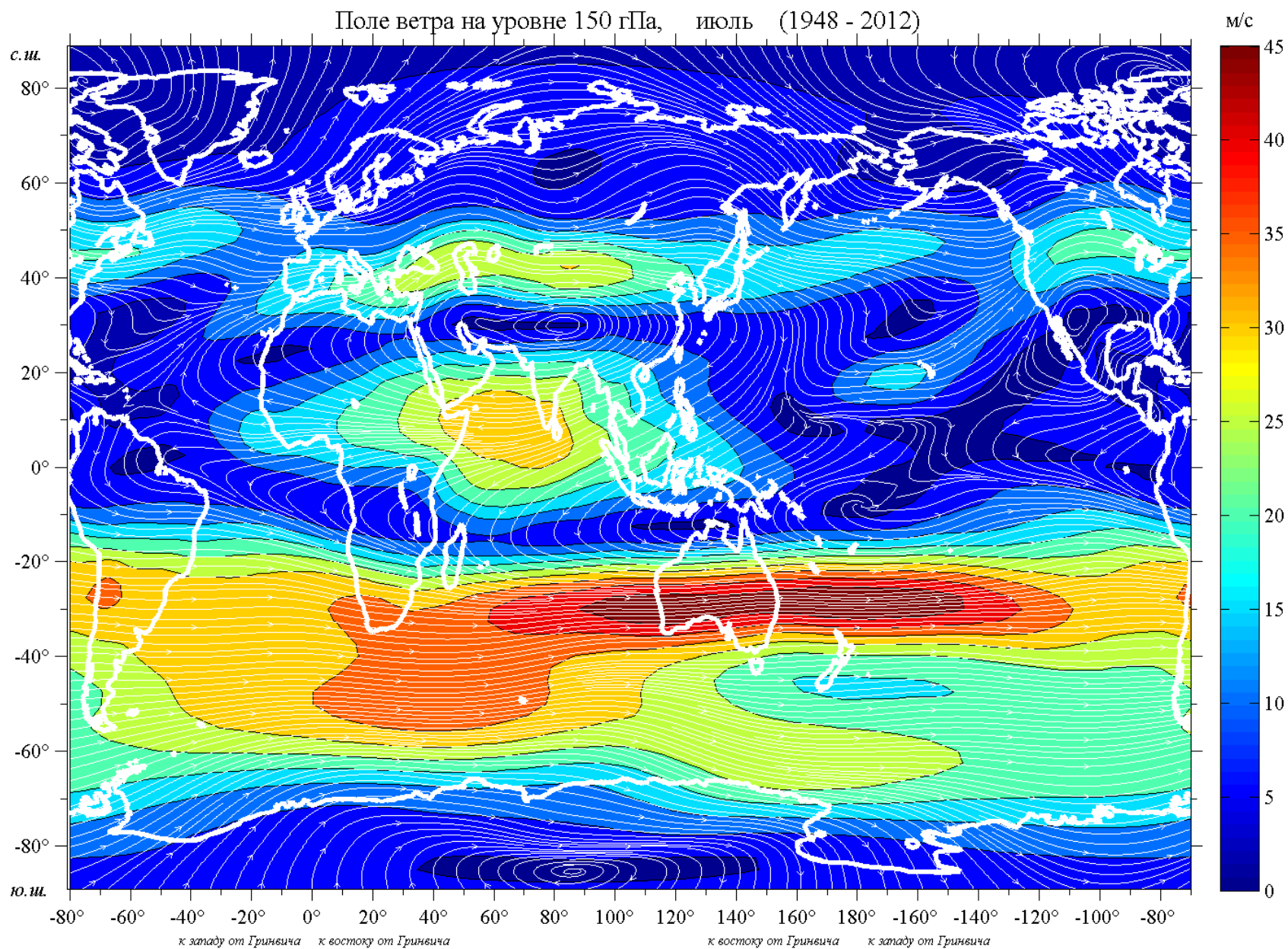




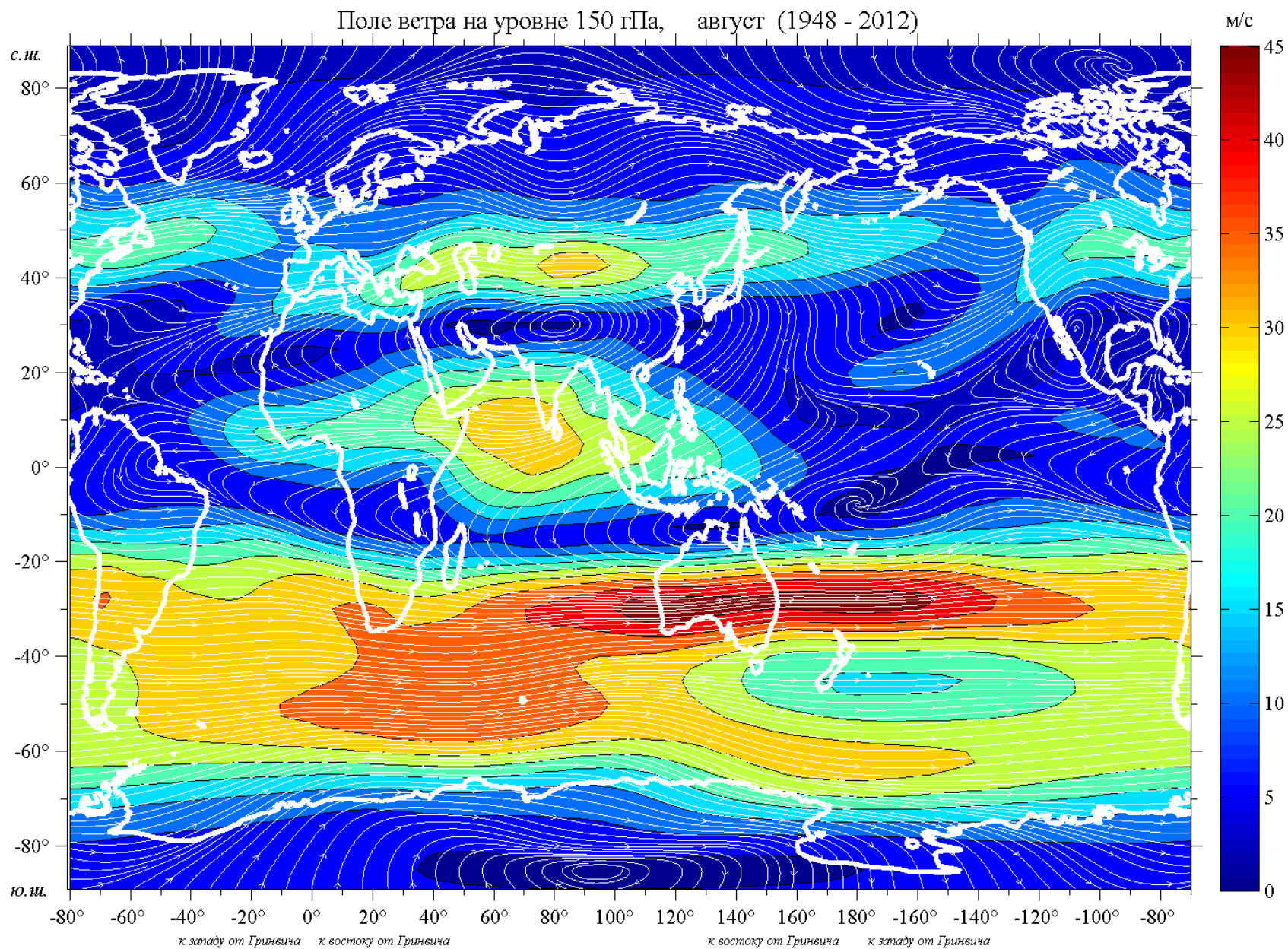


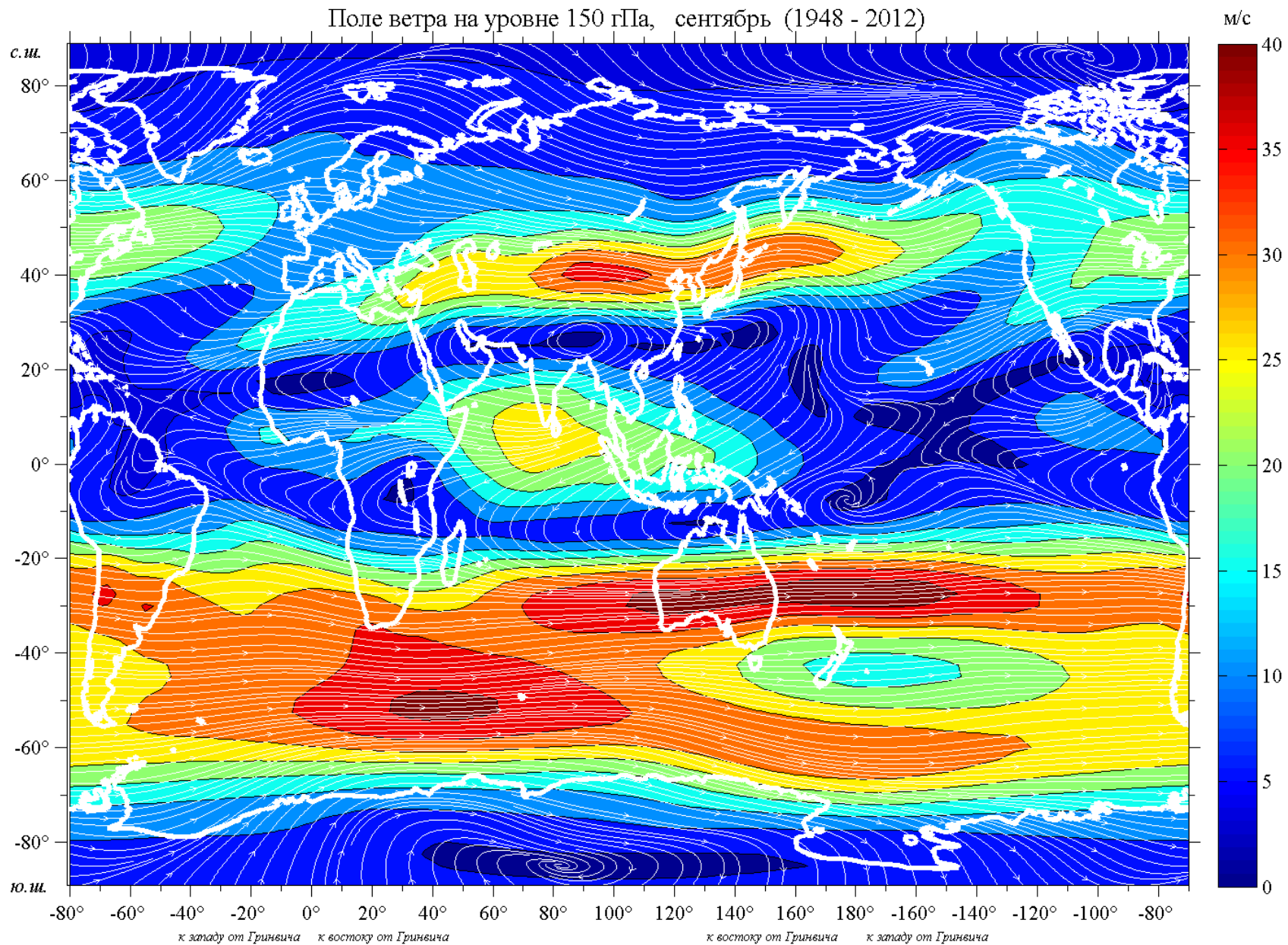


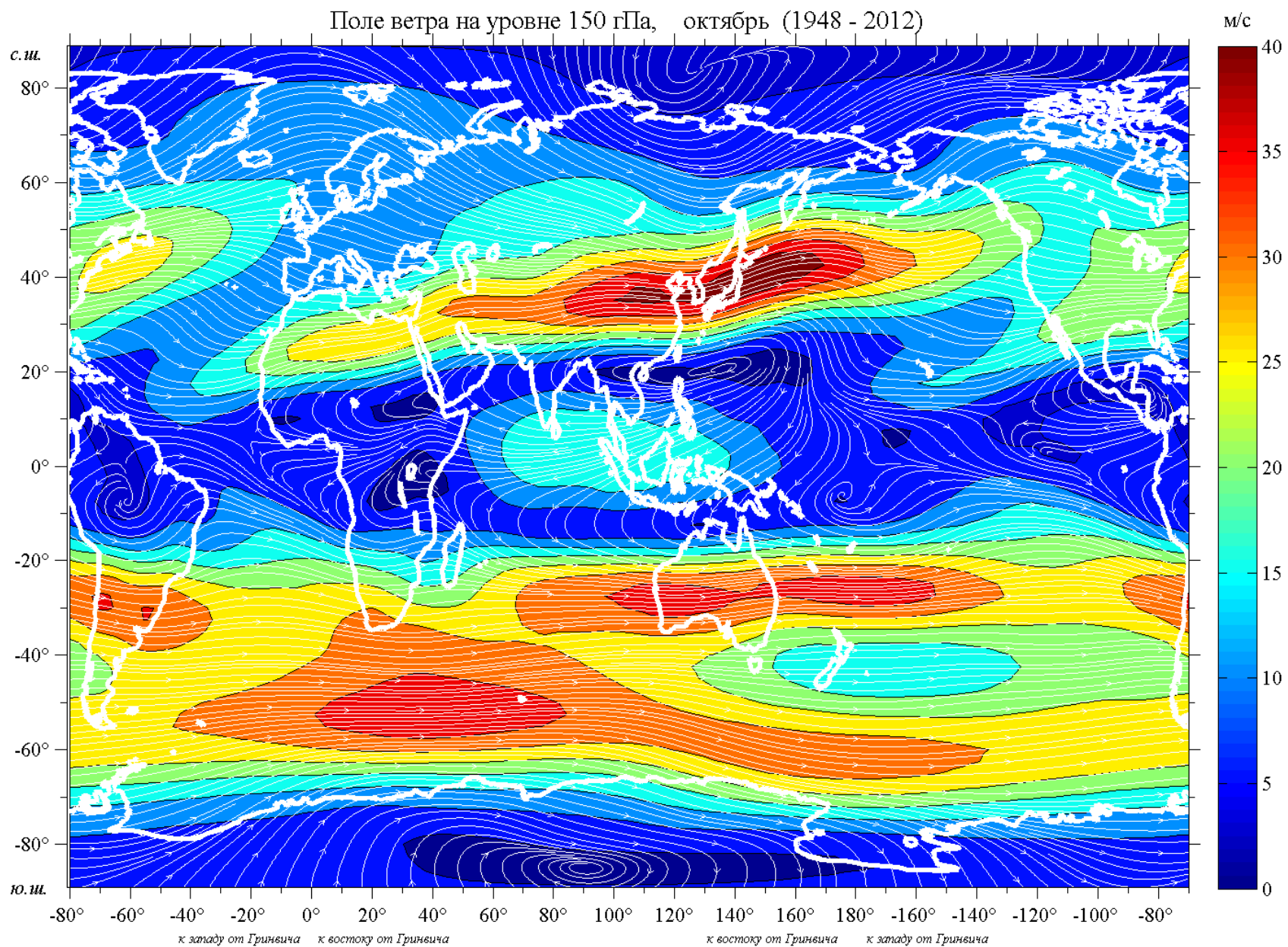




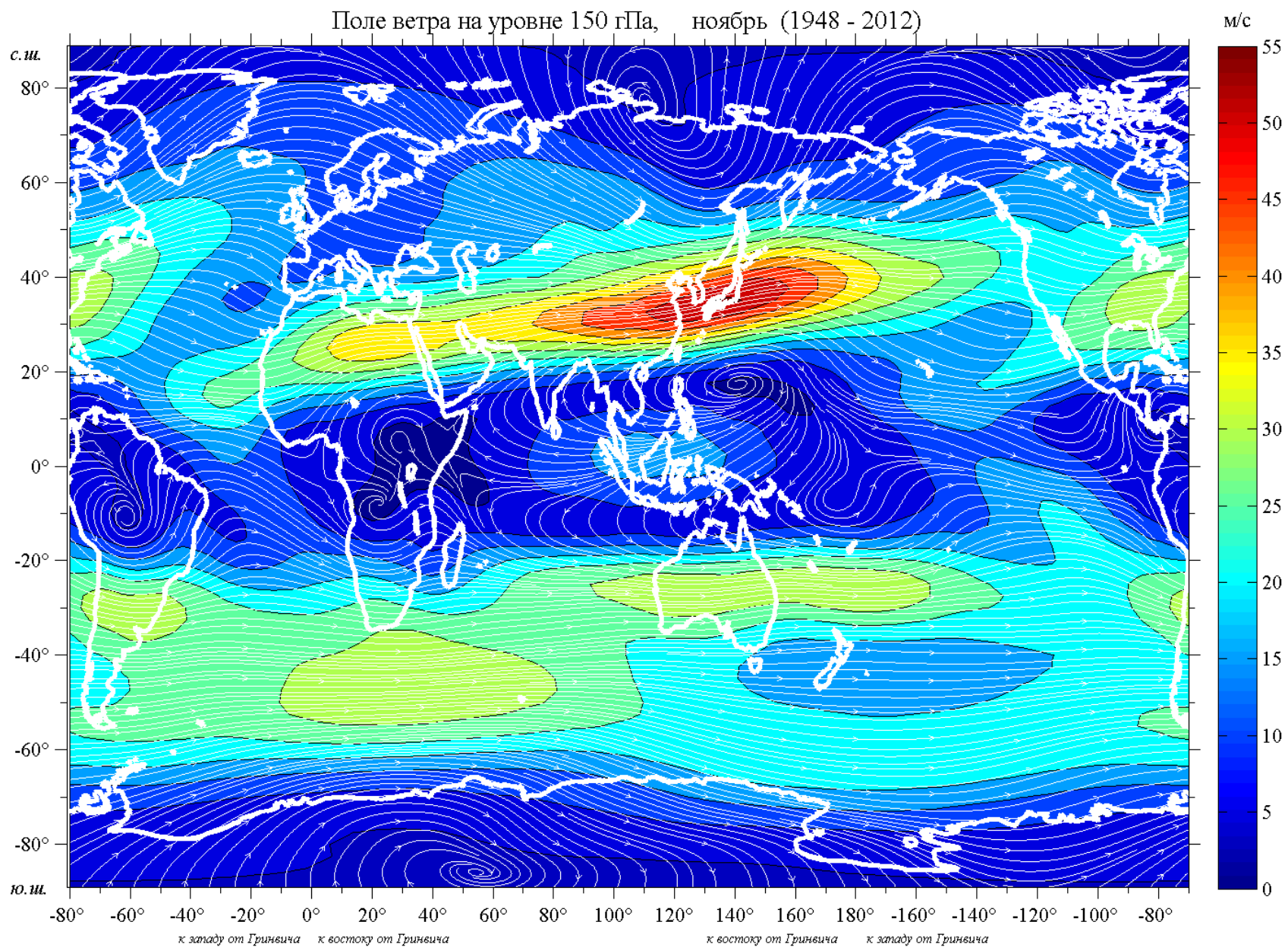


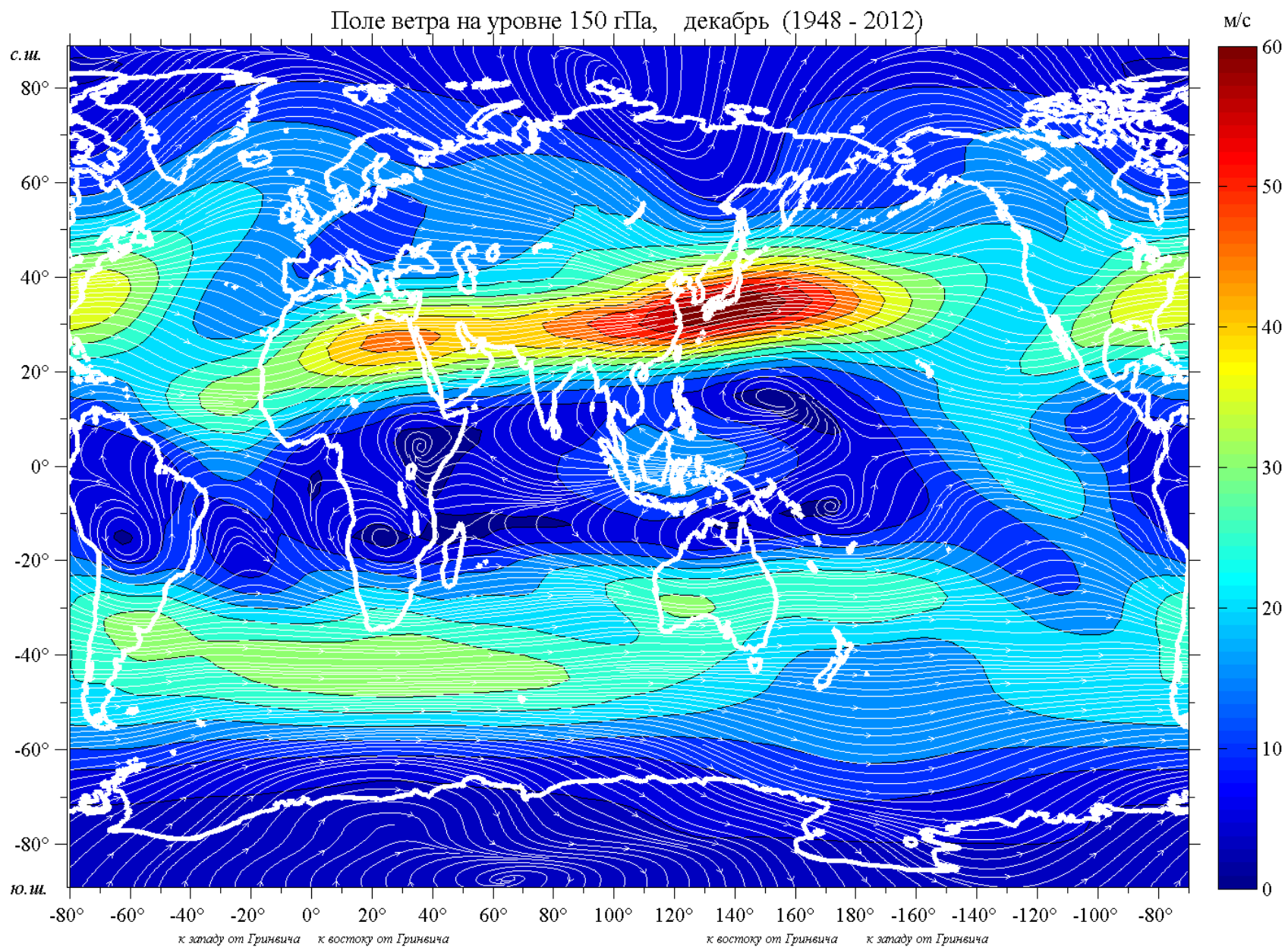








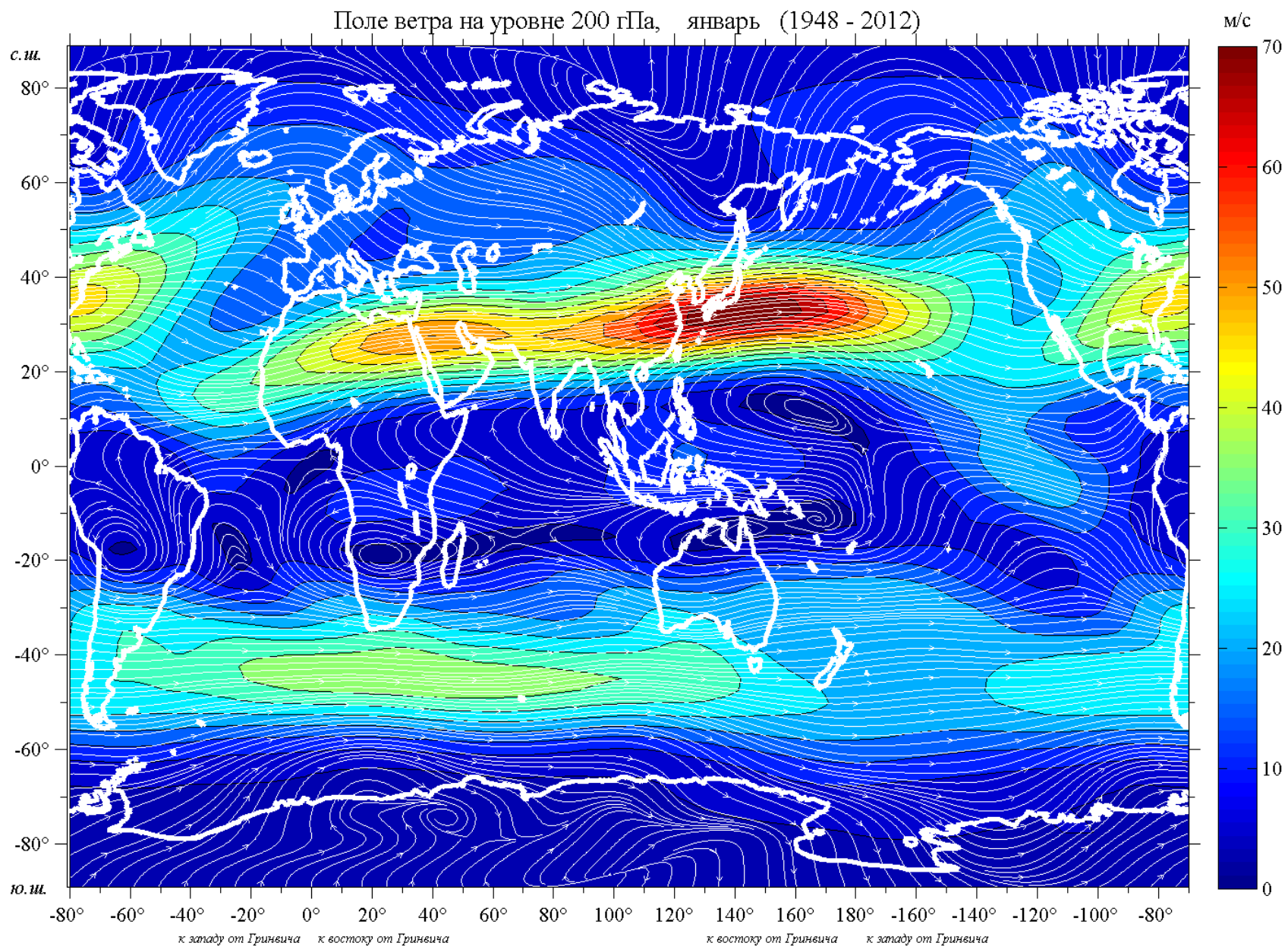


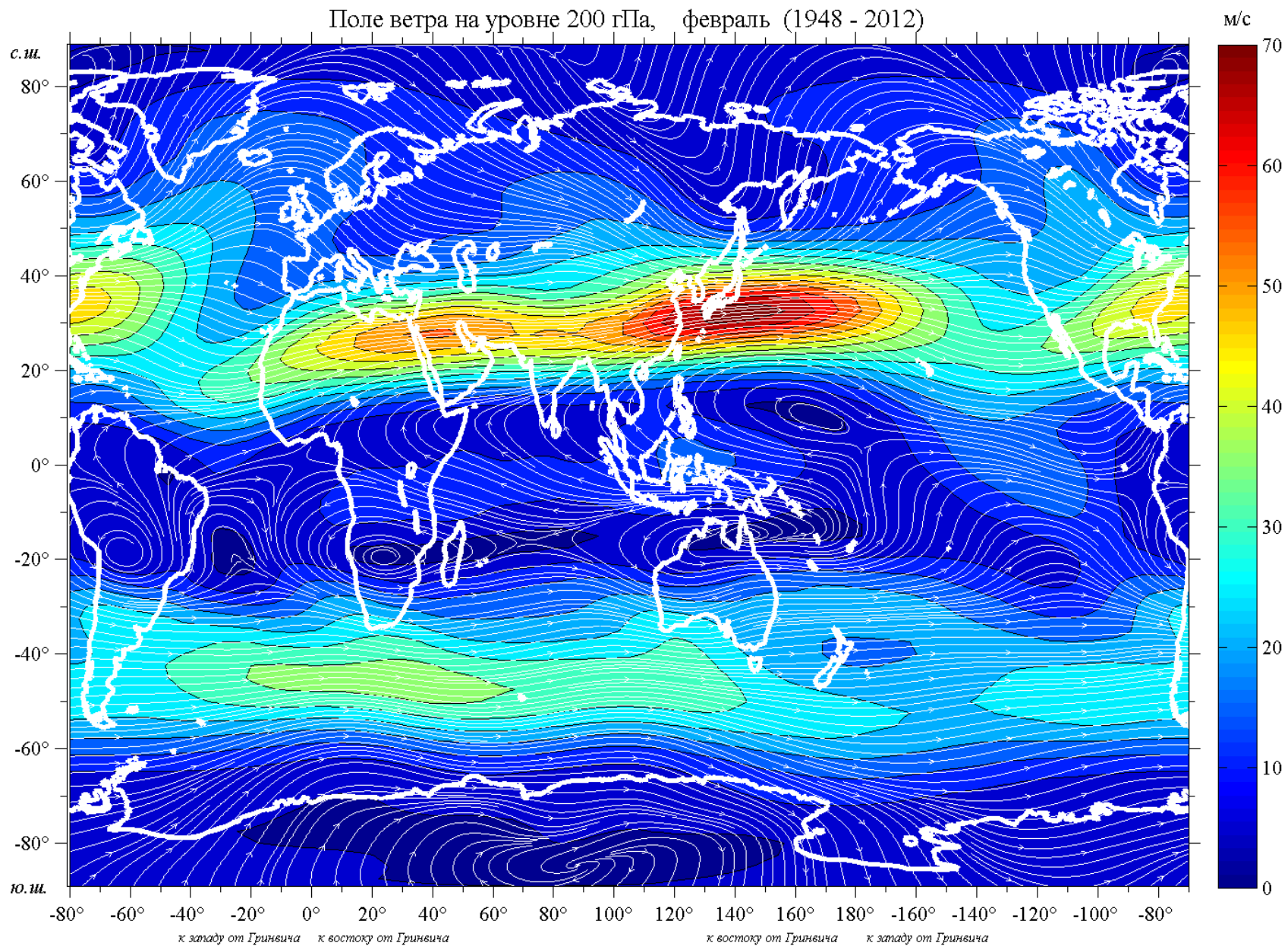


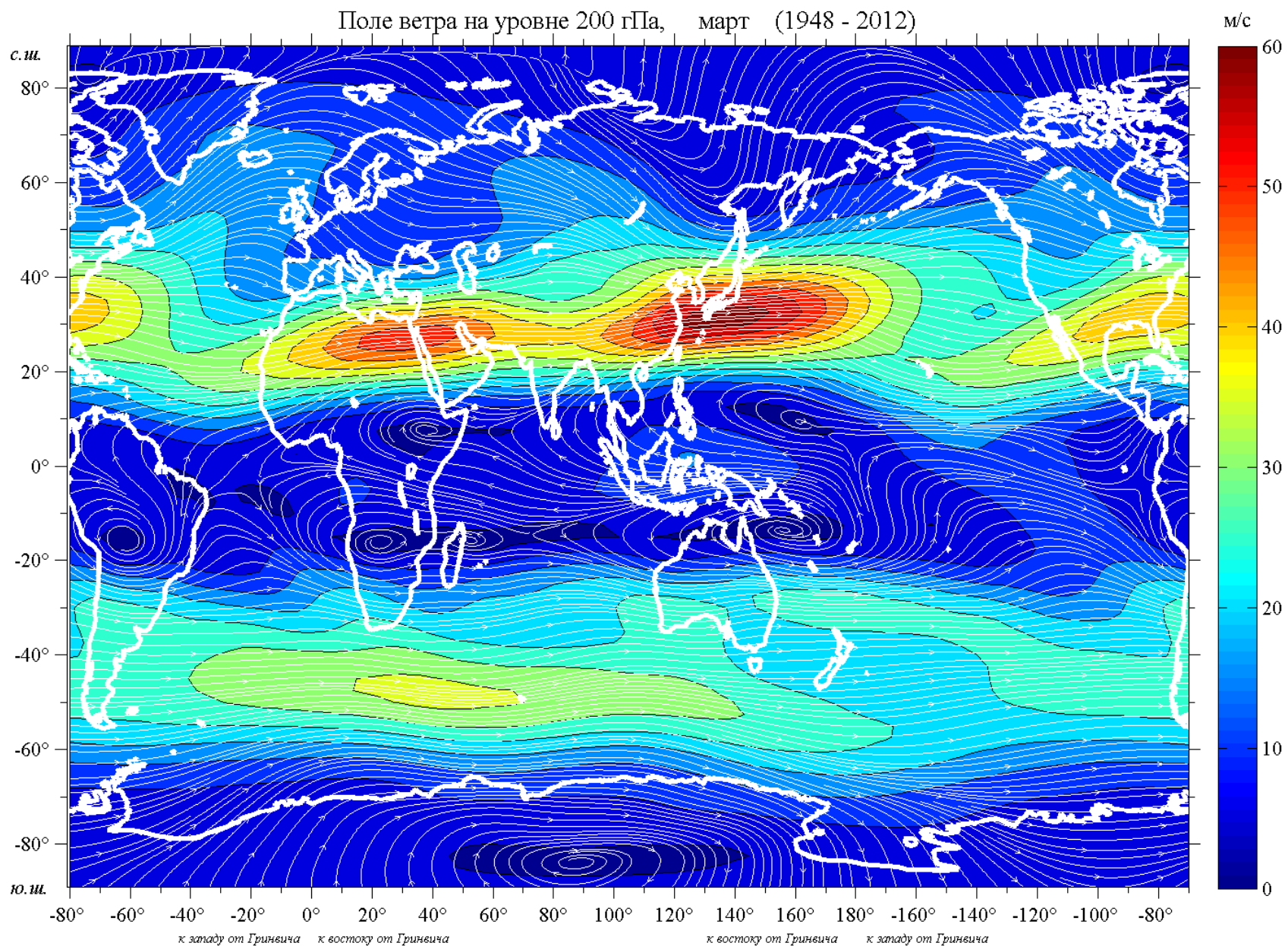
### **3. Поле ветра на уровне 200 гПа**

На картах для каждого месяца с шагом 5м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

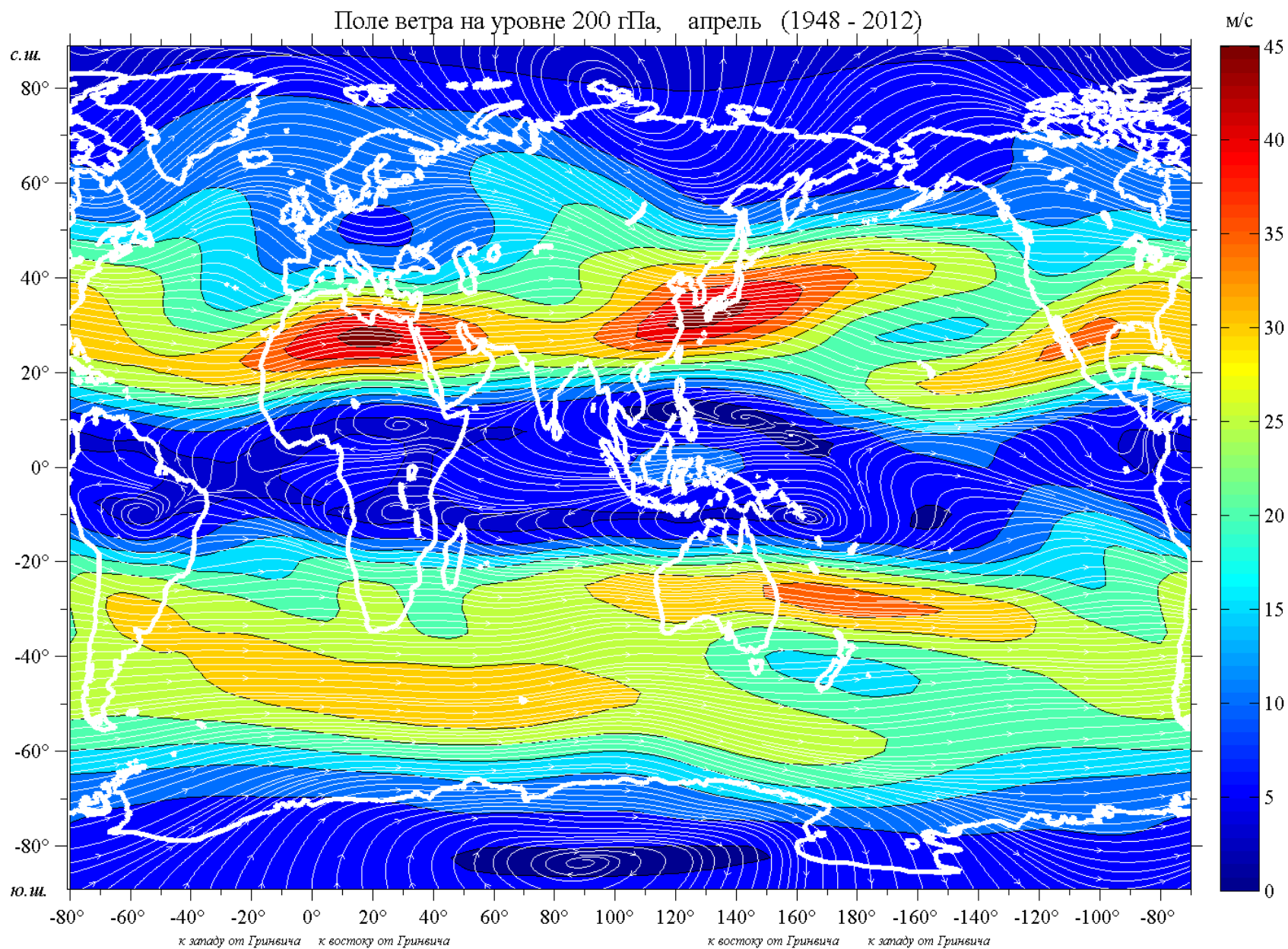


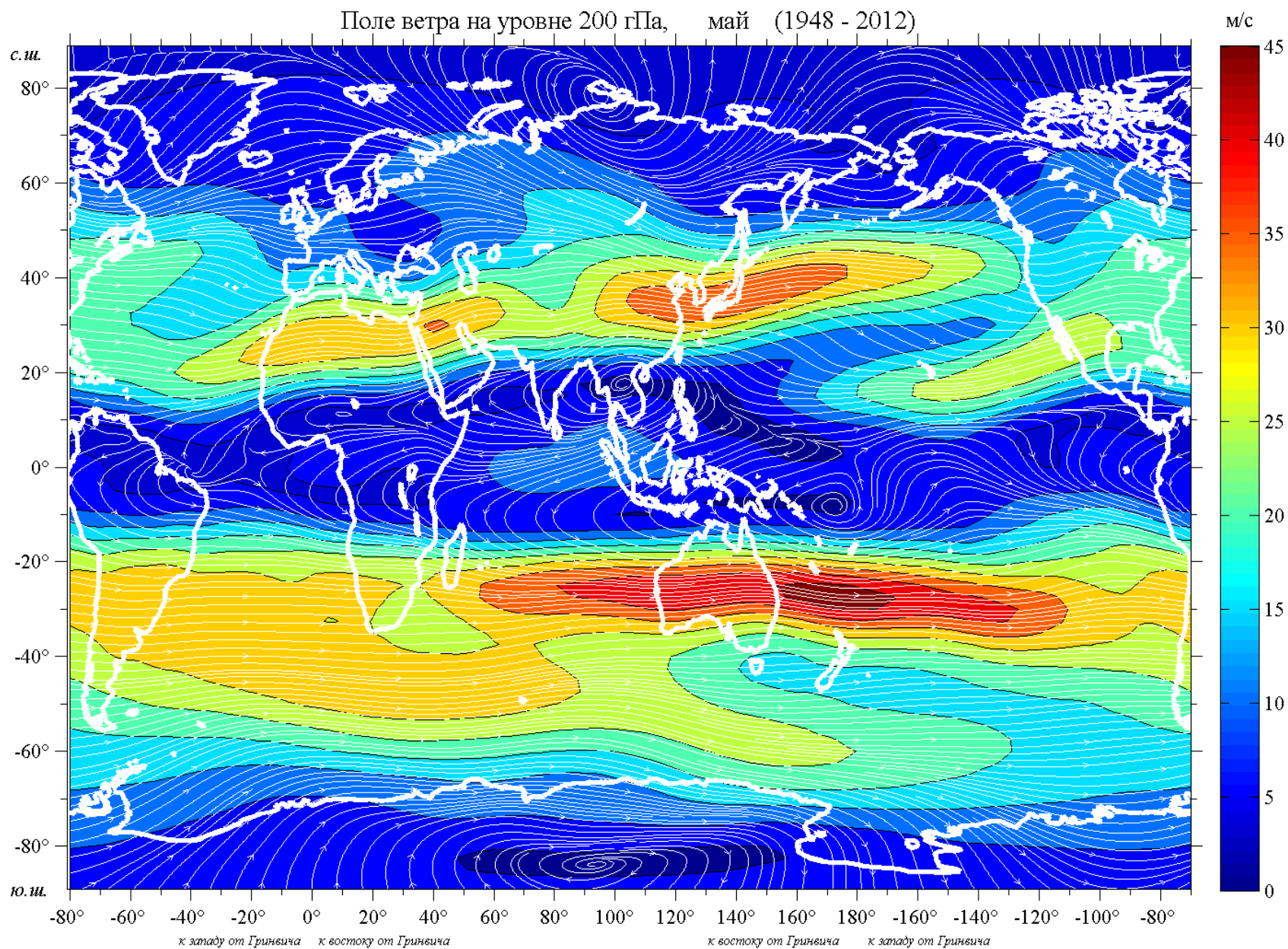


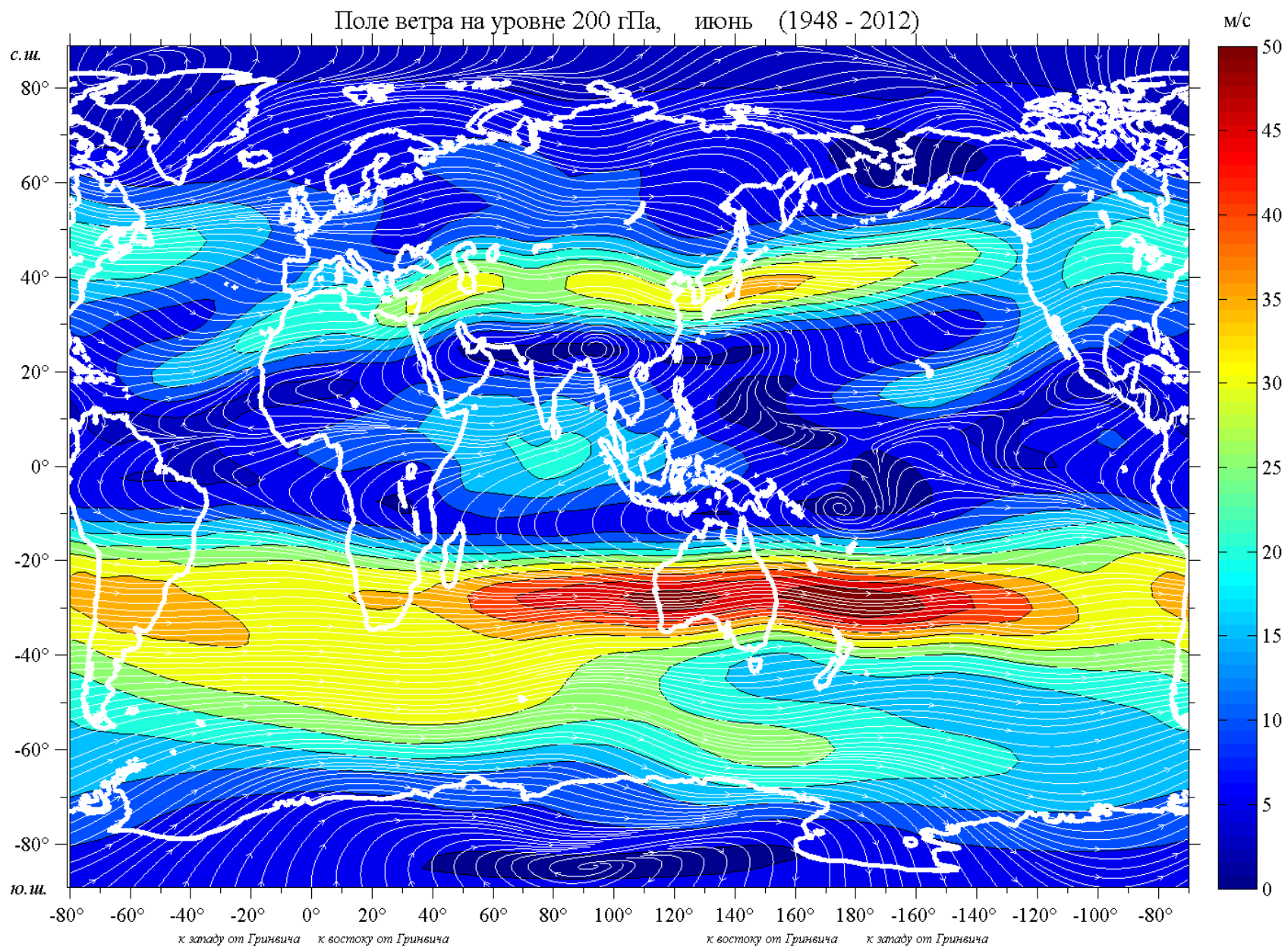




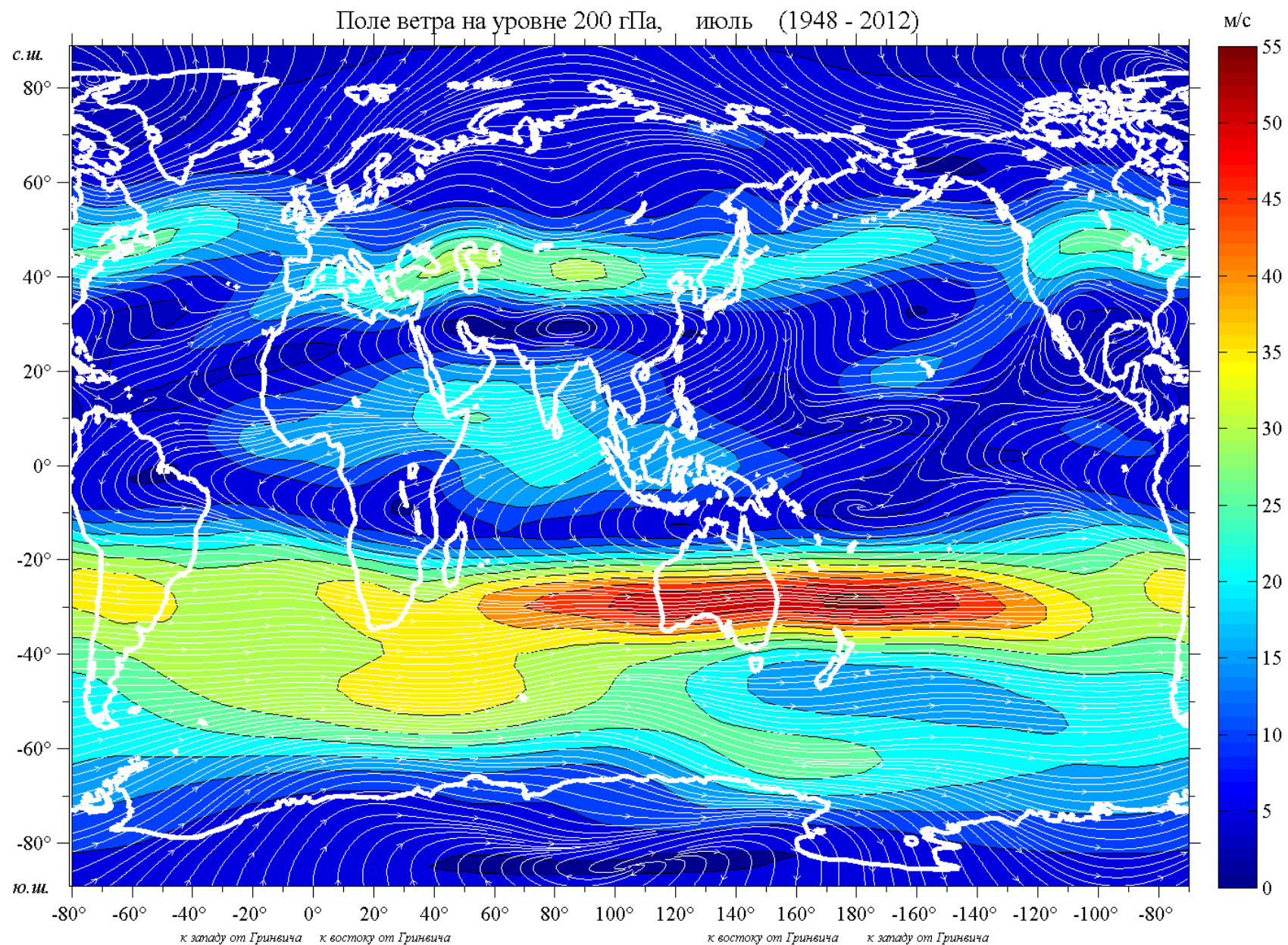


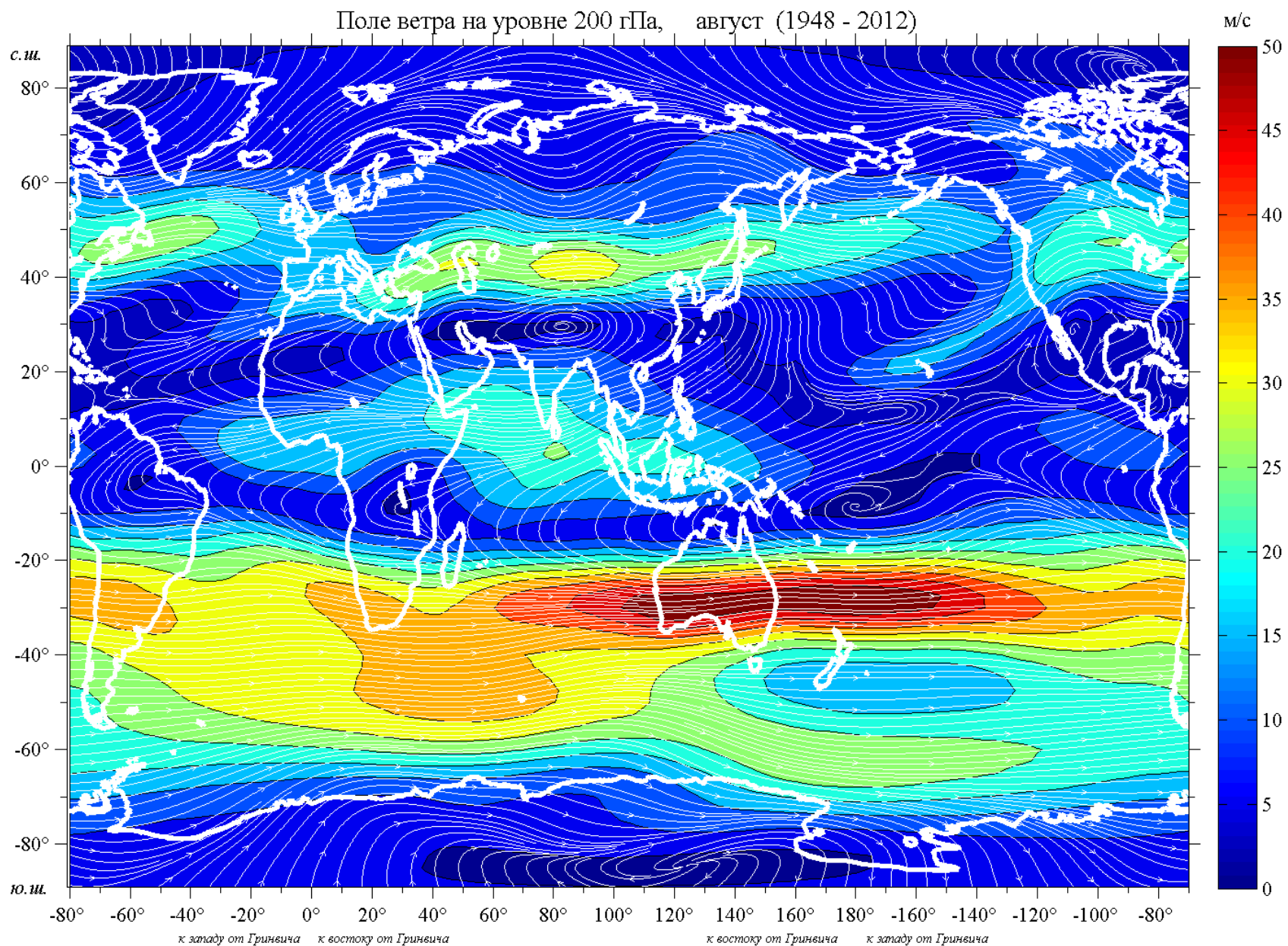


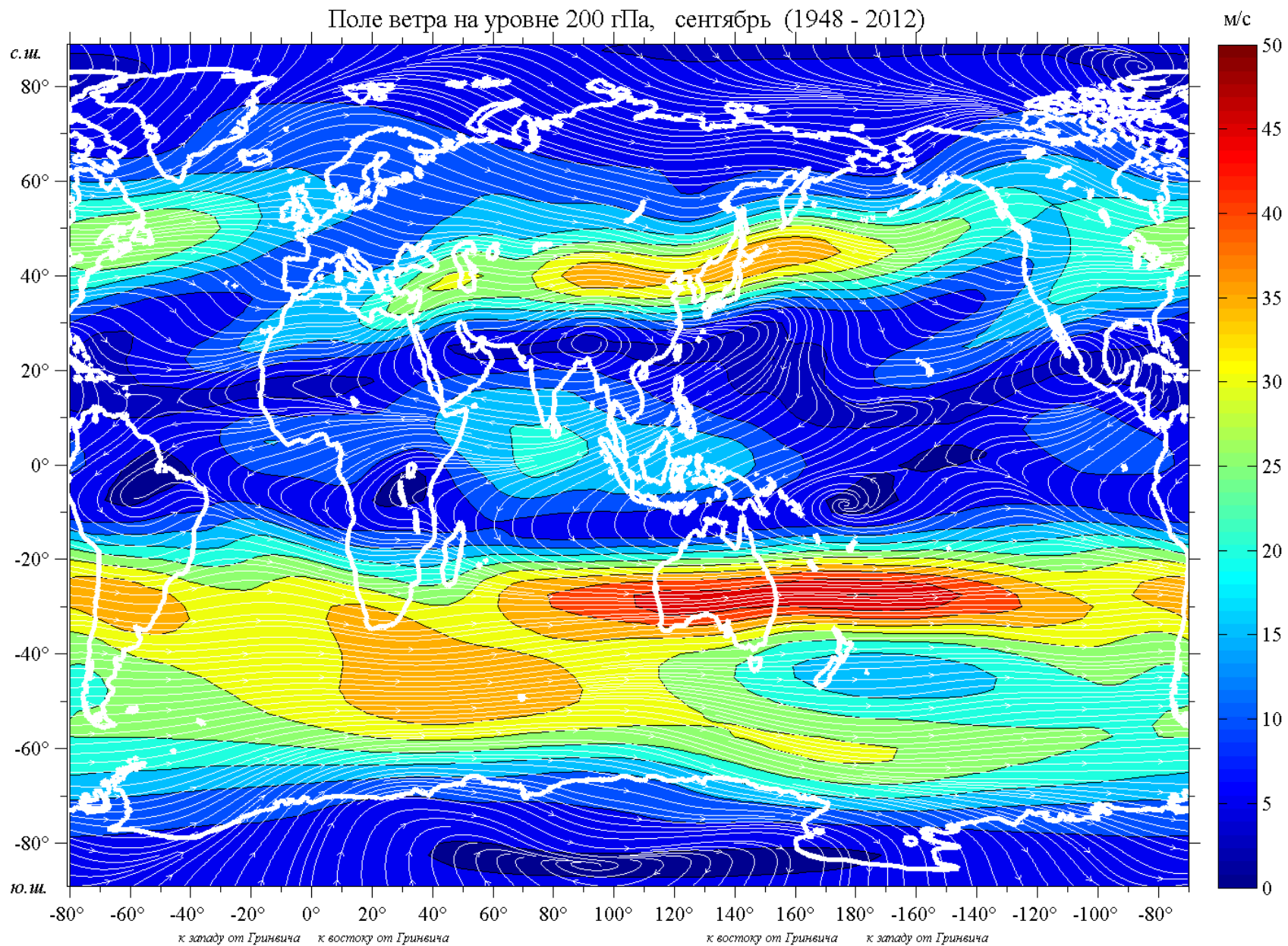




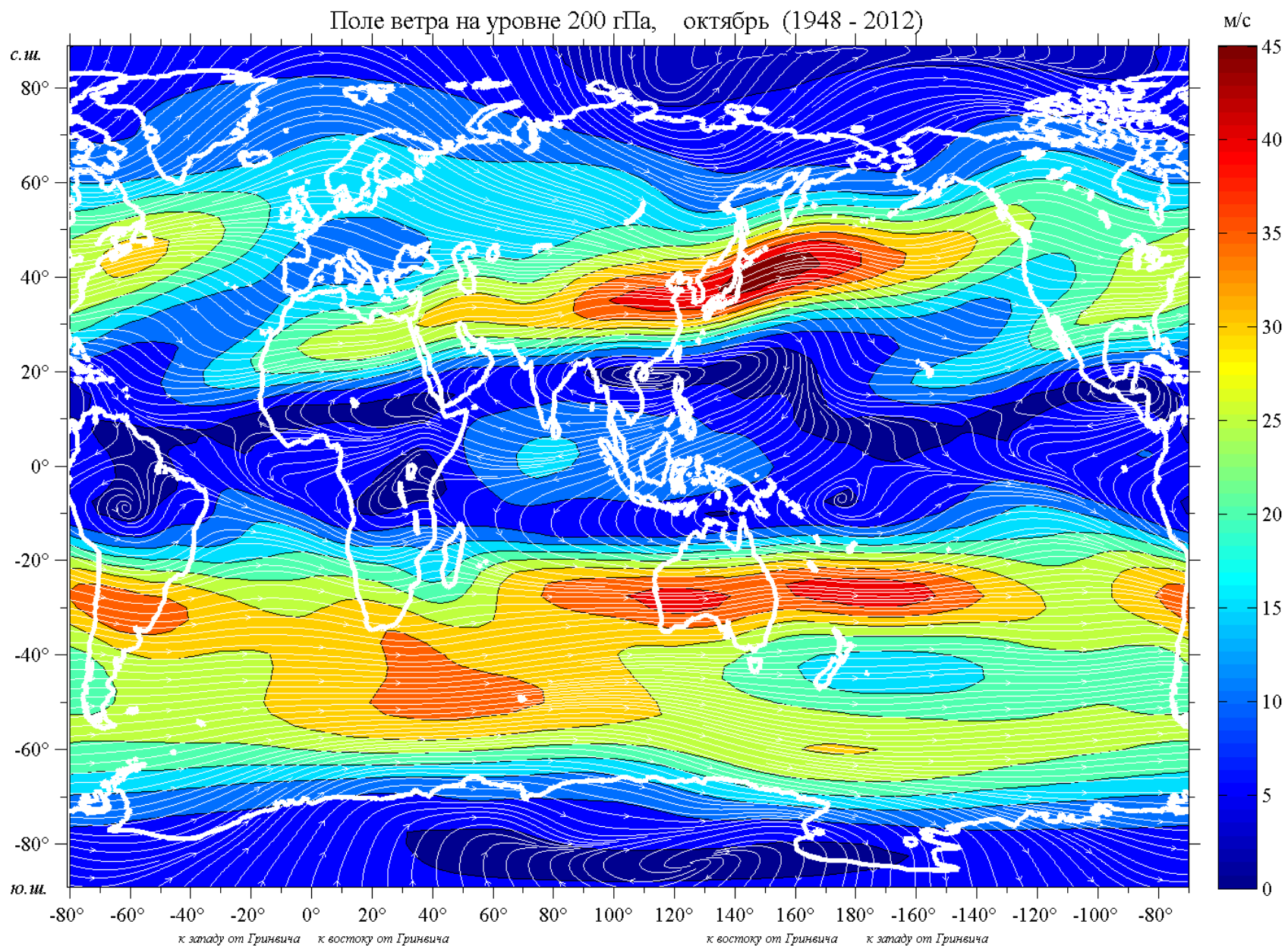


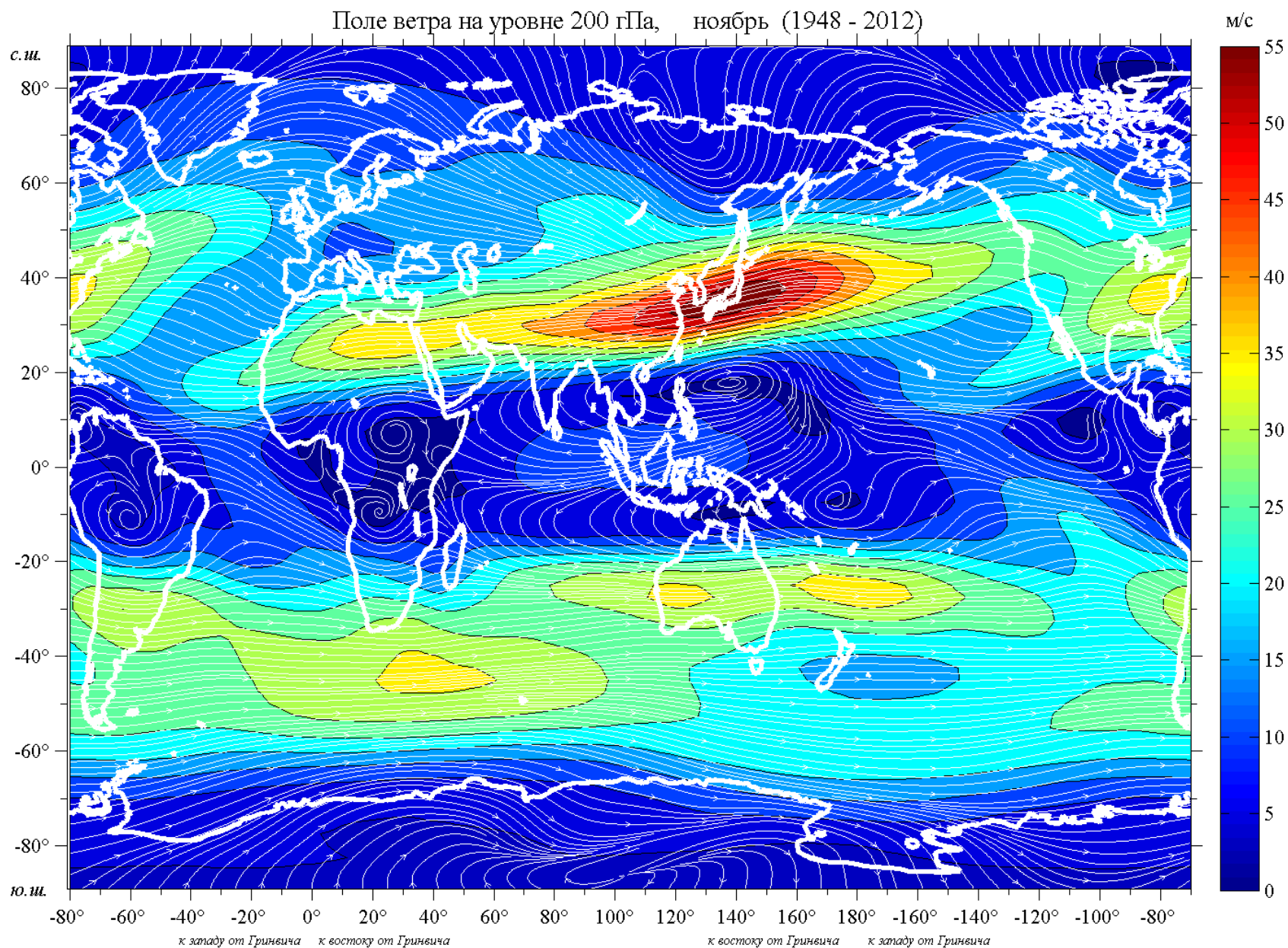


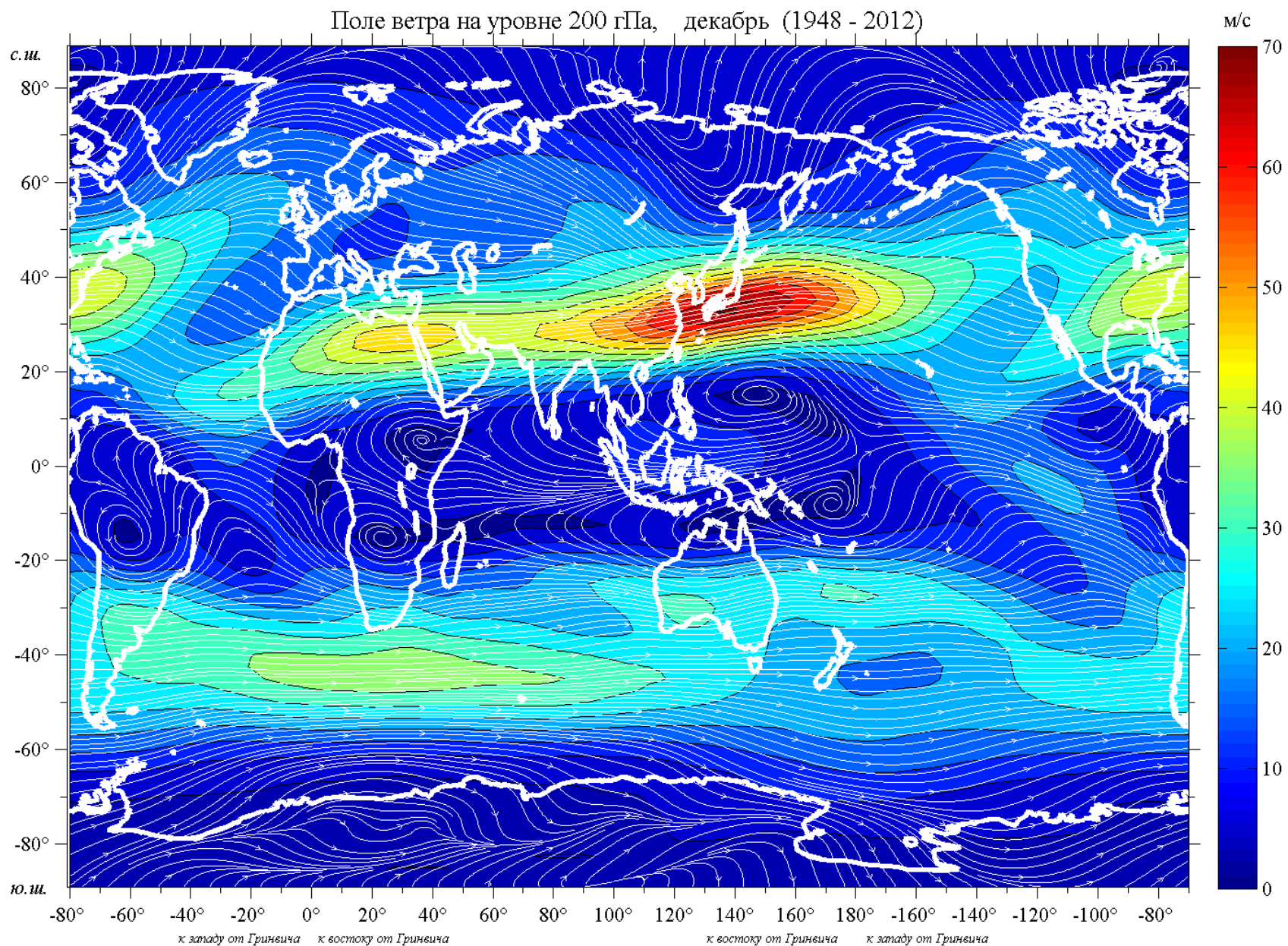








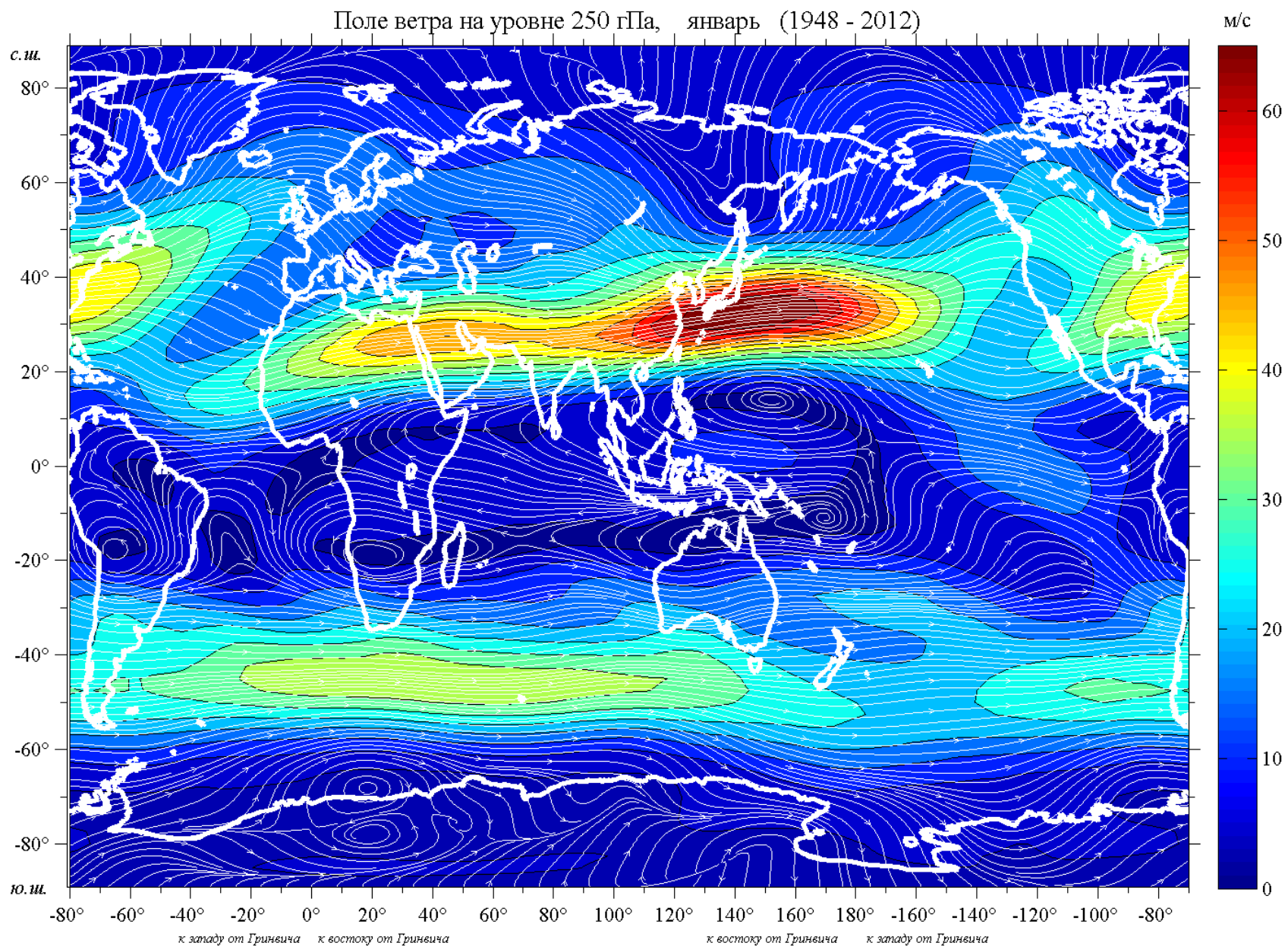


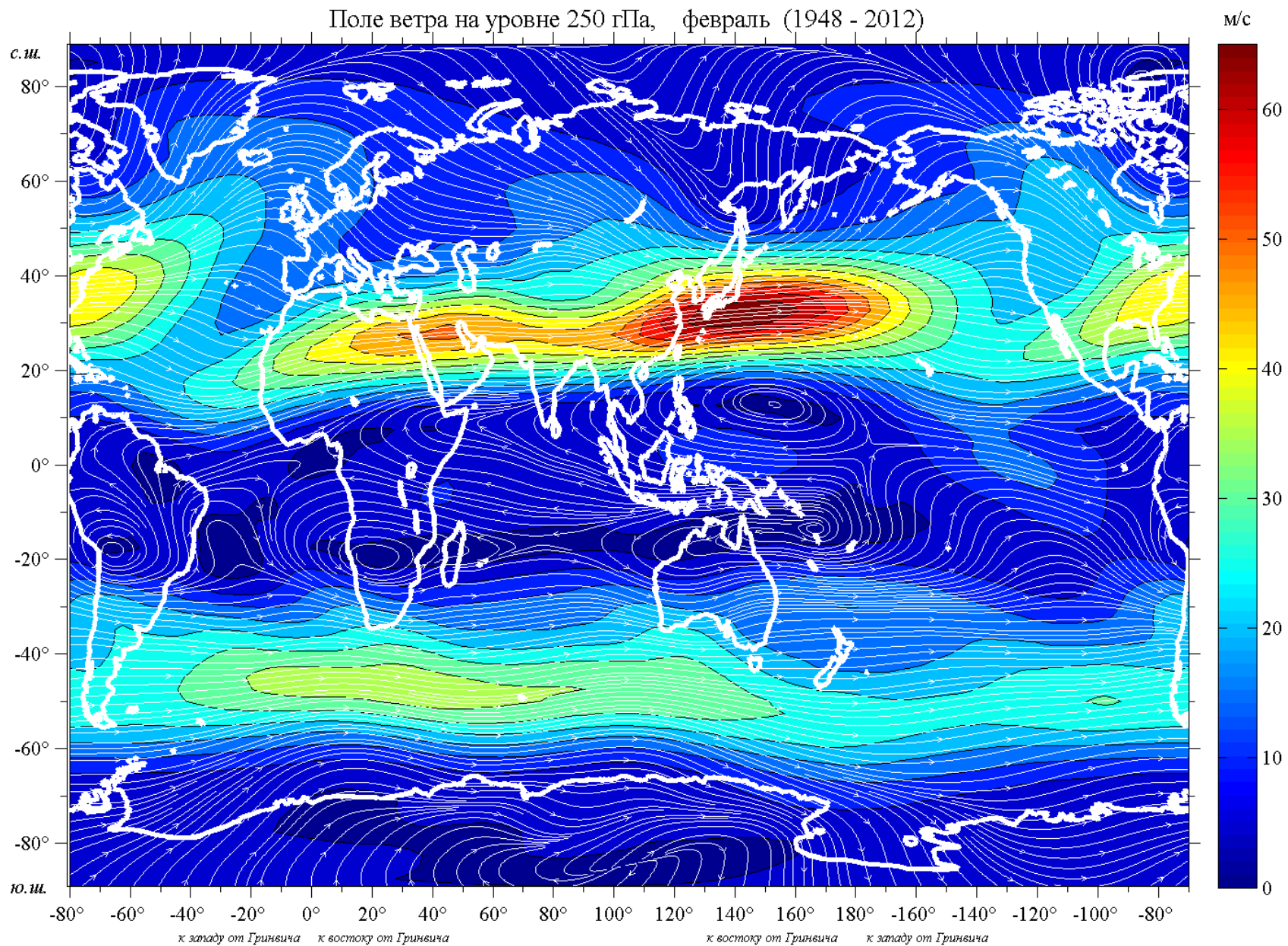




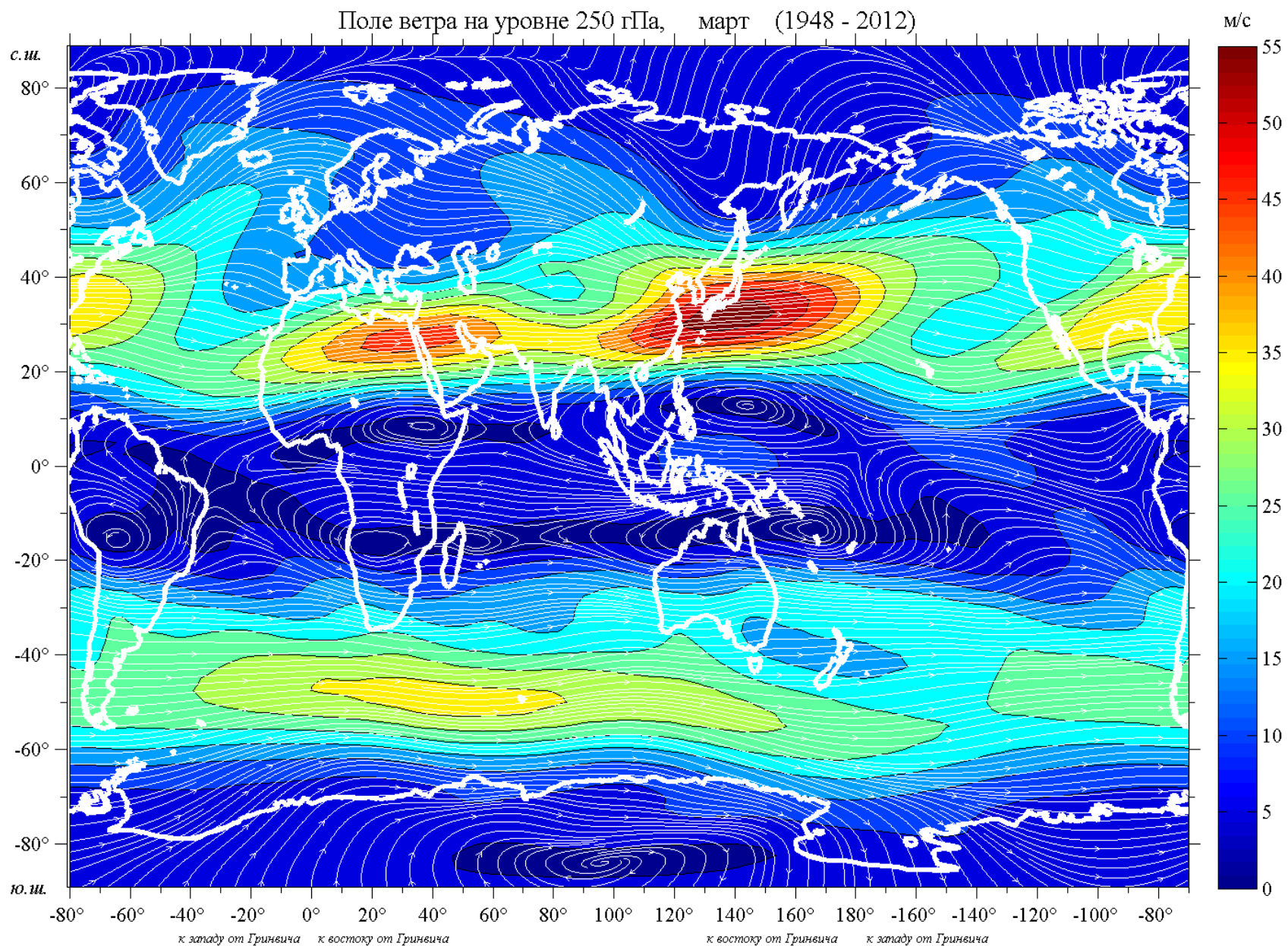
#### **4. Поле ветра на уровне 250 гПа**

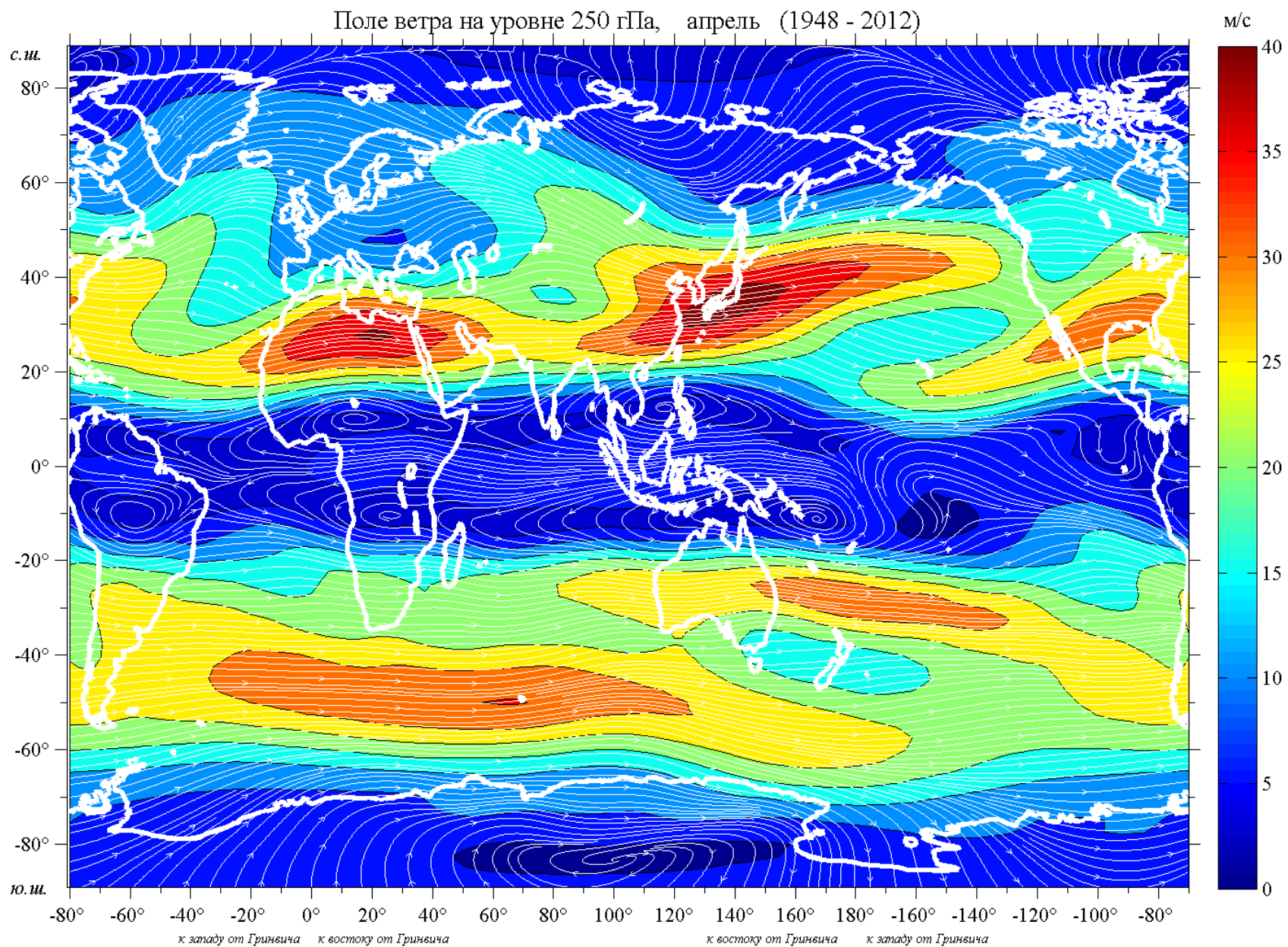
На картах для каждого месяца с шагом 5м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

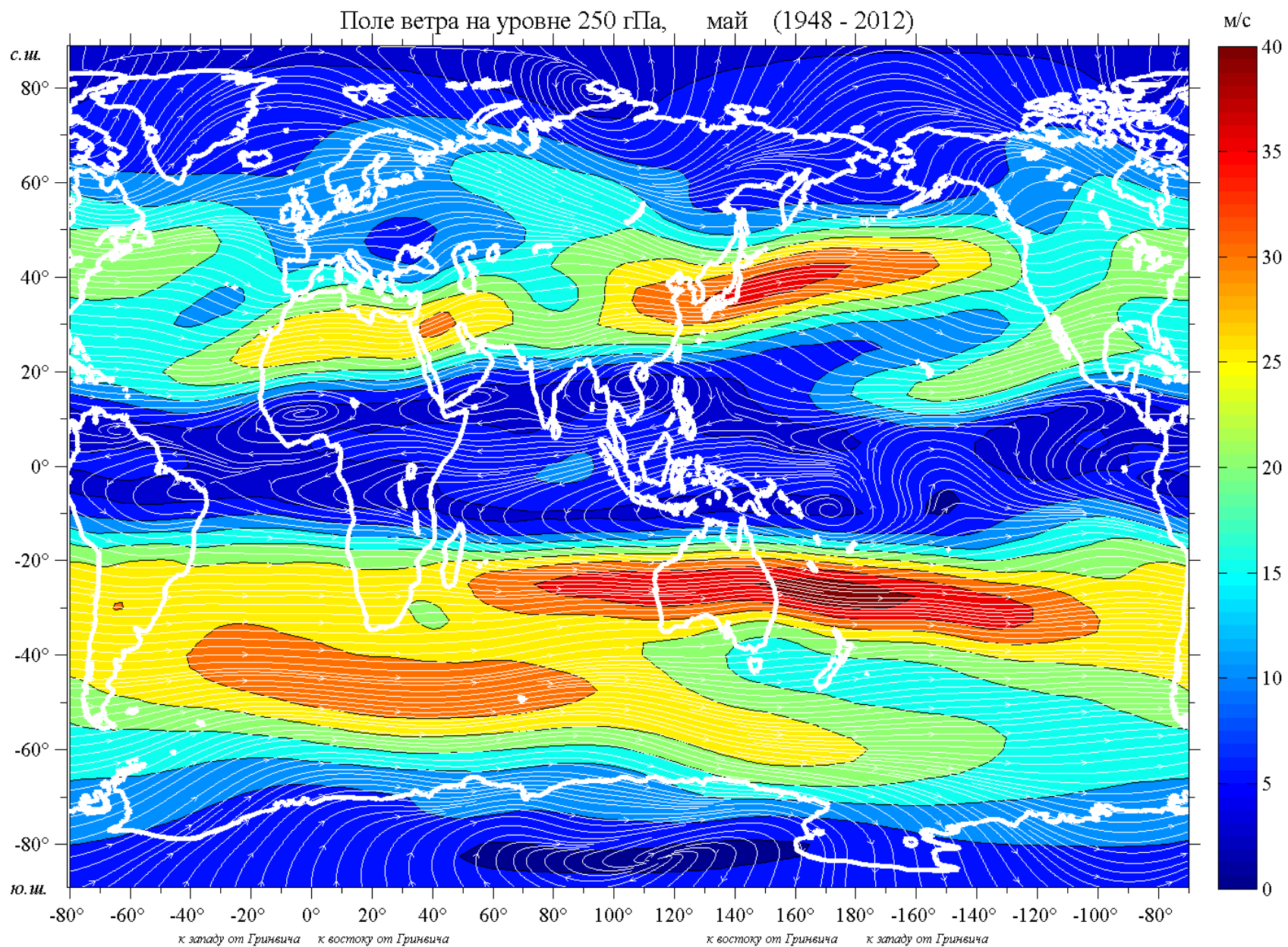




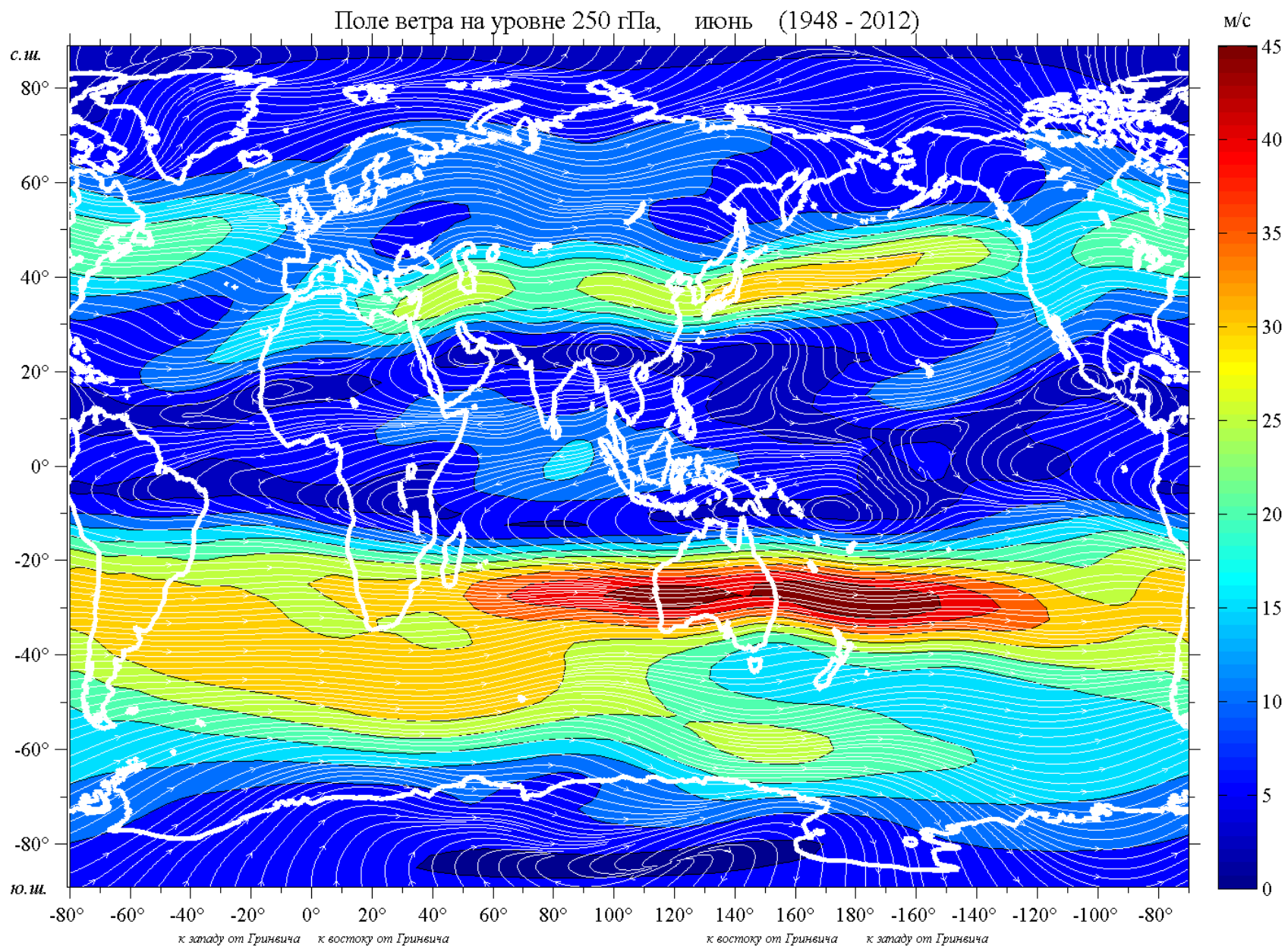


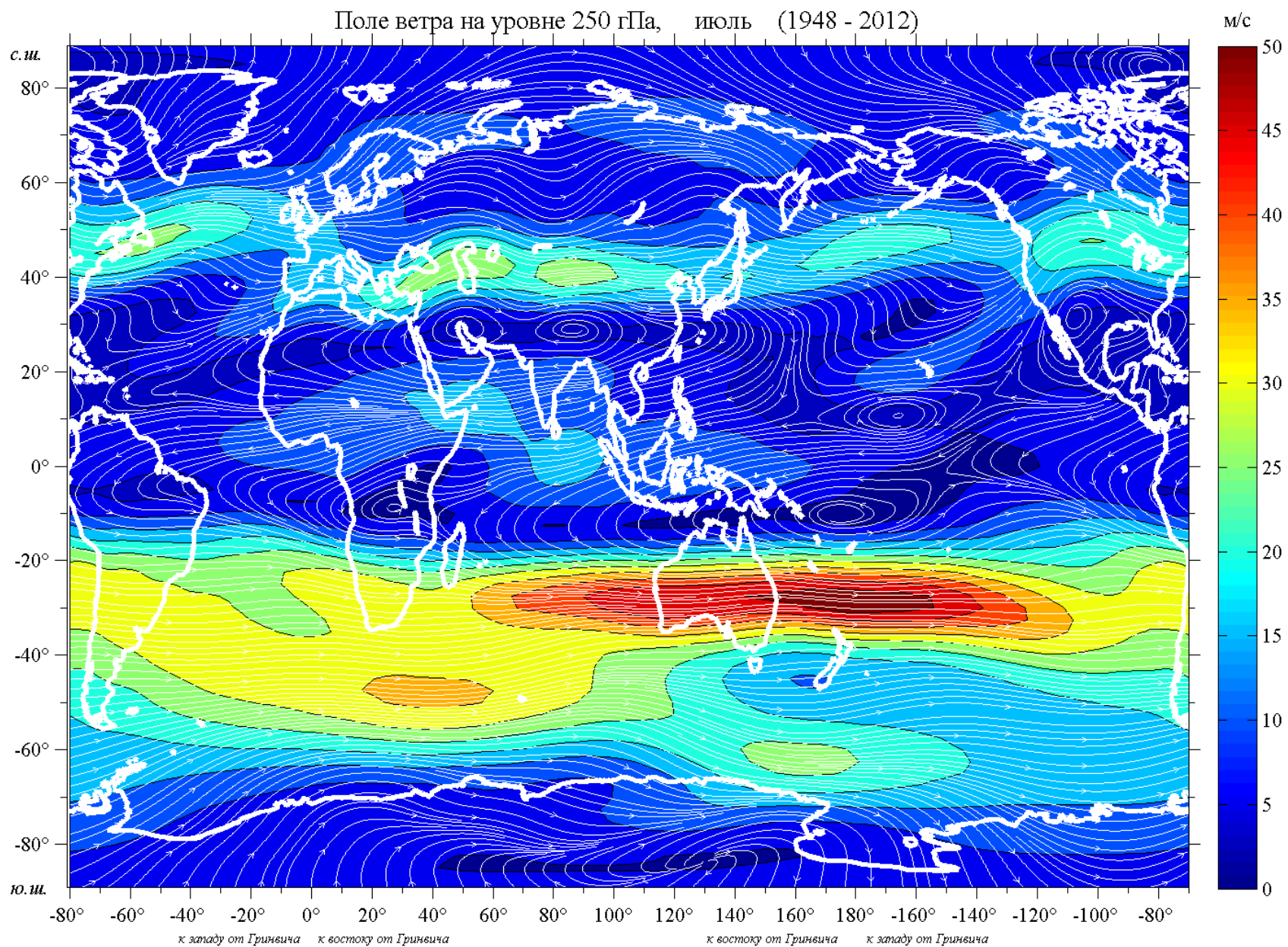


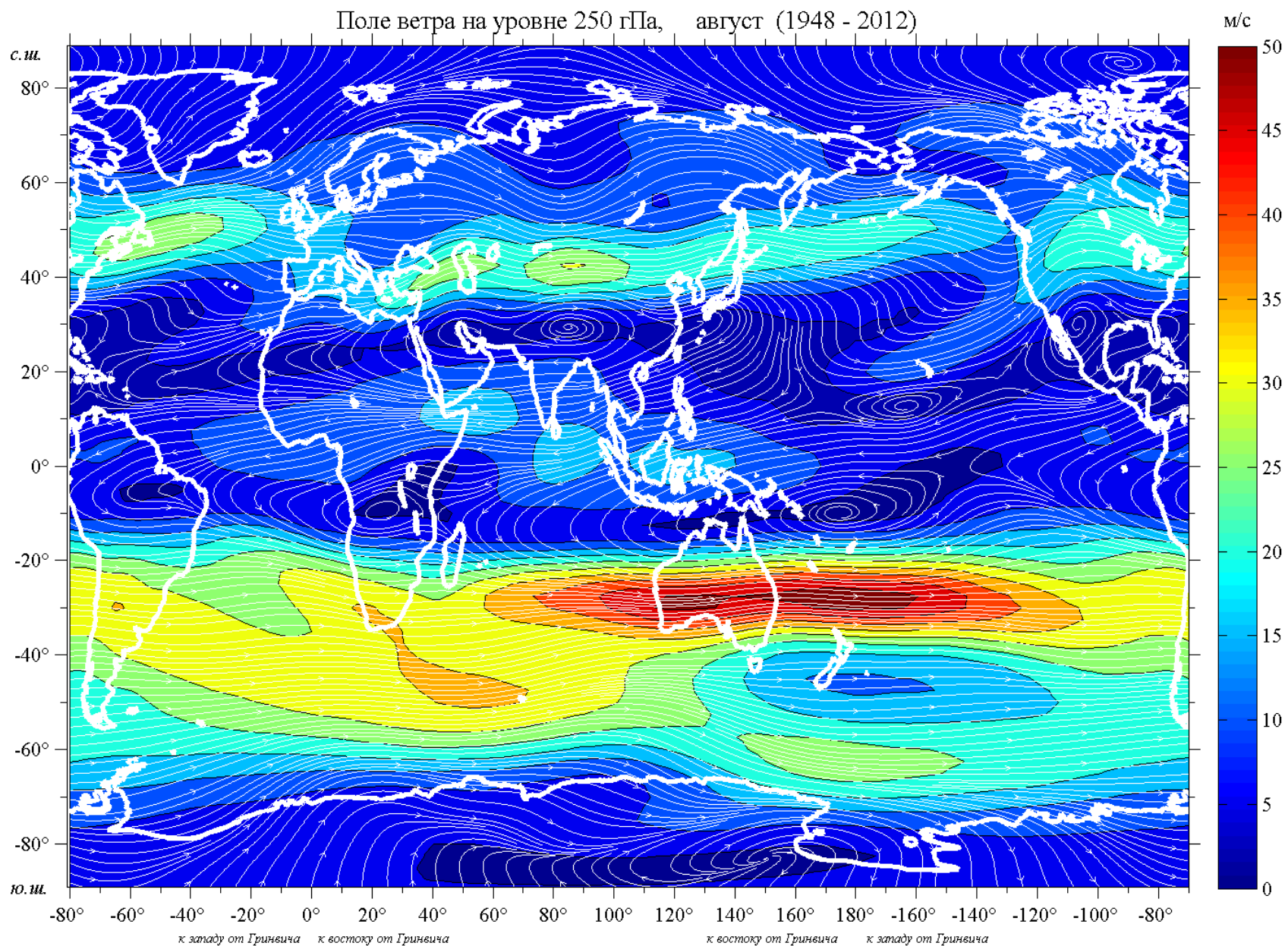




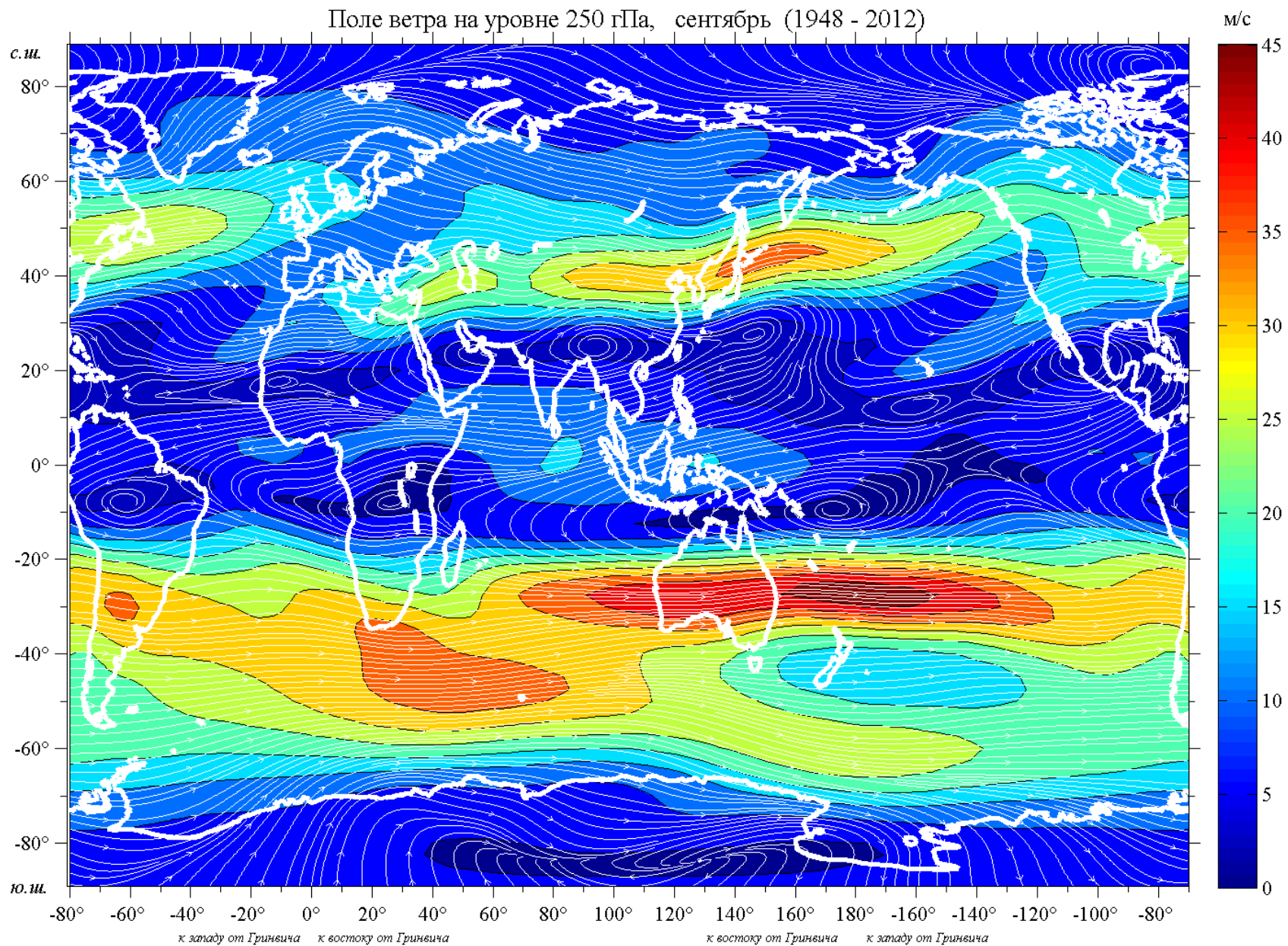


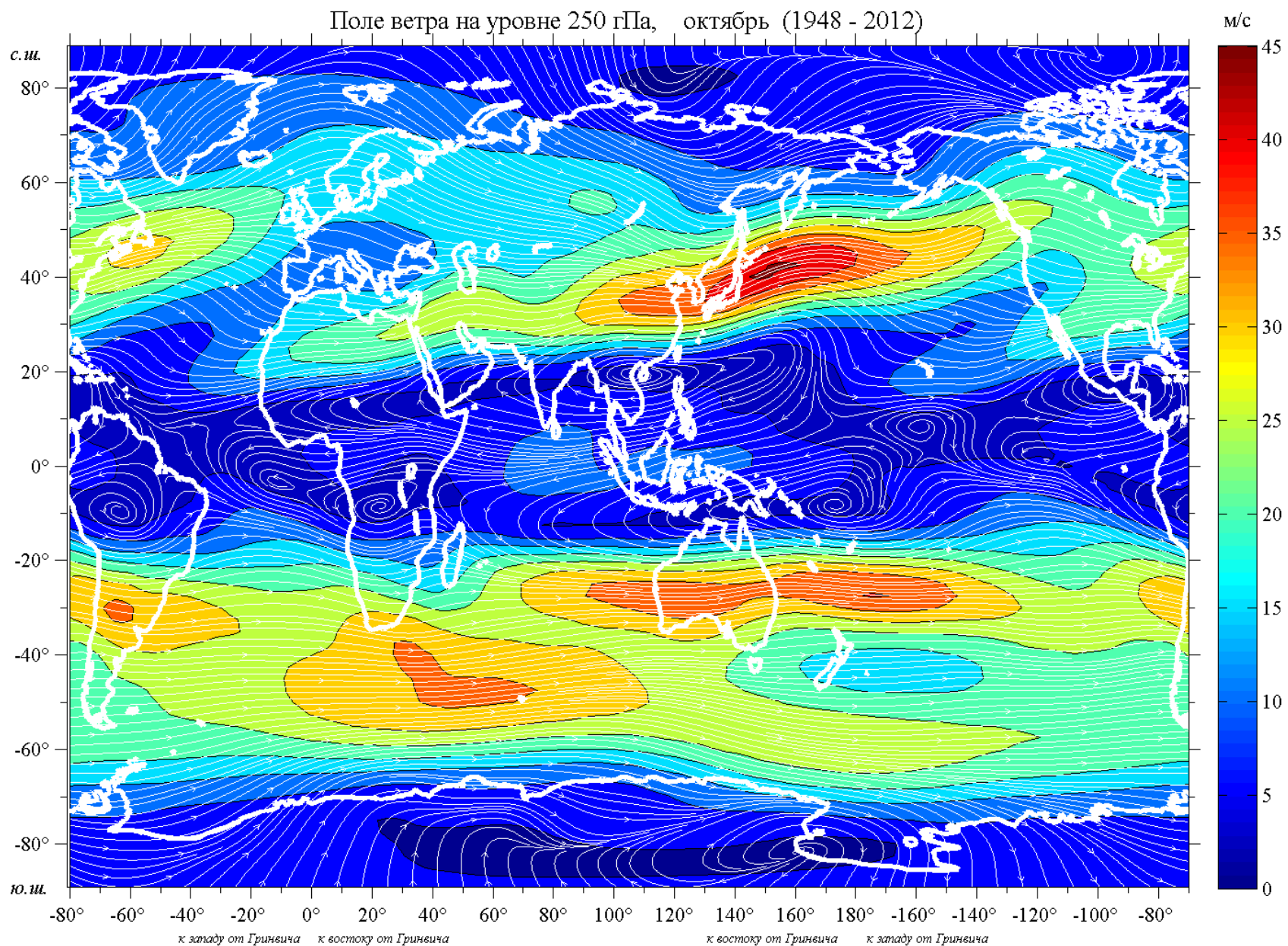


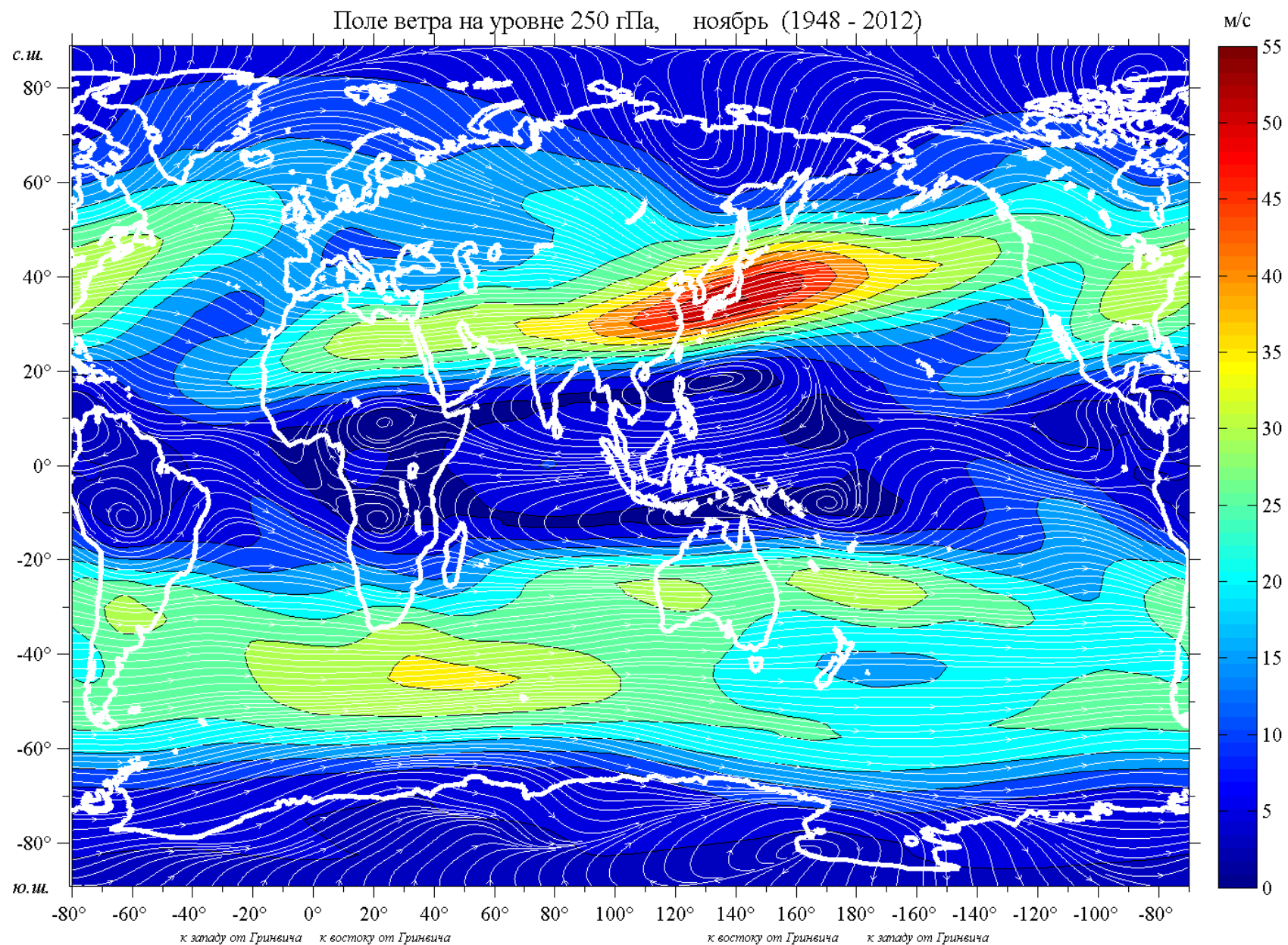




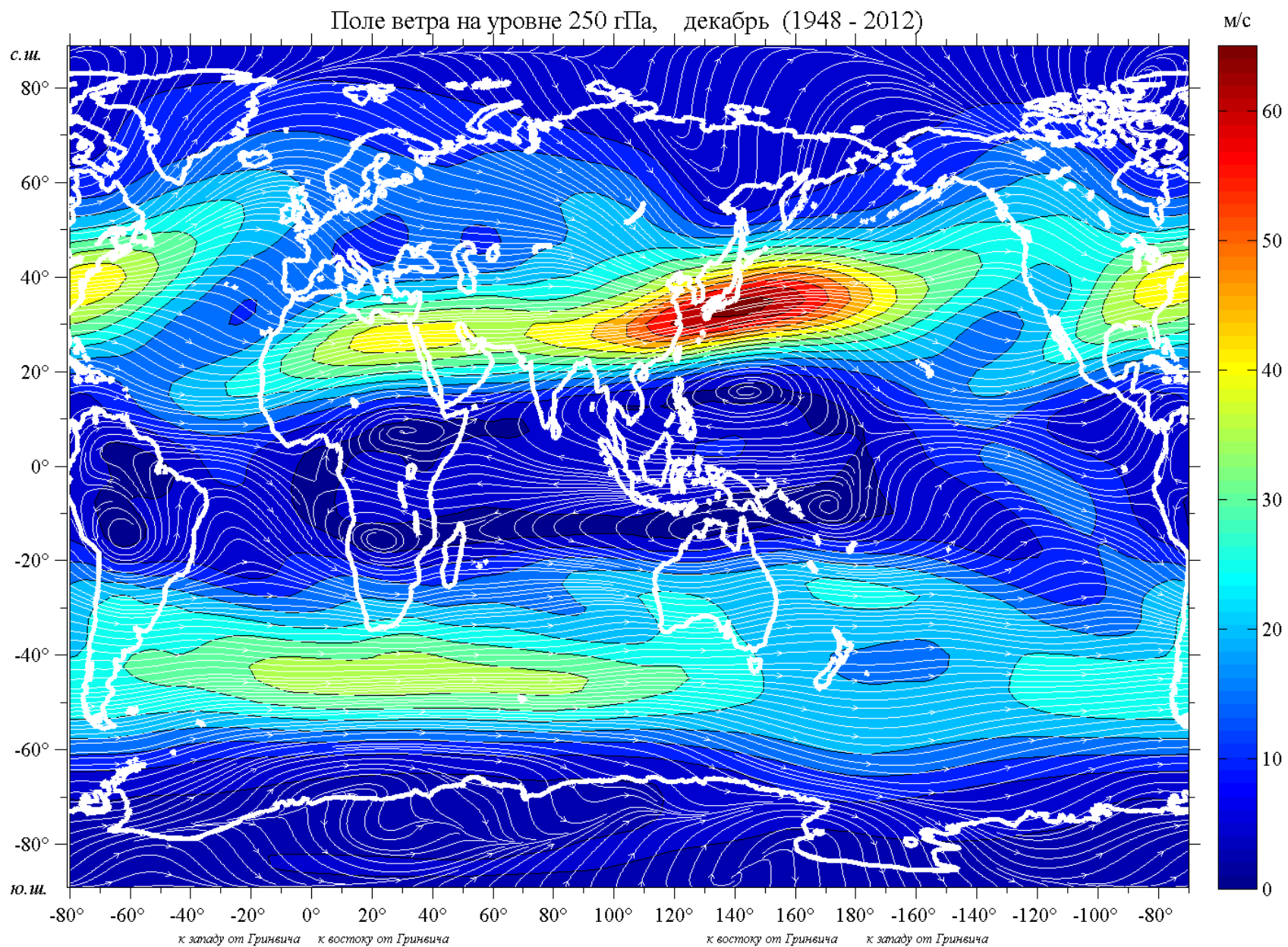






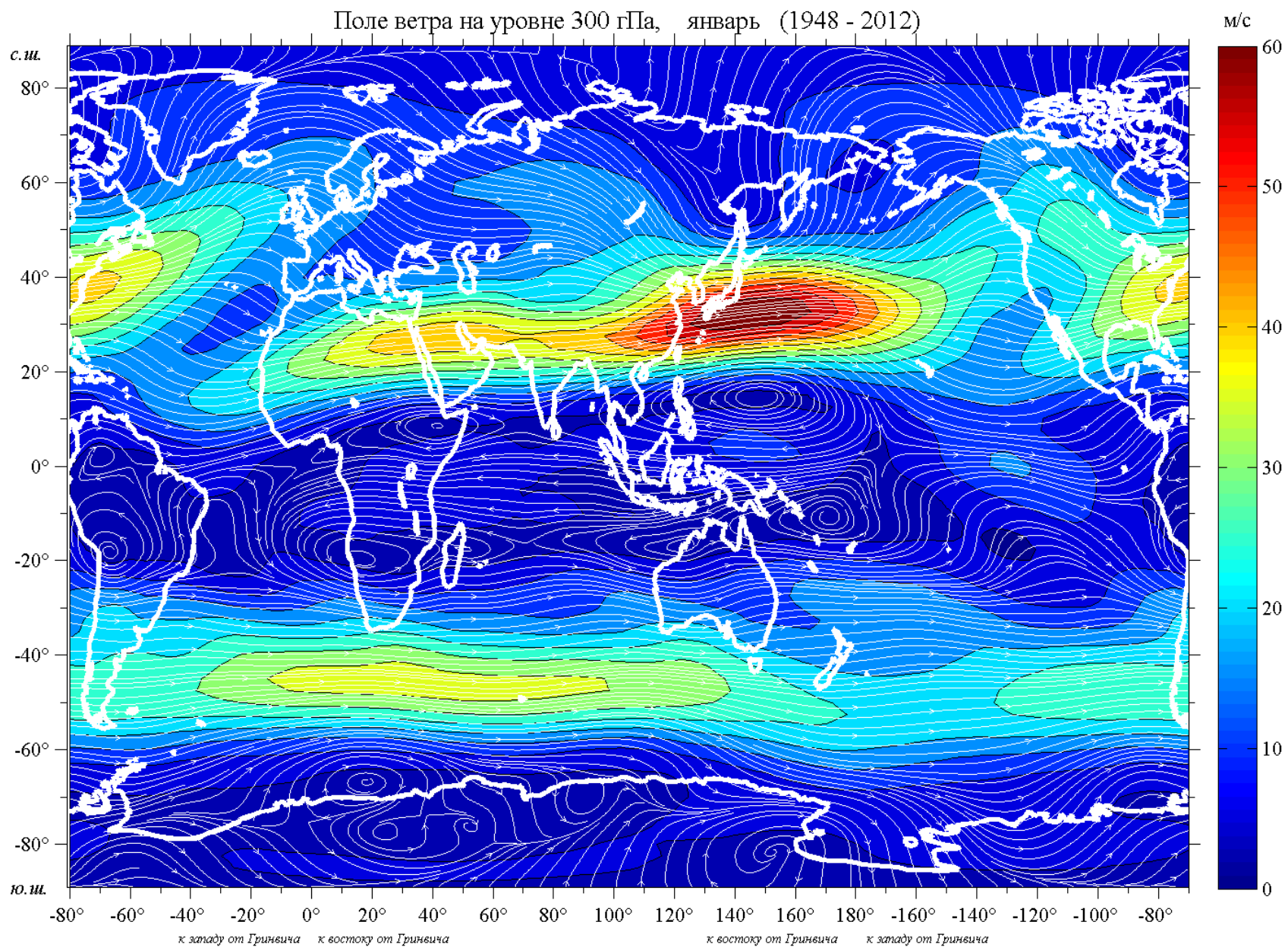




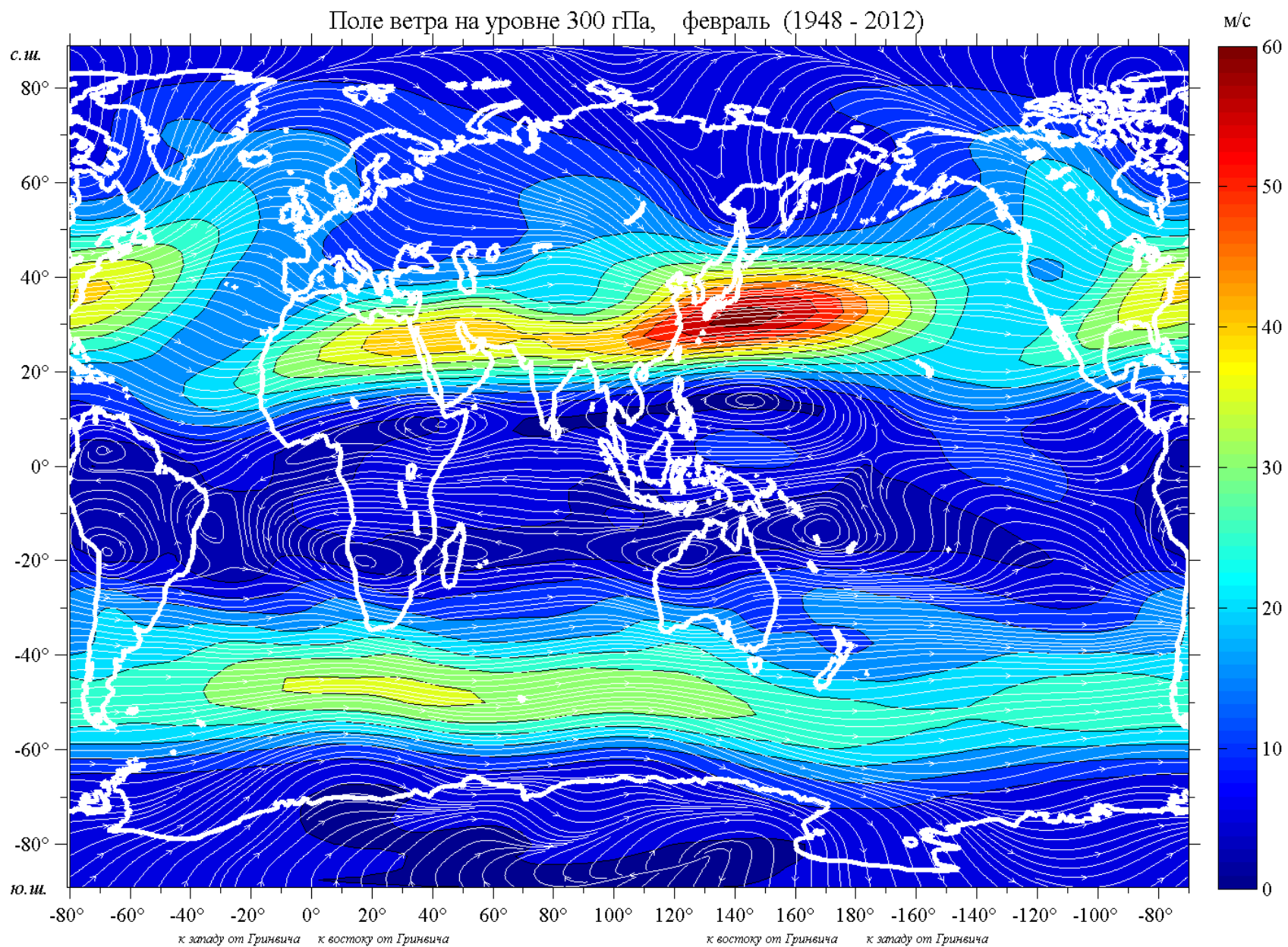


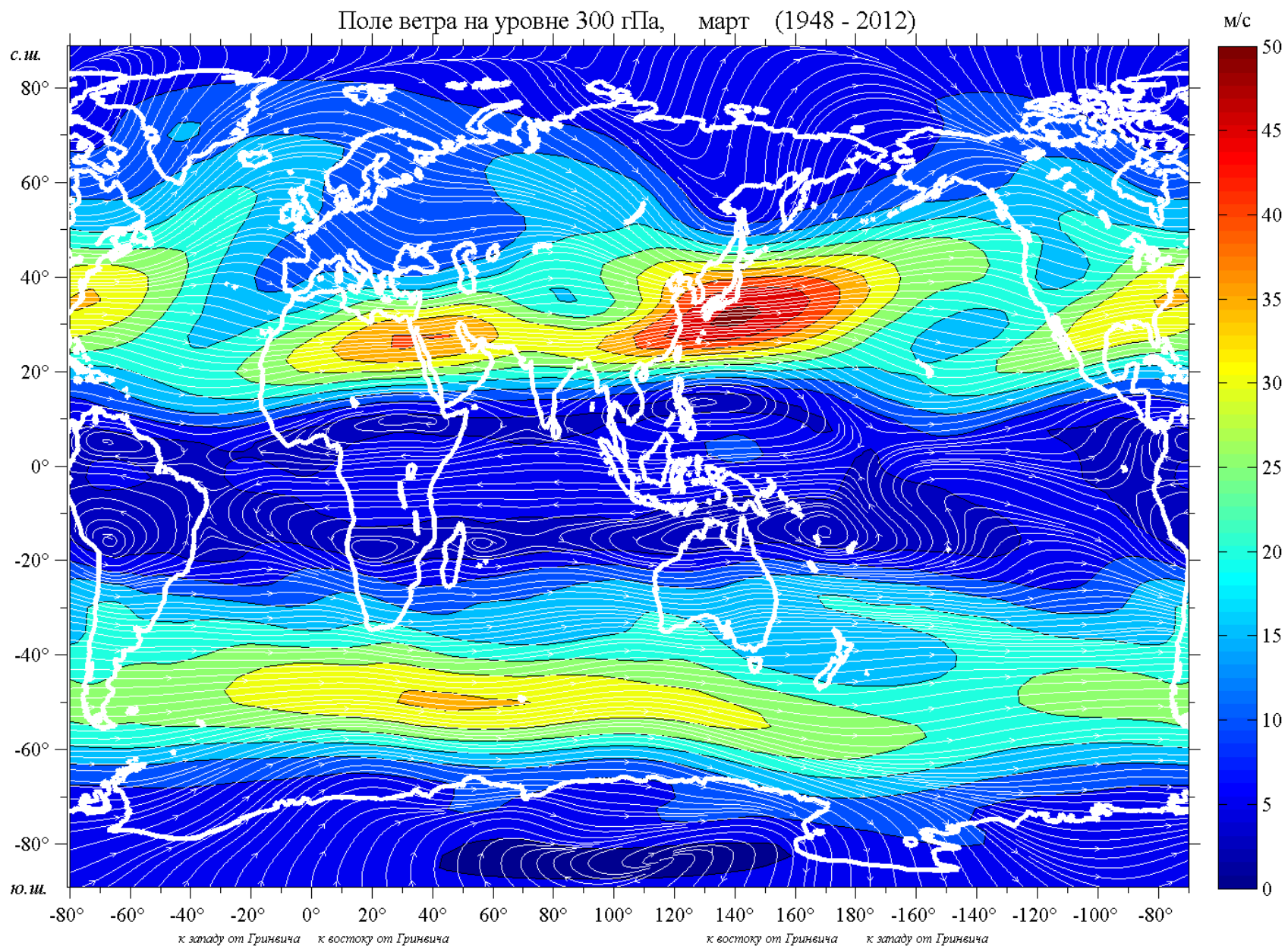
## **5. Поле ветра на уровне 300 гПа**

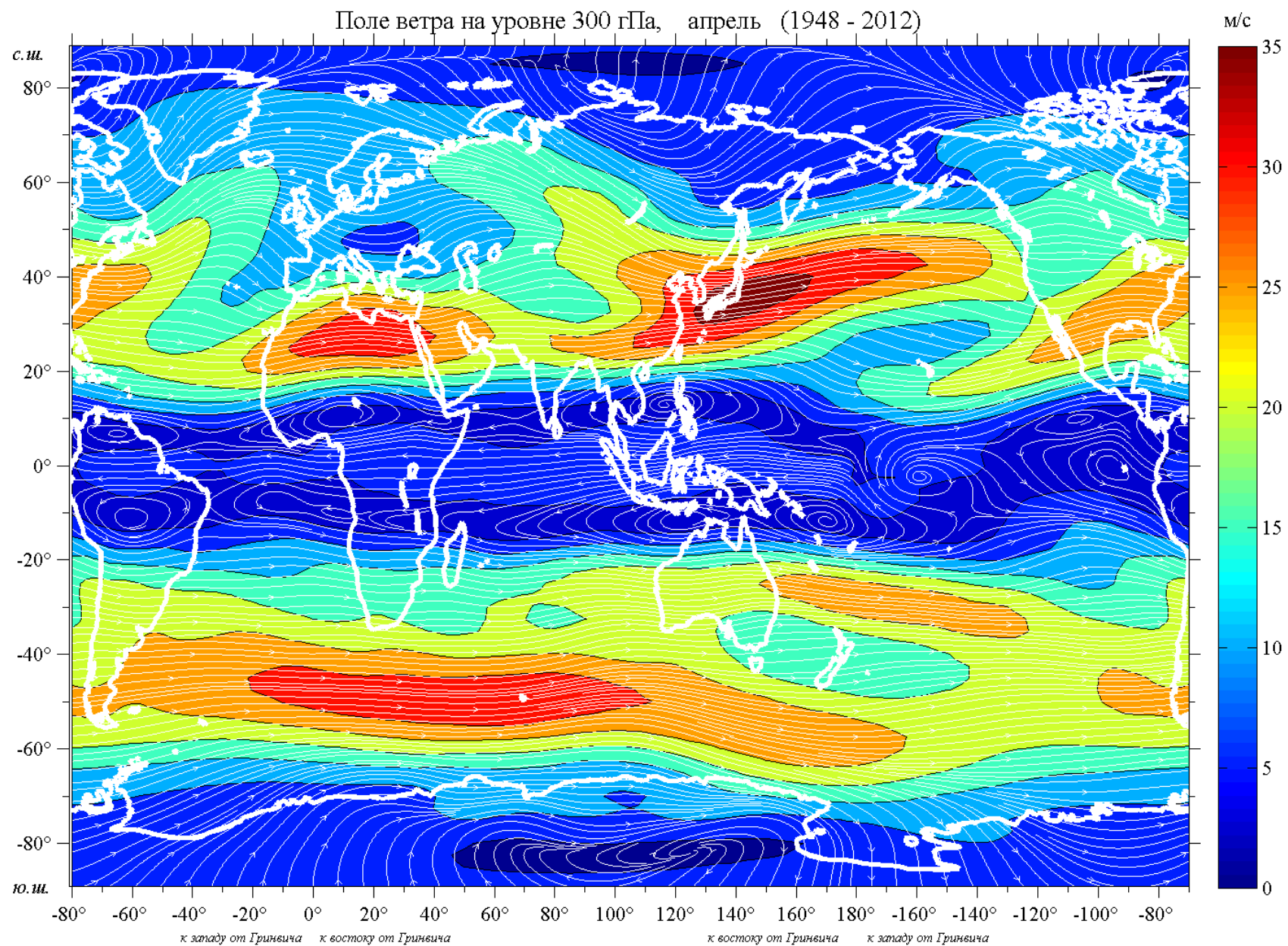
На картах для каждого месяца с шагом 5м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.



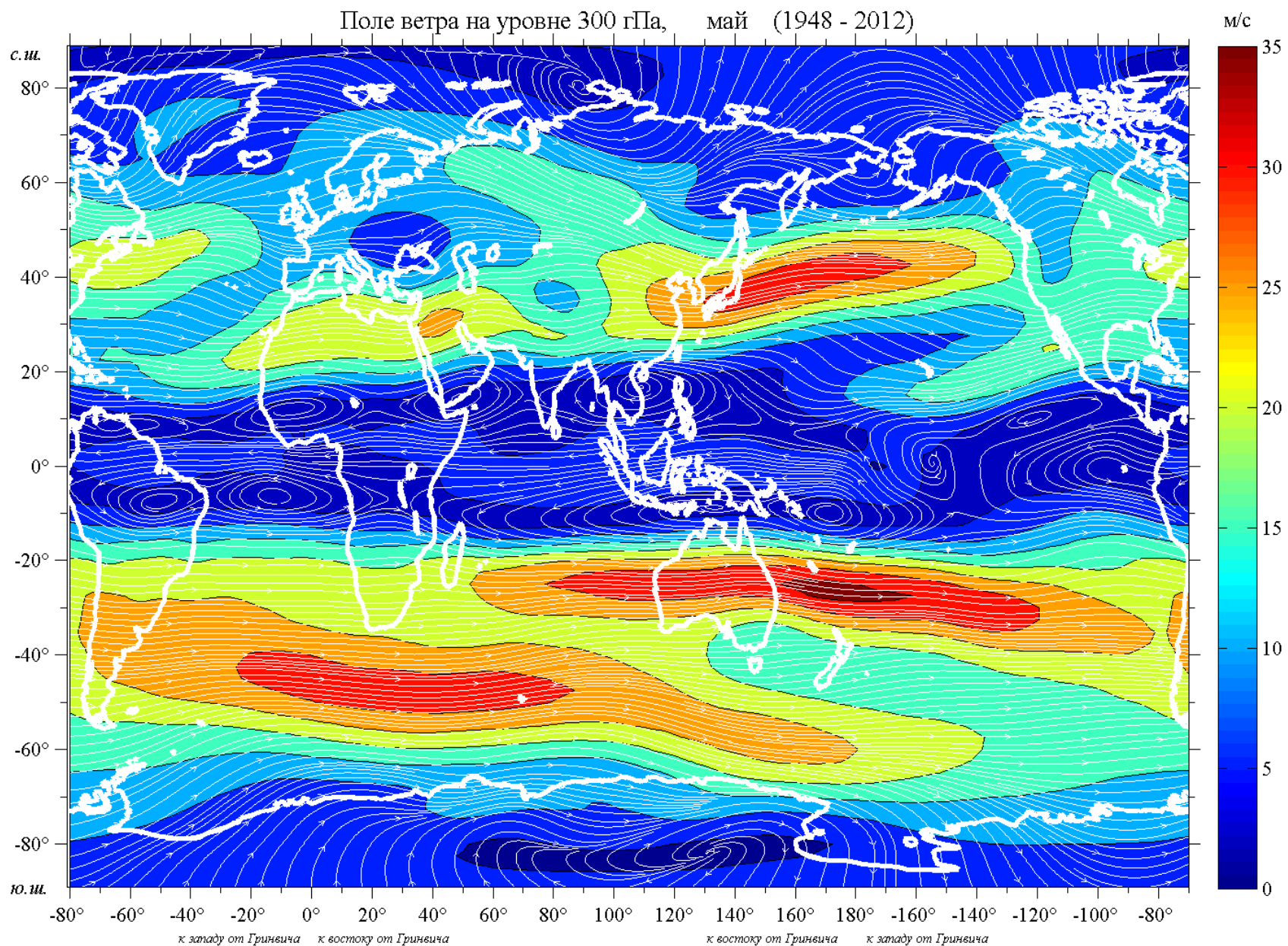


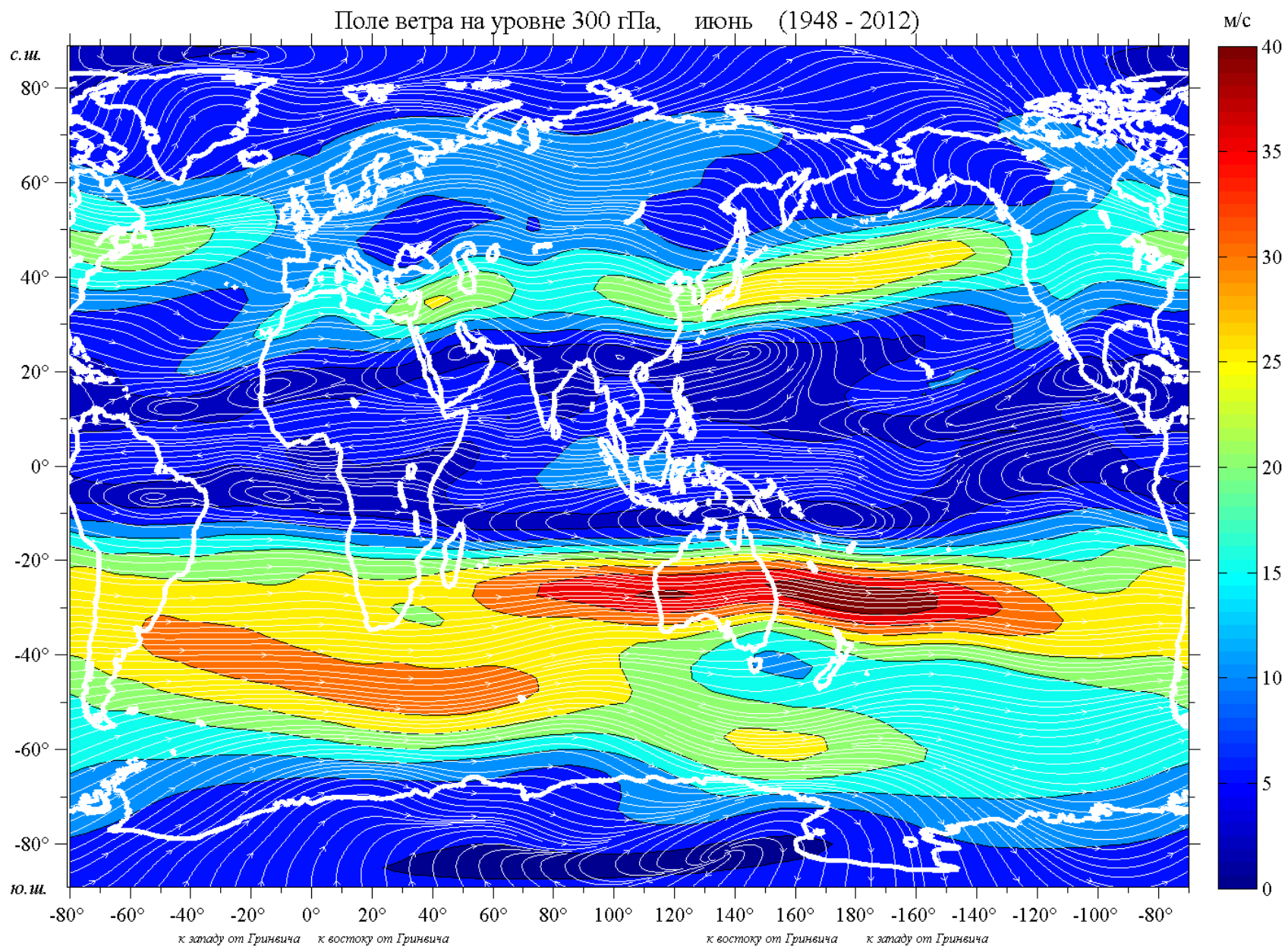


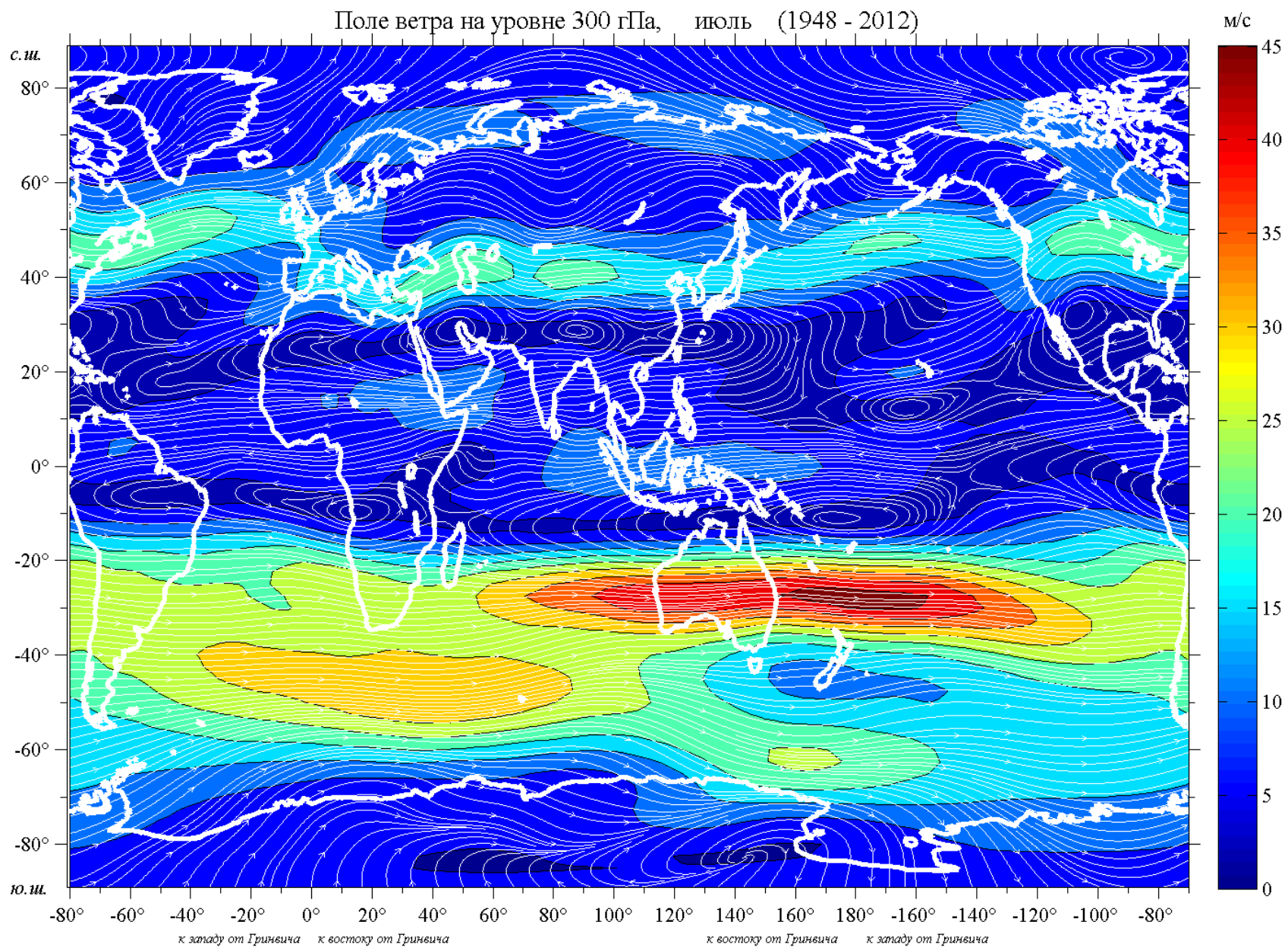




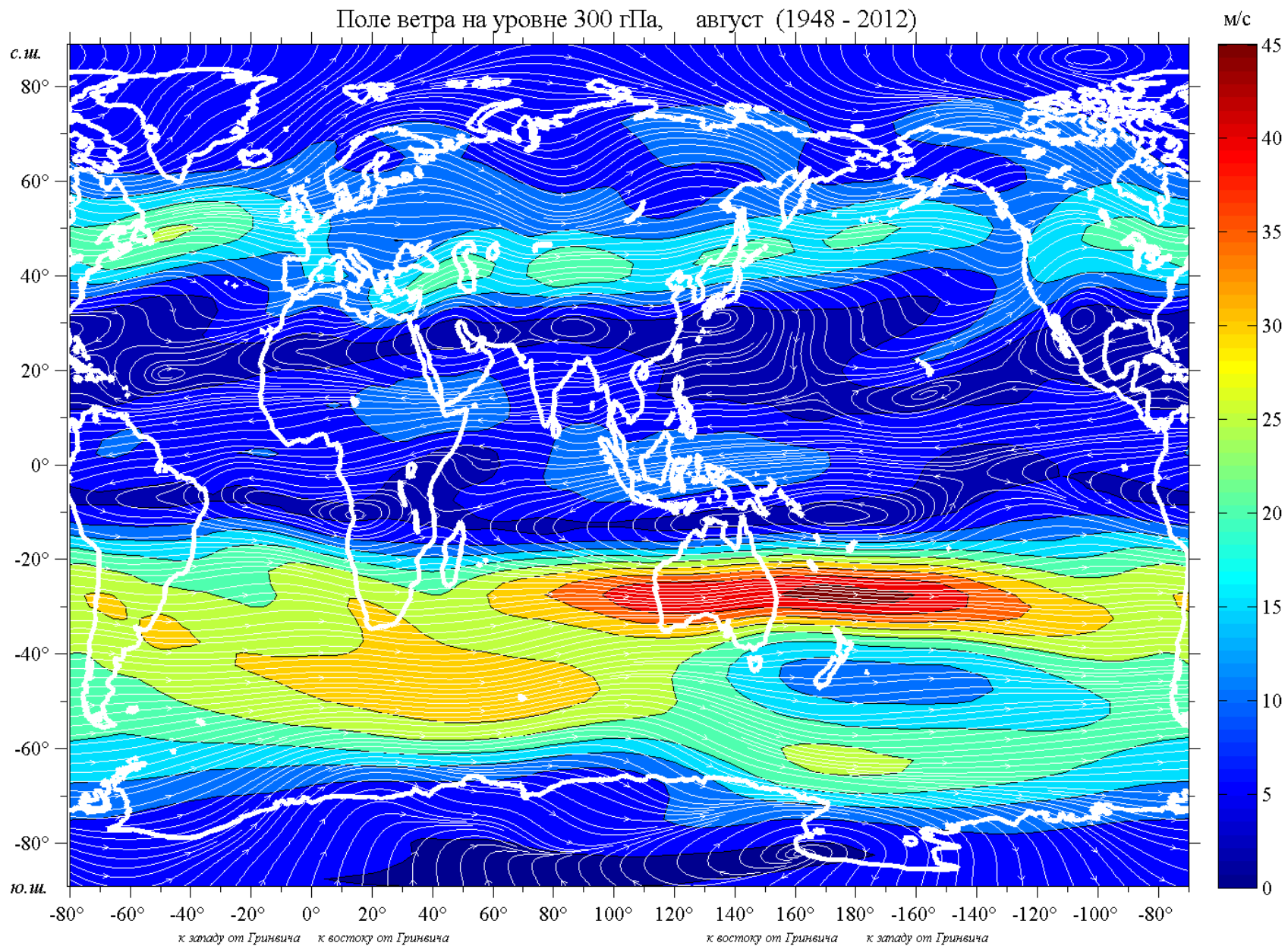


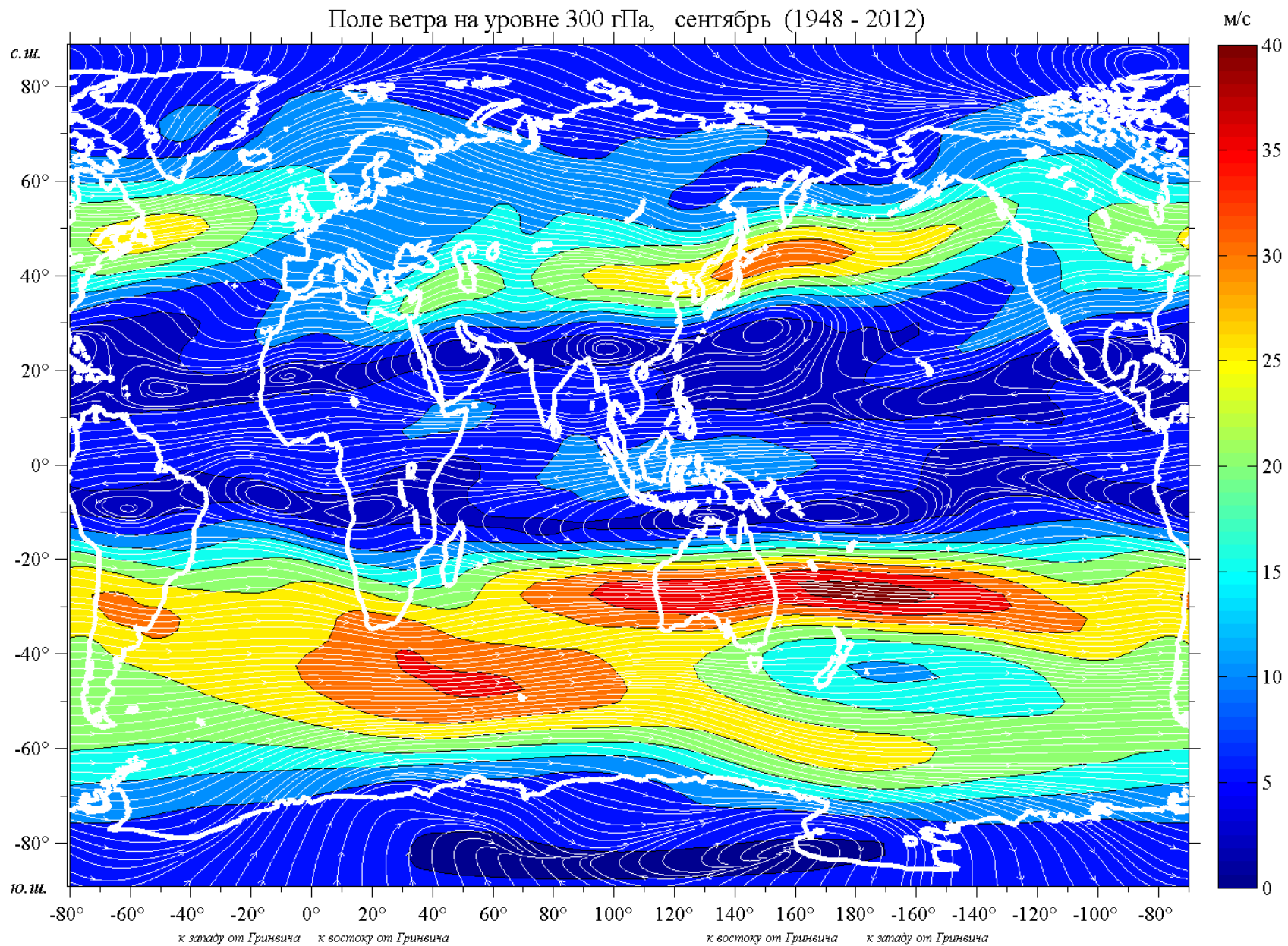


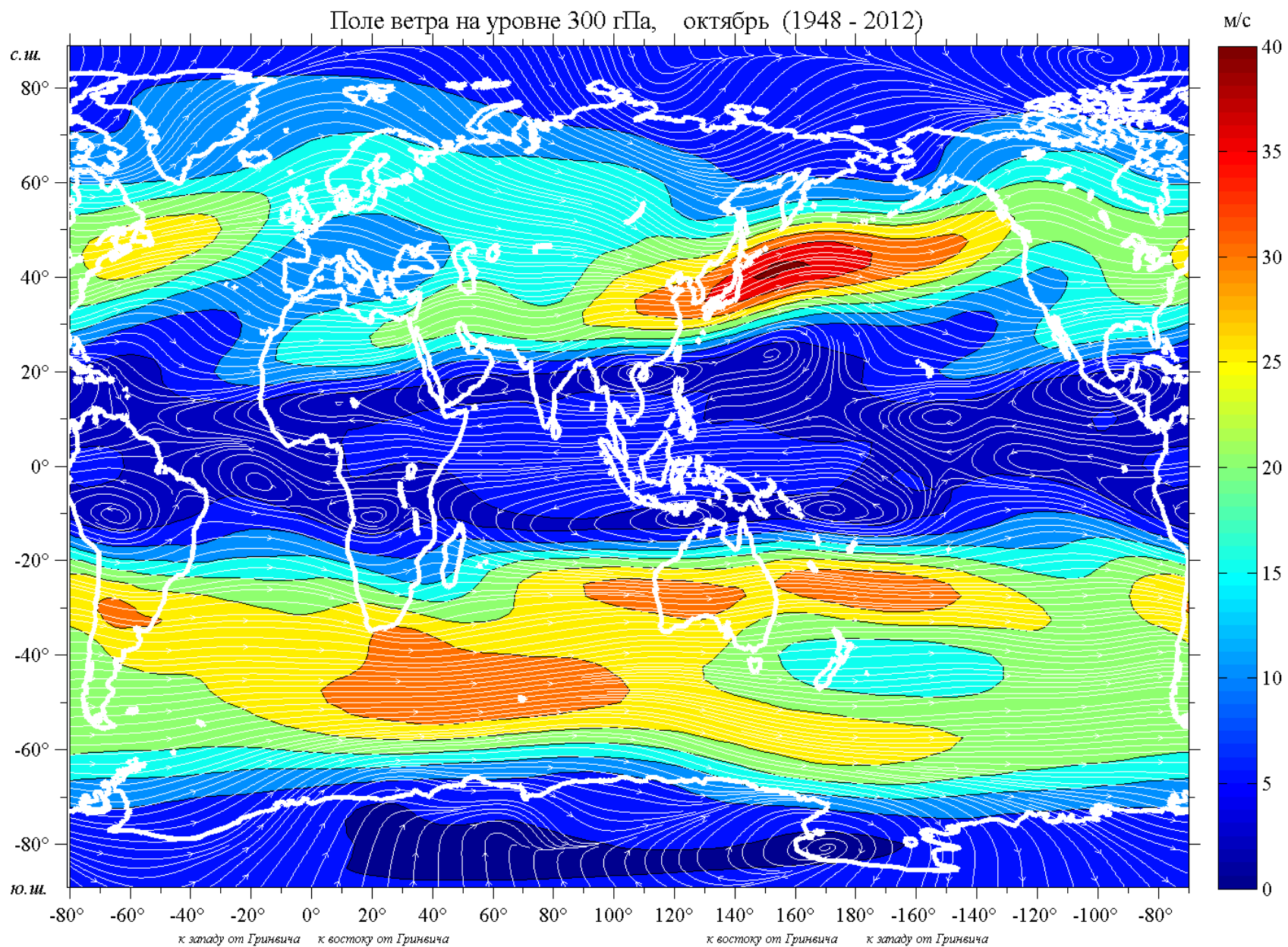




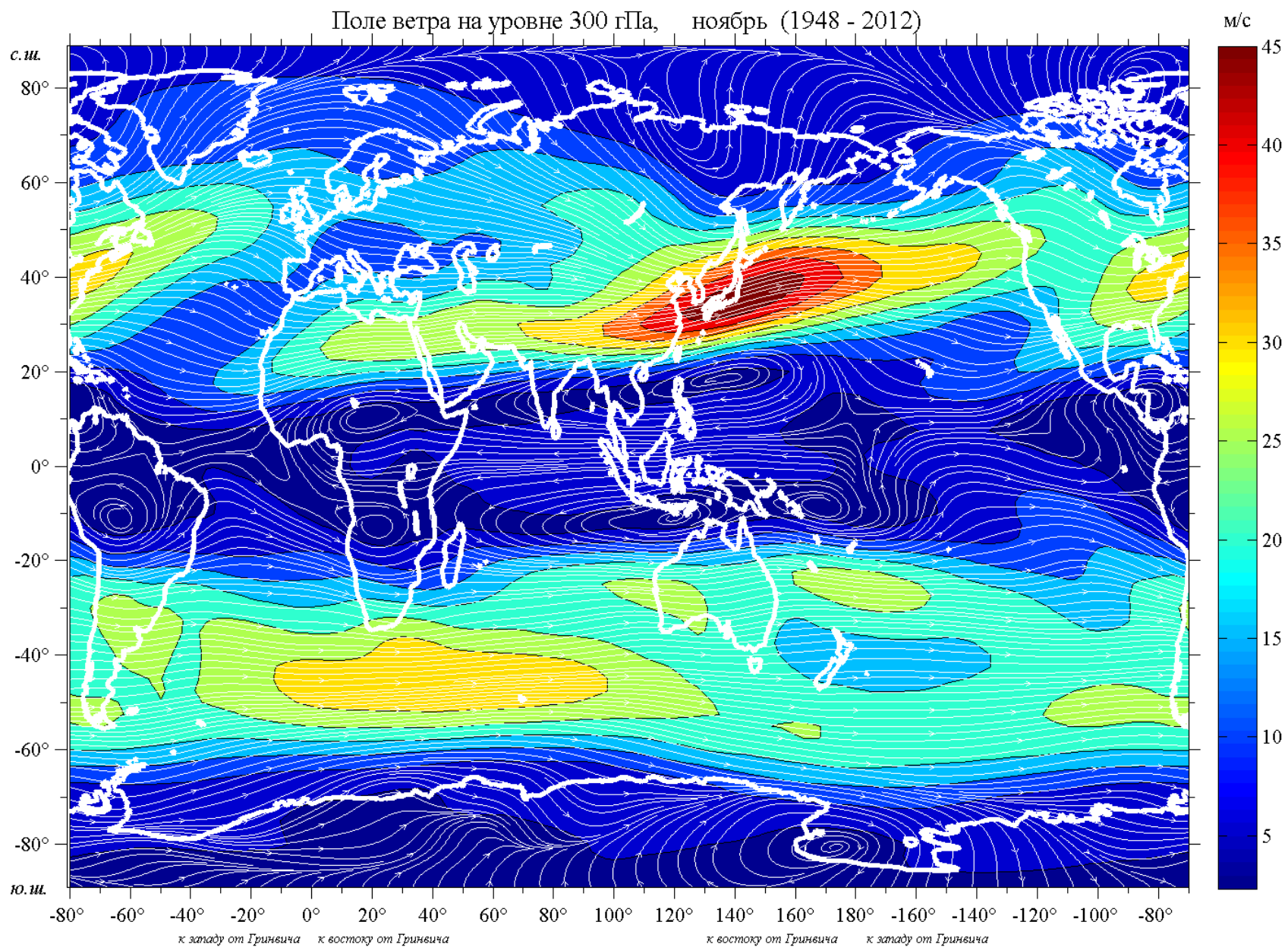


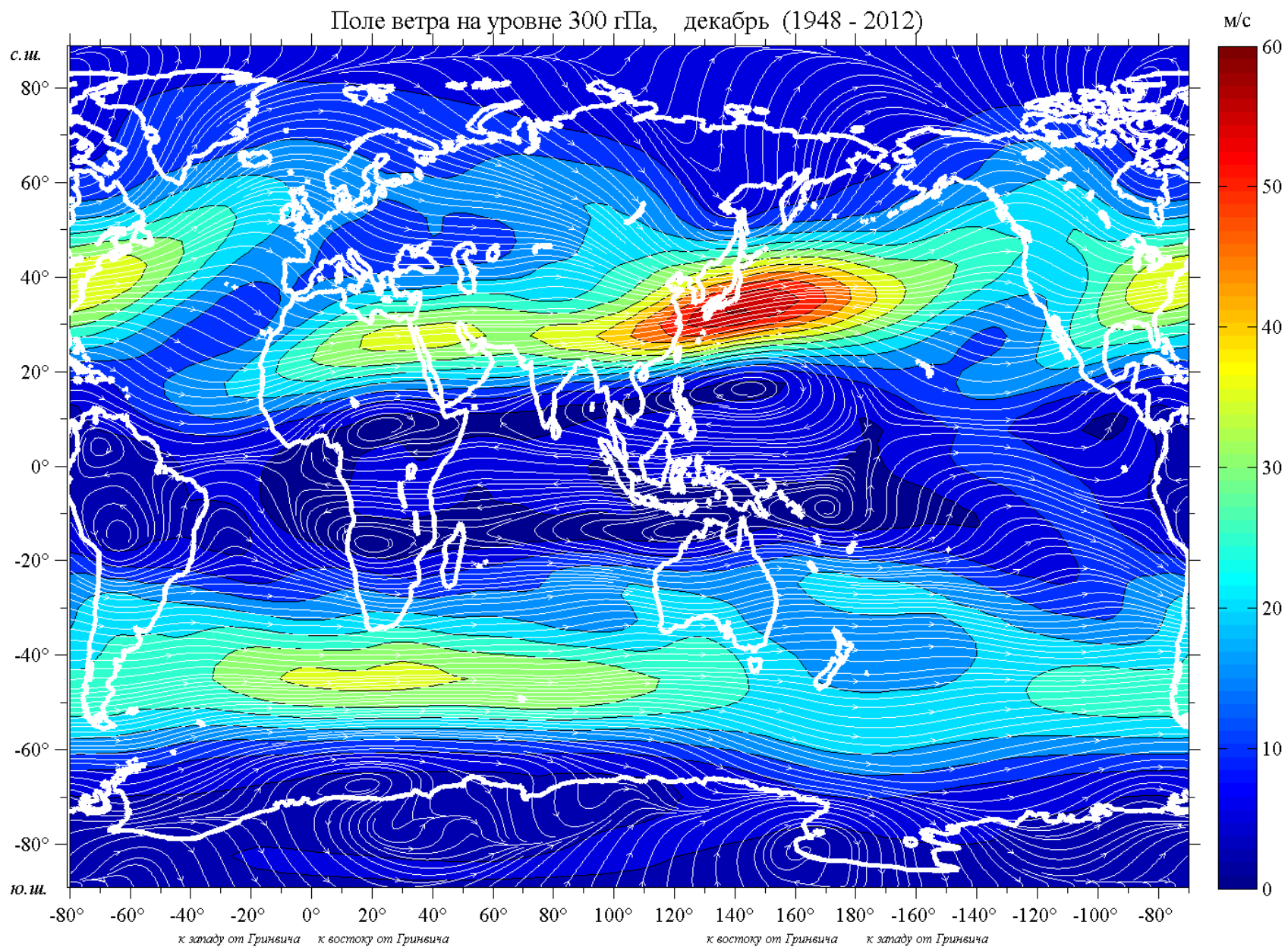








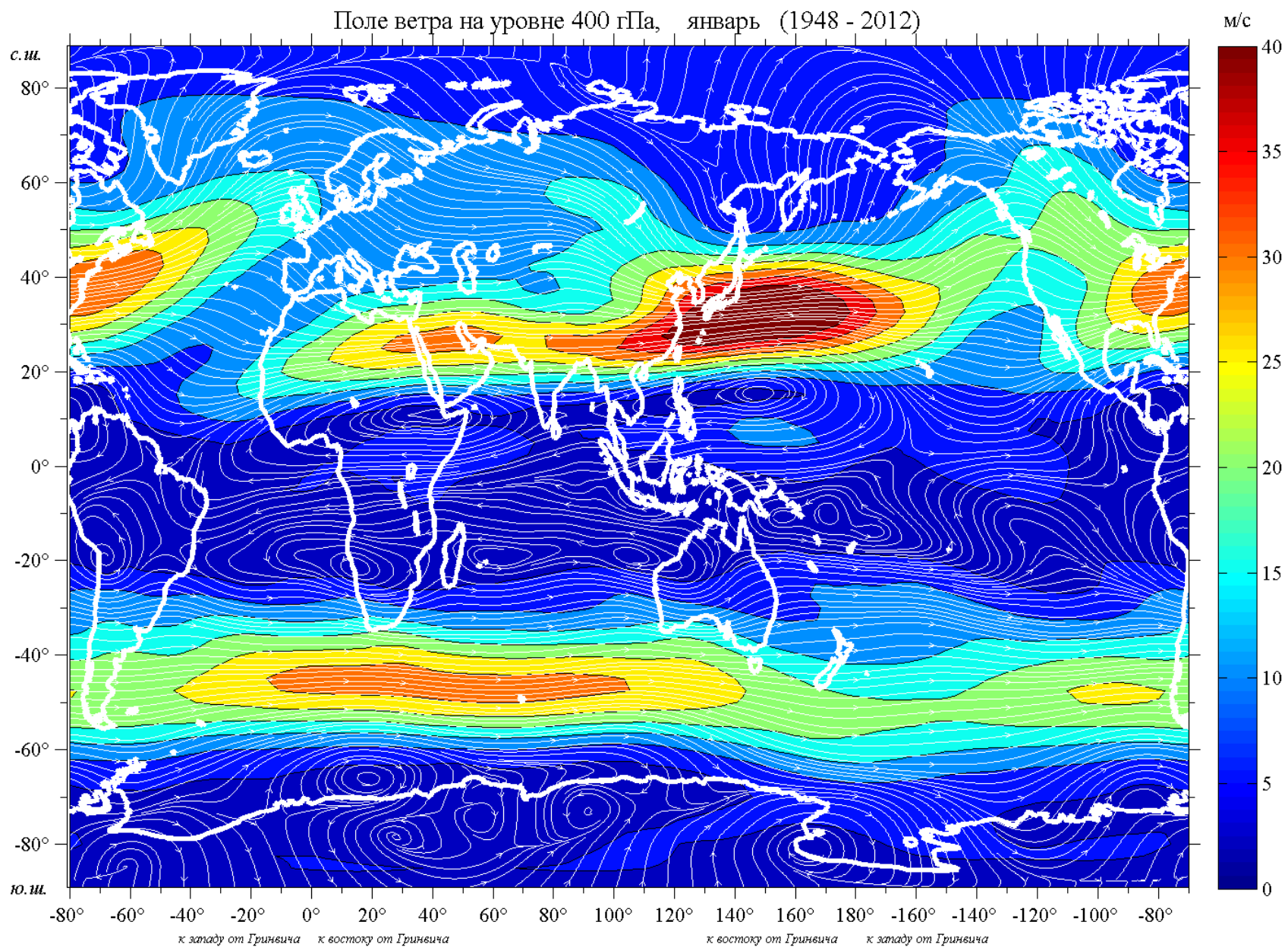


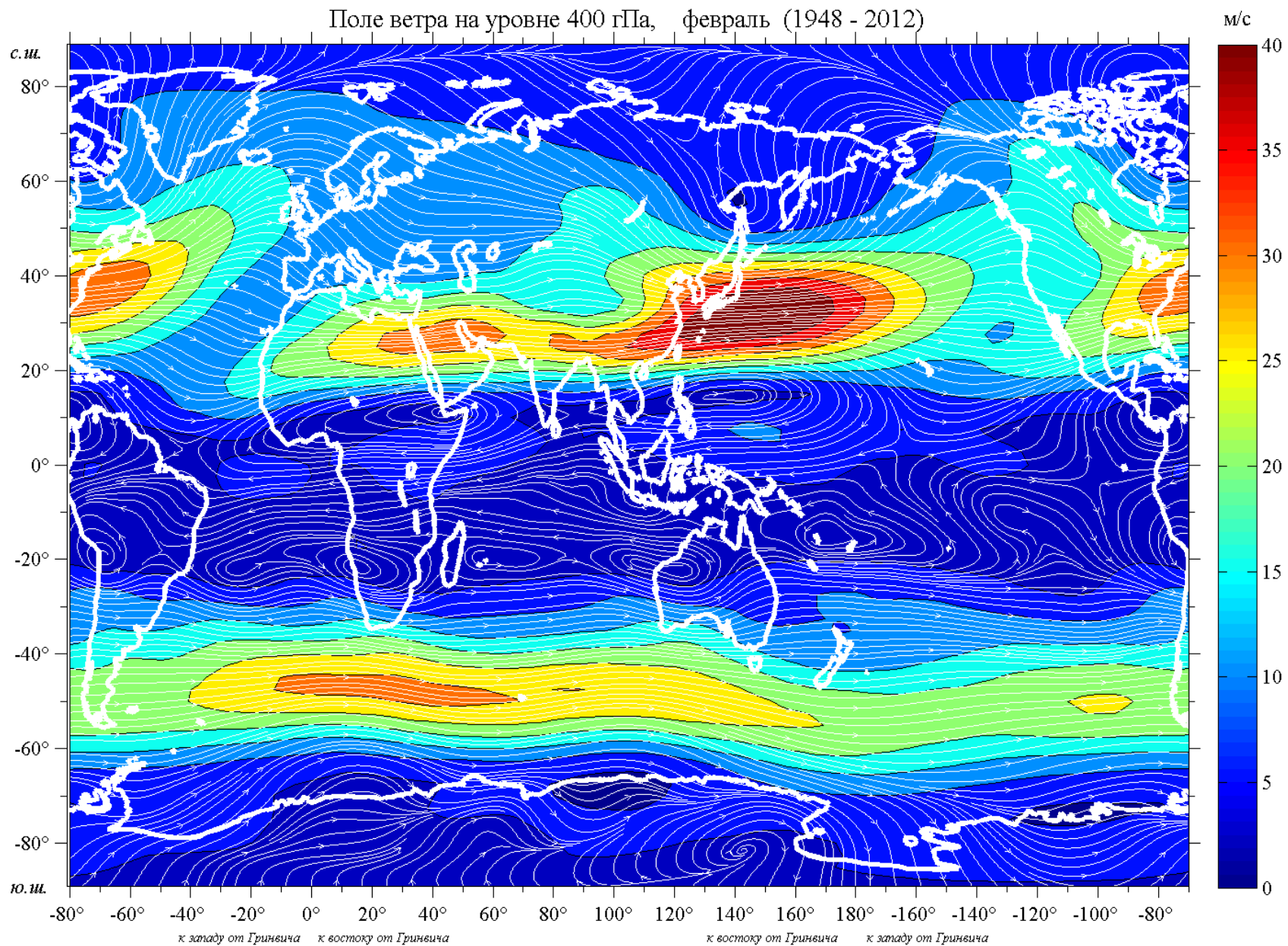


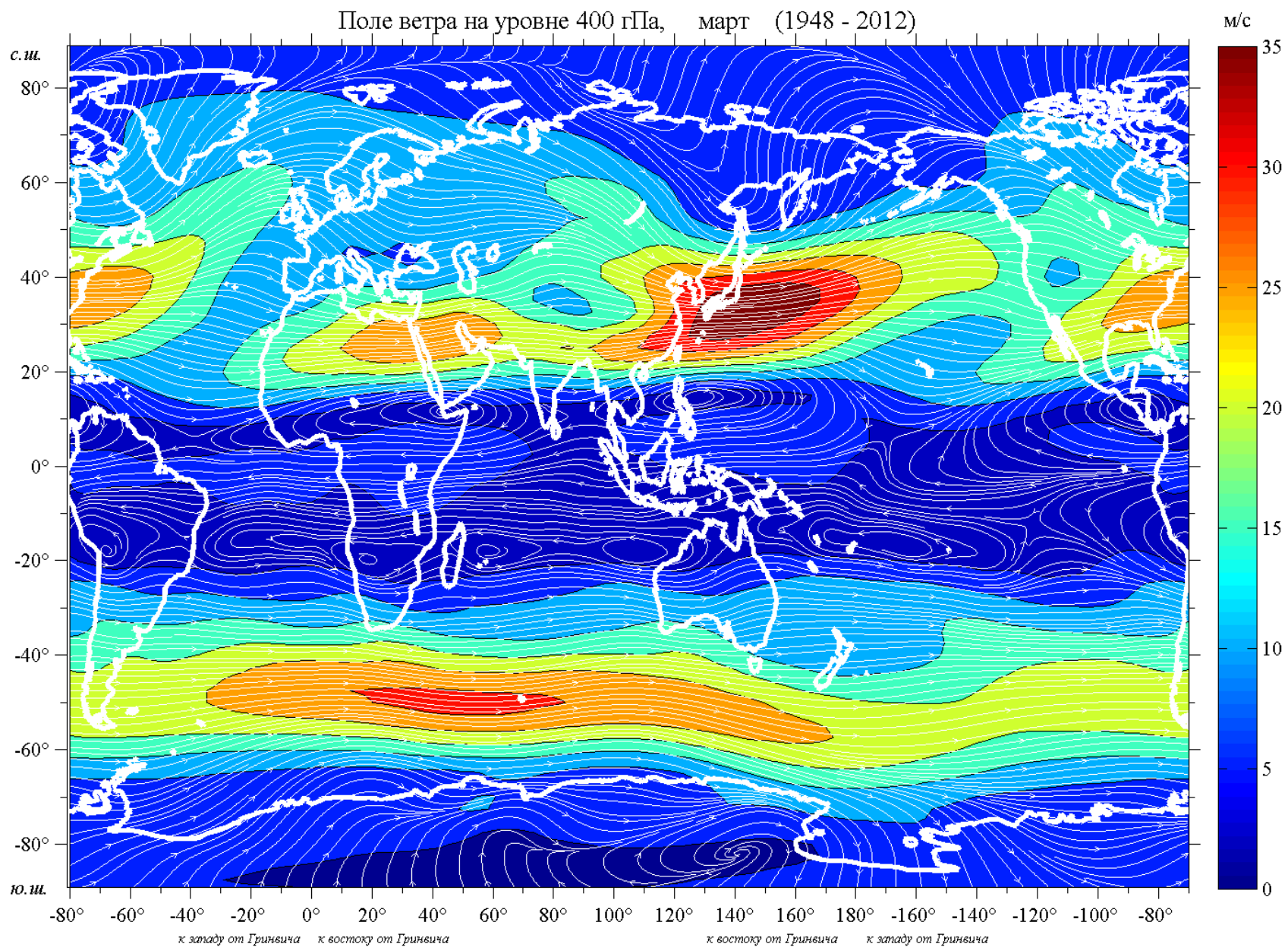
## **6. Поле ветра на уровне 400 гПа**

На картах для каждого месяца с шагом 5м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

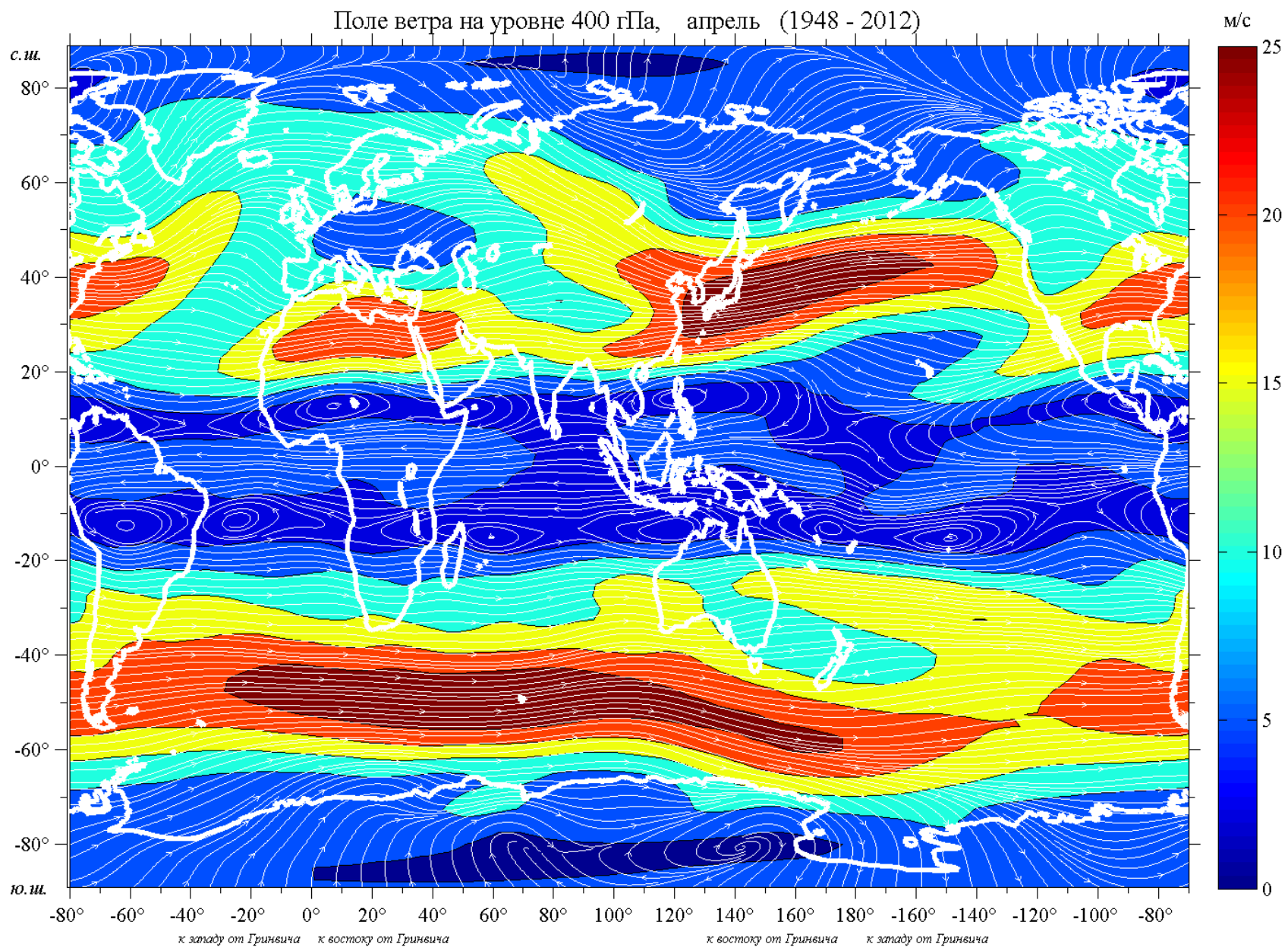


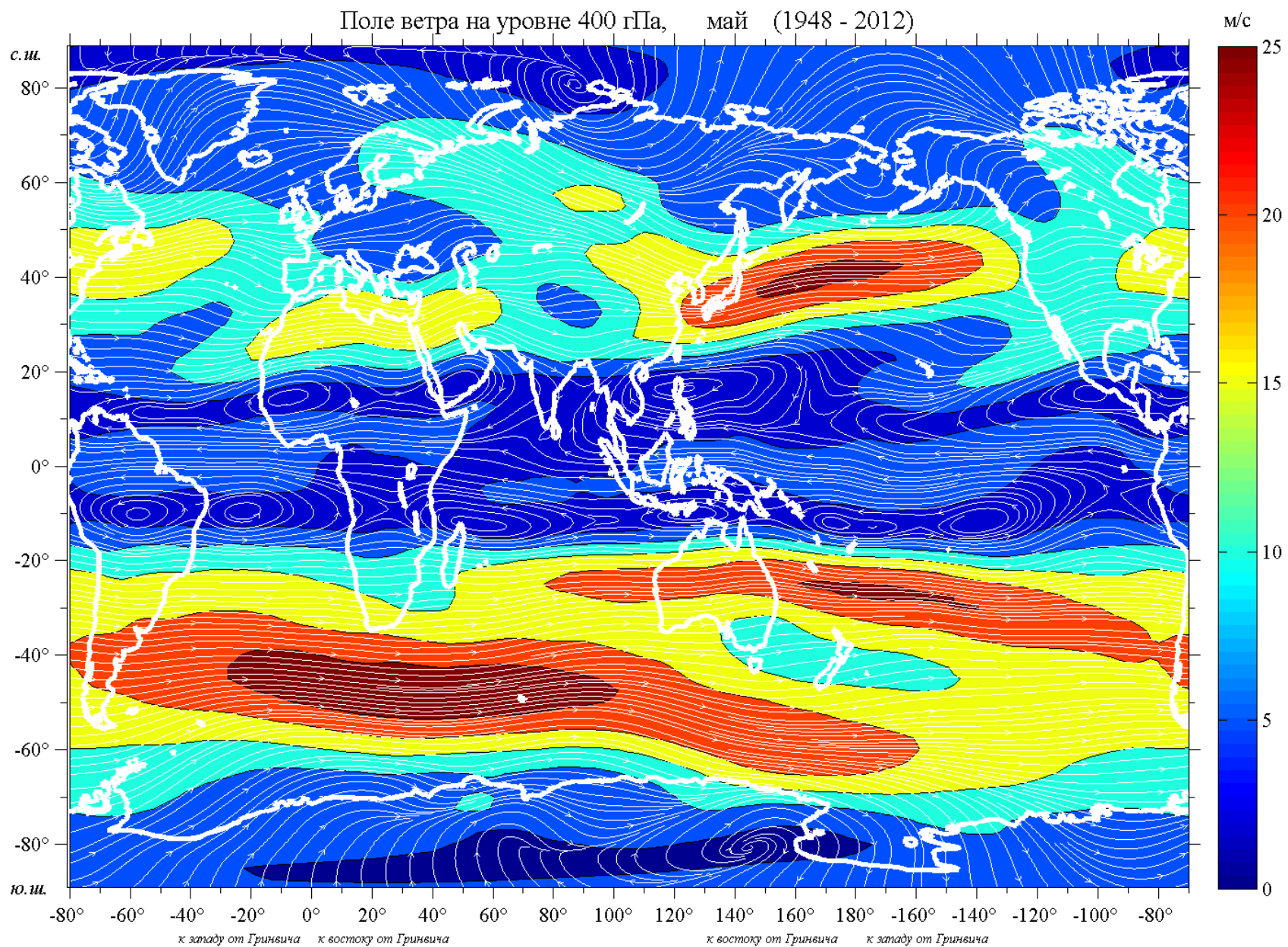


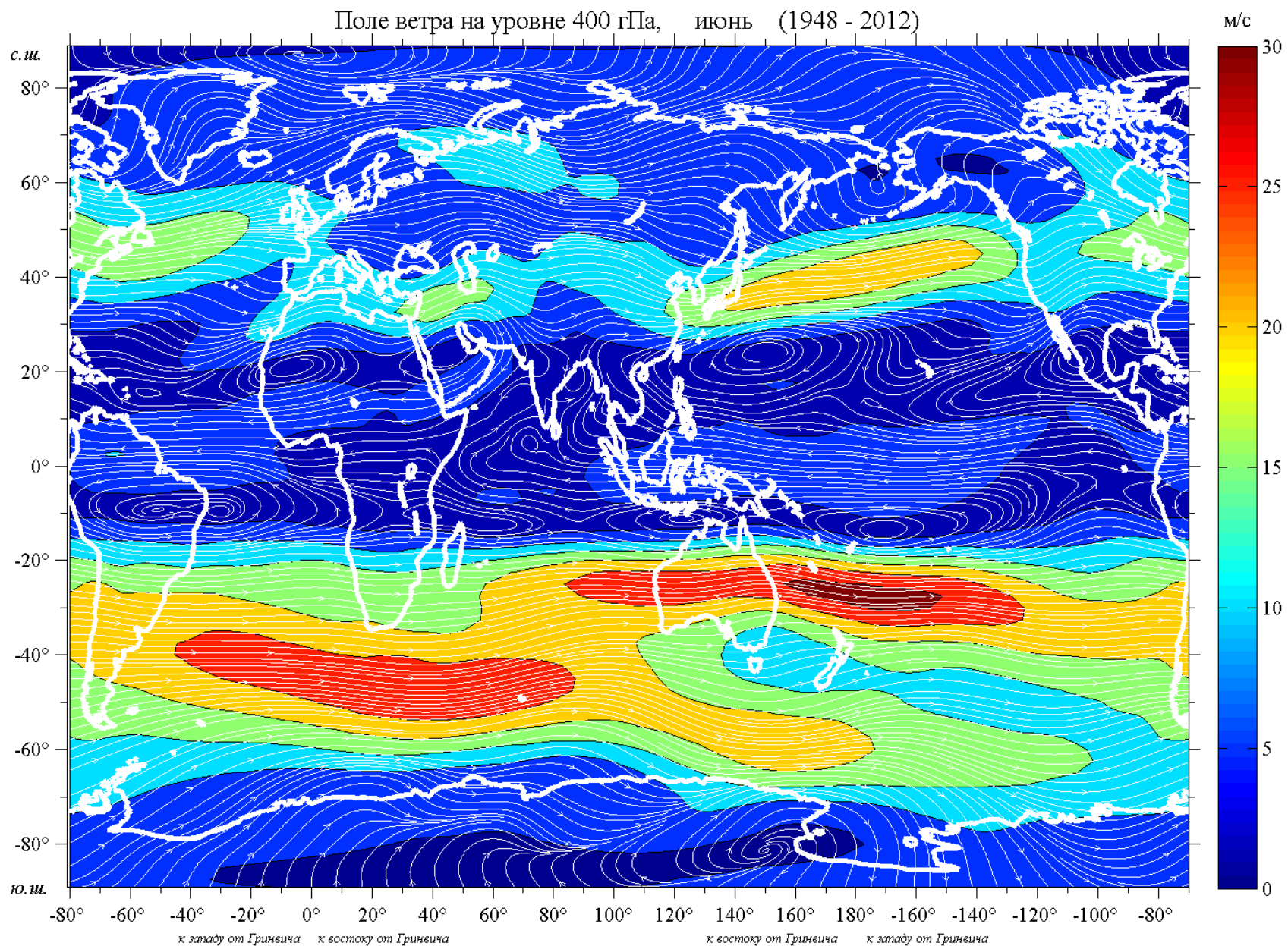




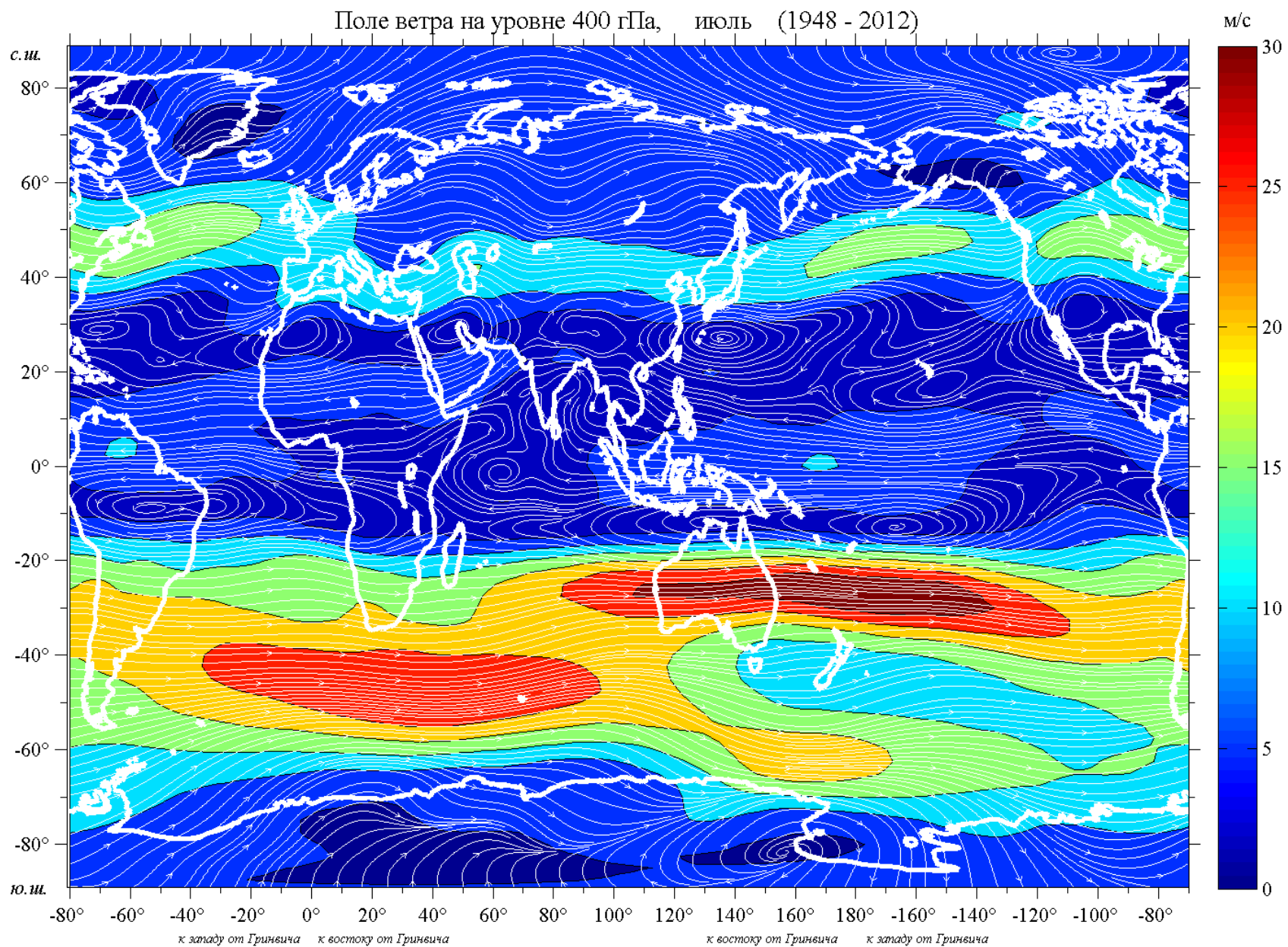


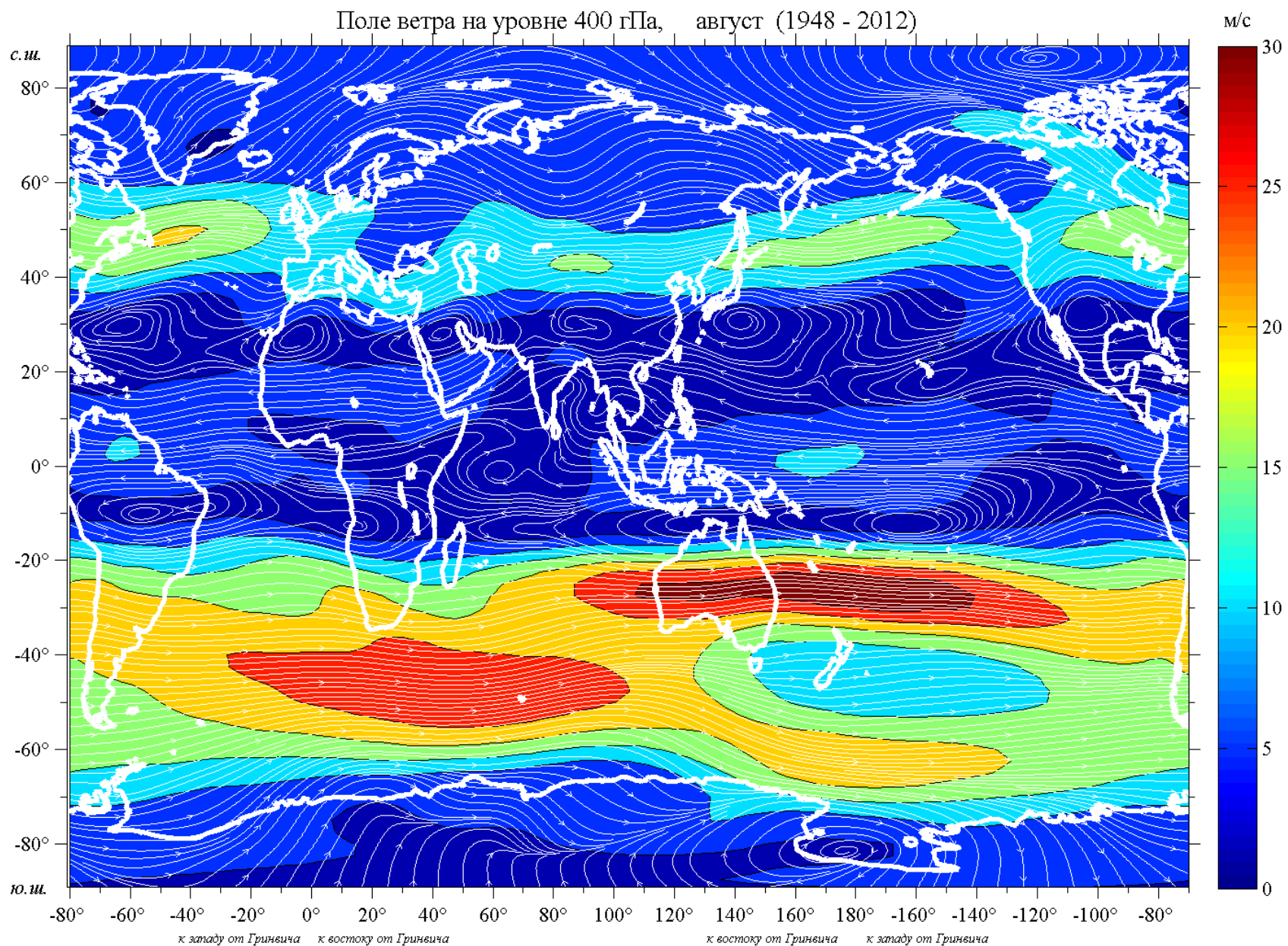


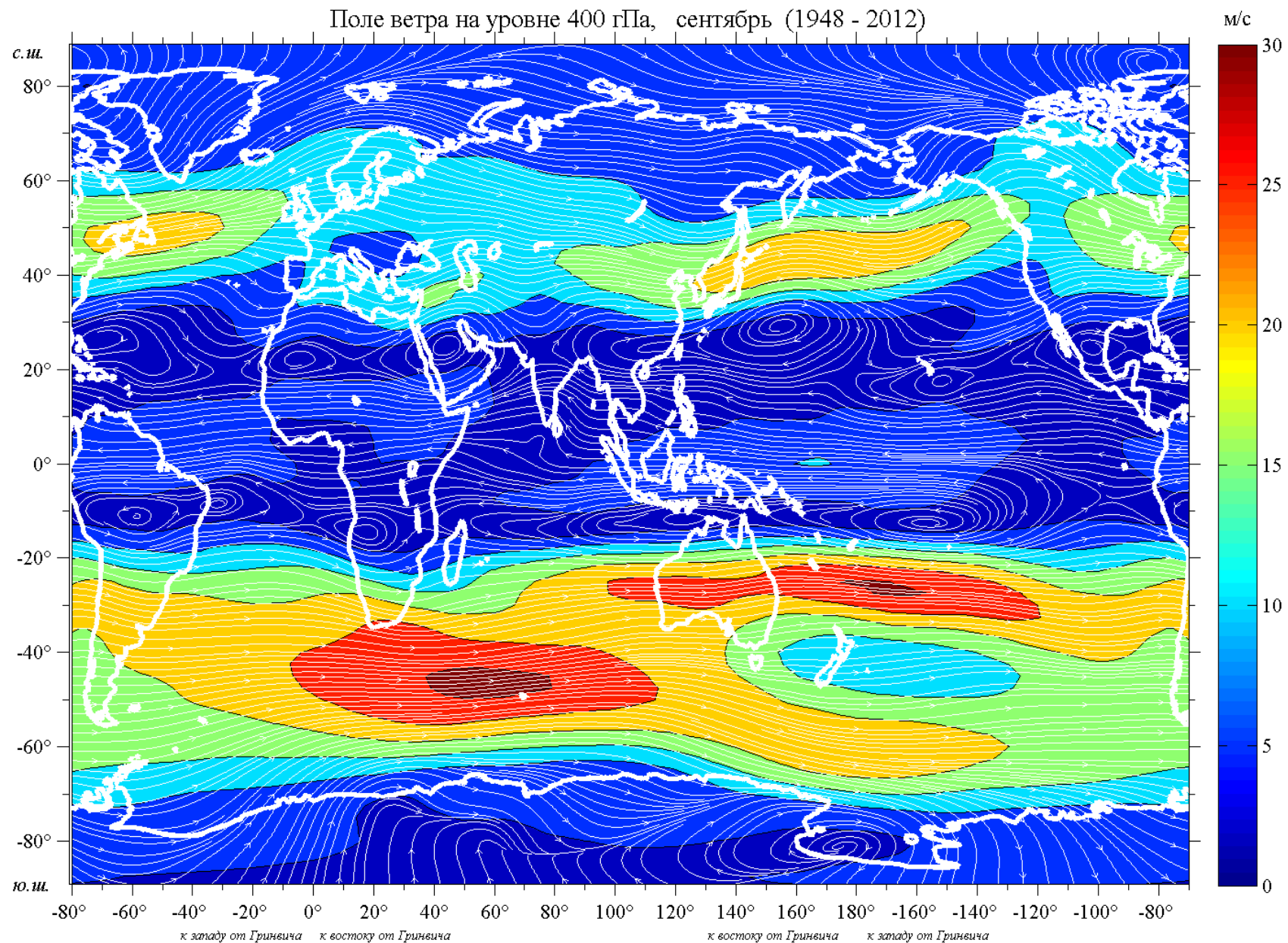




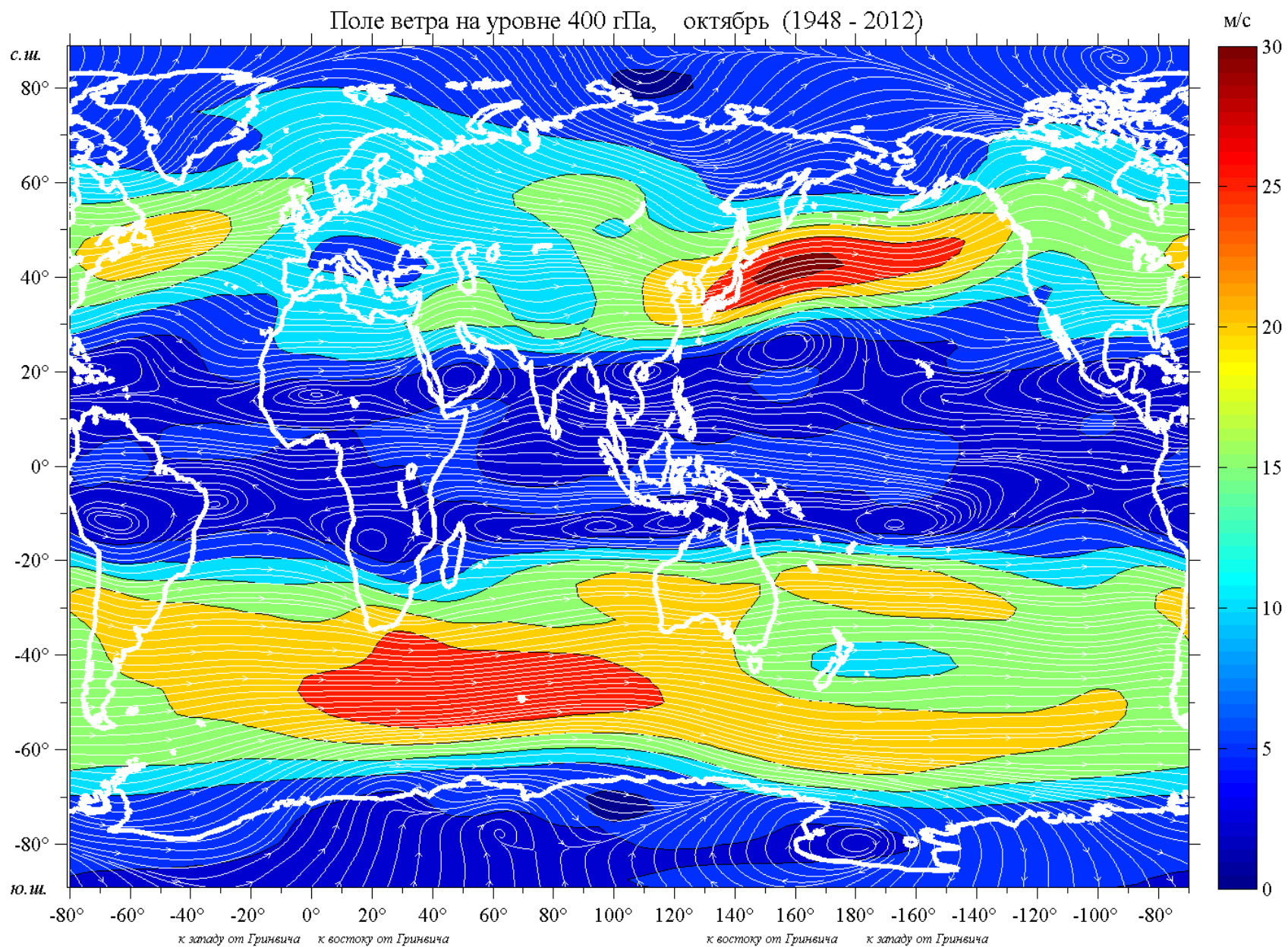


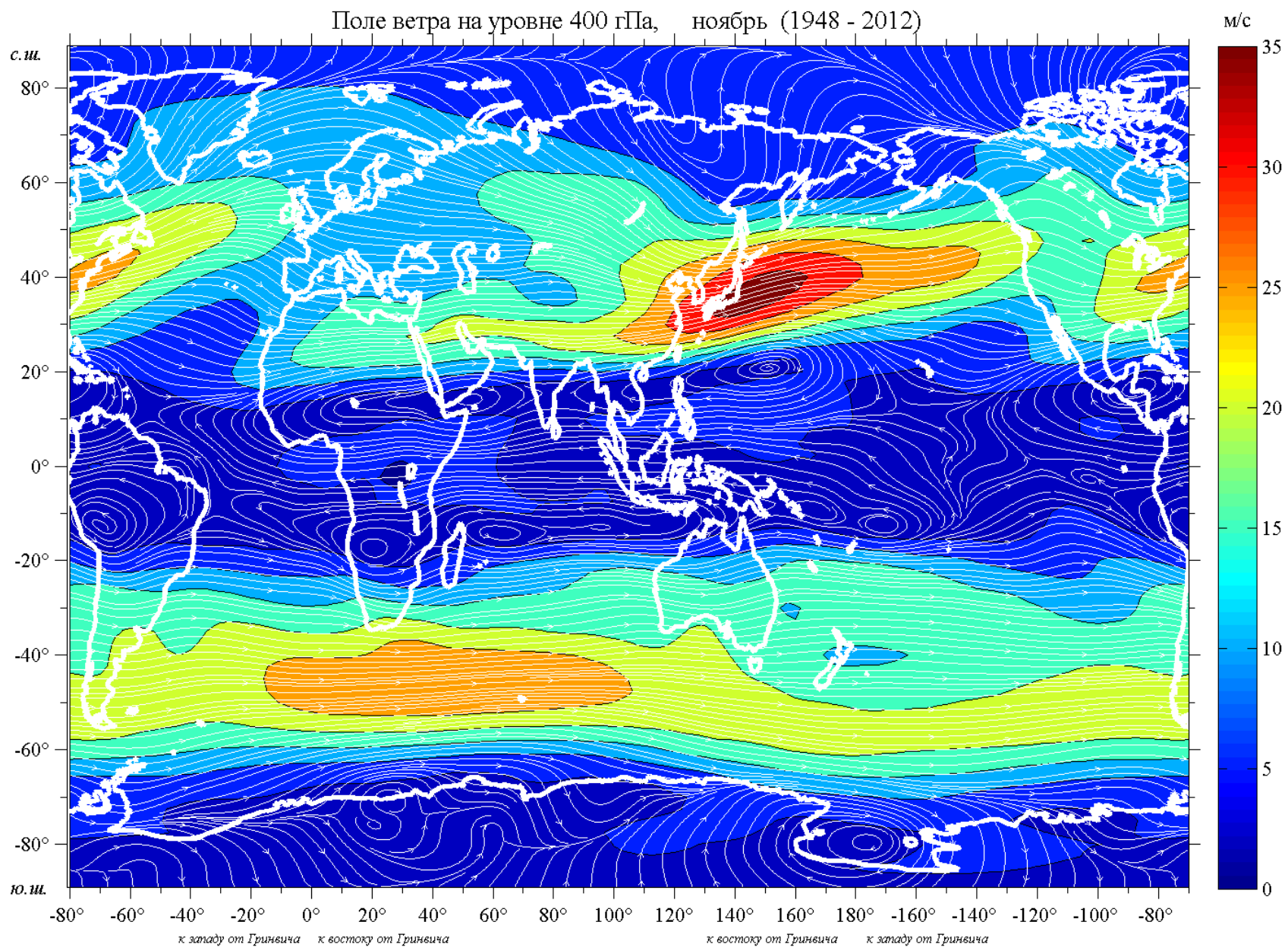


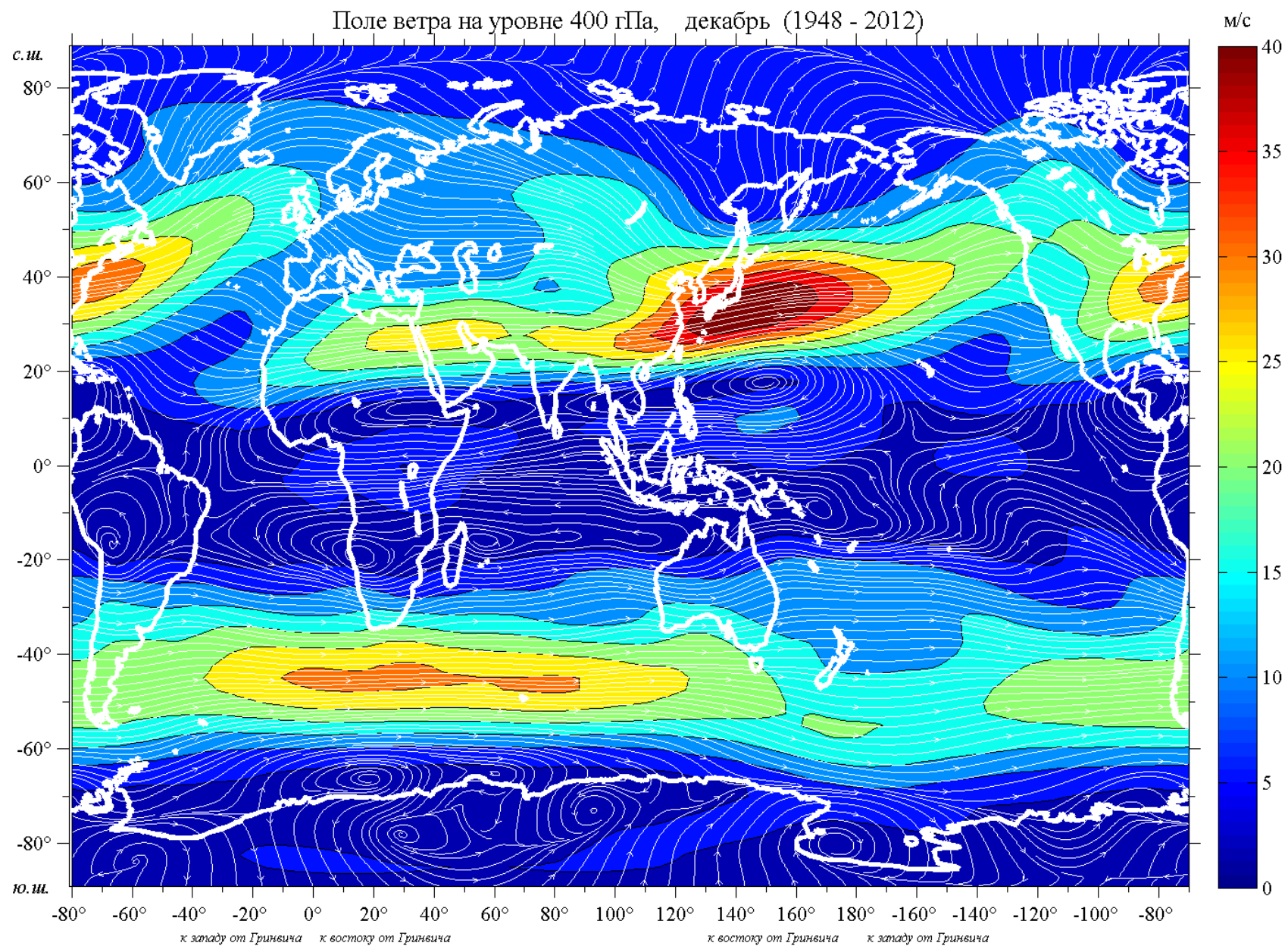








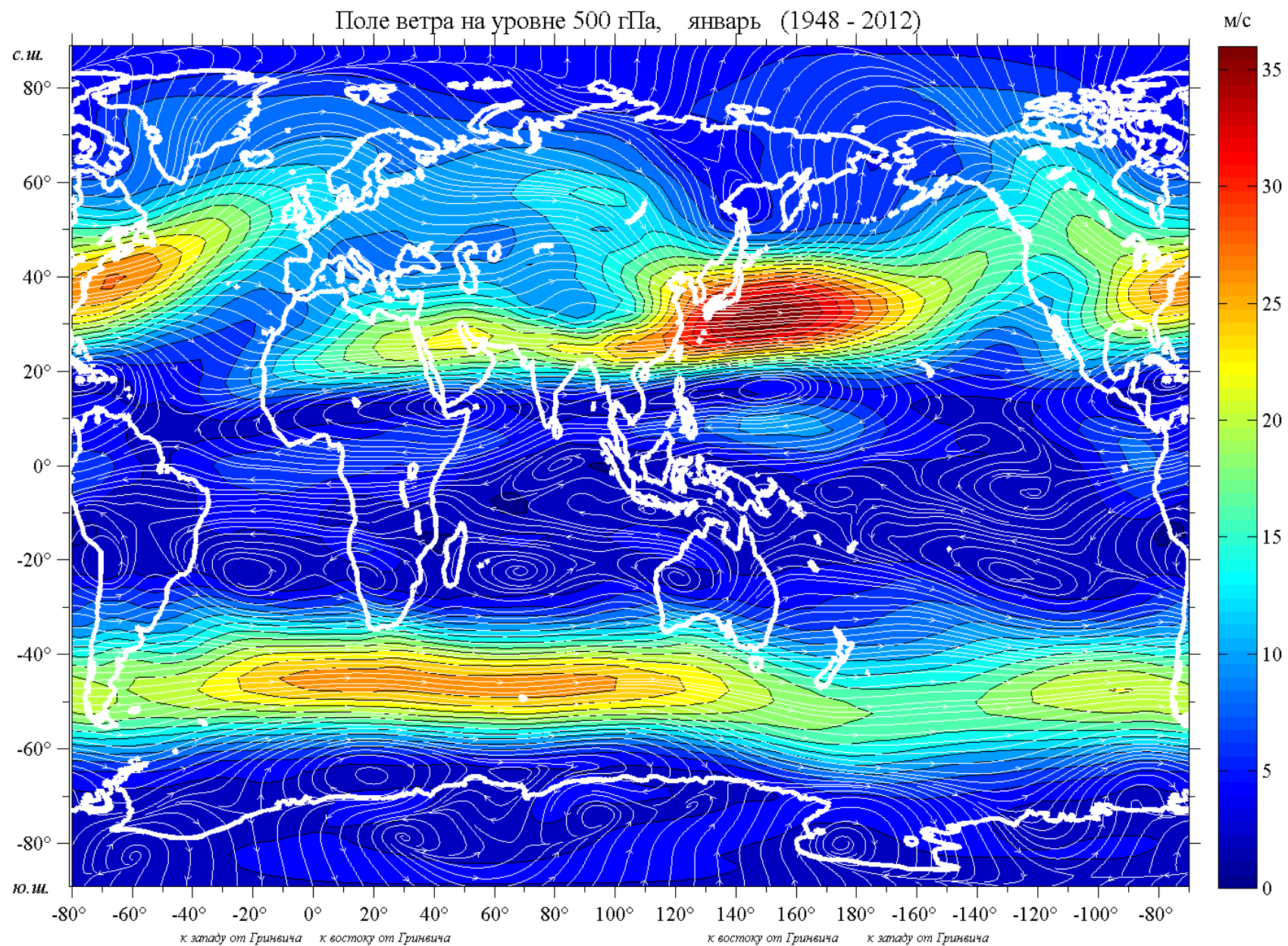


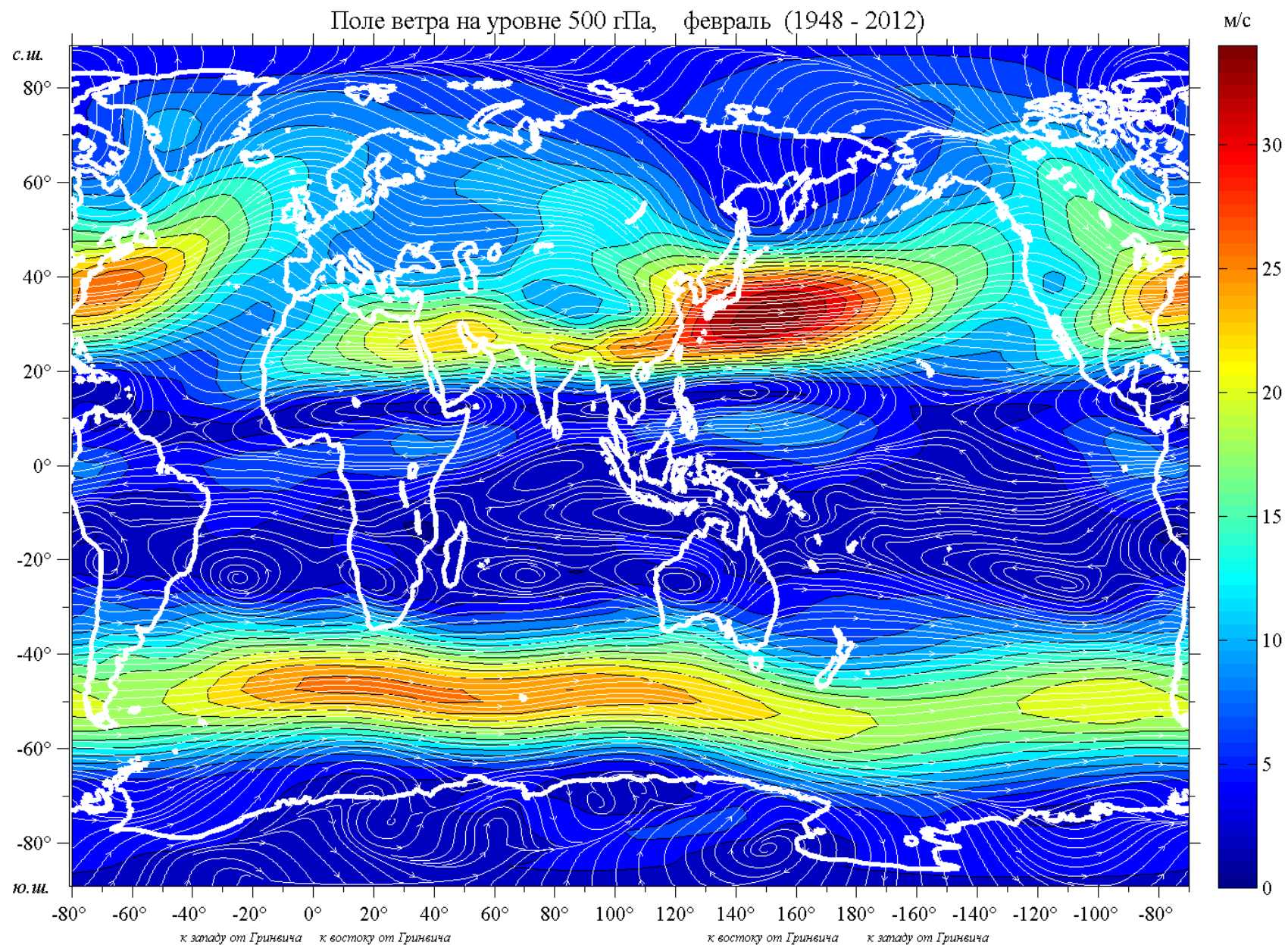




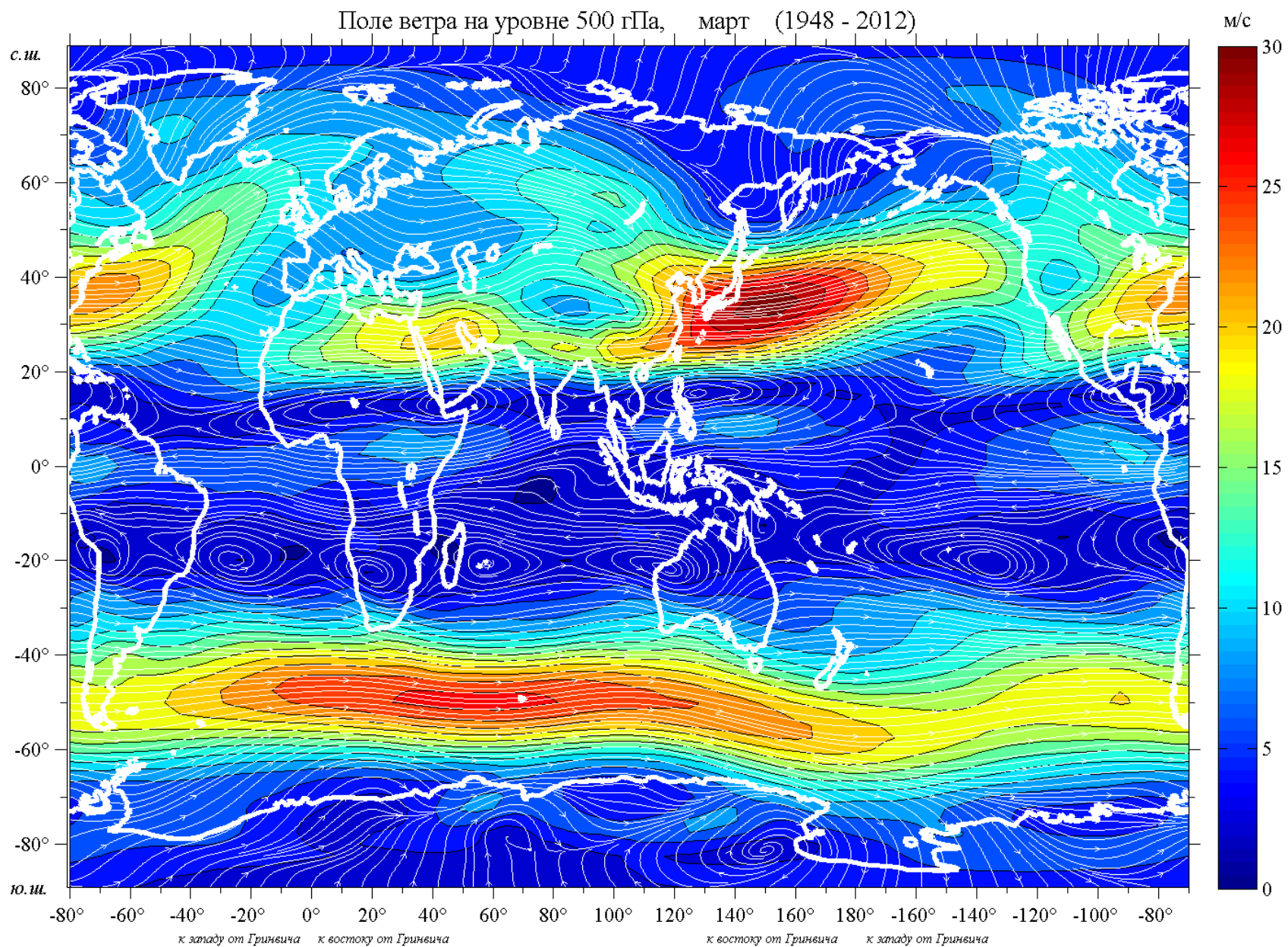
## **7. Поле ветра на уровне 500 гПа**

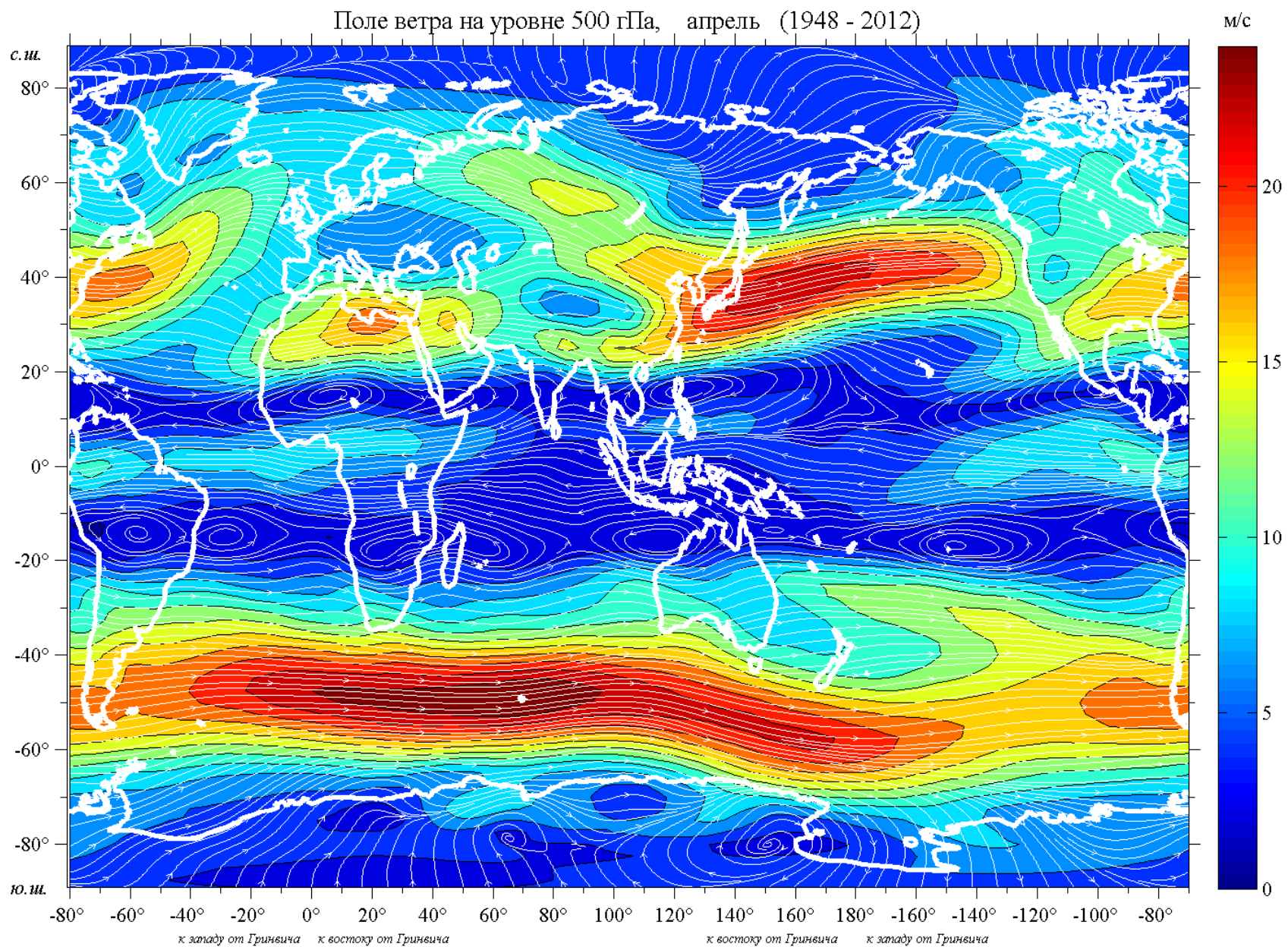
На картах для каждого месяца с шагом 2м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

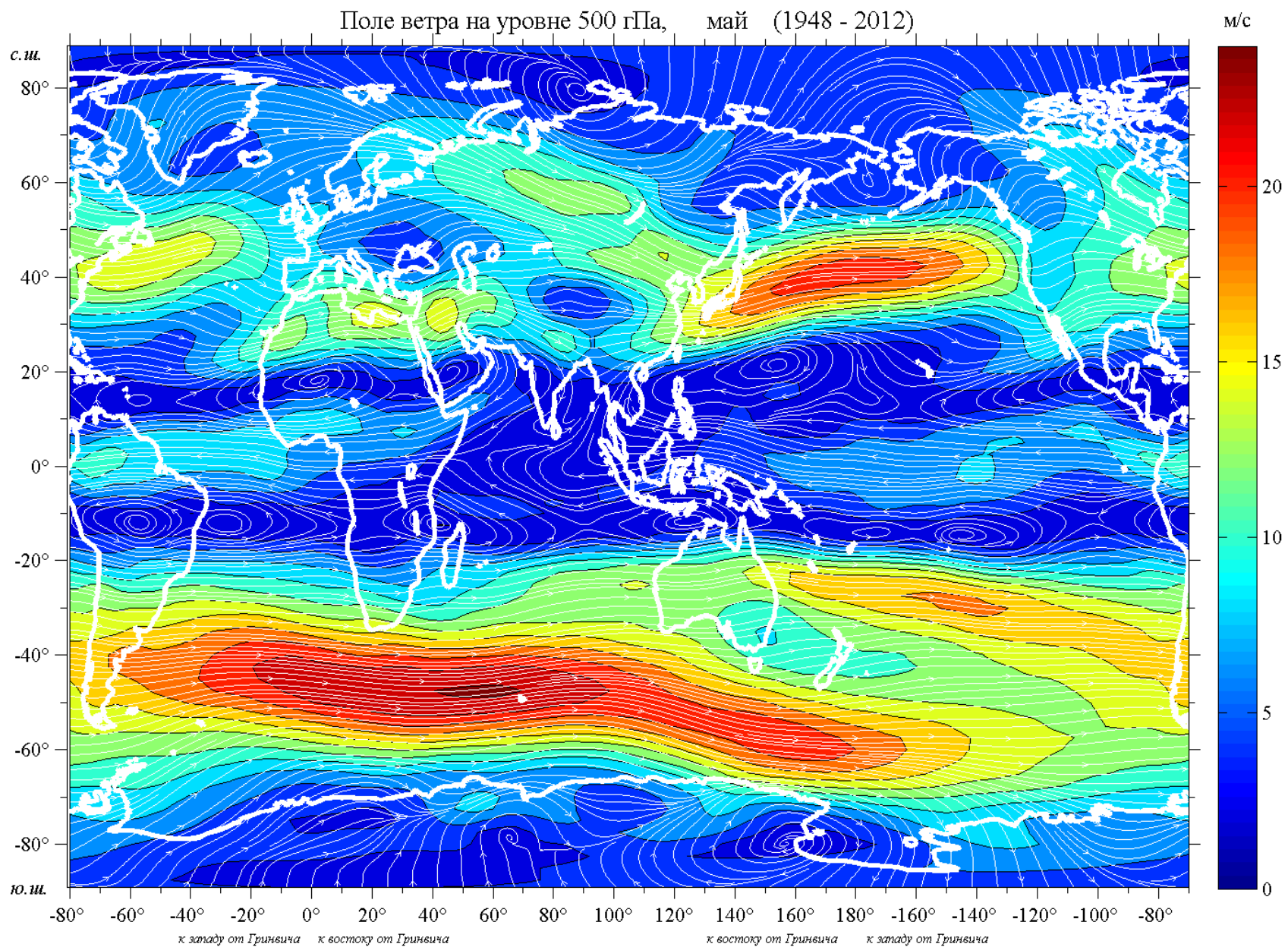




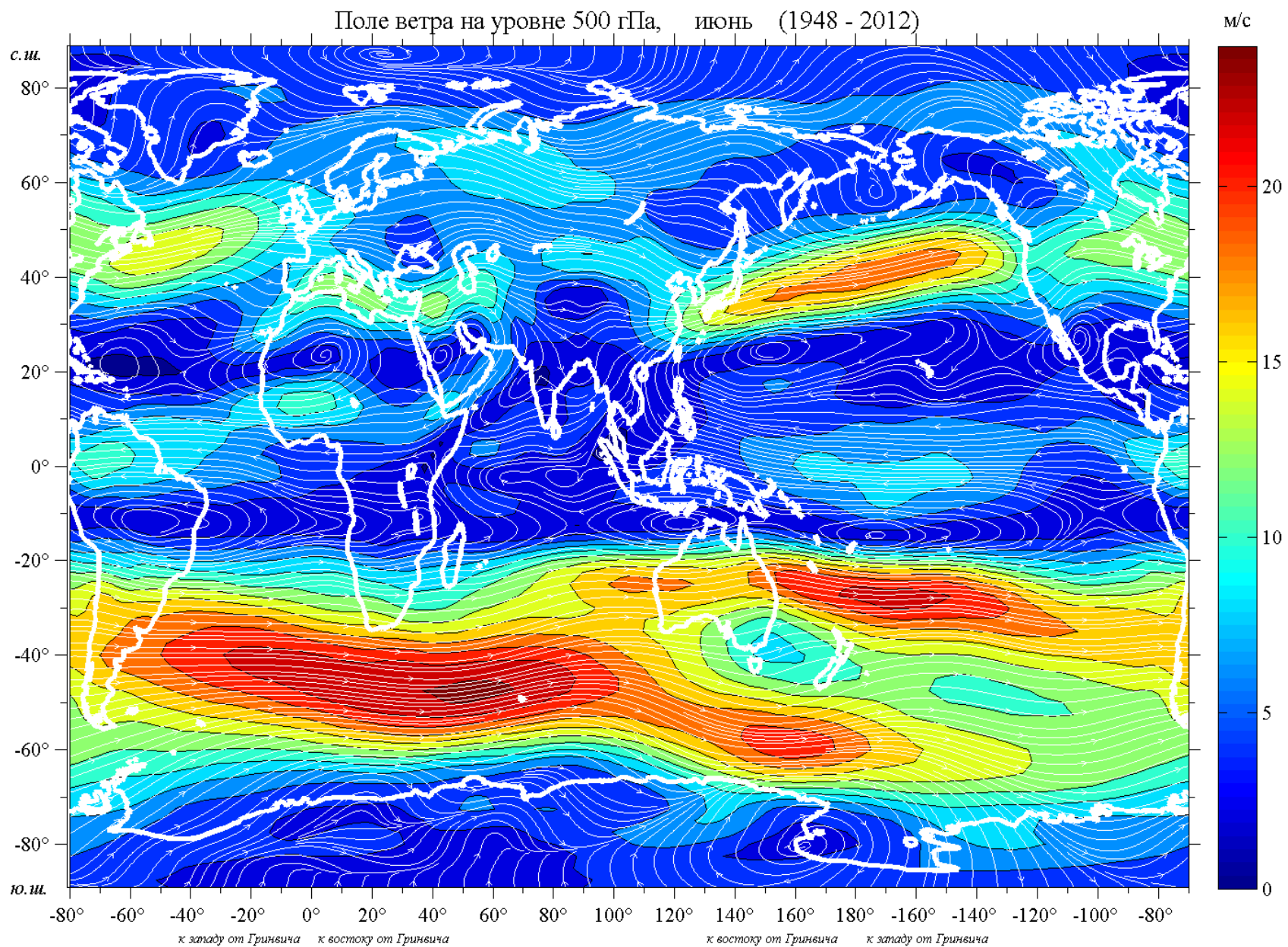


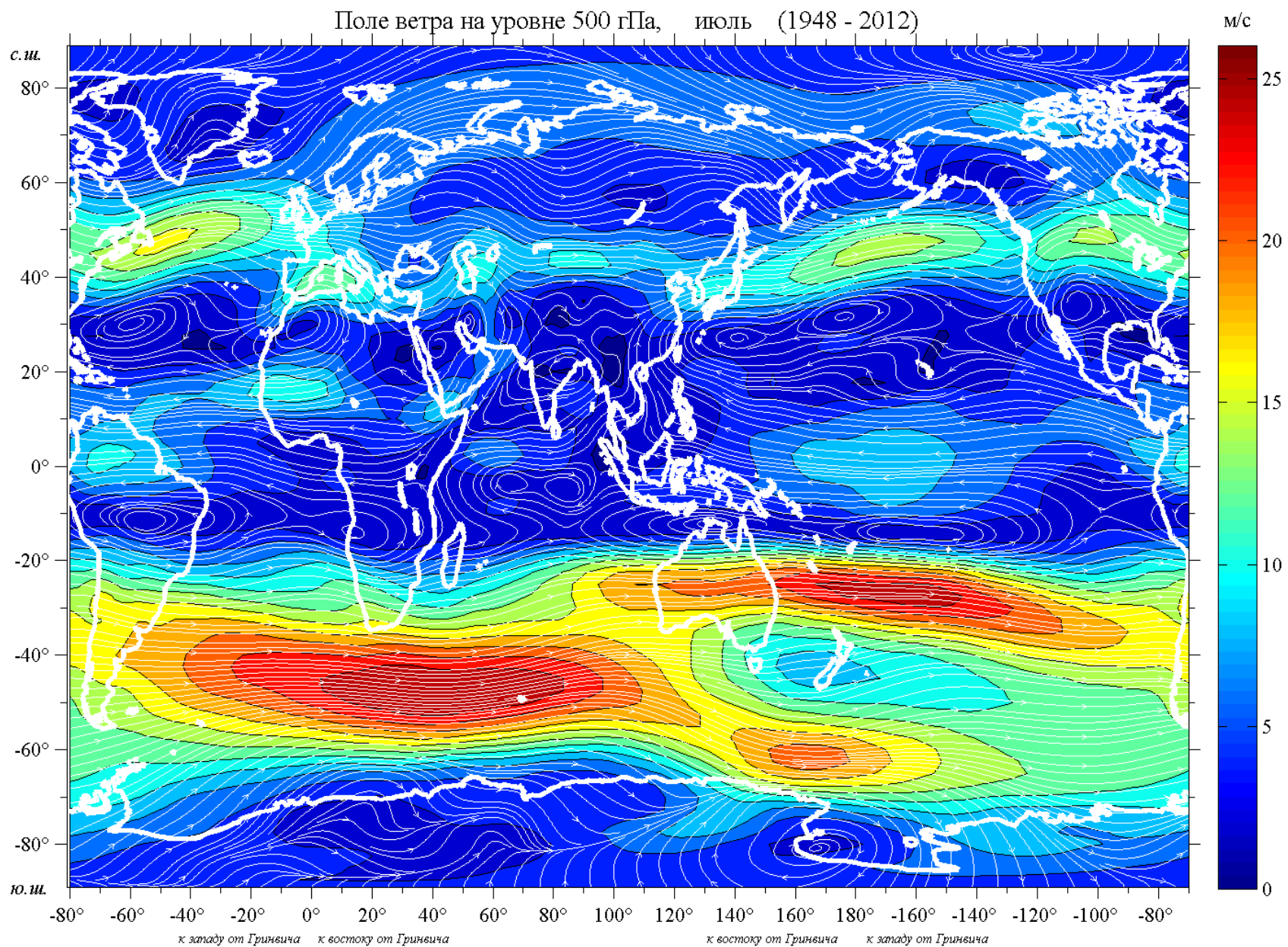


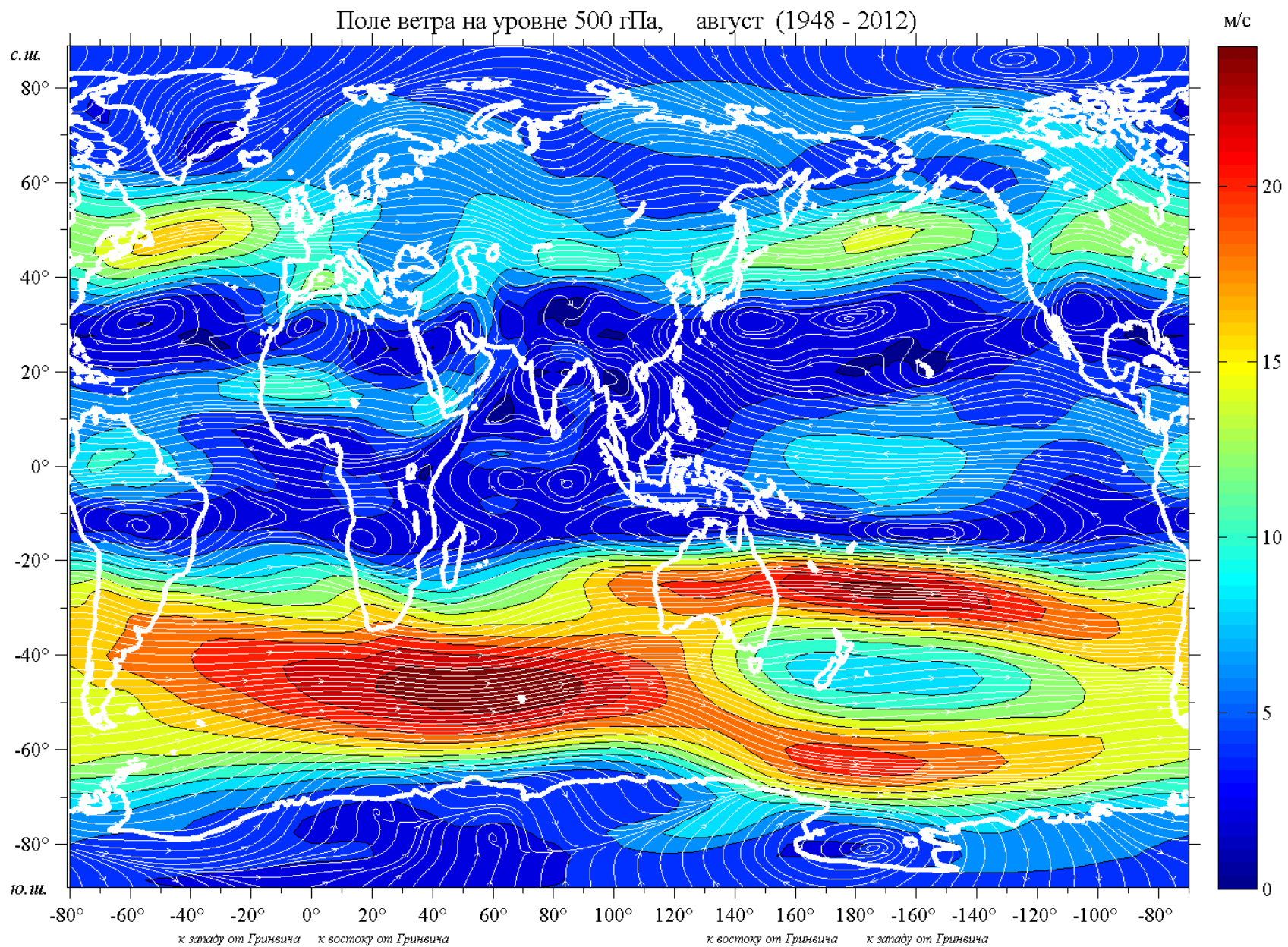




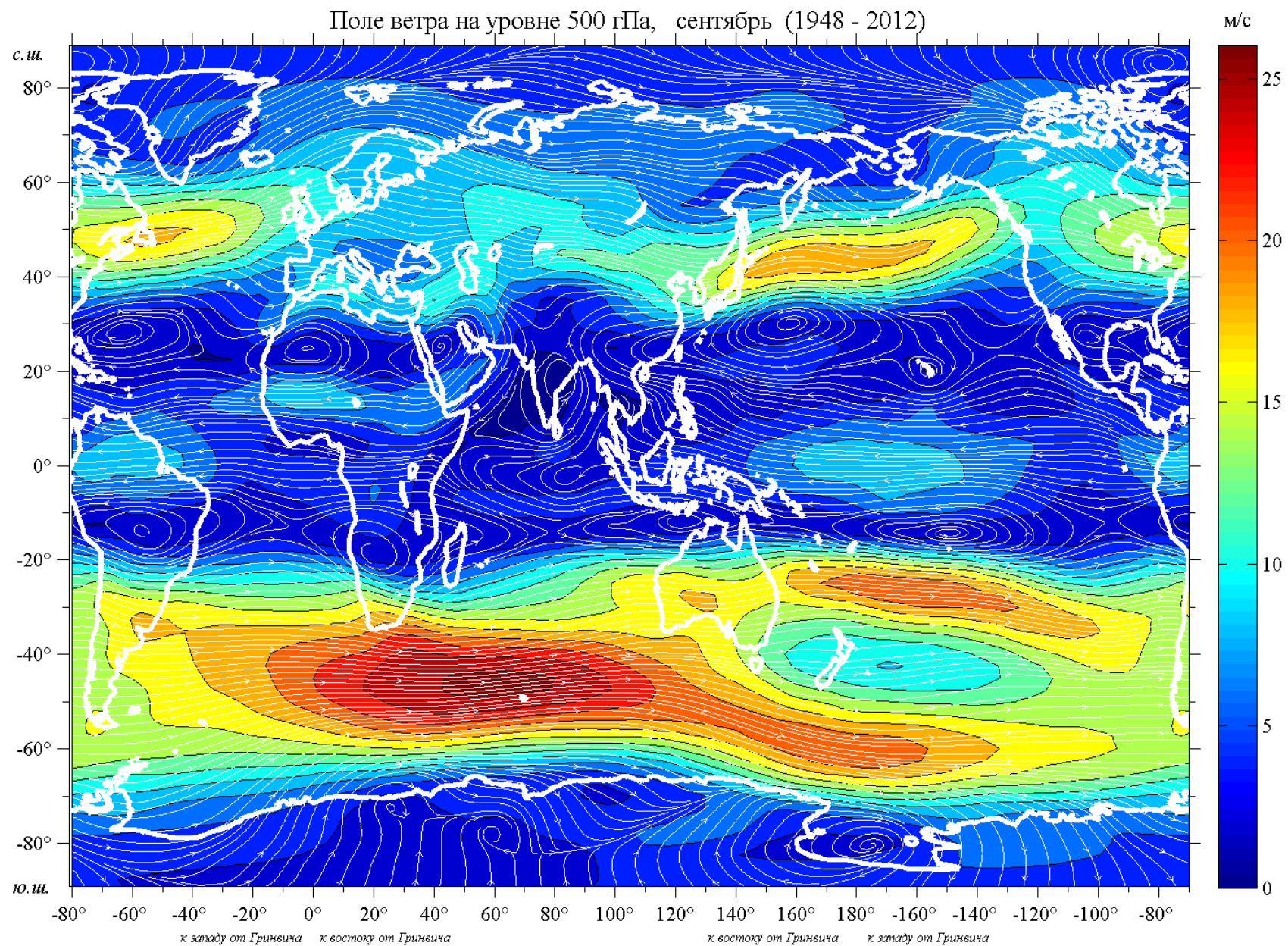


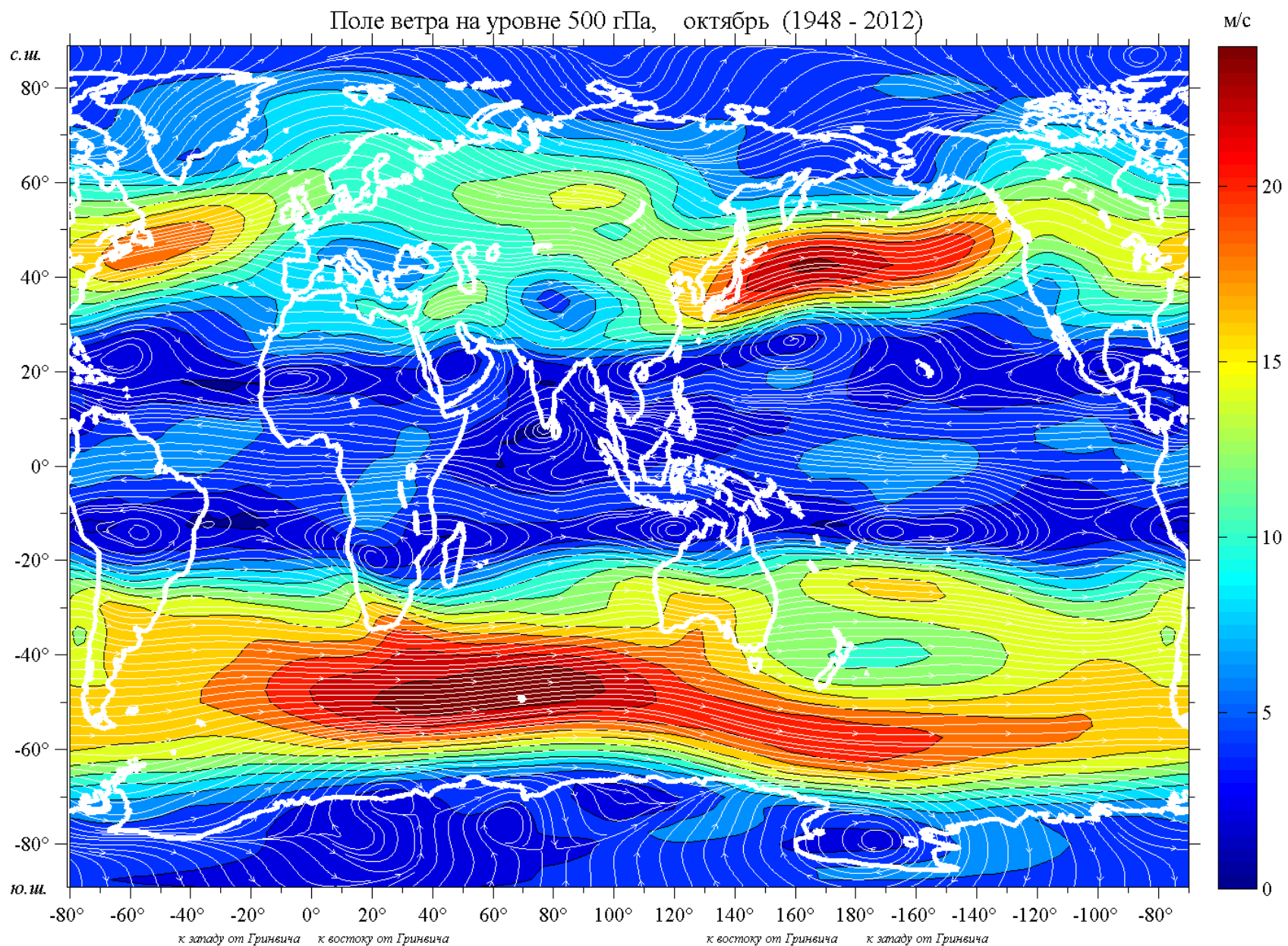


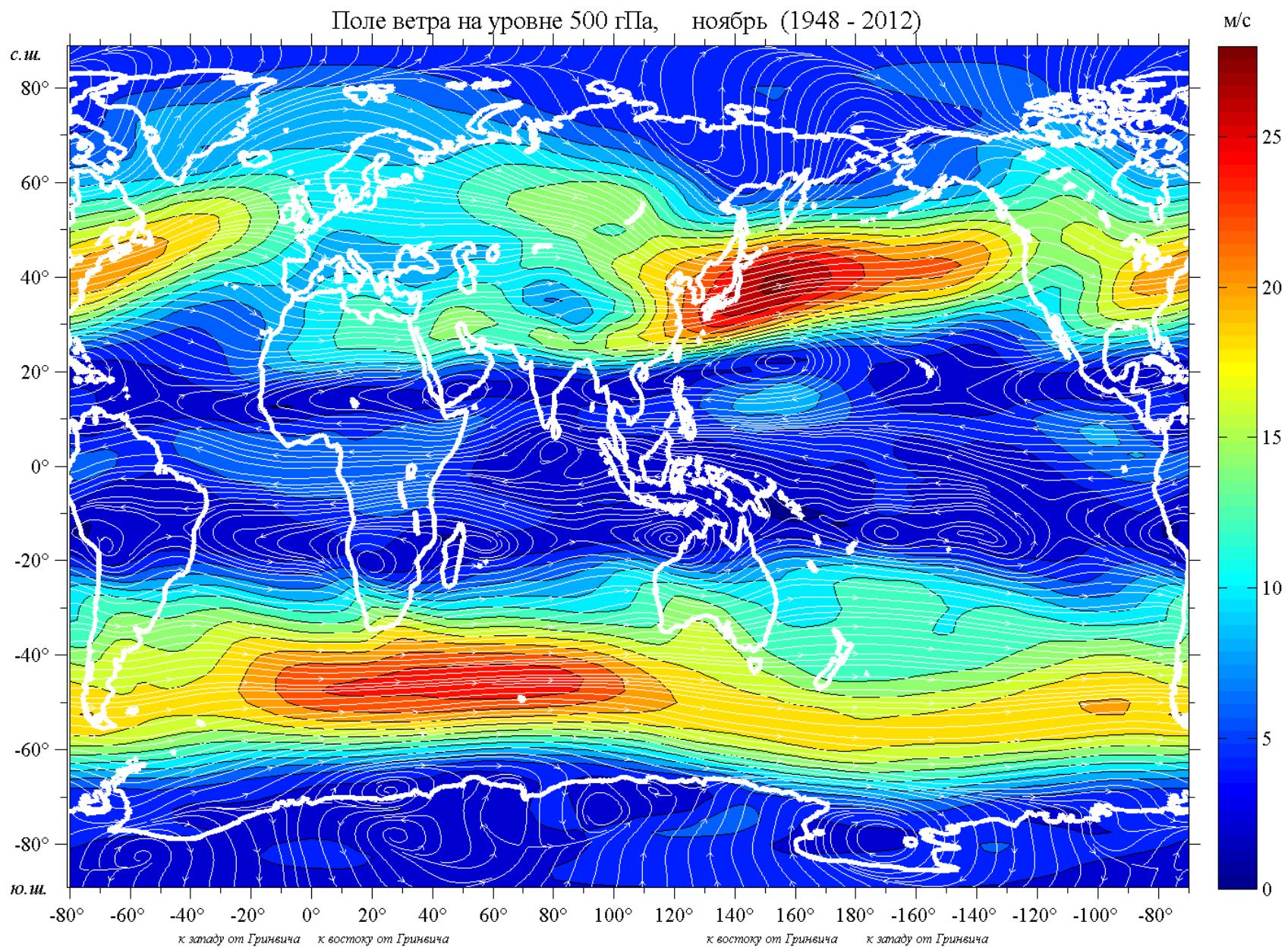




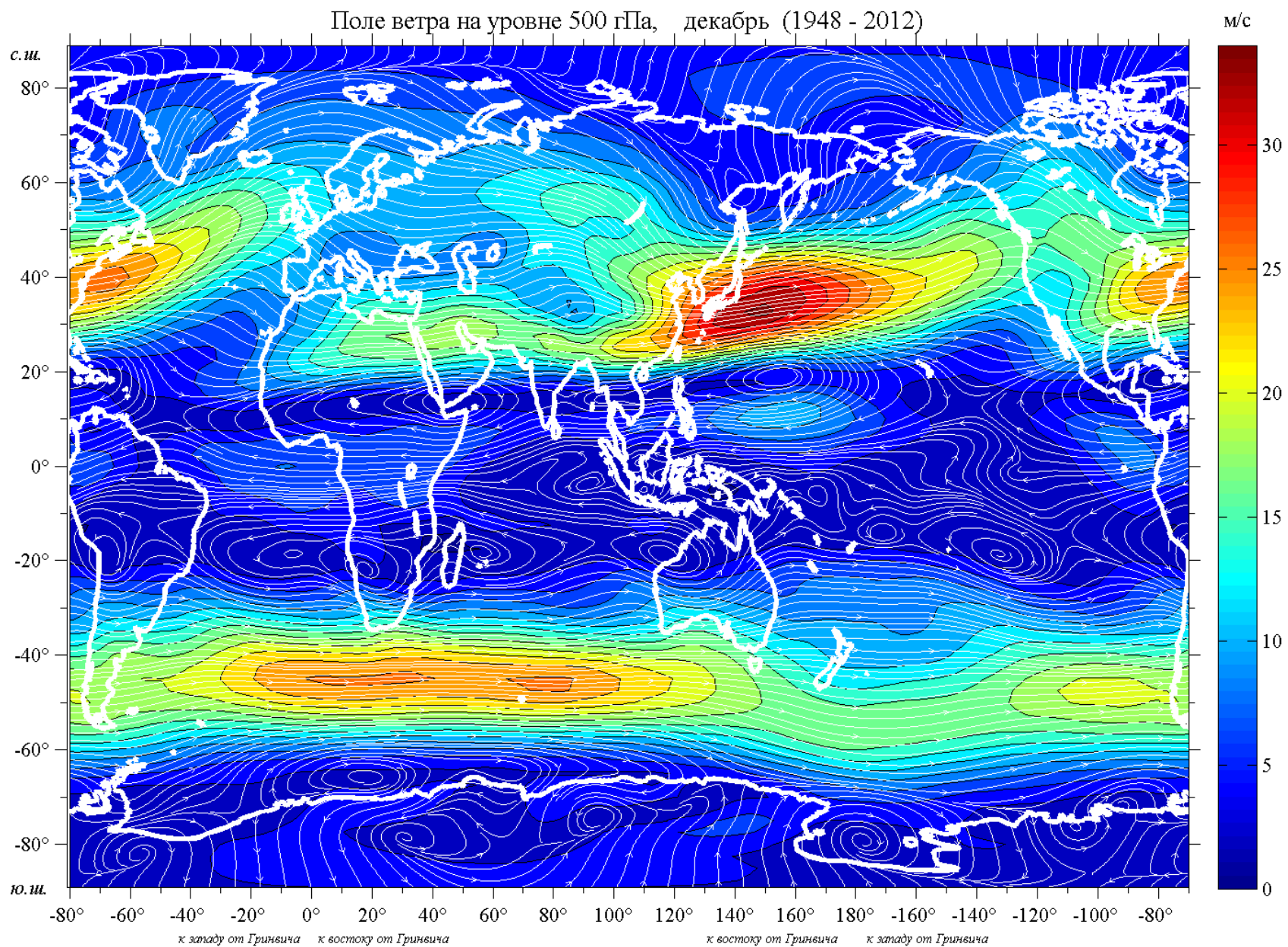






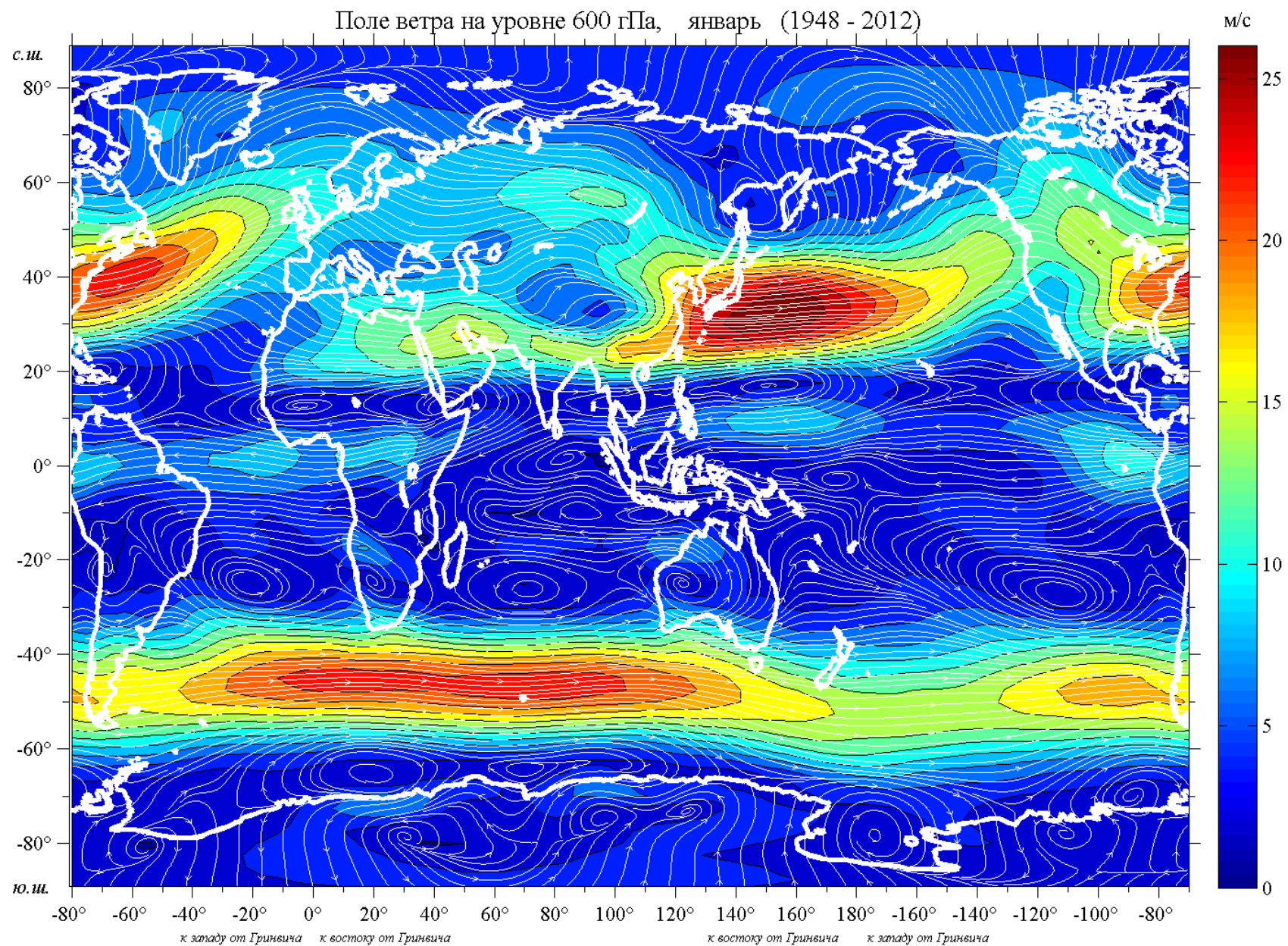




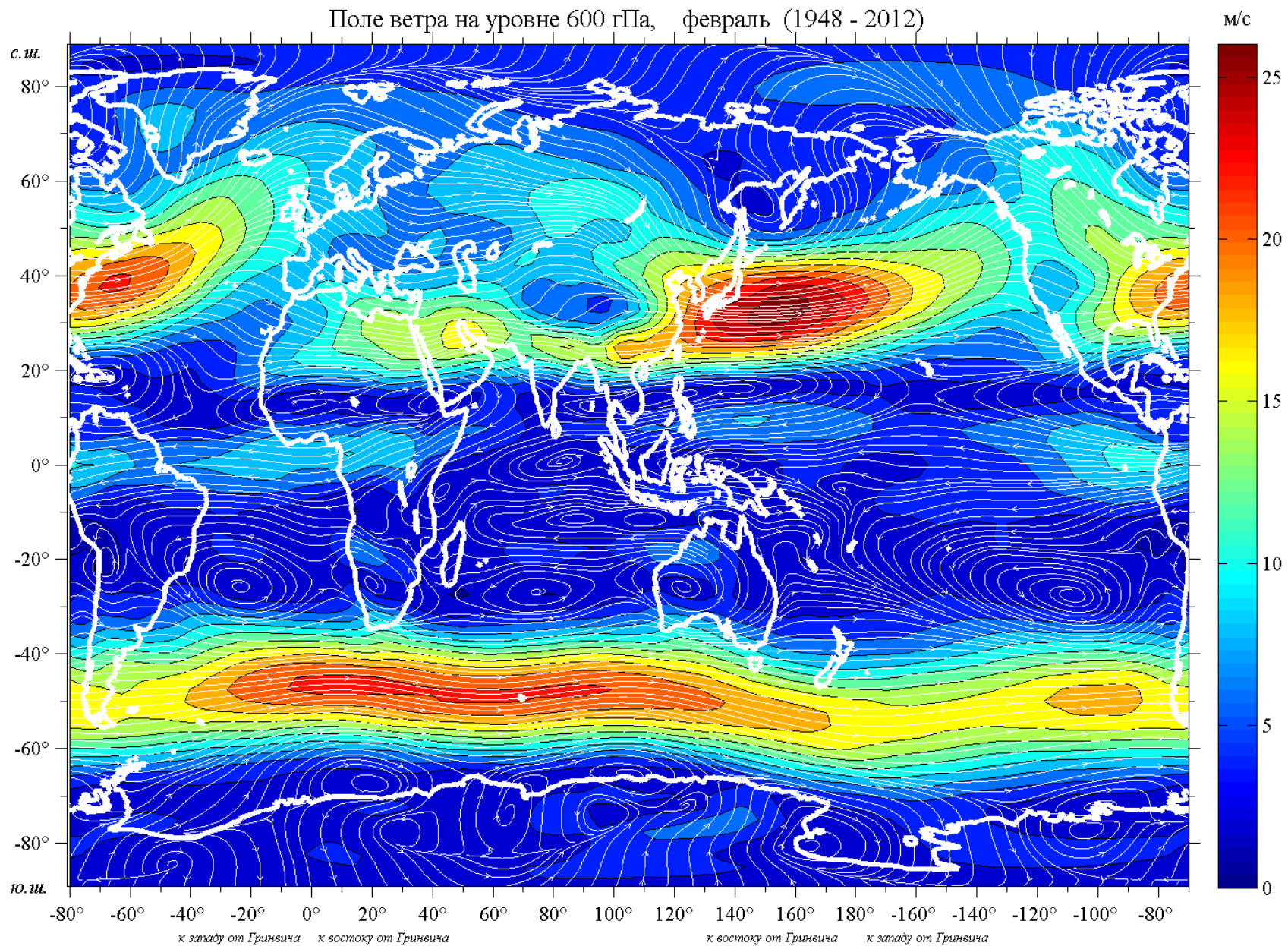


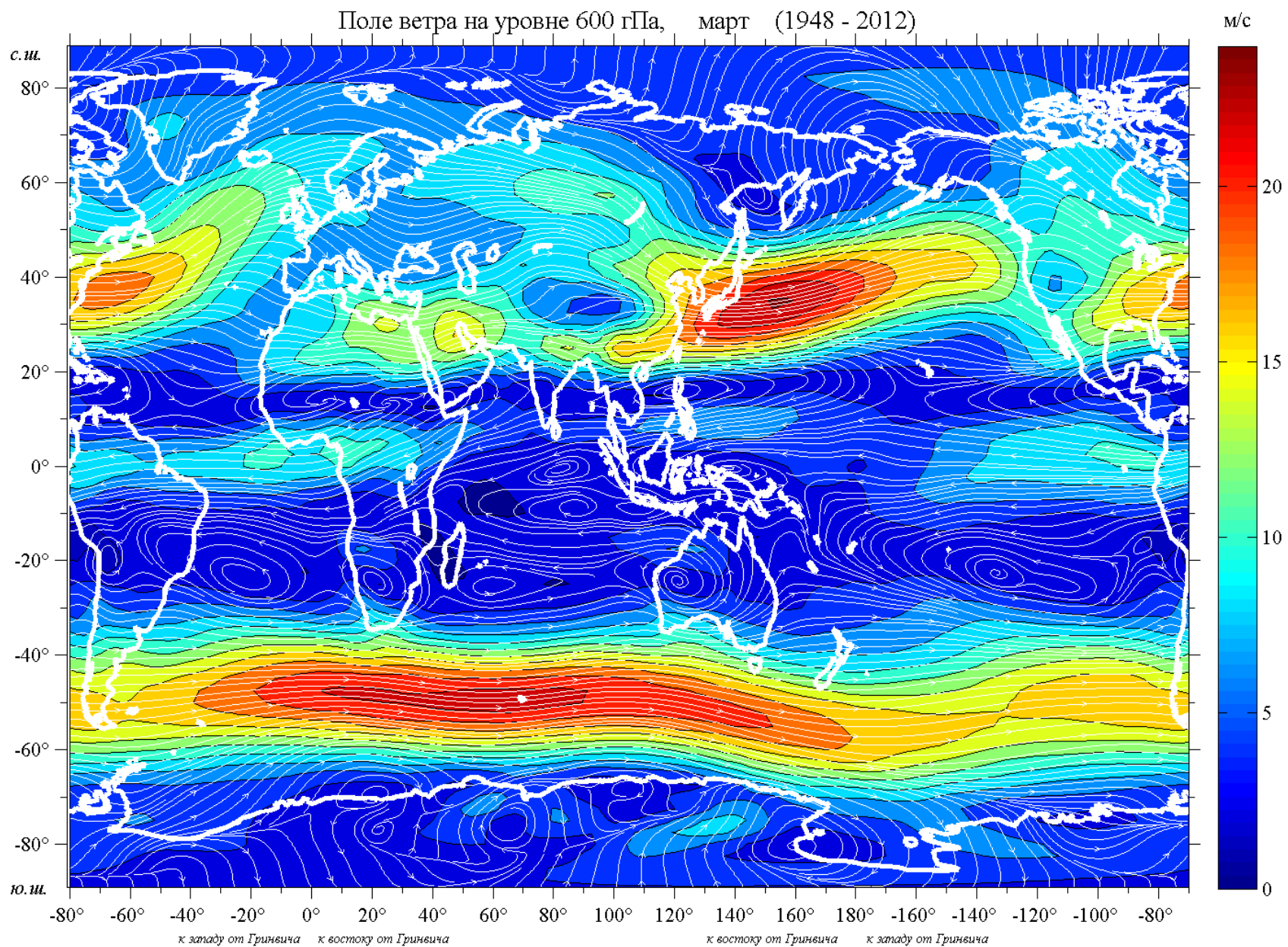
## **8. Поле ветра на уровне 600 гПа**

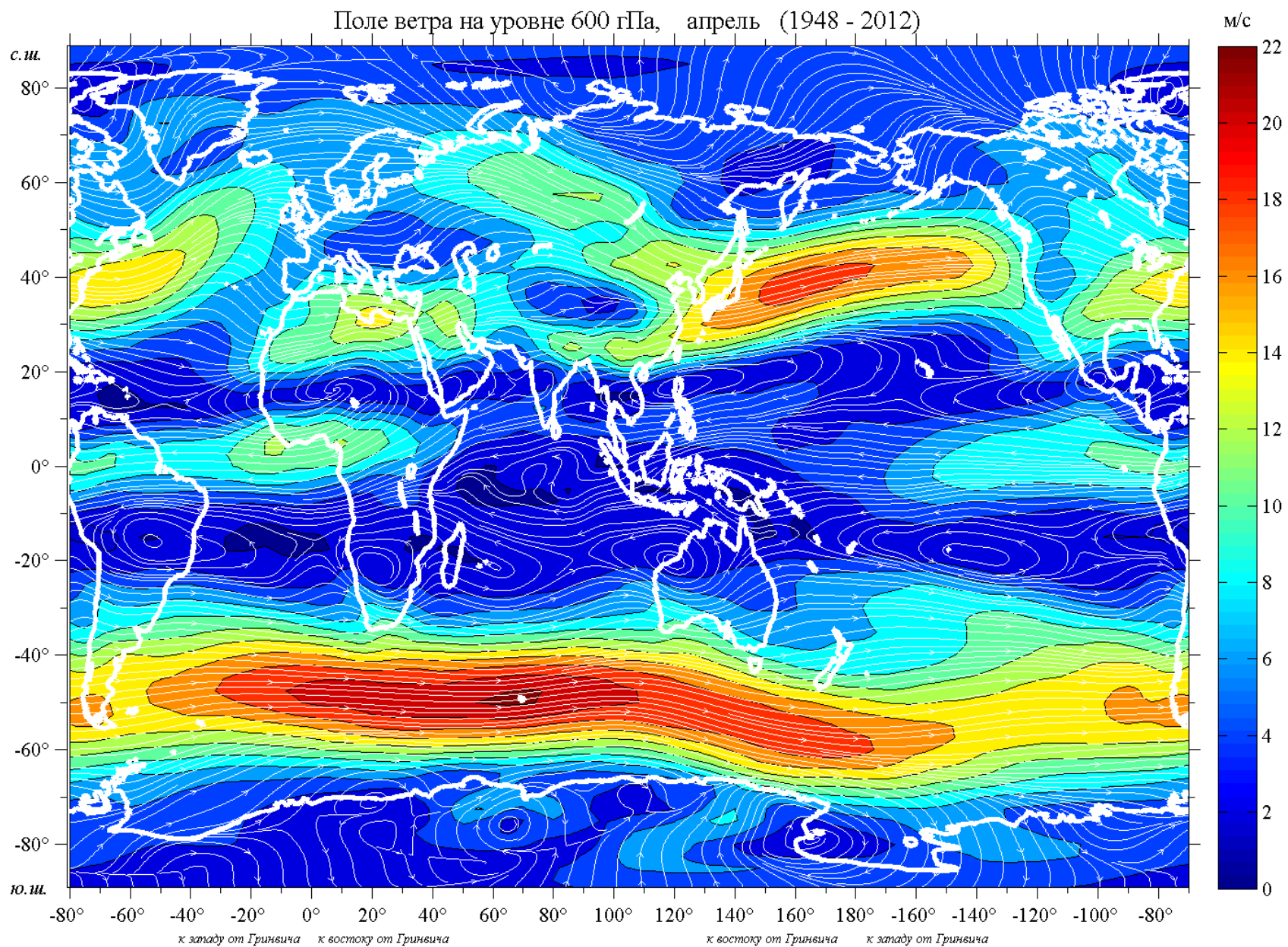
На картах для каждого месяца с шагом 2м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.



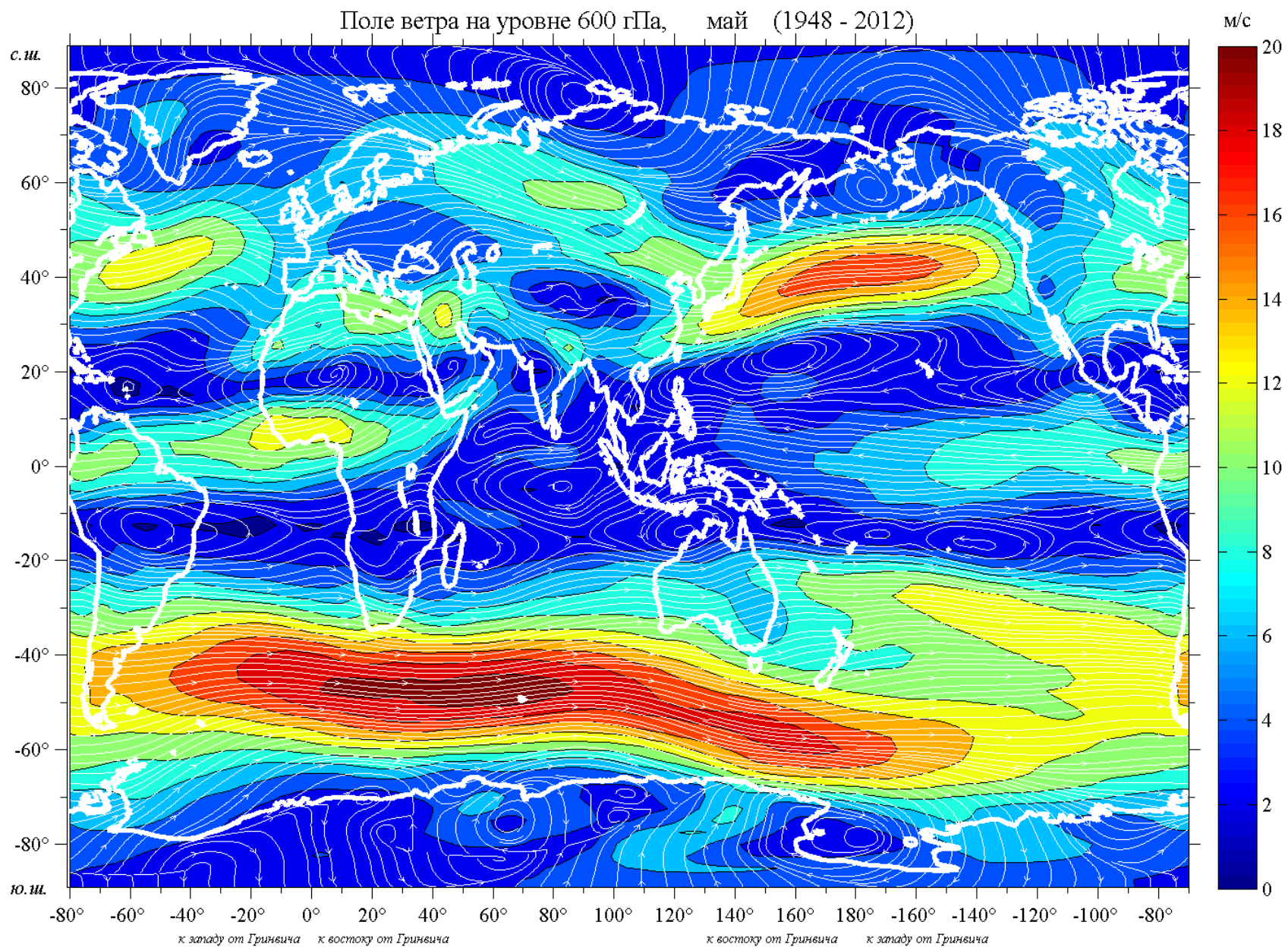


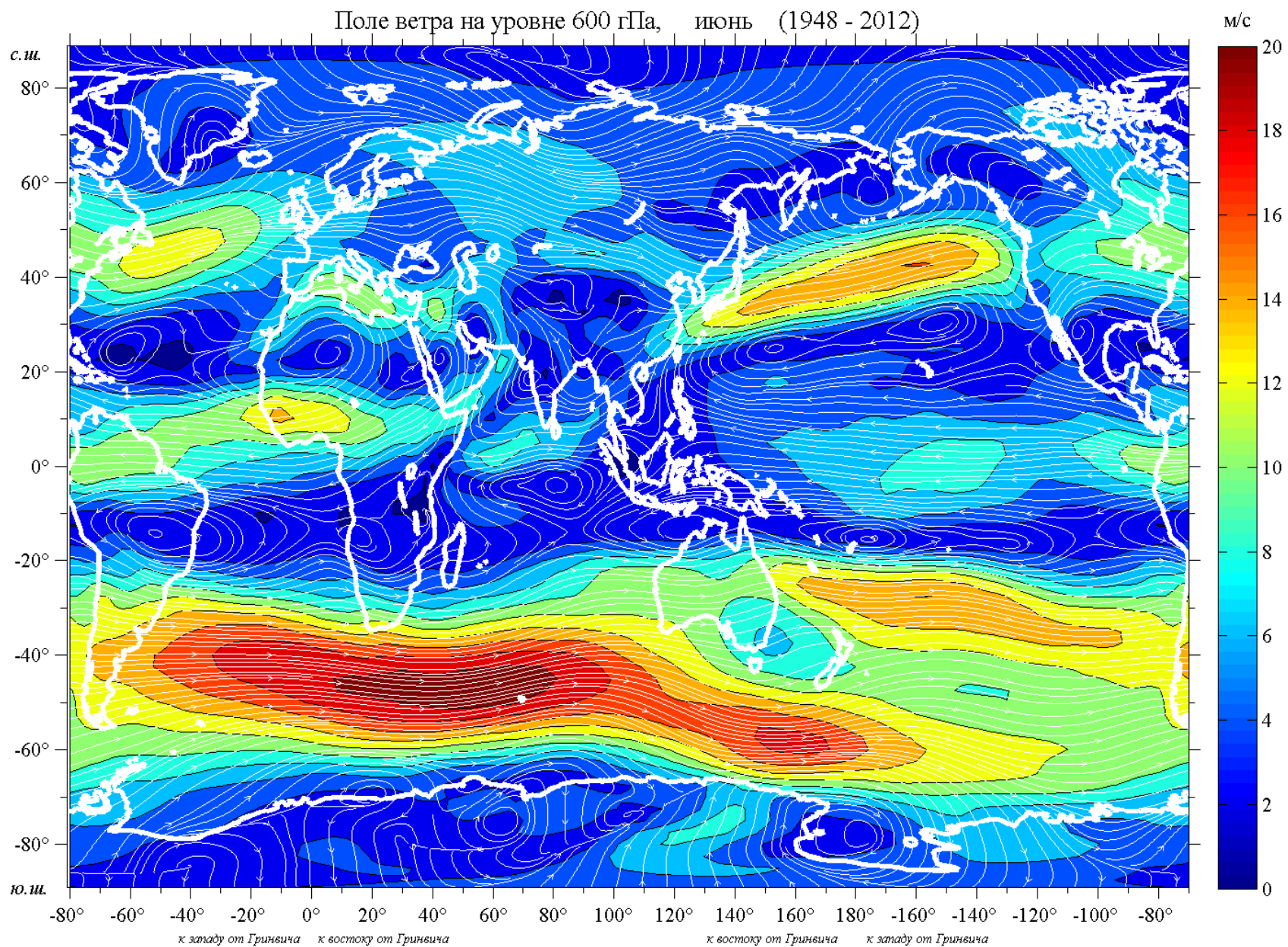


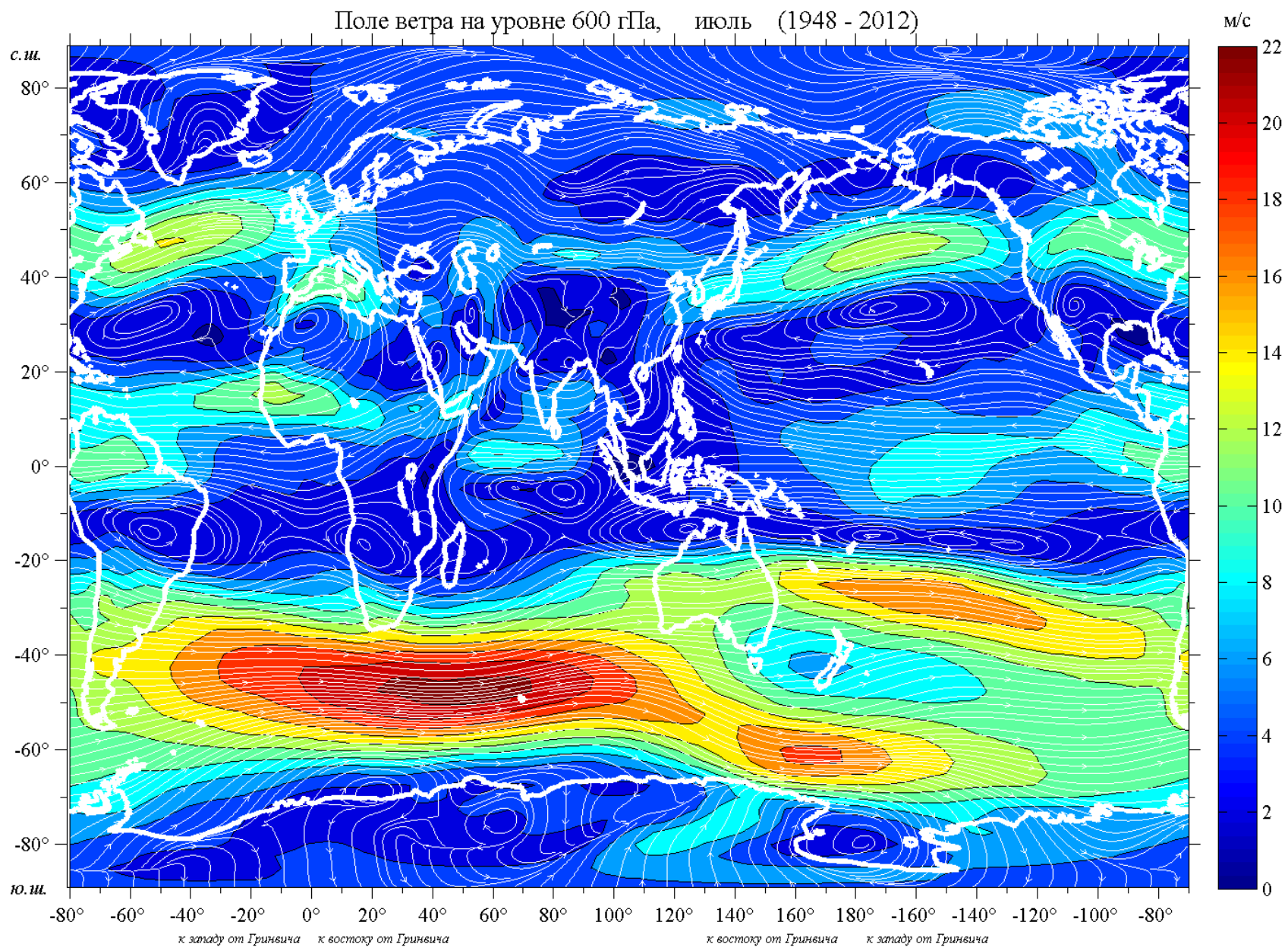




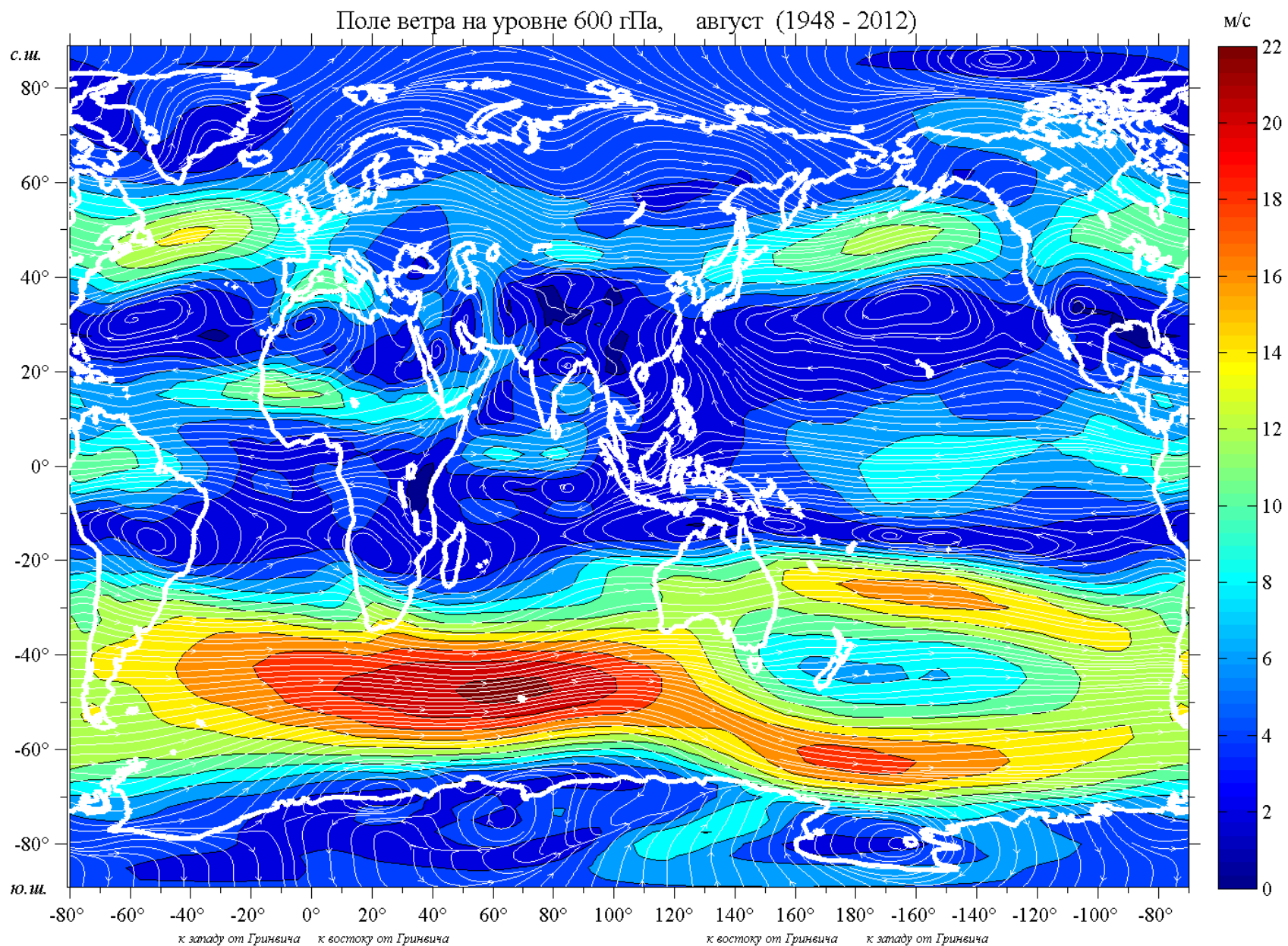


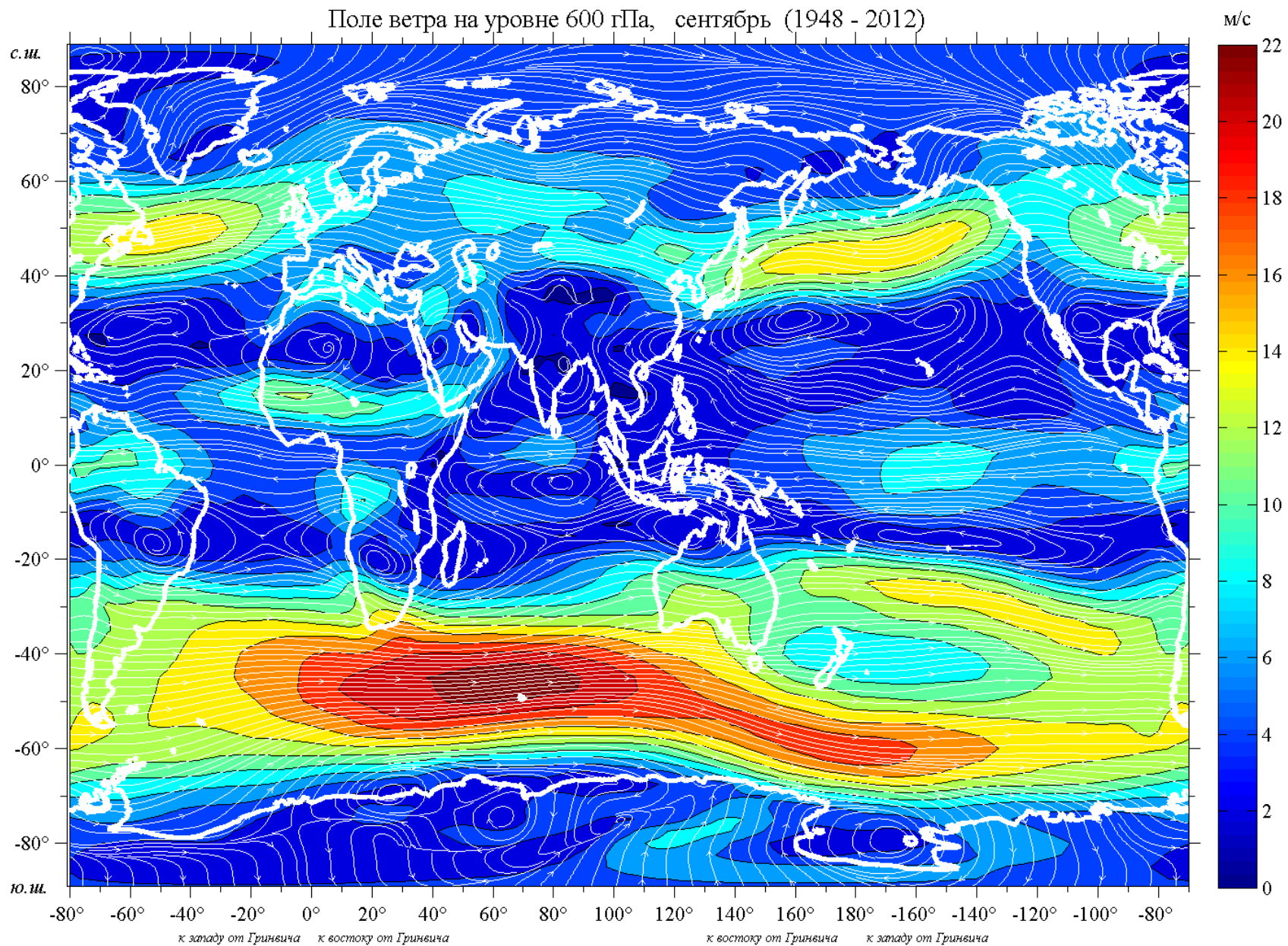


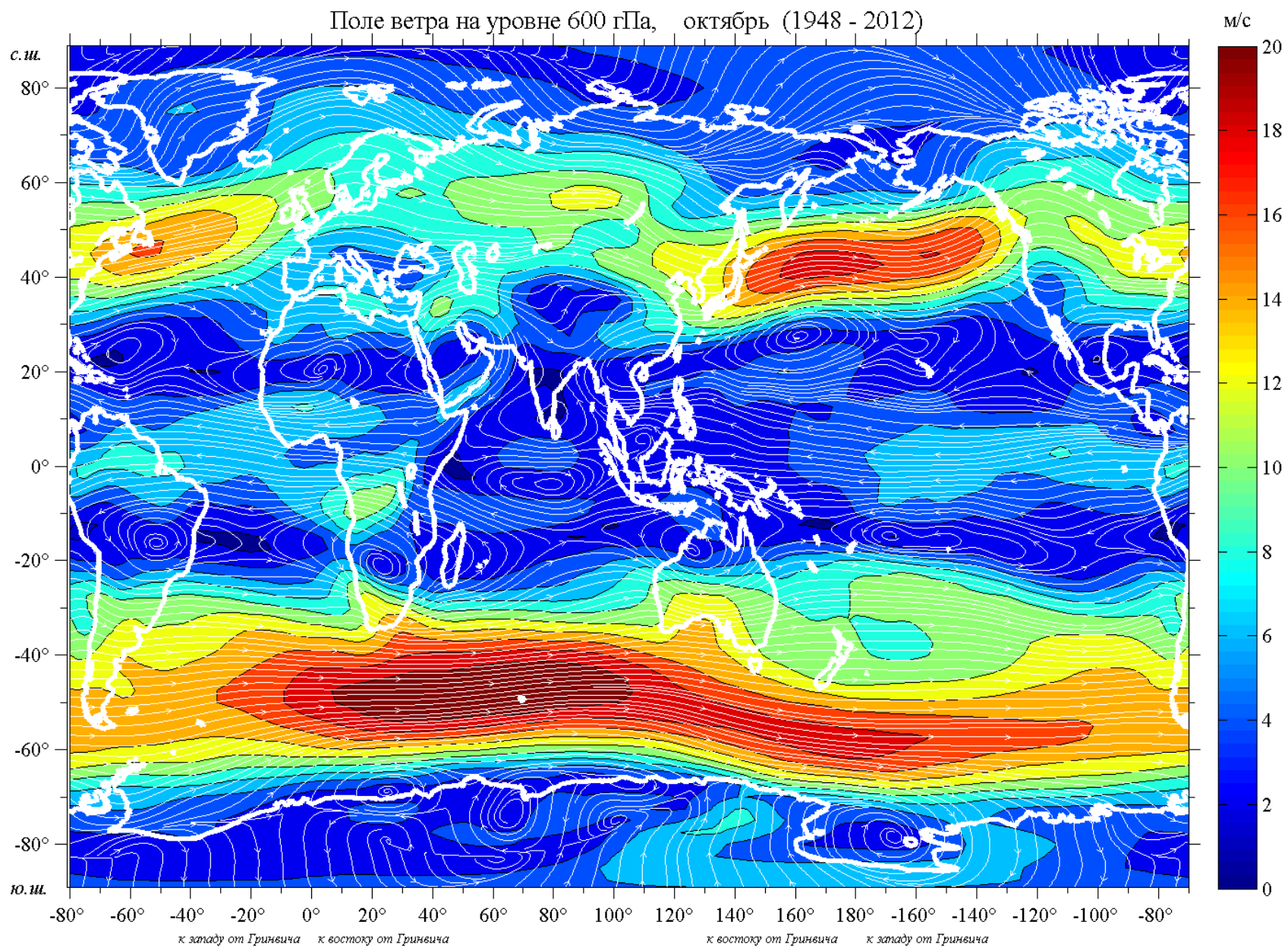




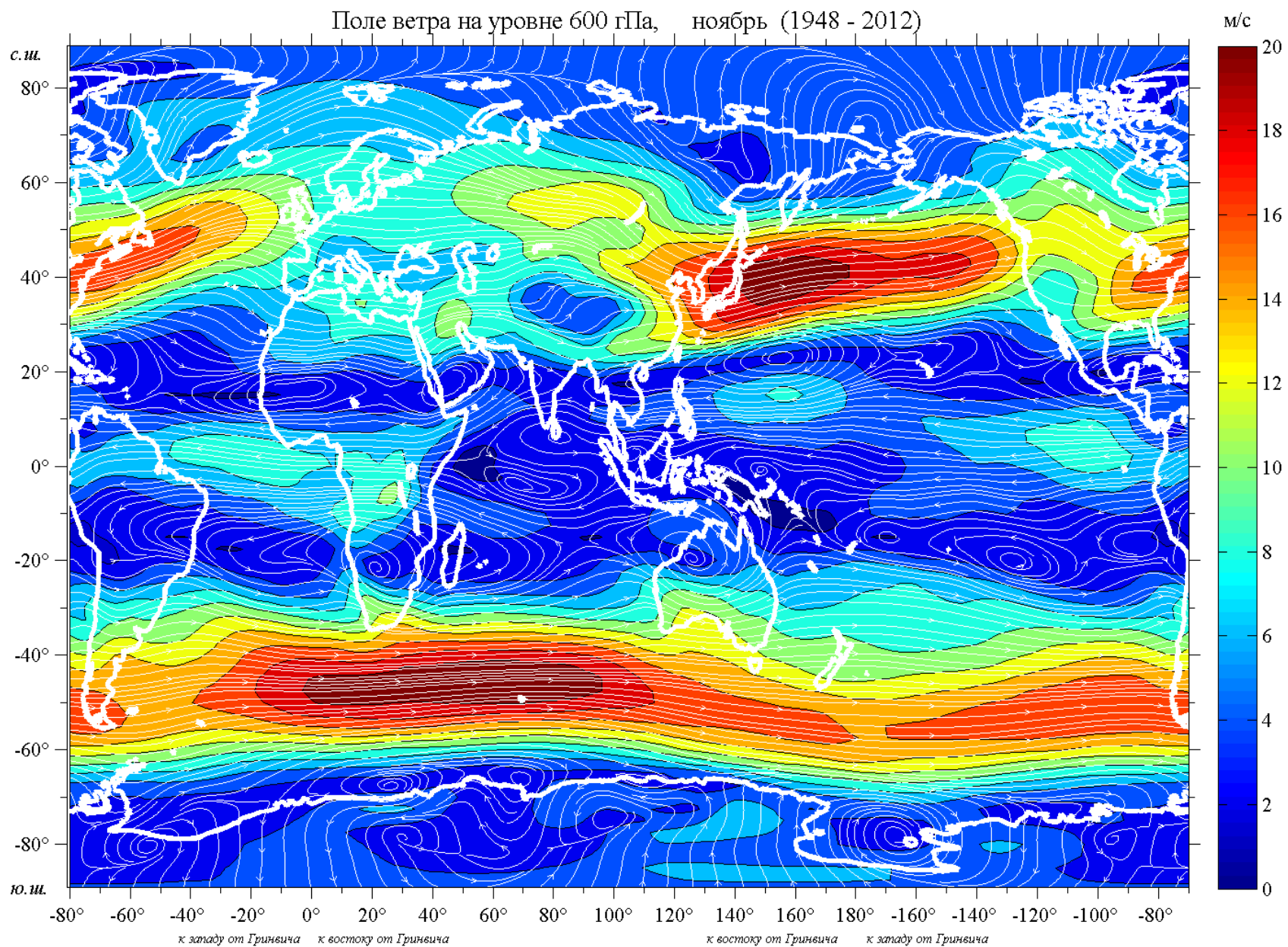


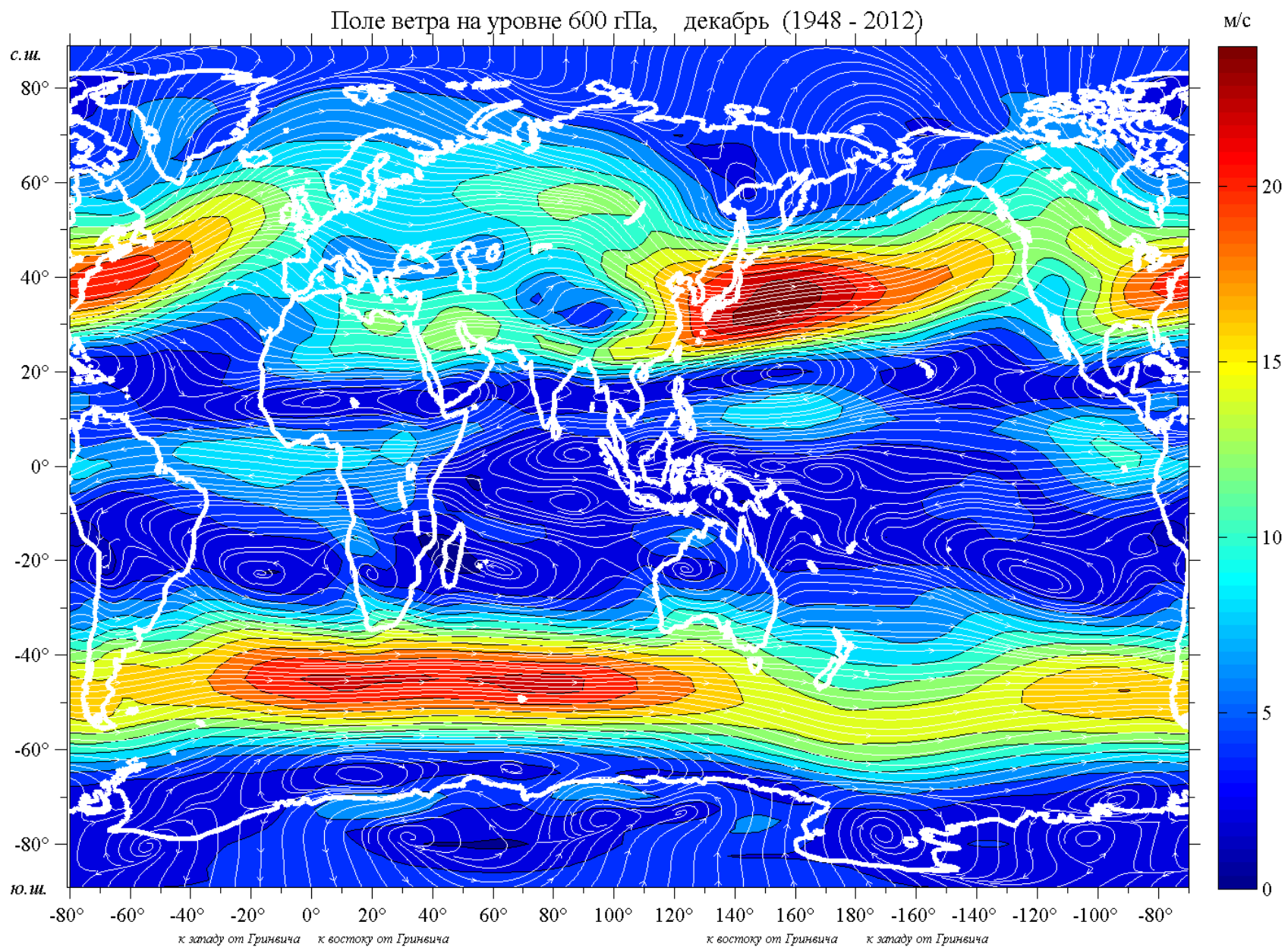








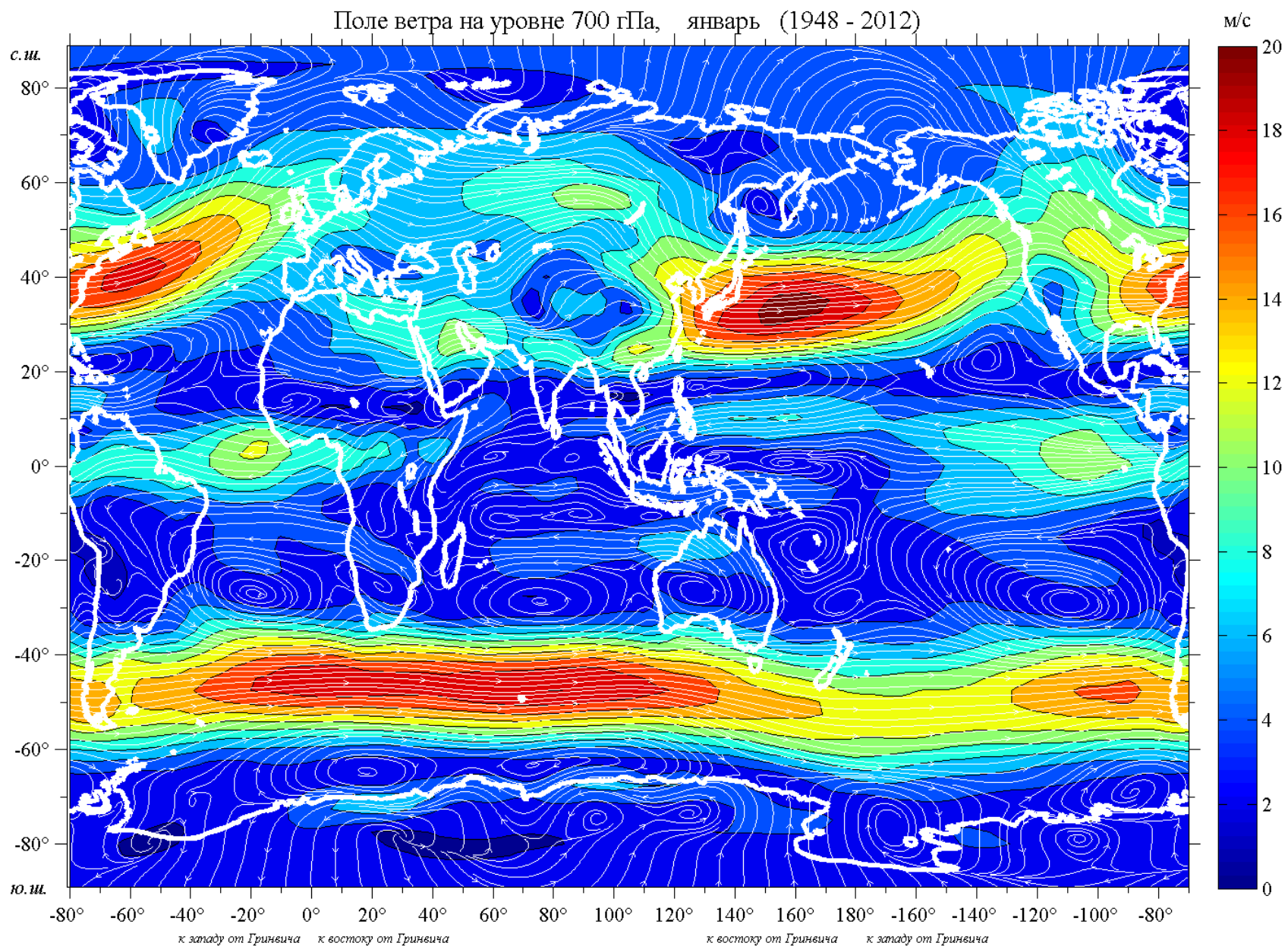


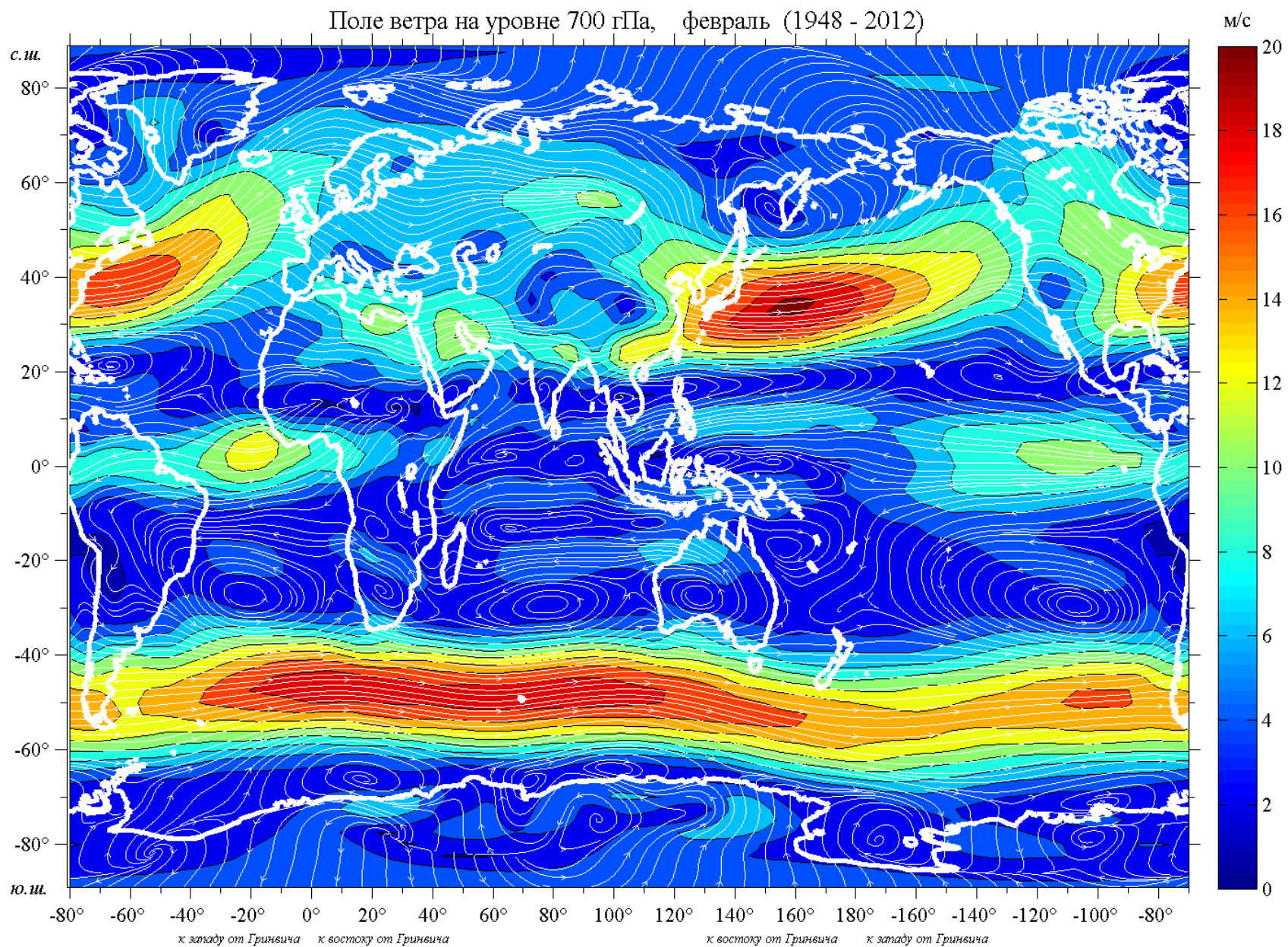


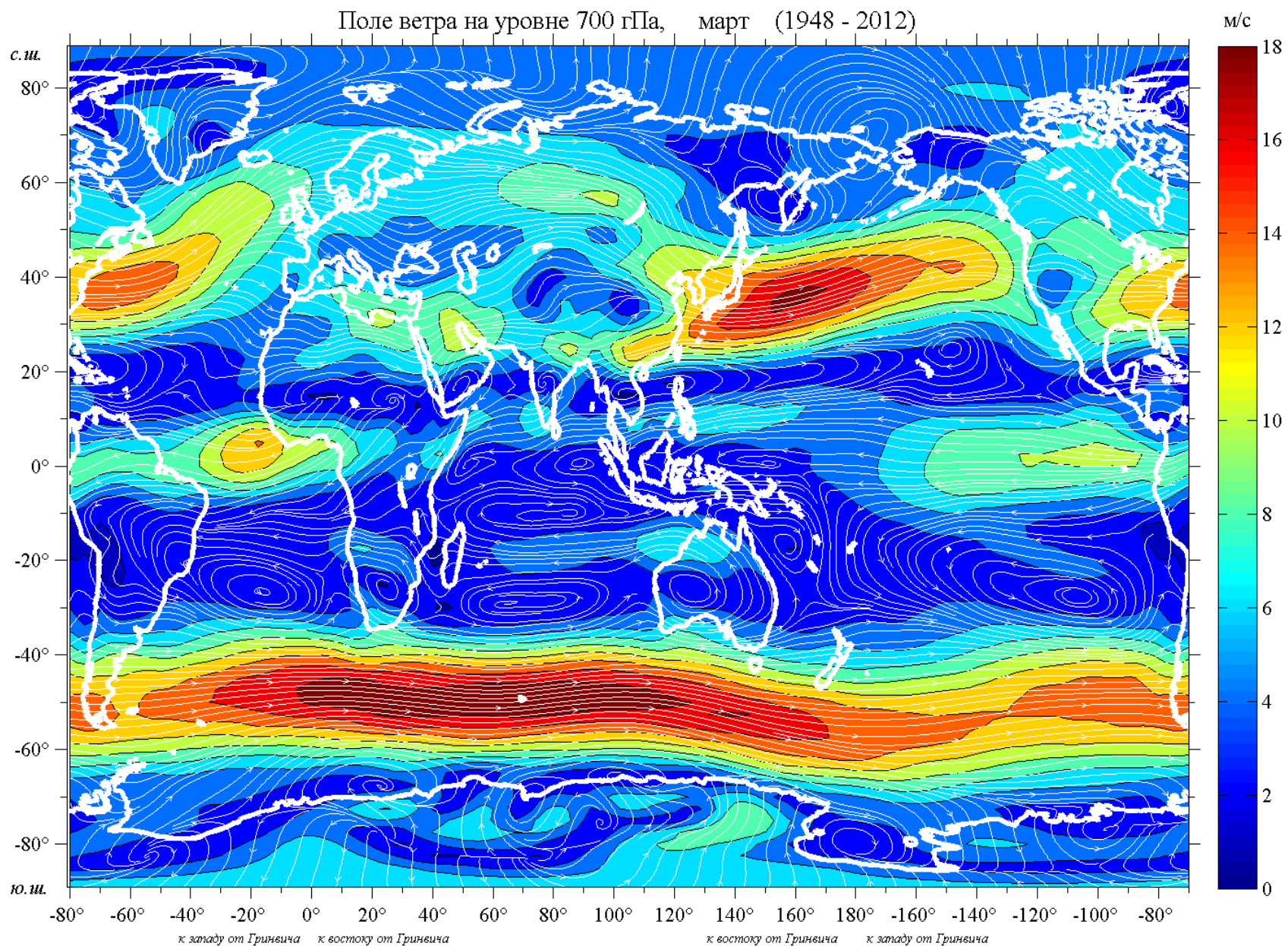
### **9. Поле ветра на уровне 700 гПа**

На картах для каждого месяца с шагом 2м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

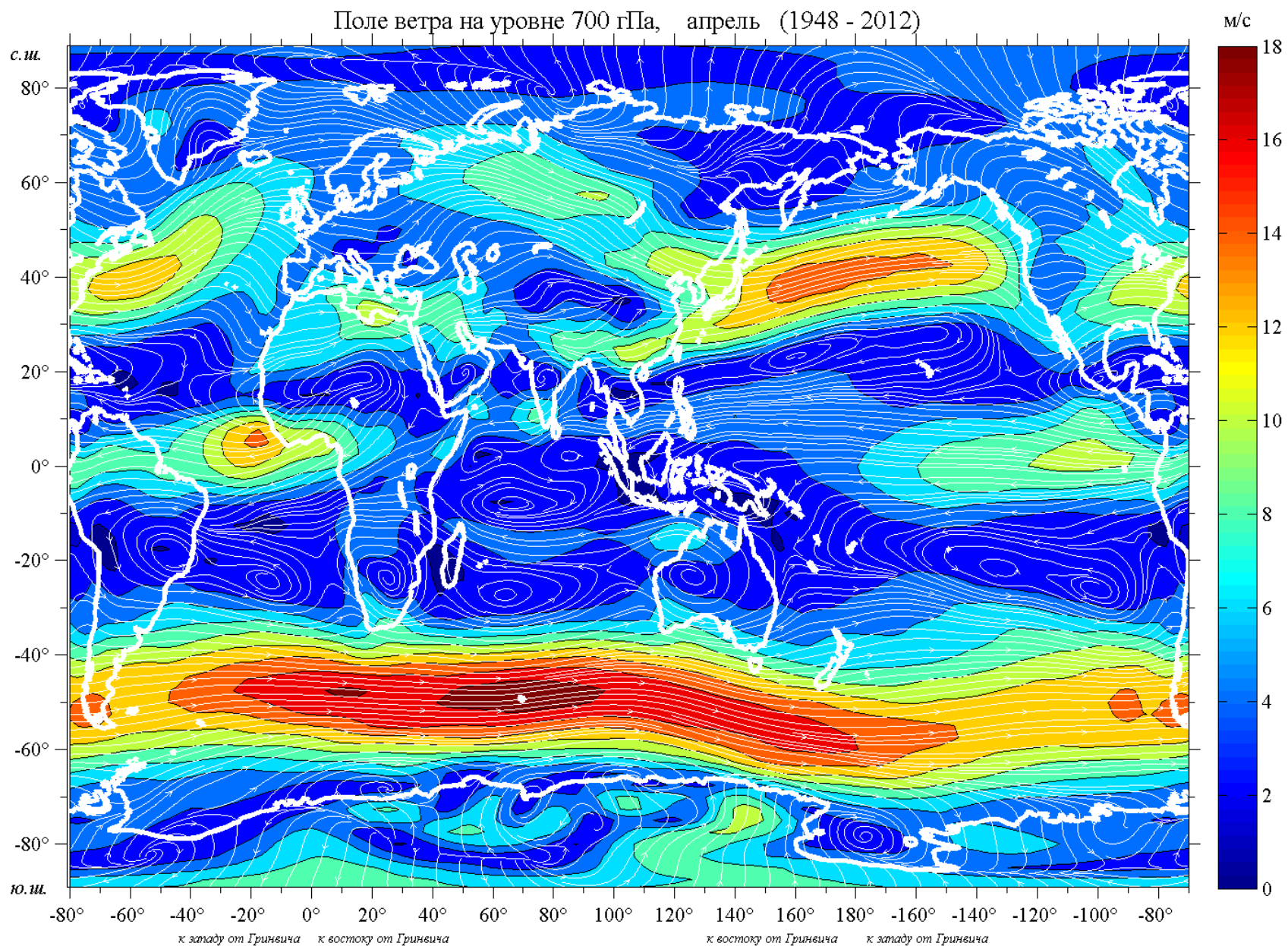


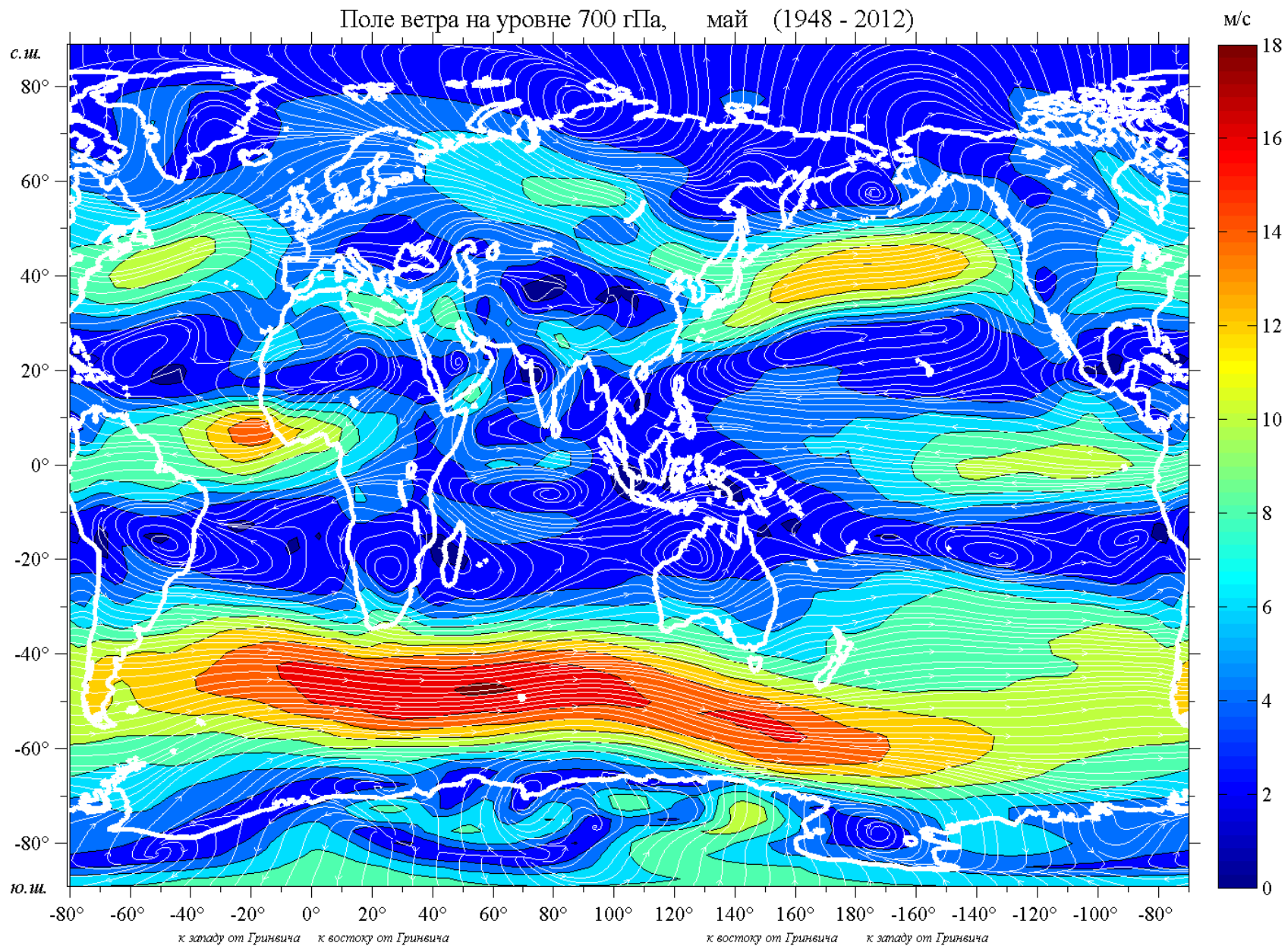


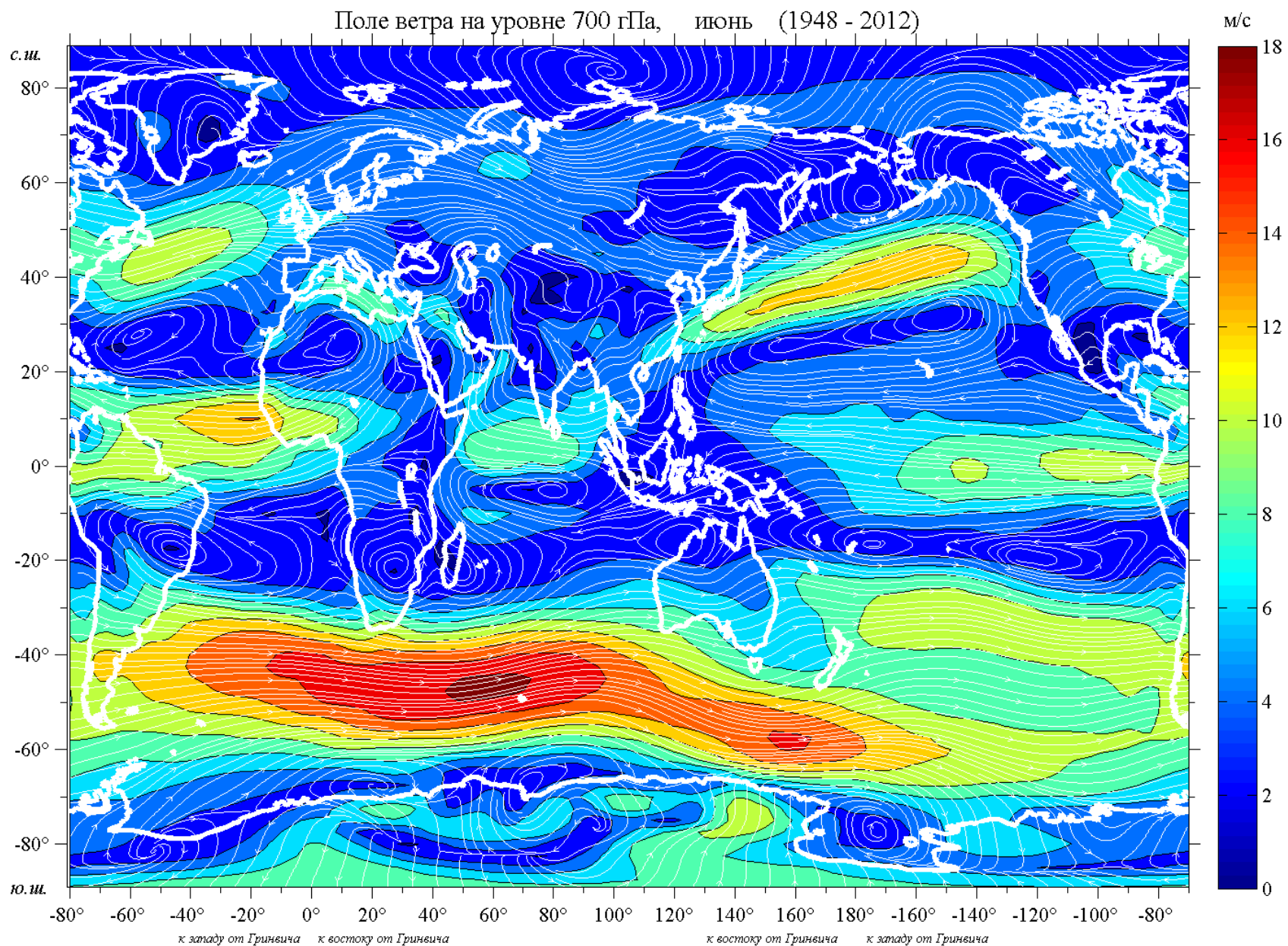




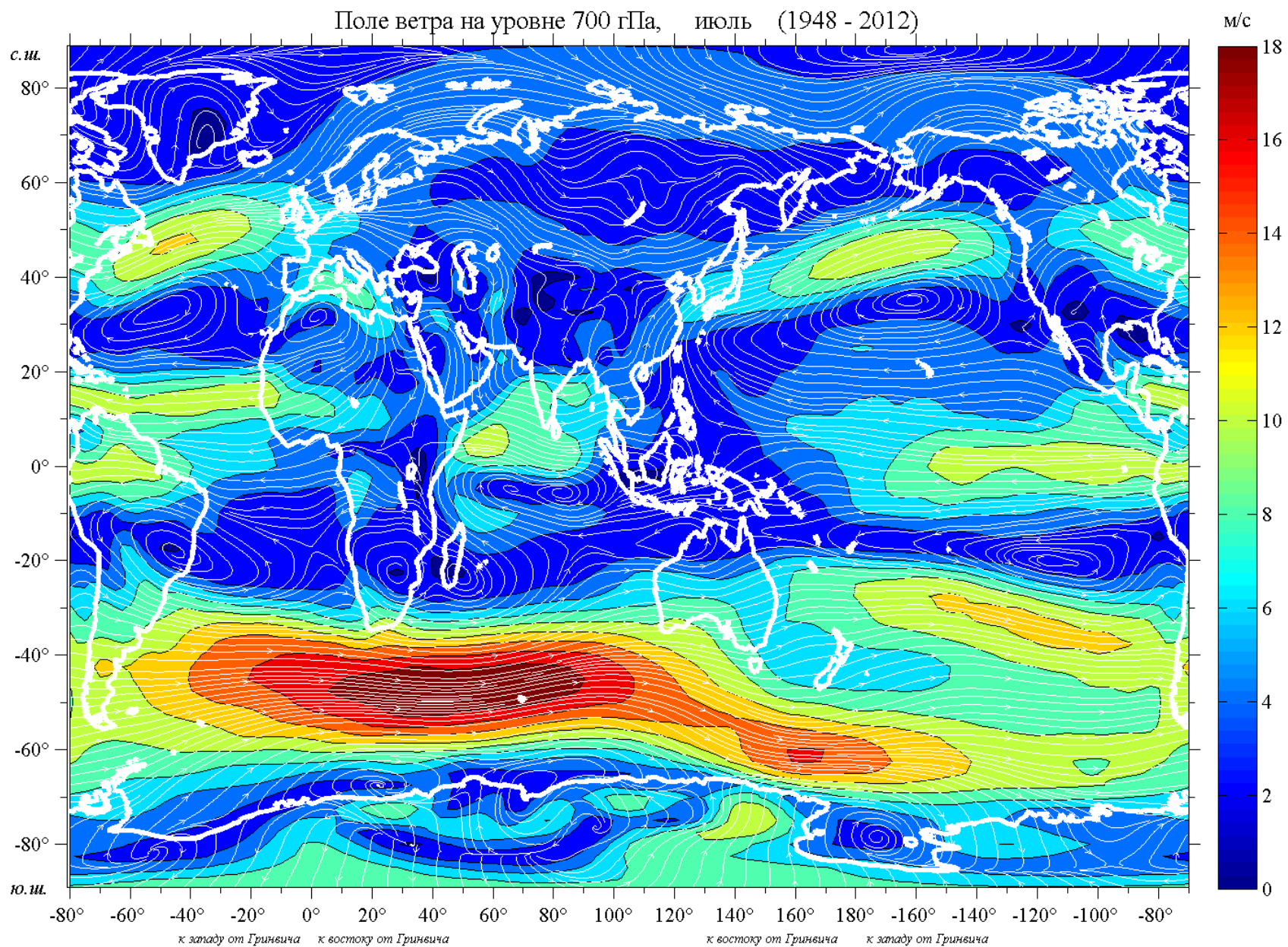


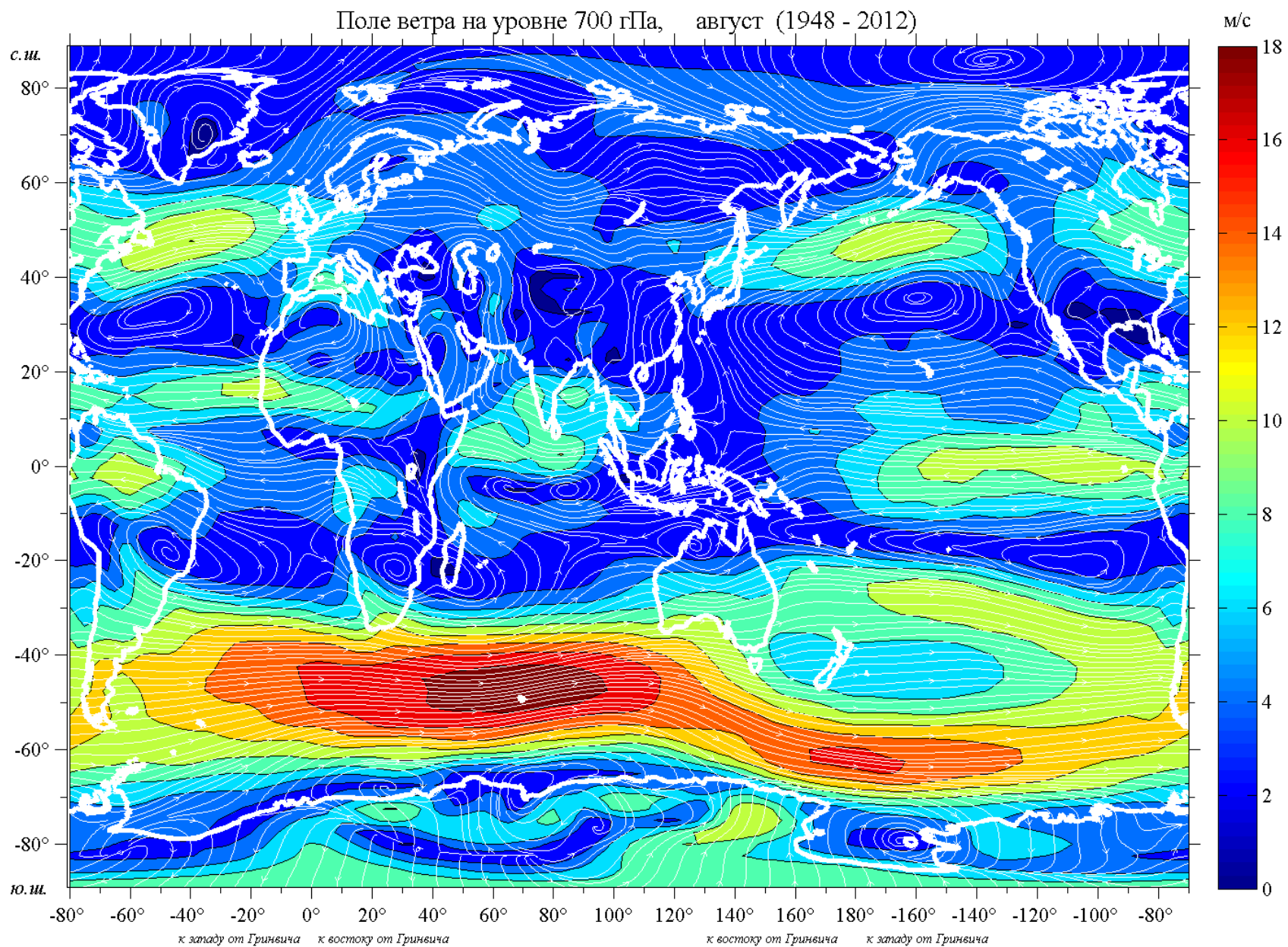


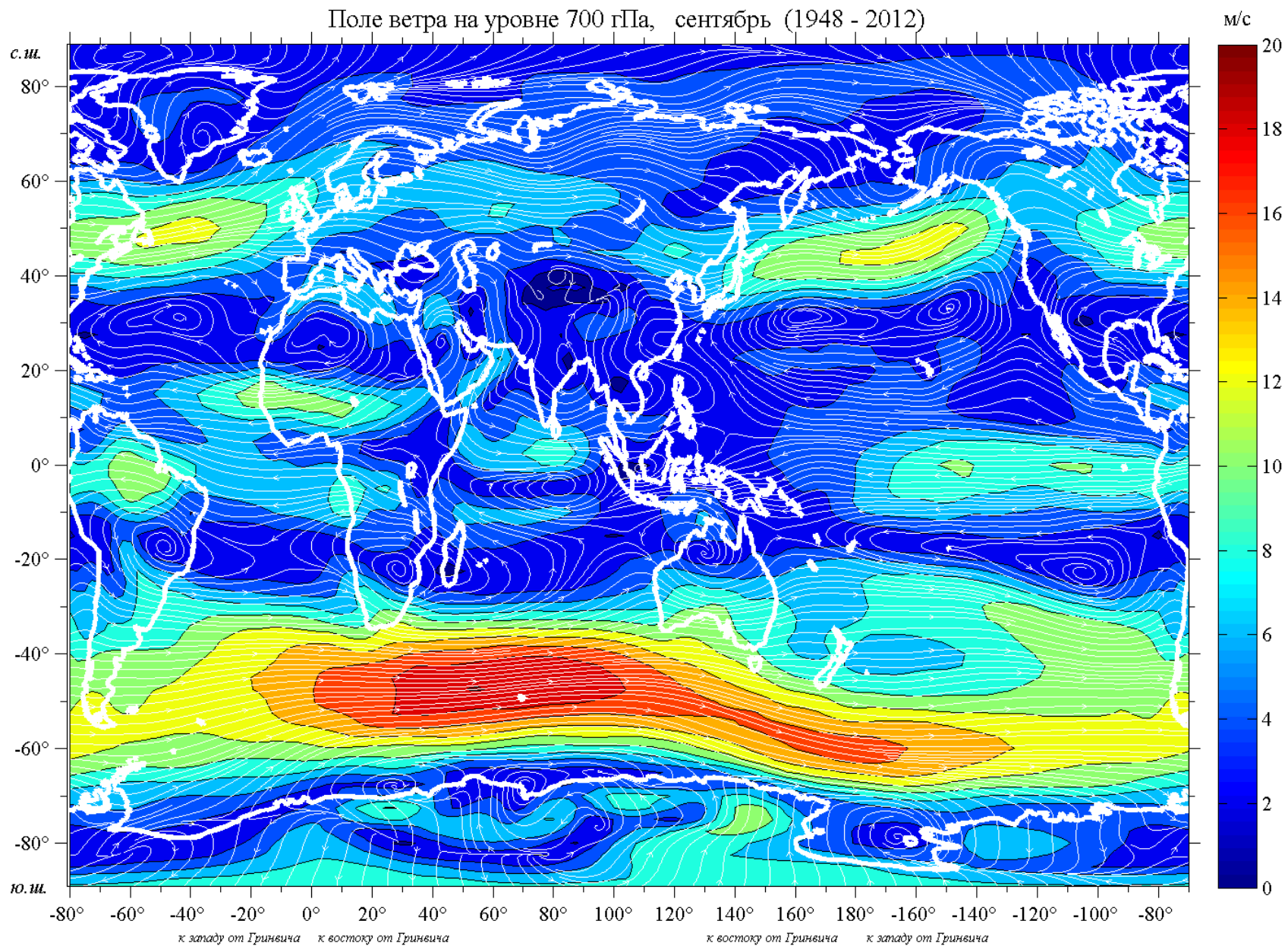




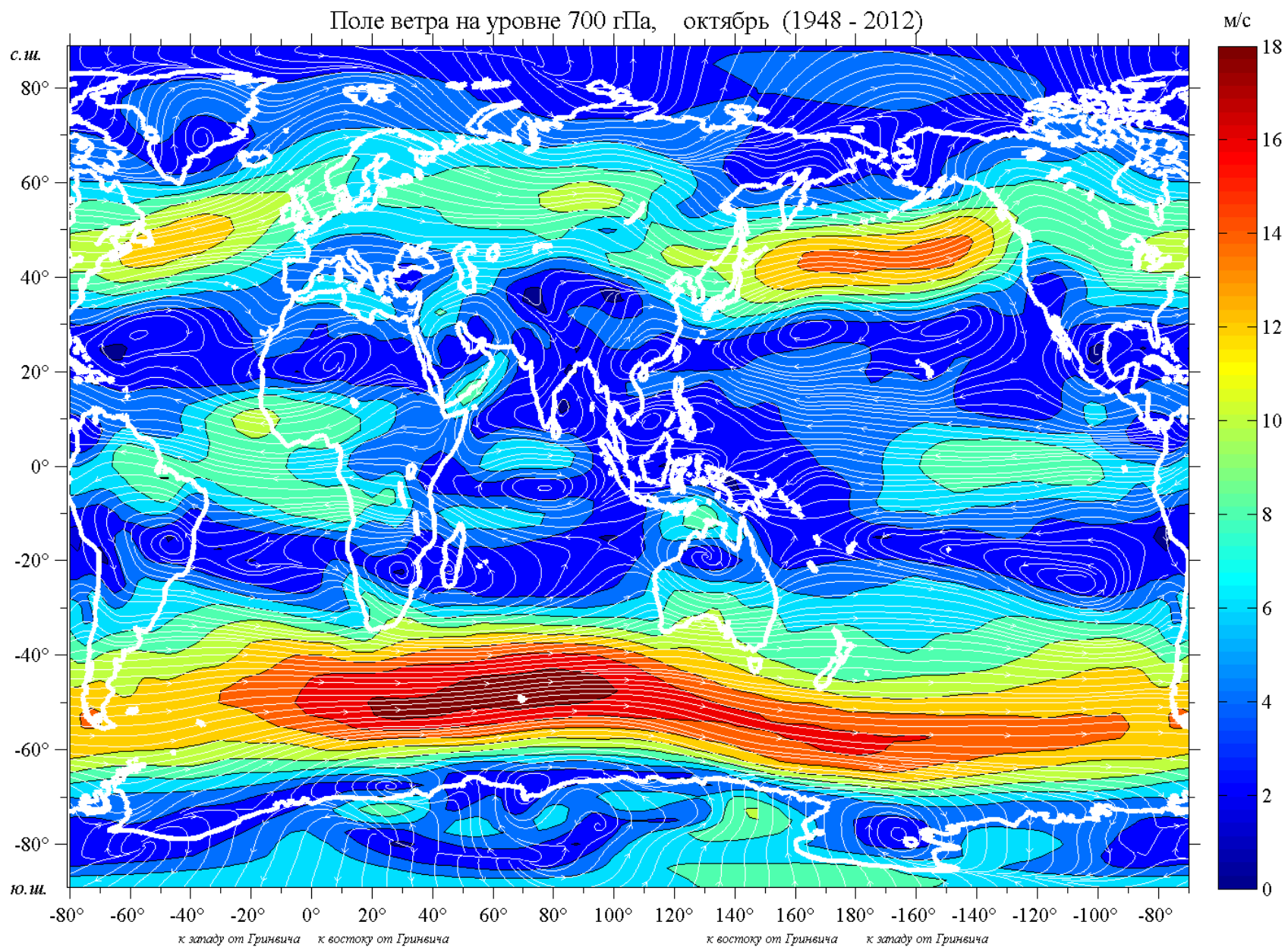


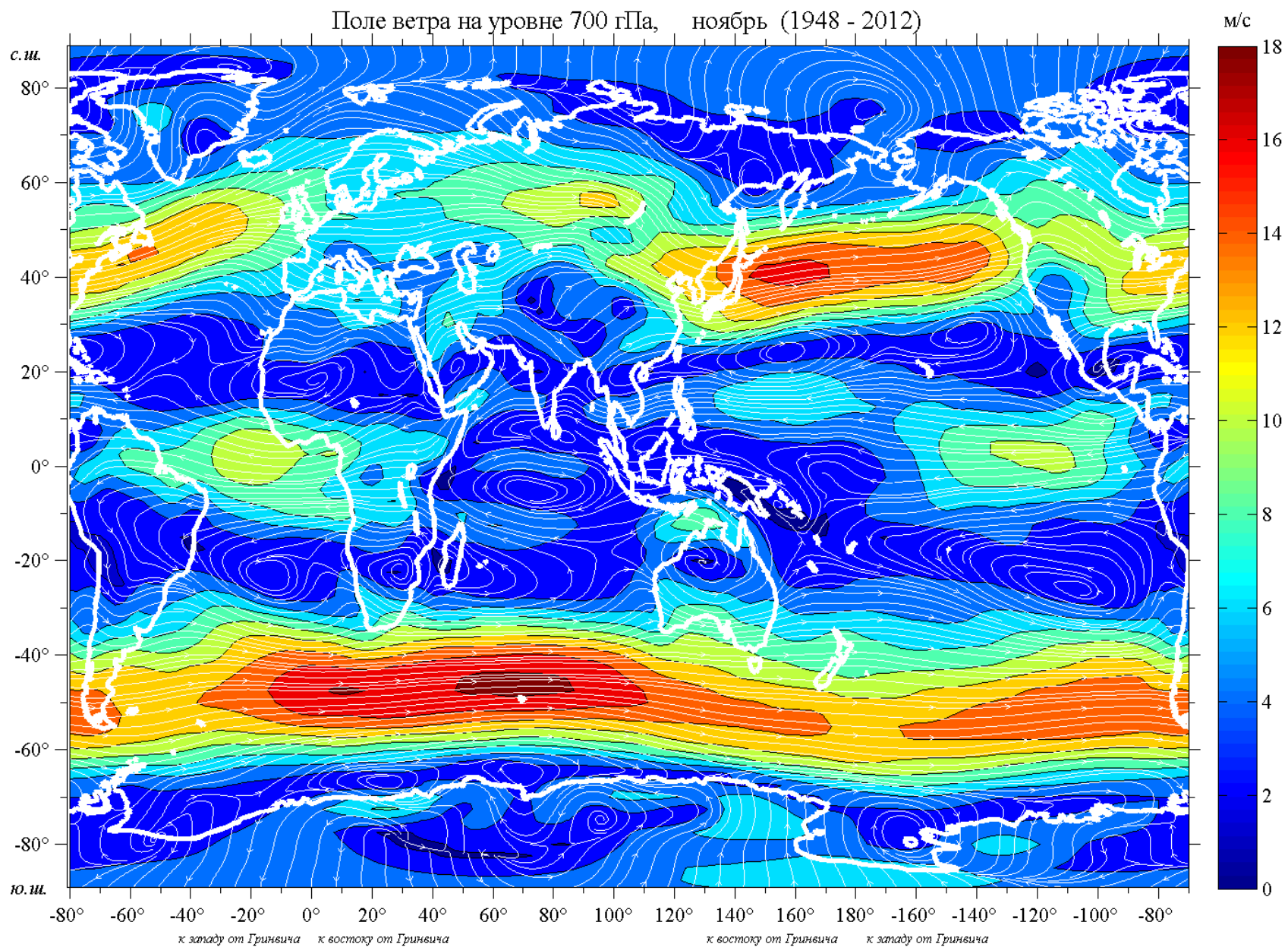


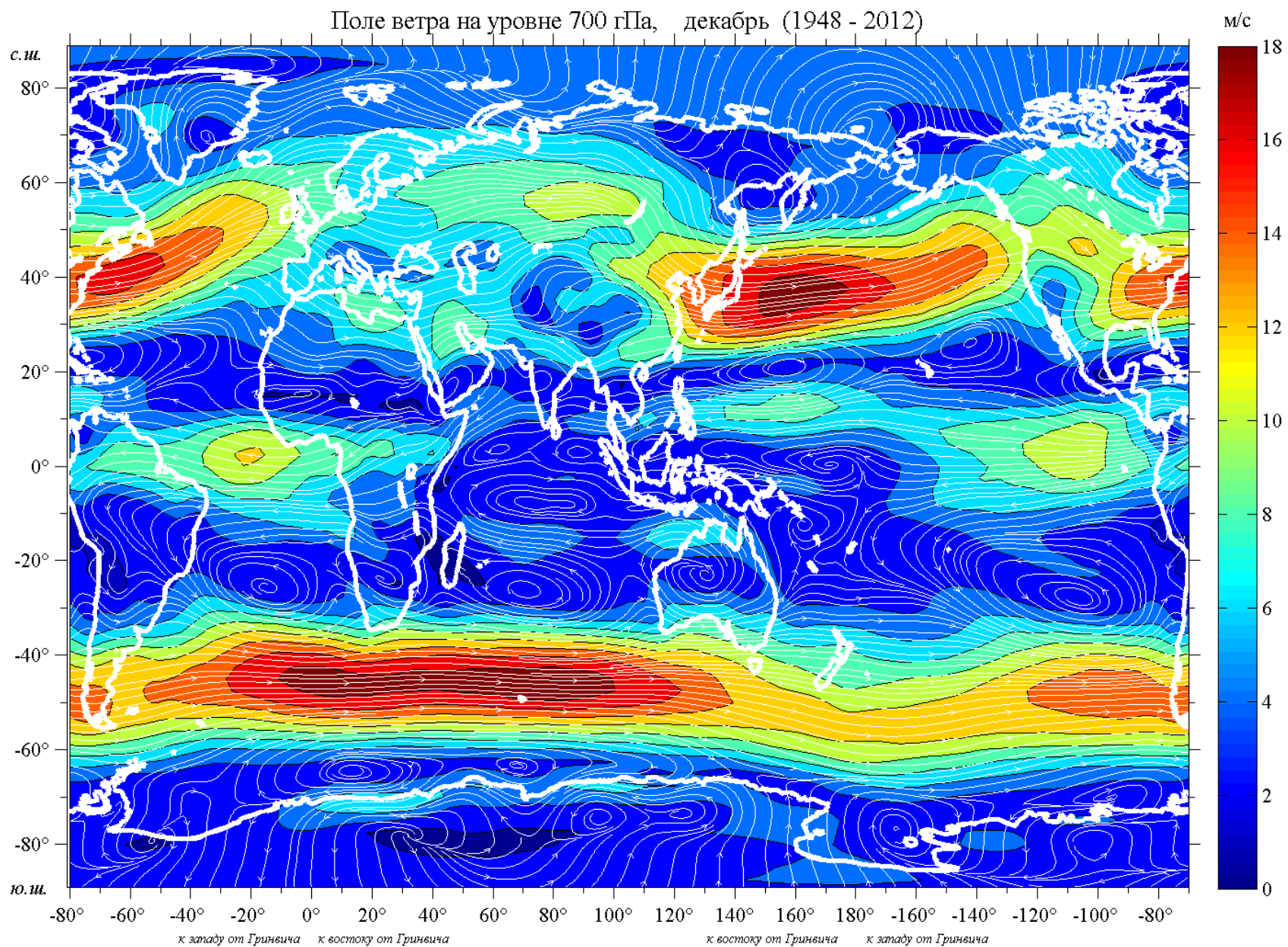








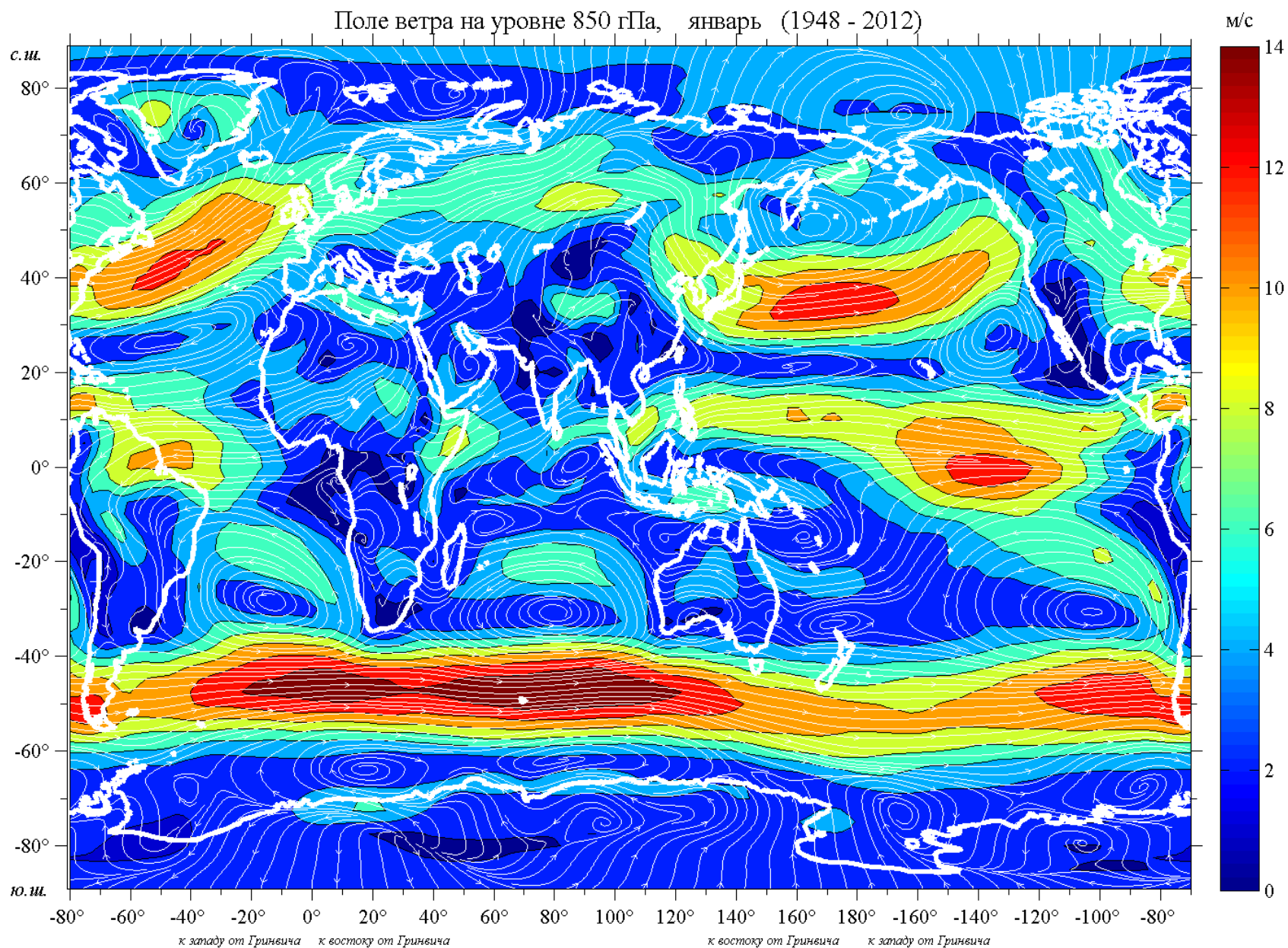


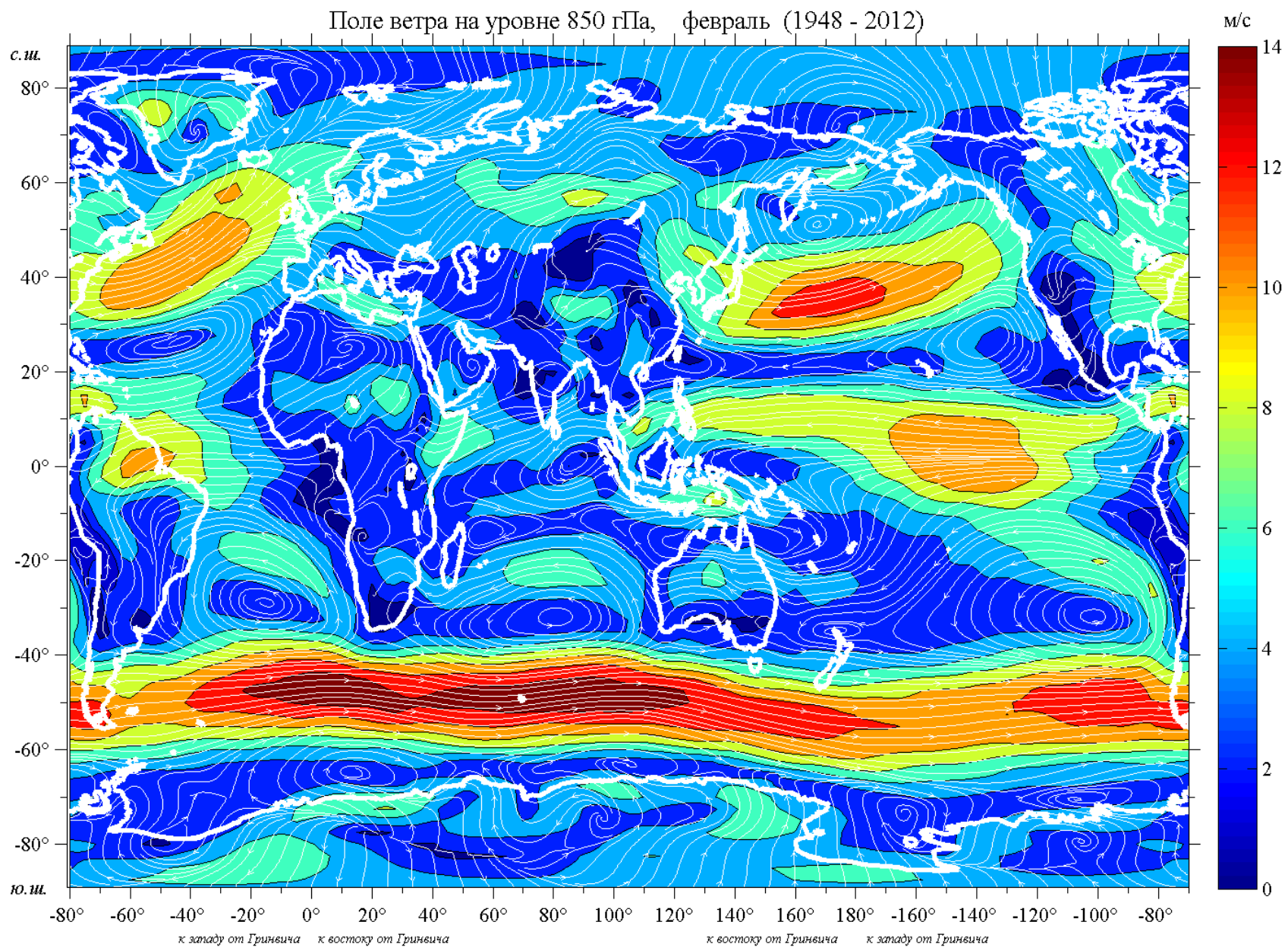




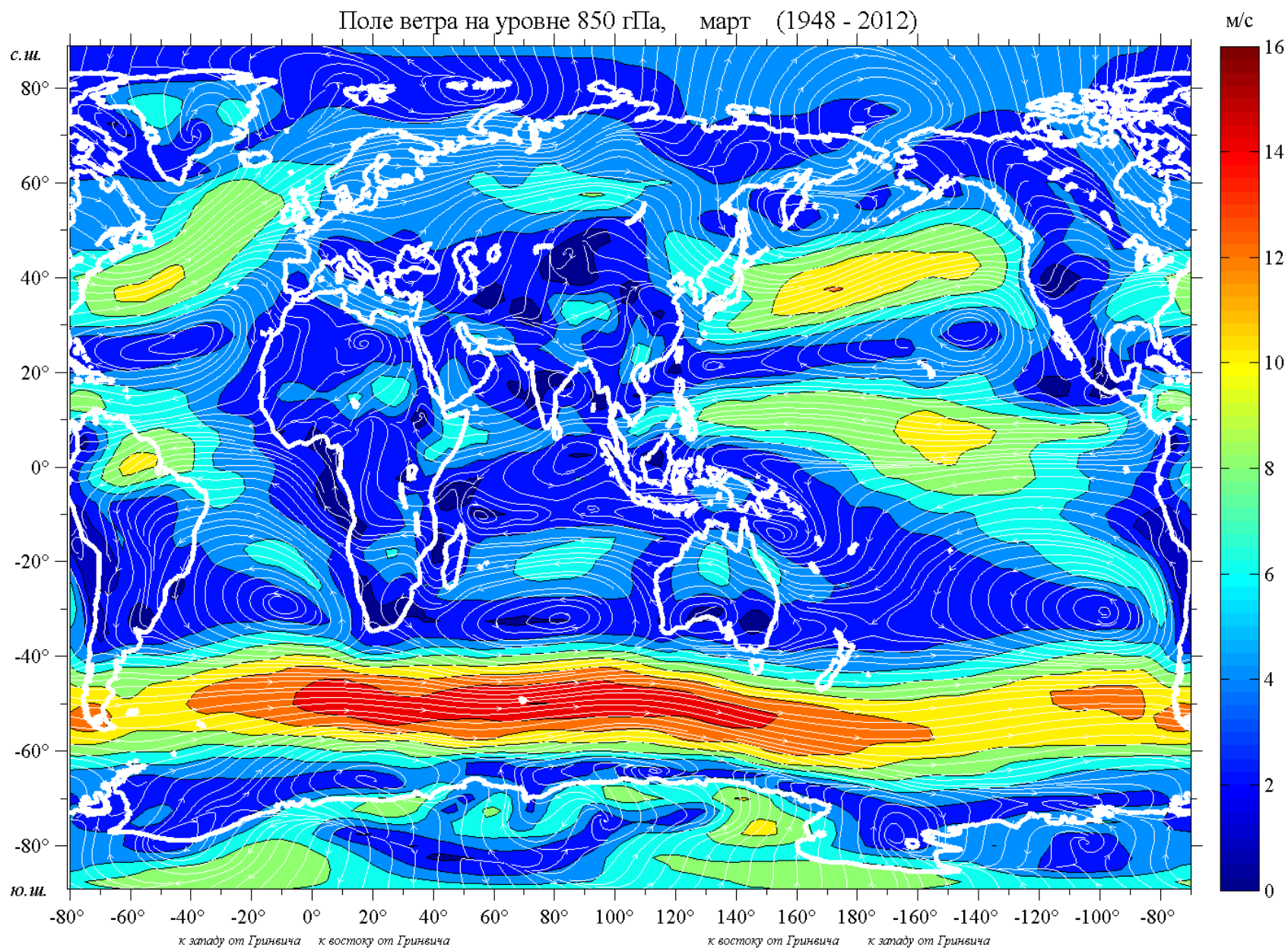
### **10. Поле ветра на уровне 850 гПа**

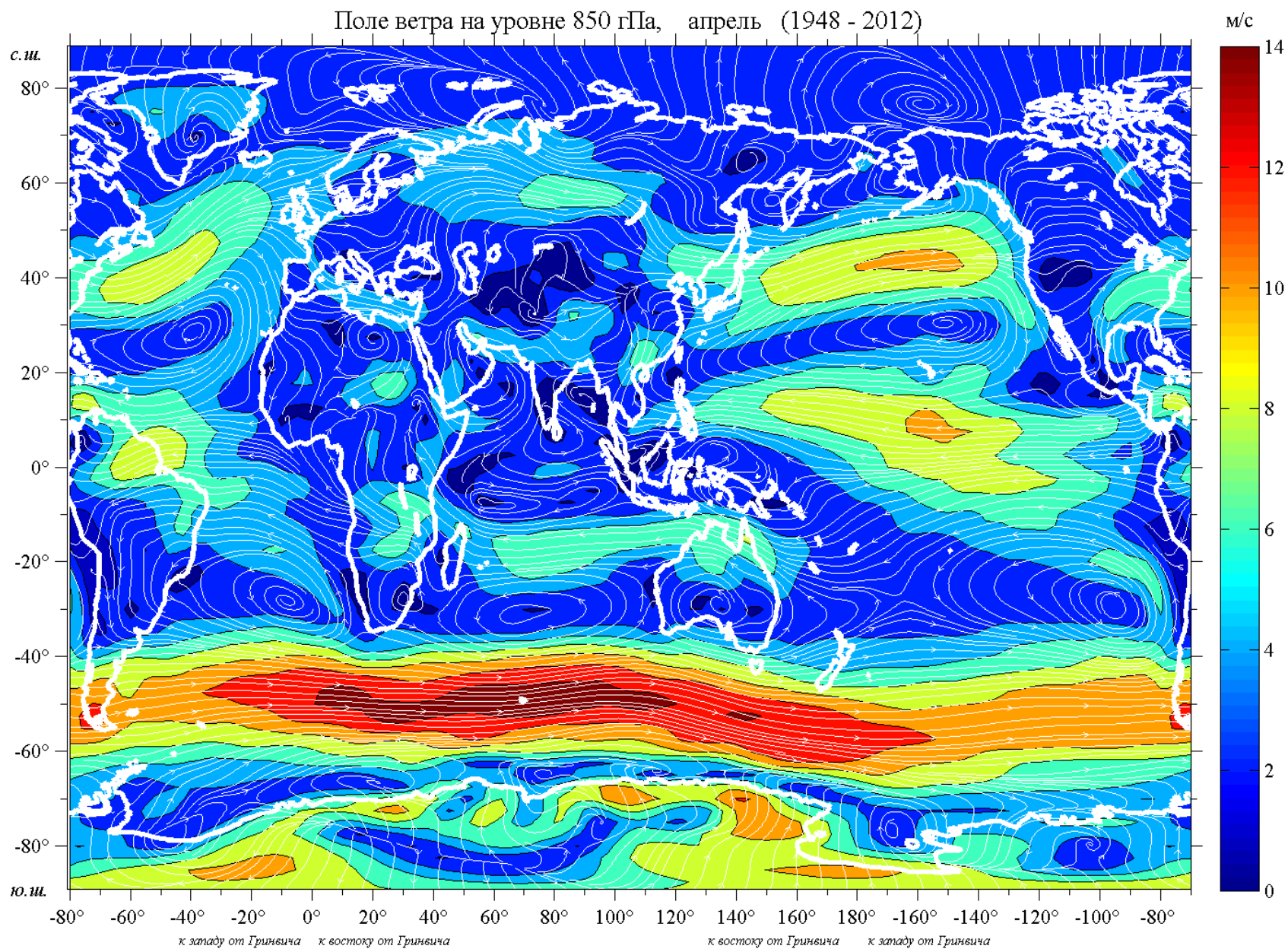
На картах для каждого месяца с шагом 2м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.

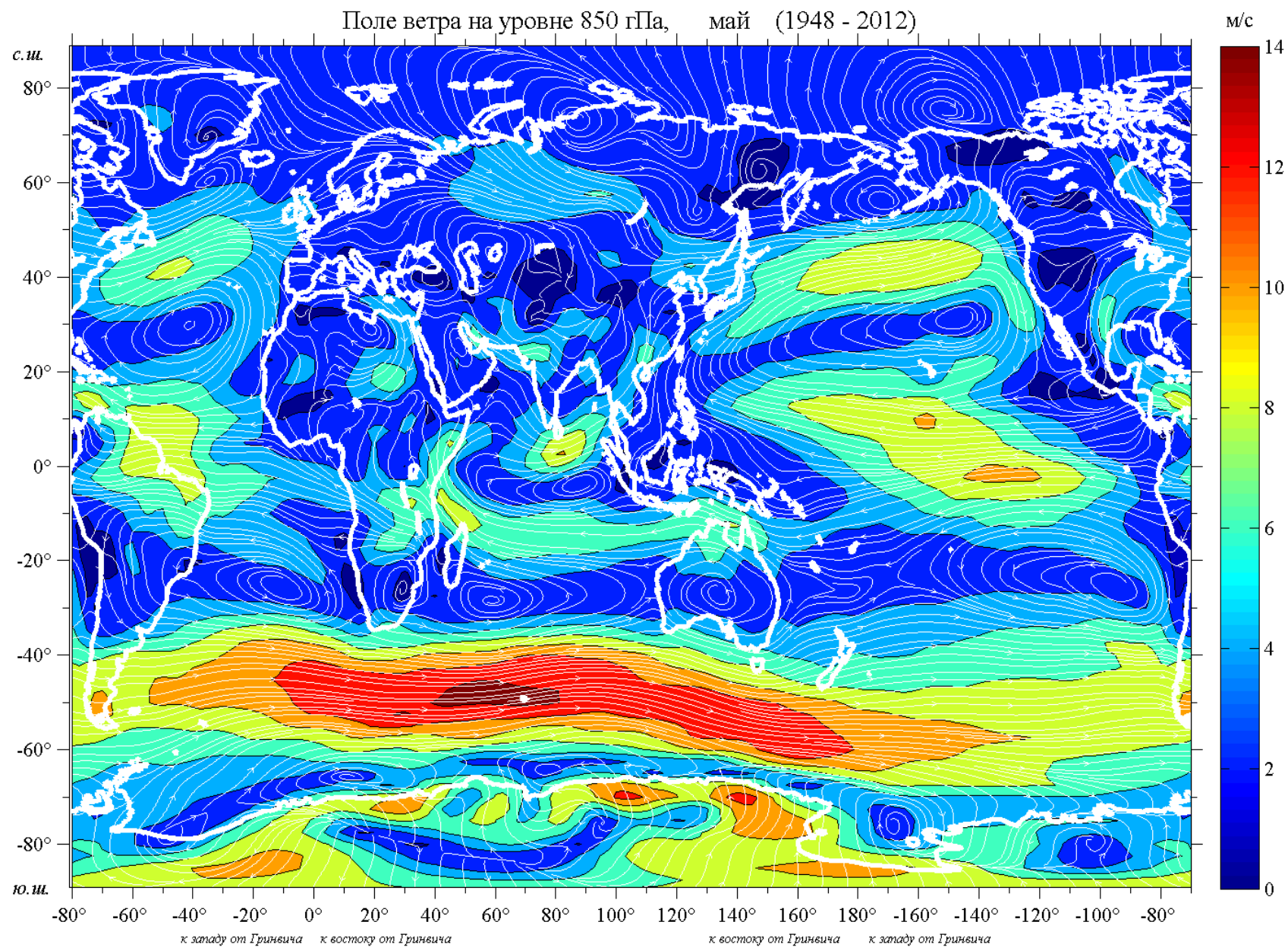




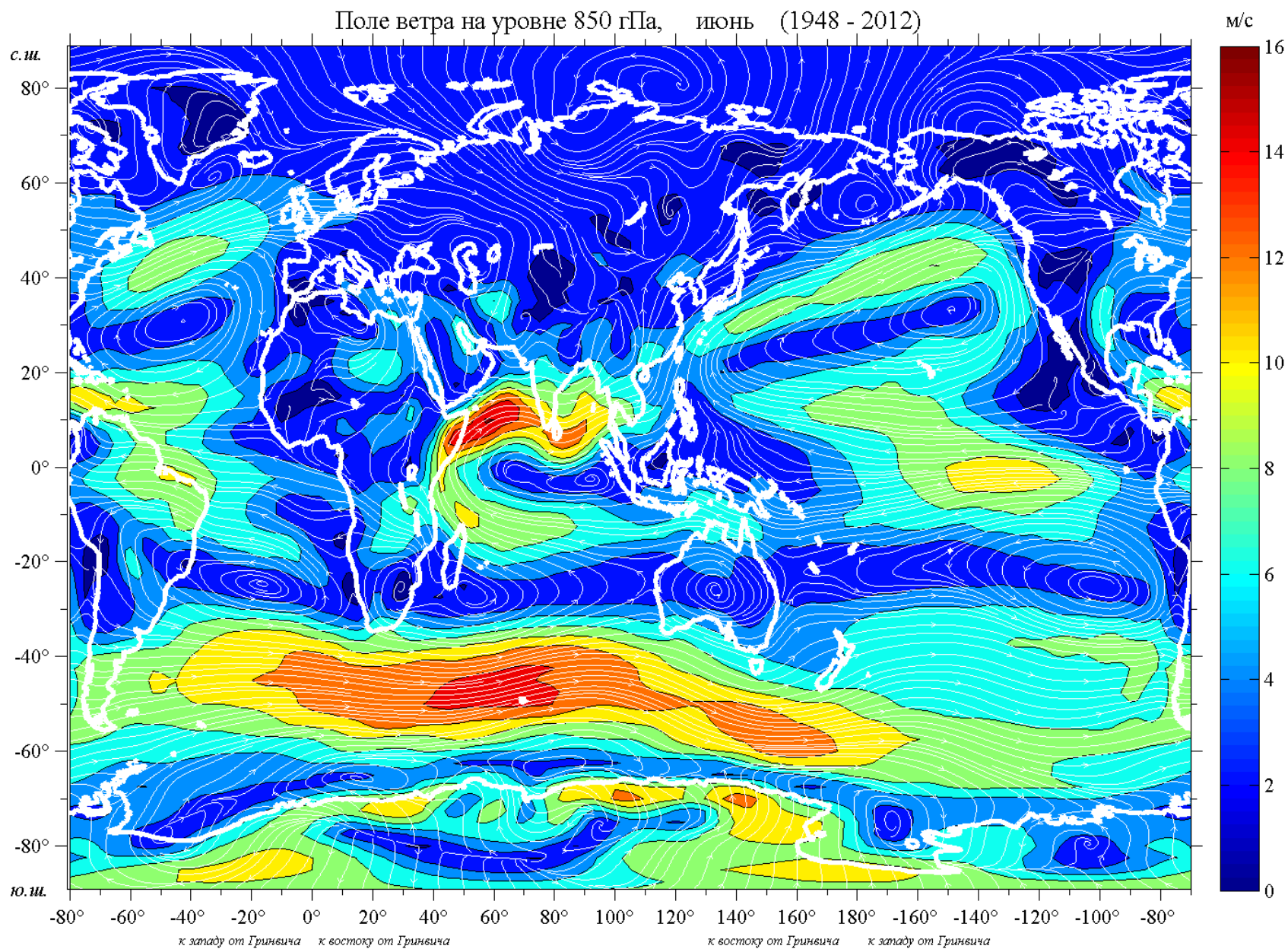


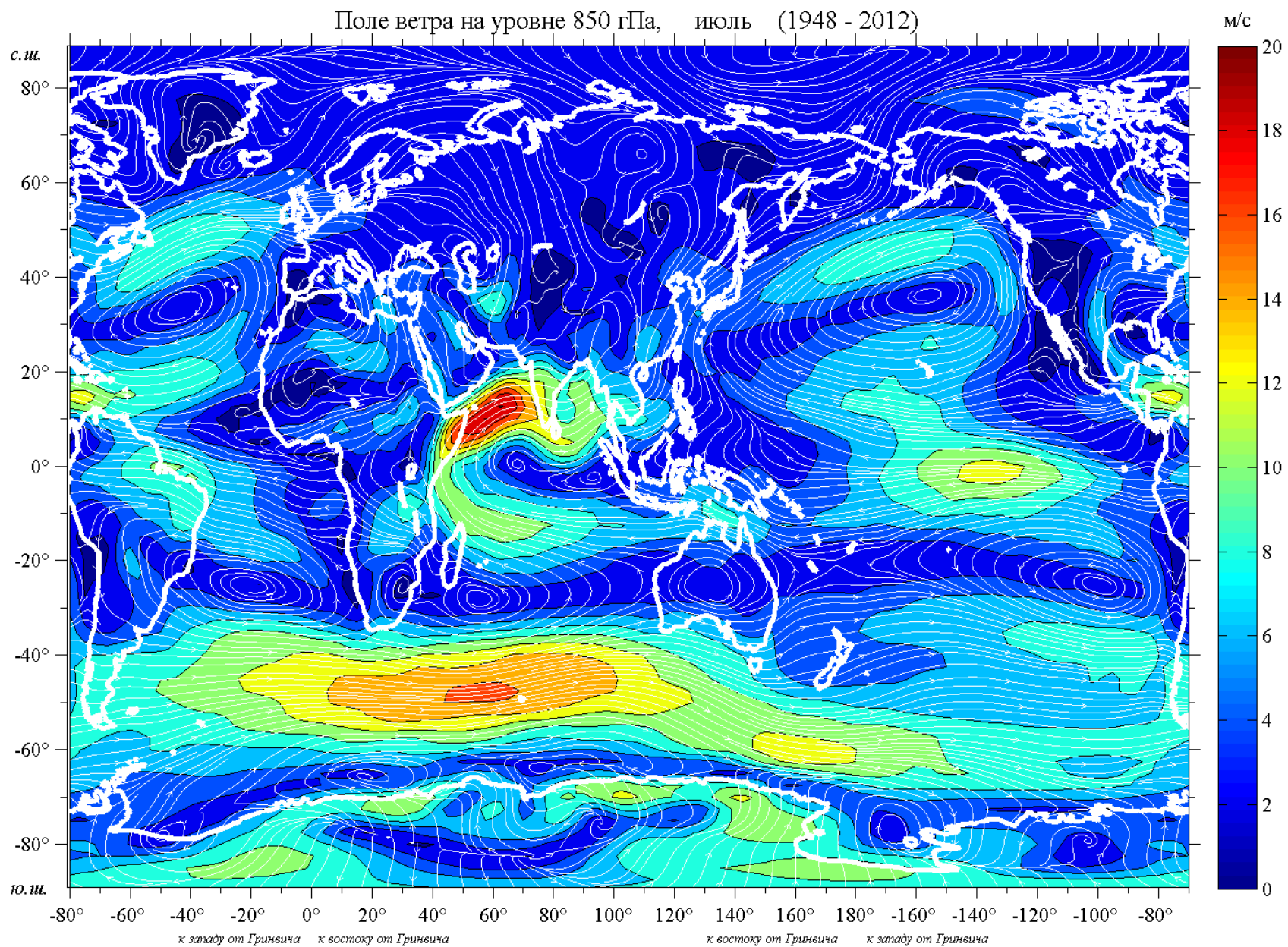


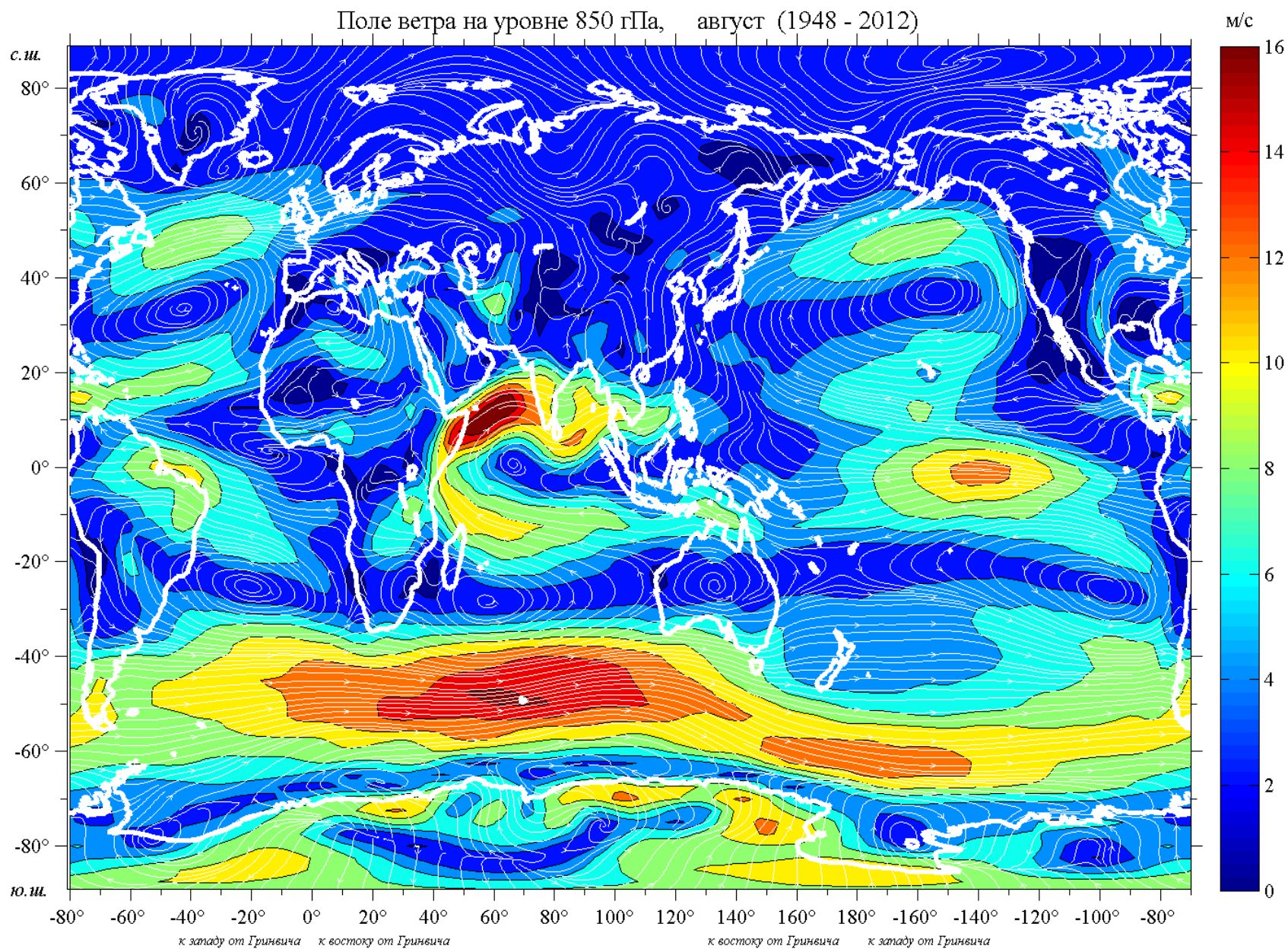




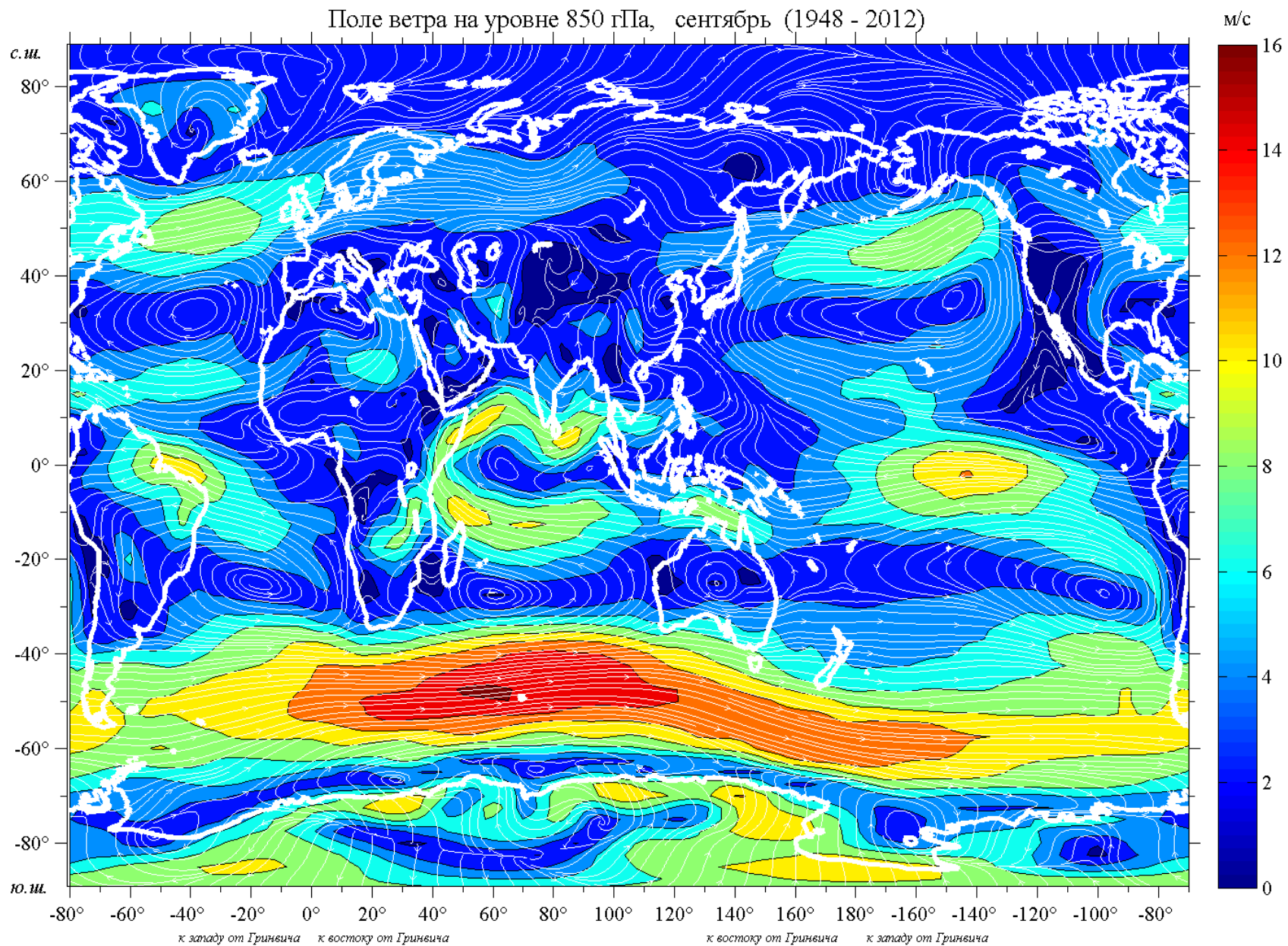


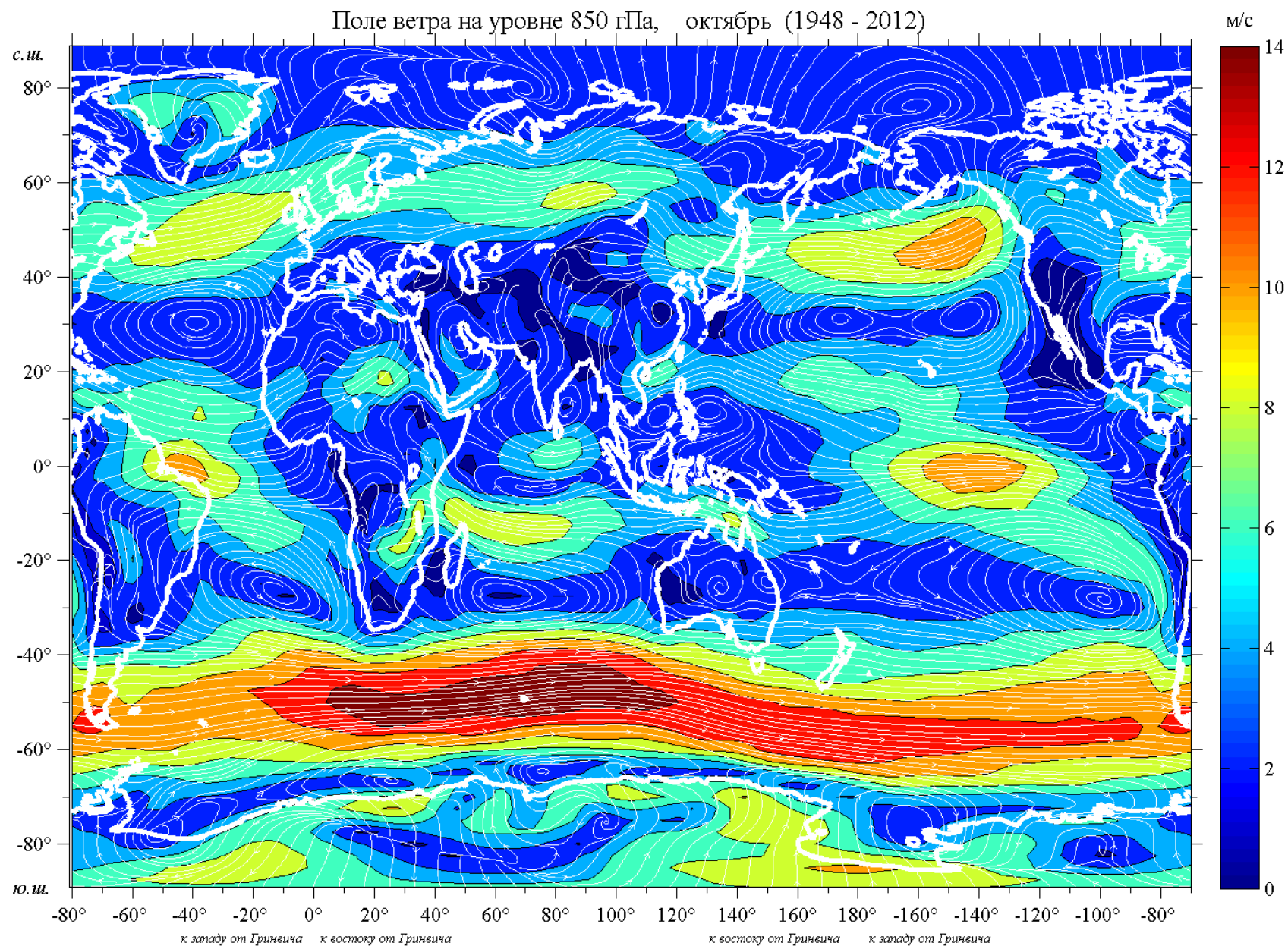


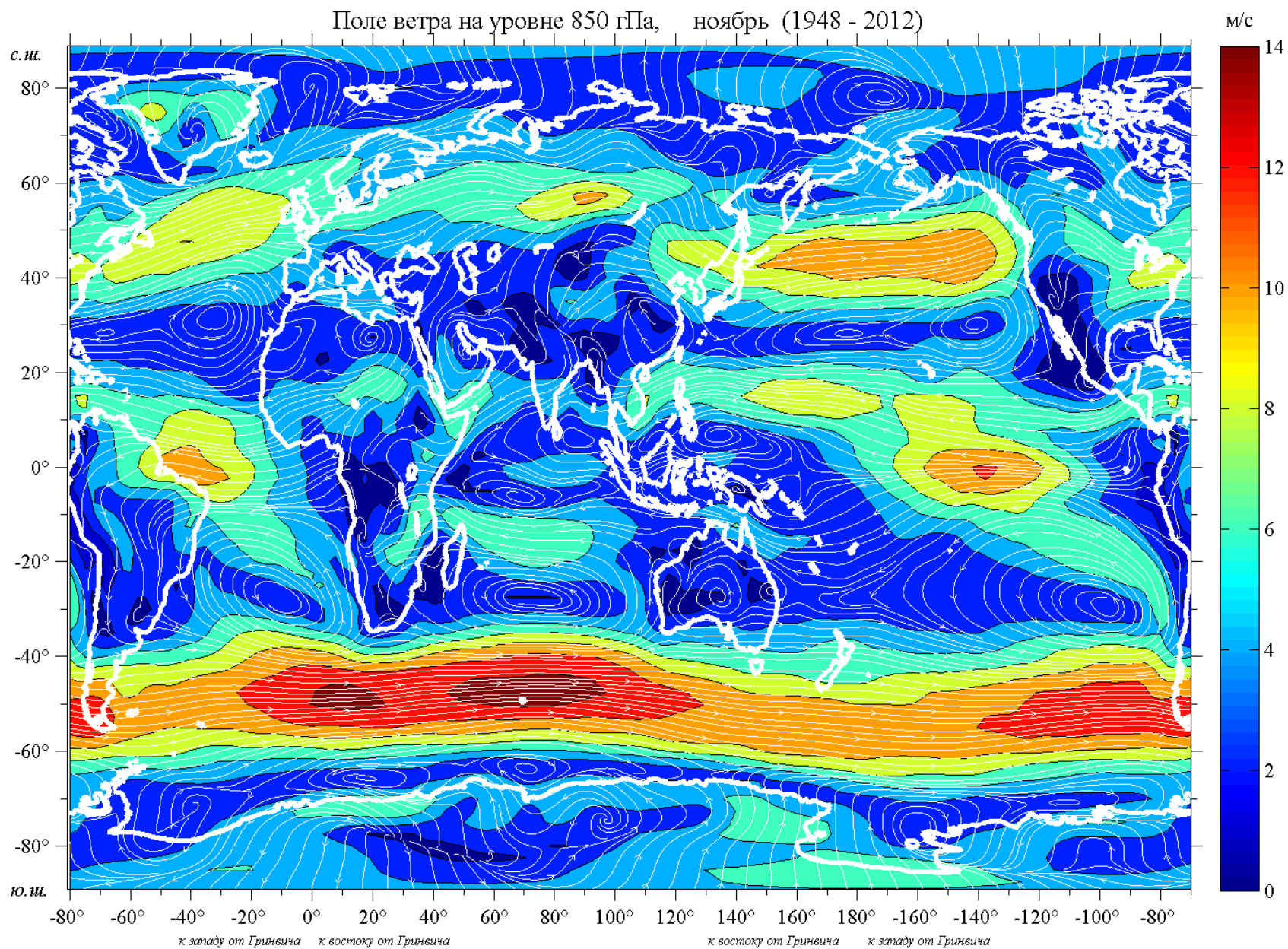




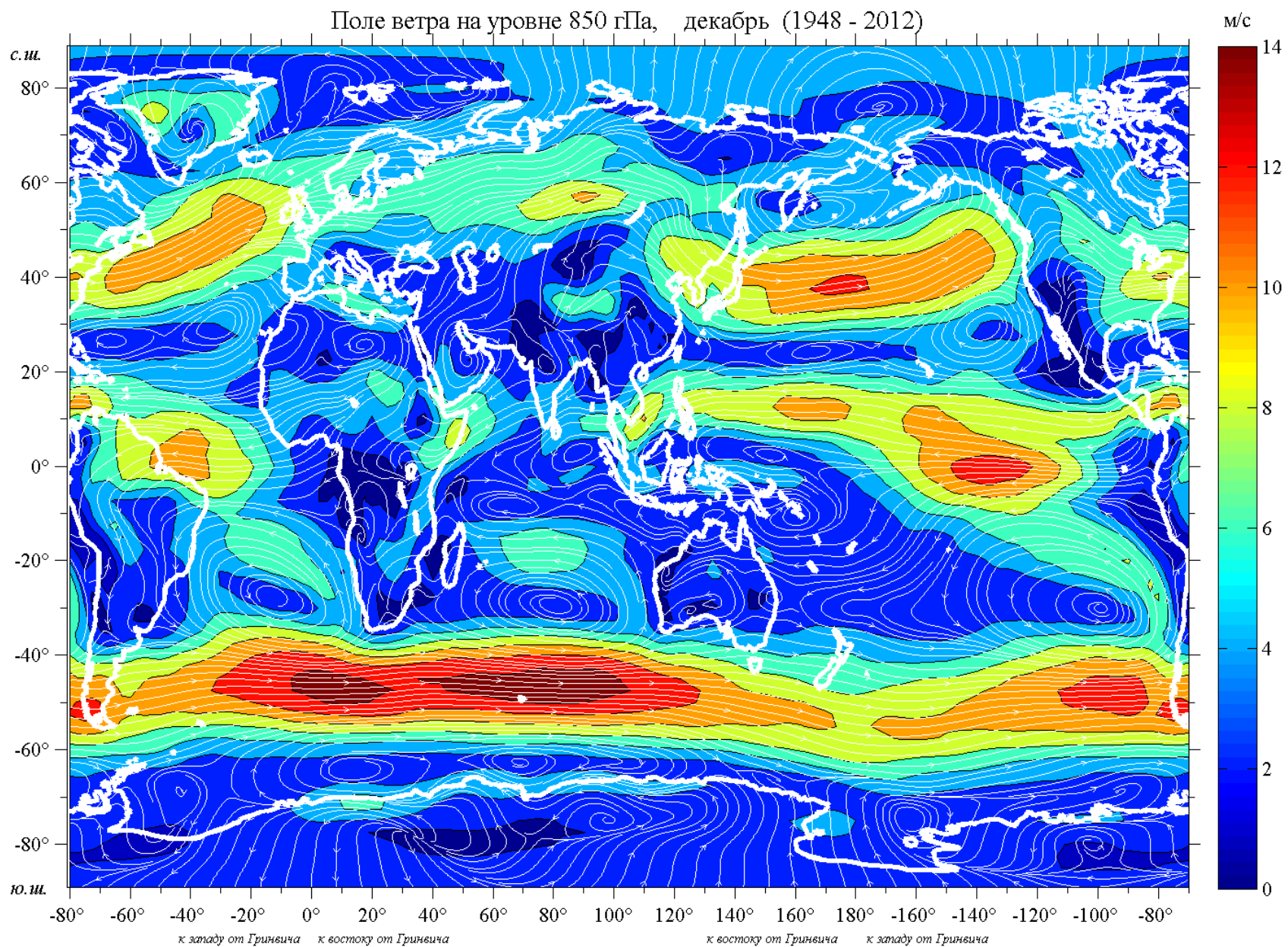






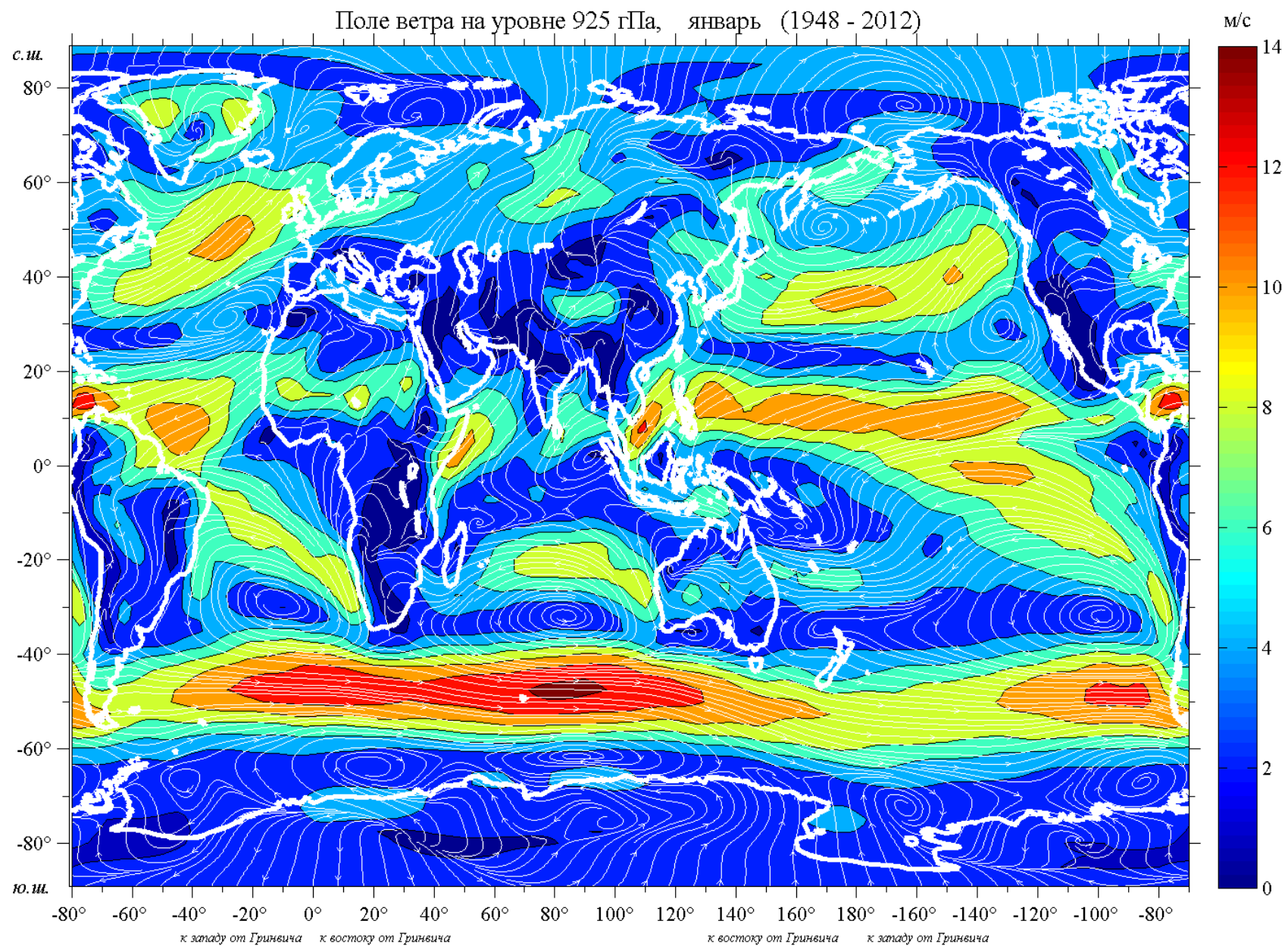




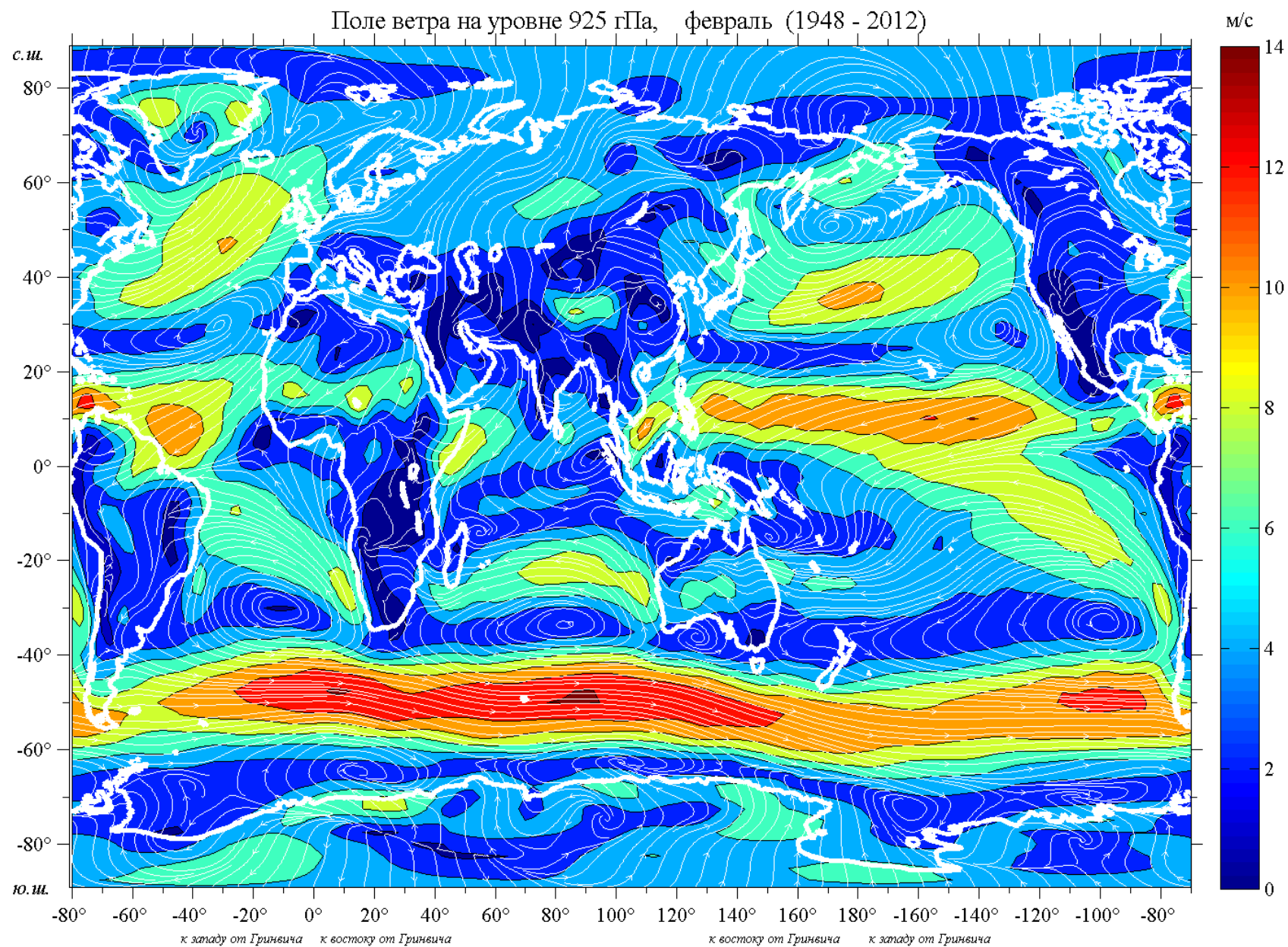


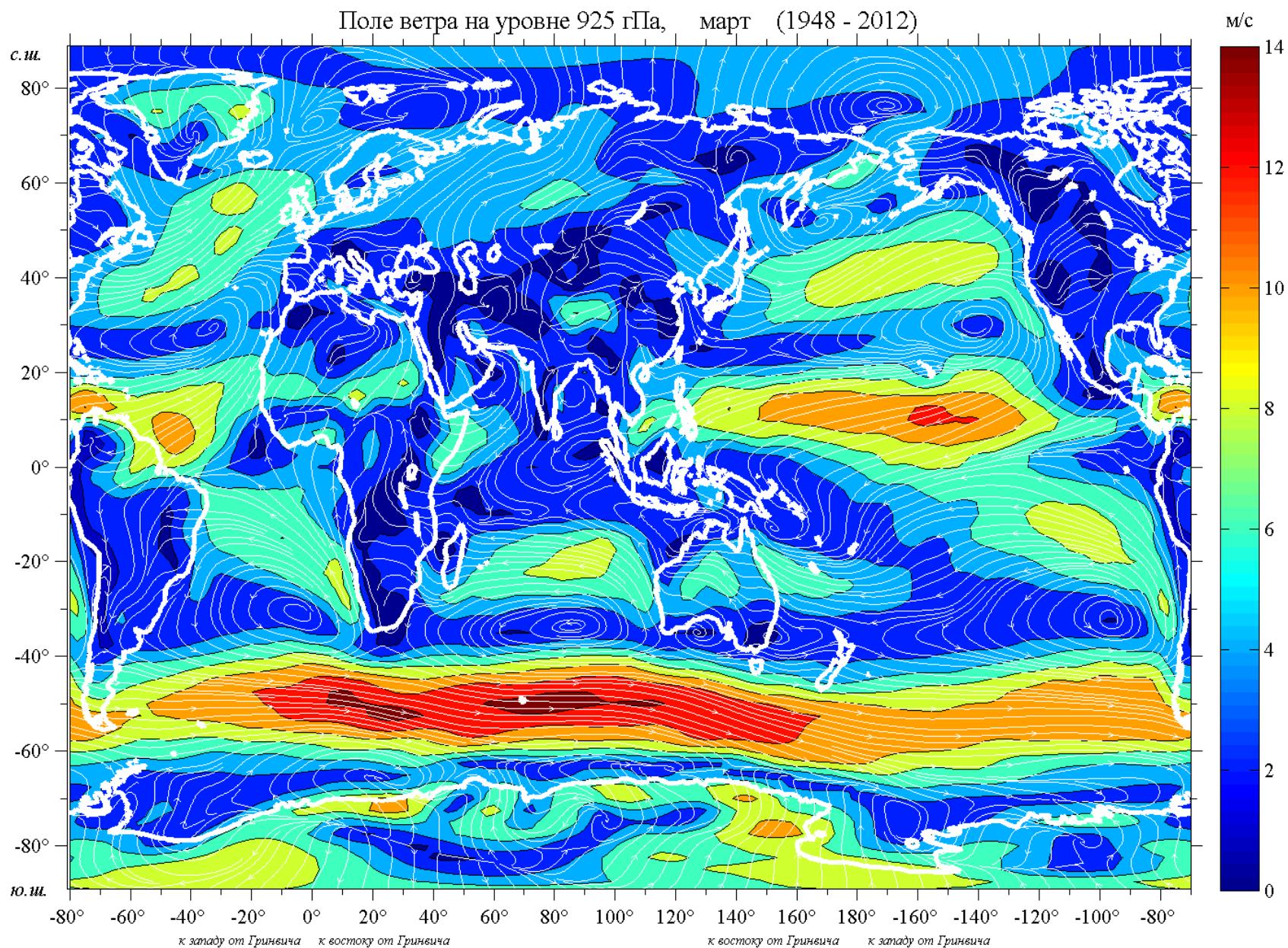
### **11. Поле ветра на уровне 925 гПа**

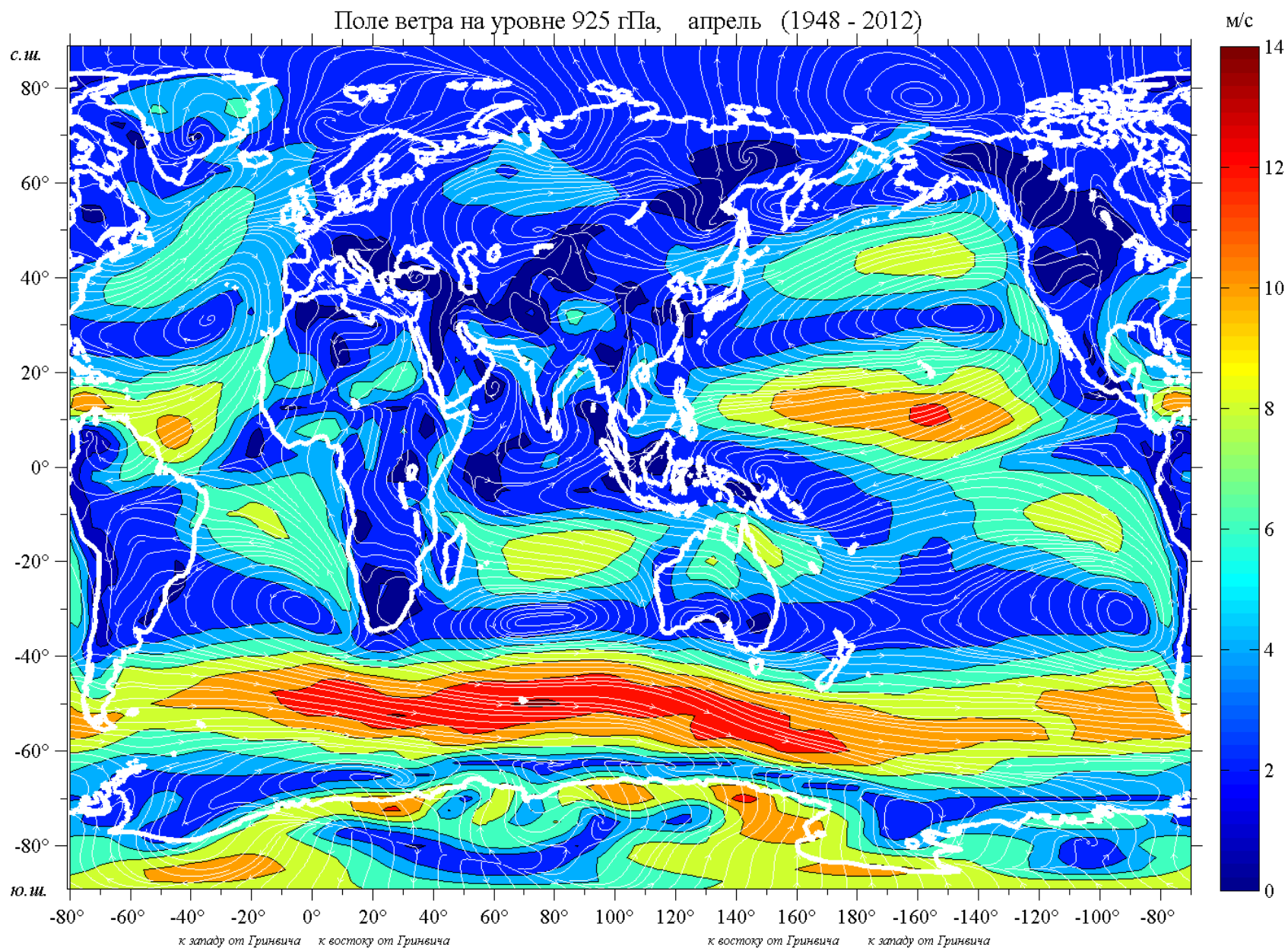
На картах для каждого месяца с шагом 2м/с приведены изолинии осредненных за период 1948 – 2012 гг. значений модуля вектора скорости ветра. Линии тока нанесены белым цветом.



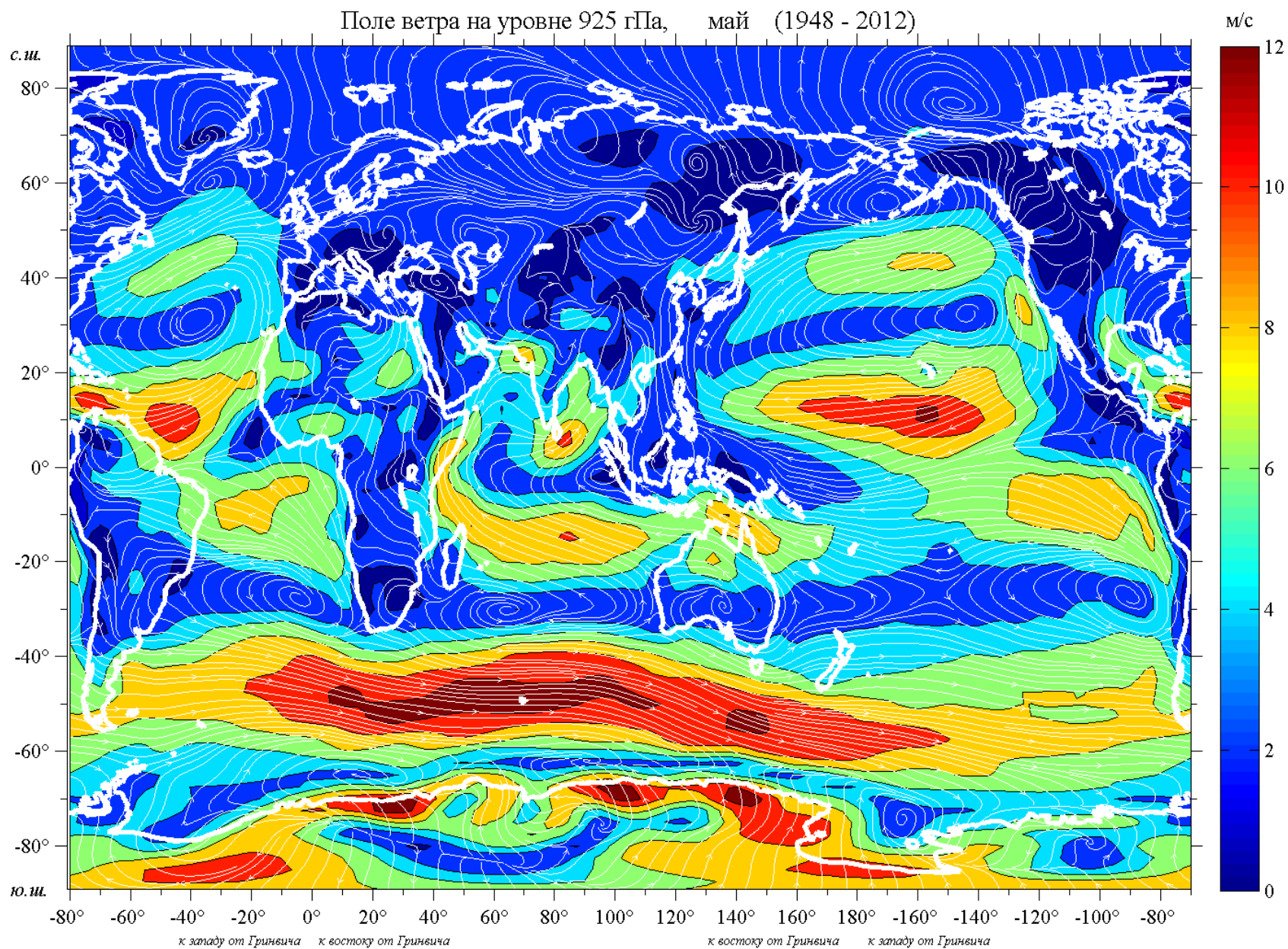


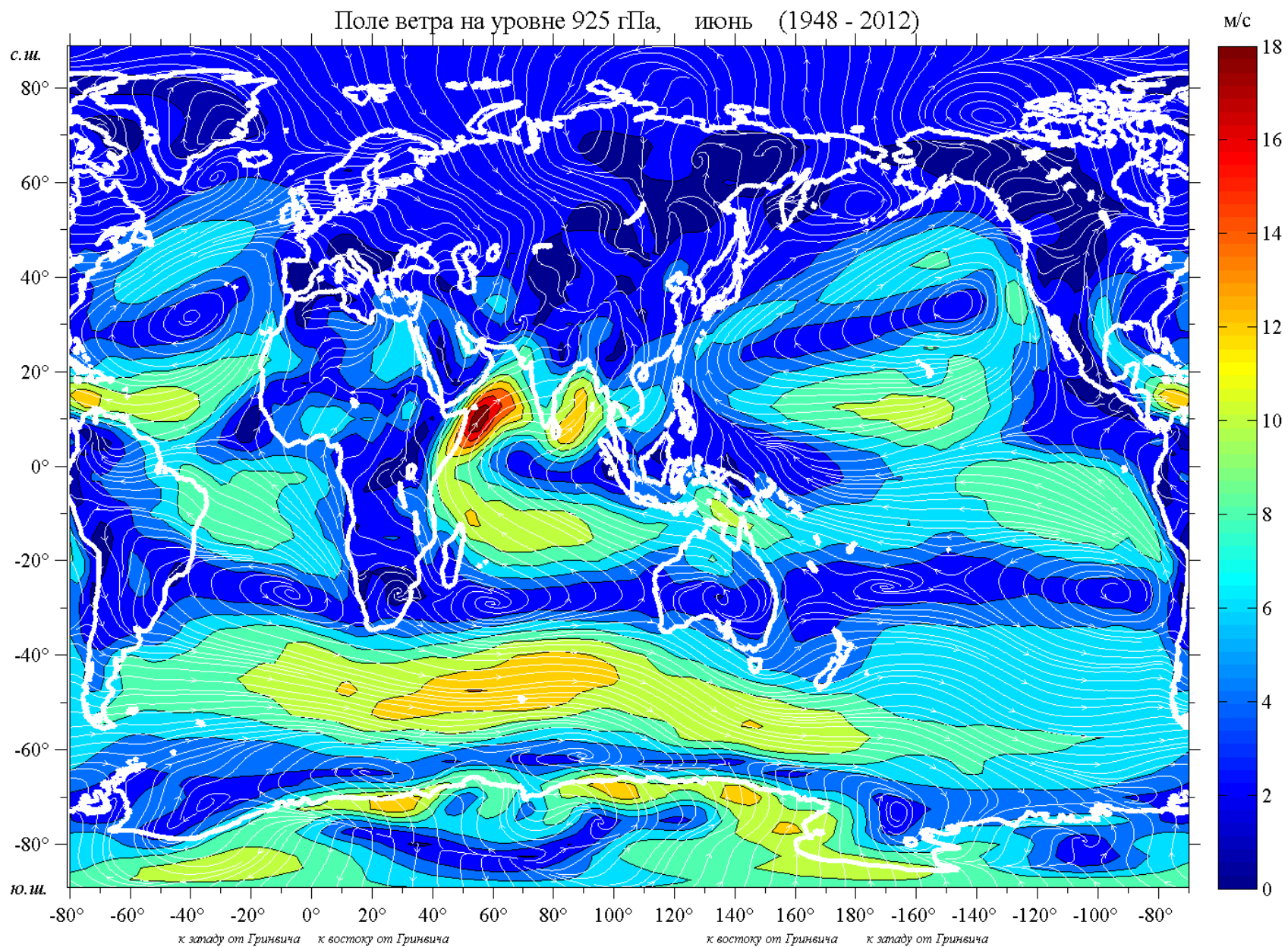


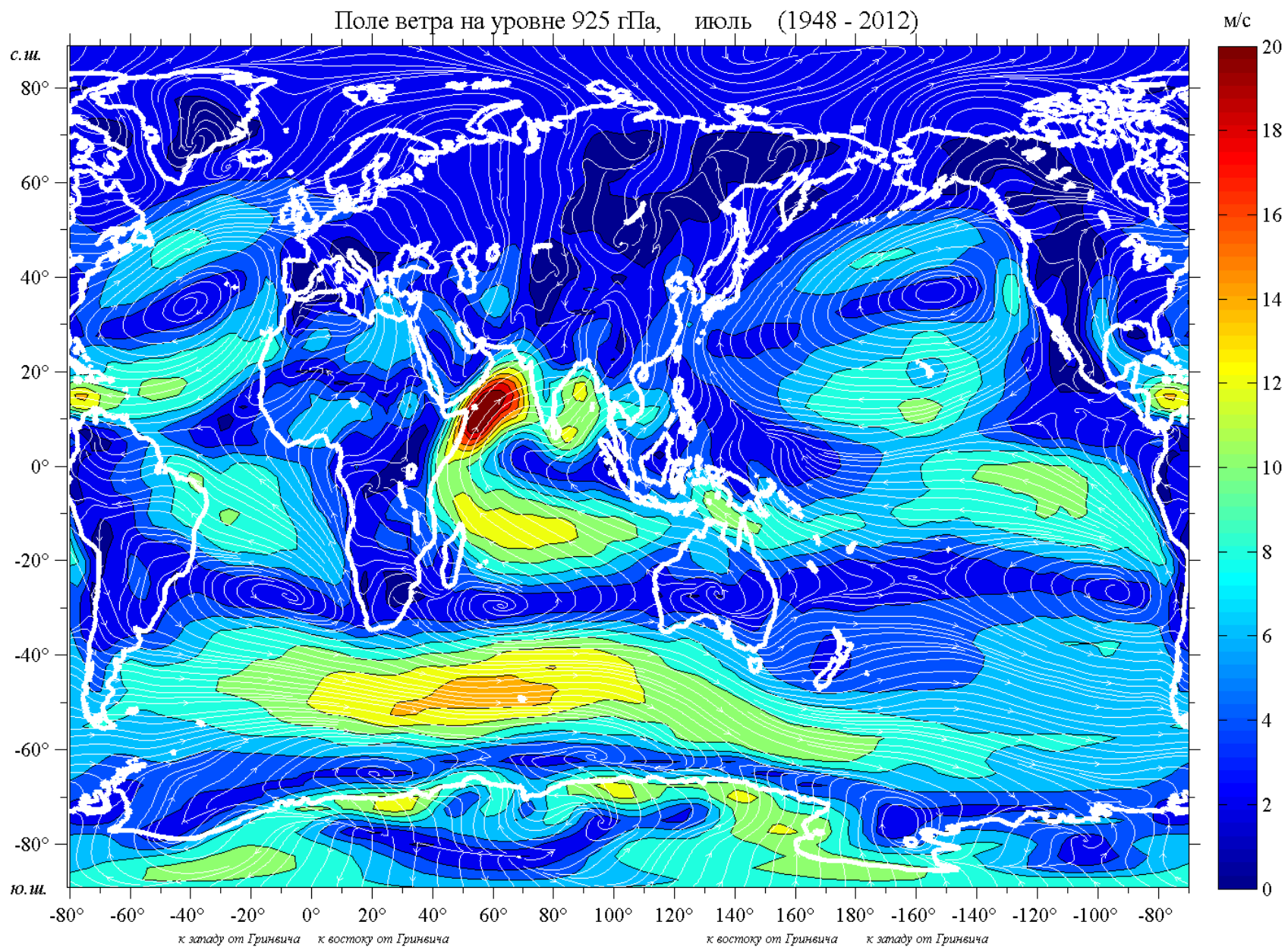




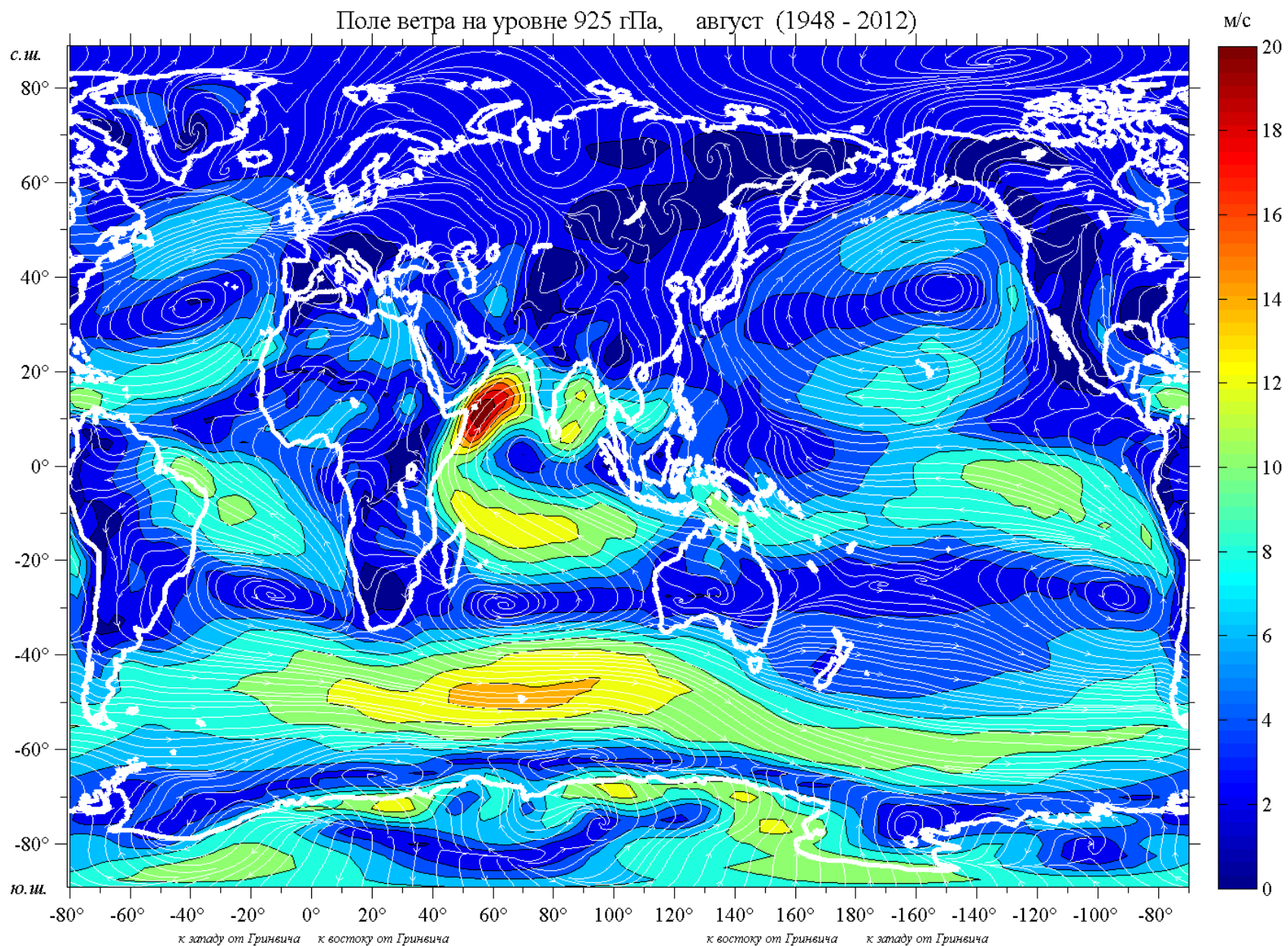


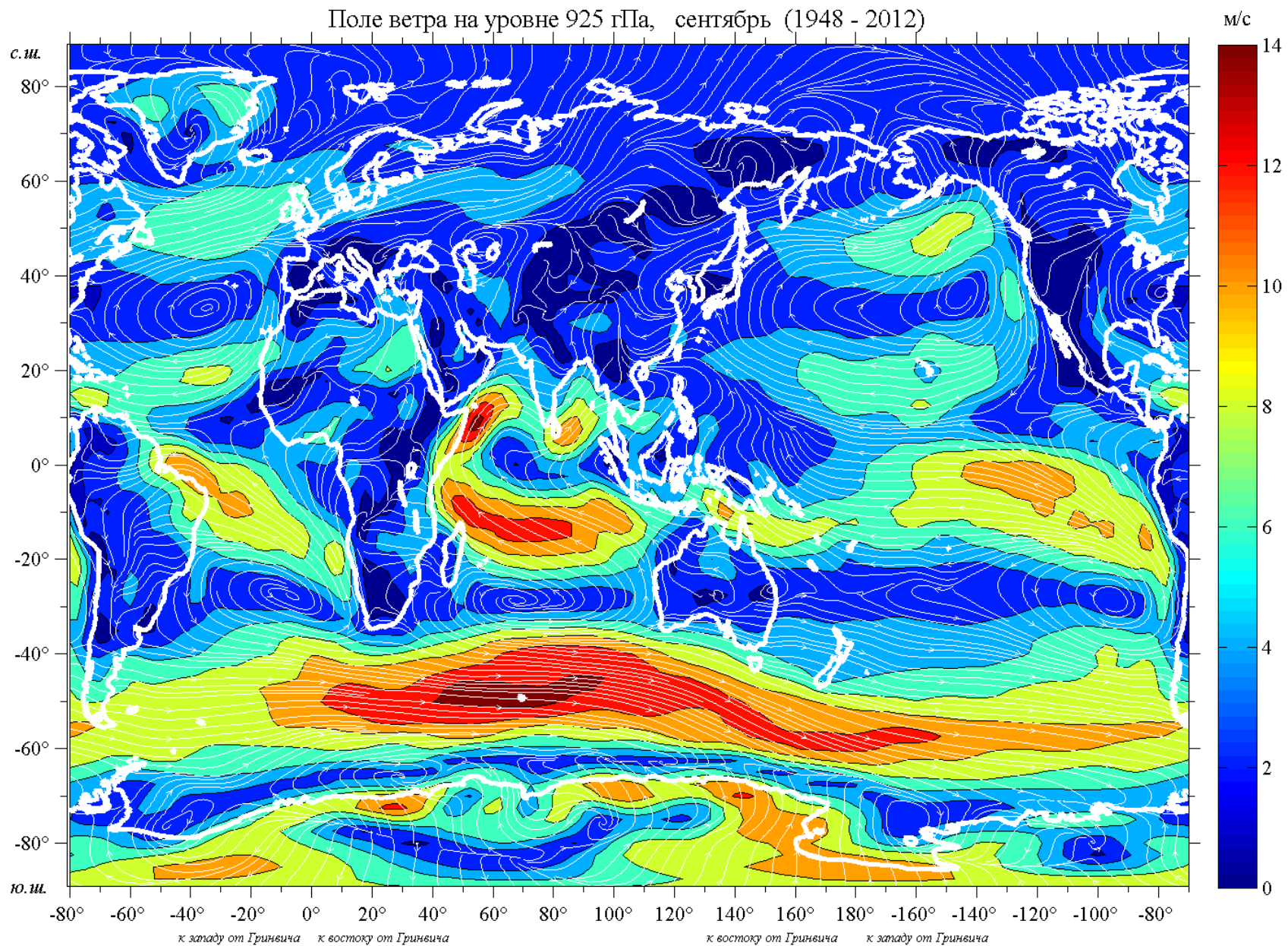


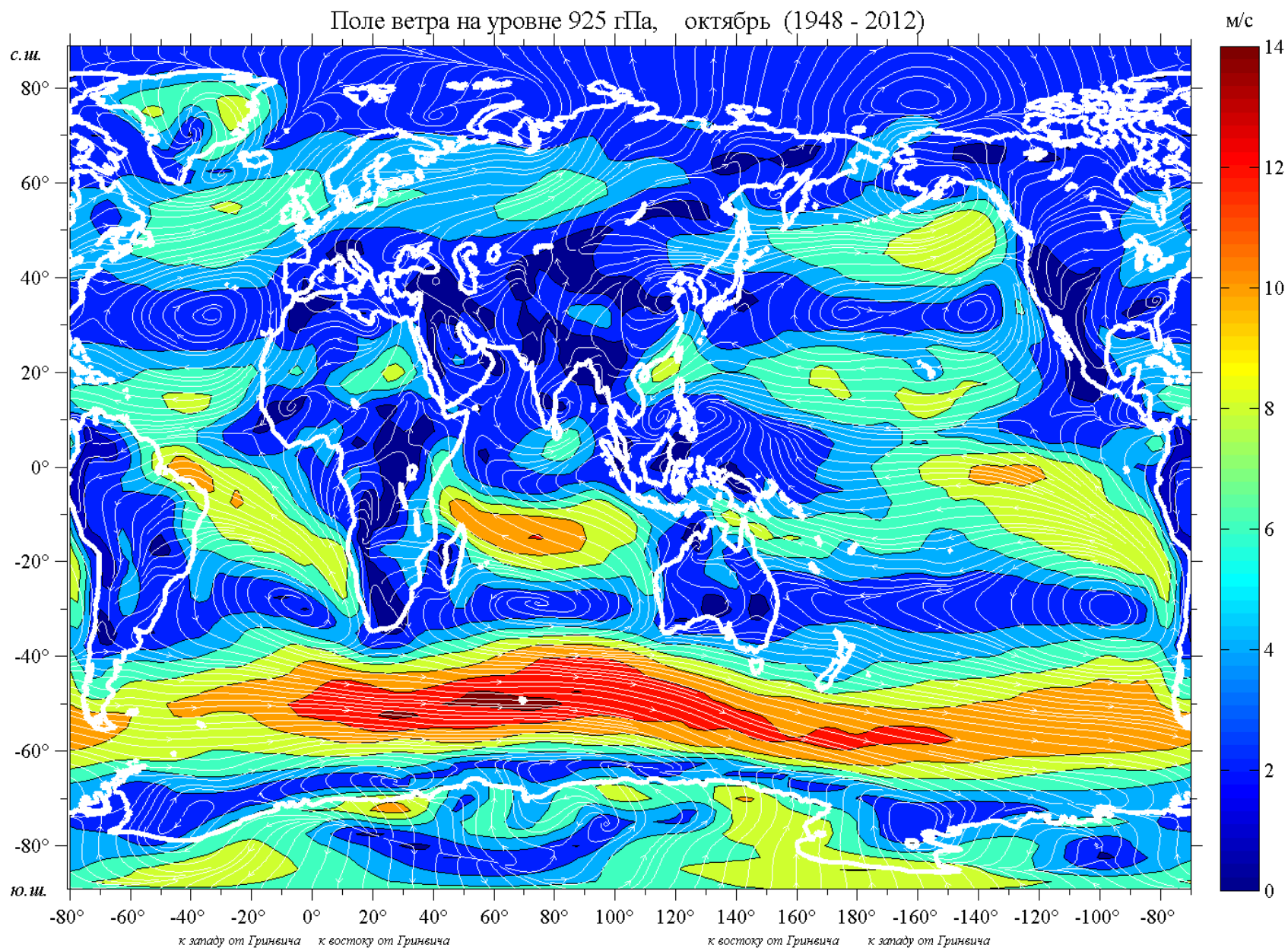




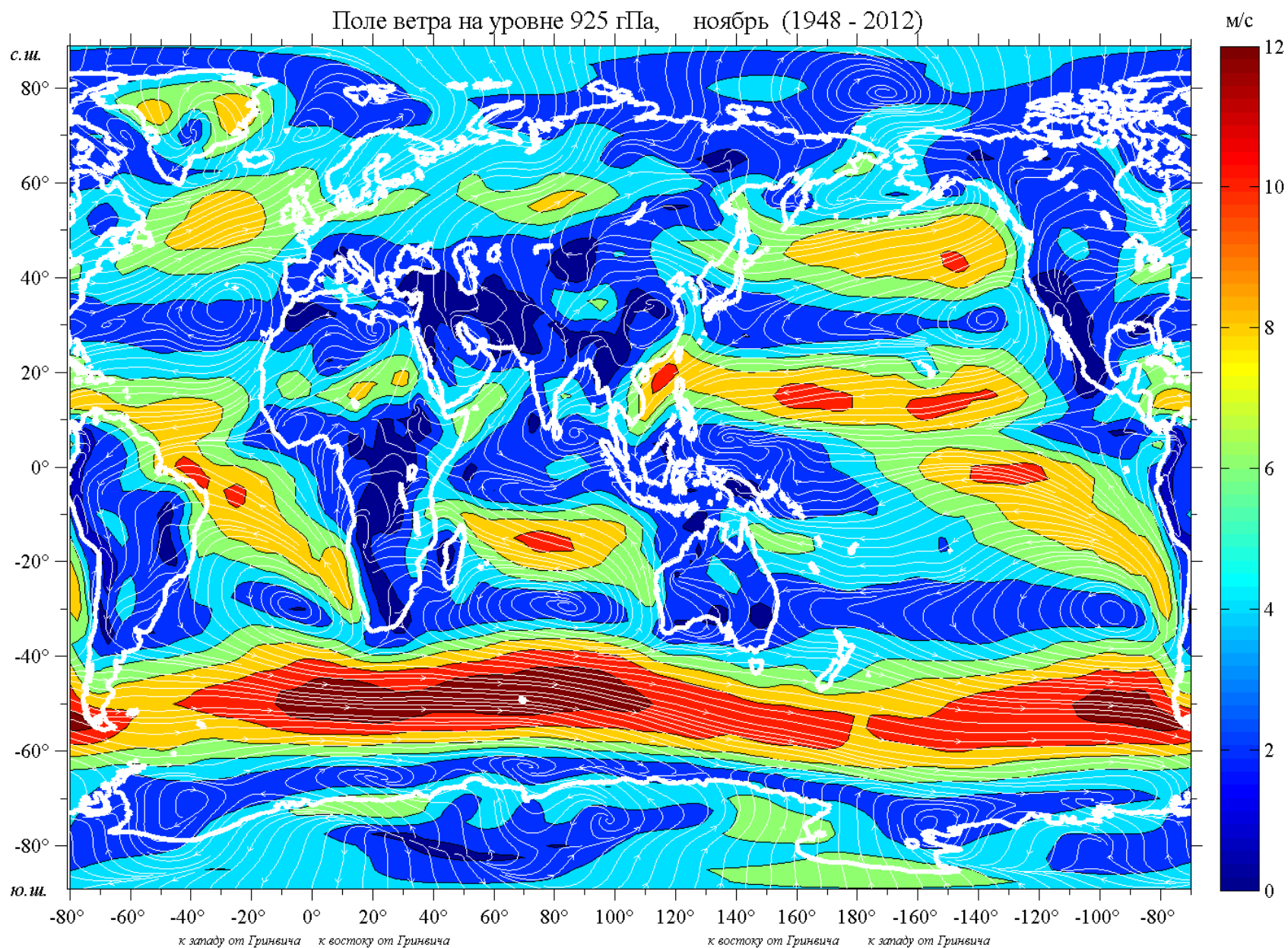


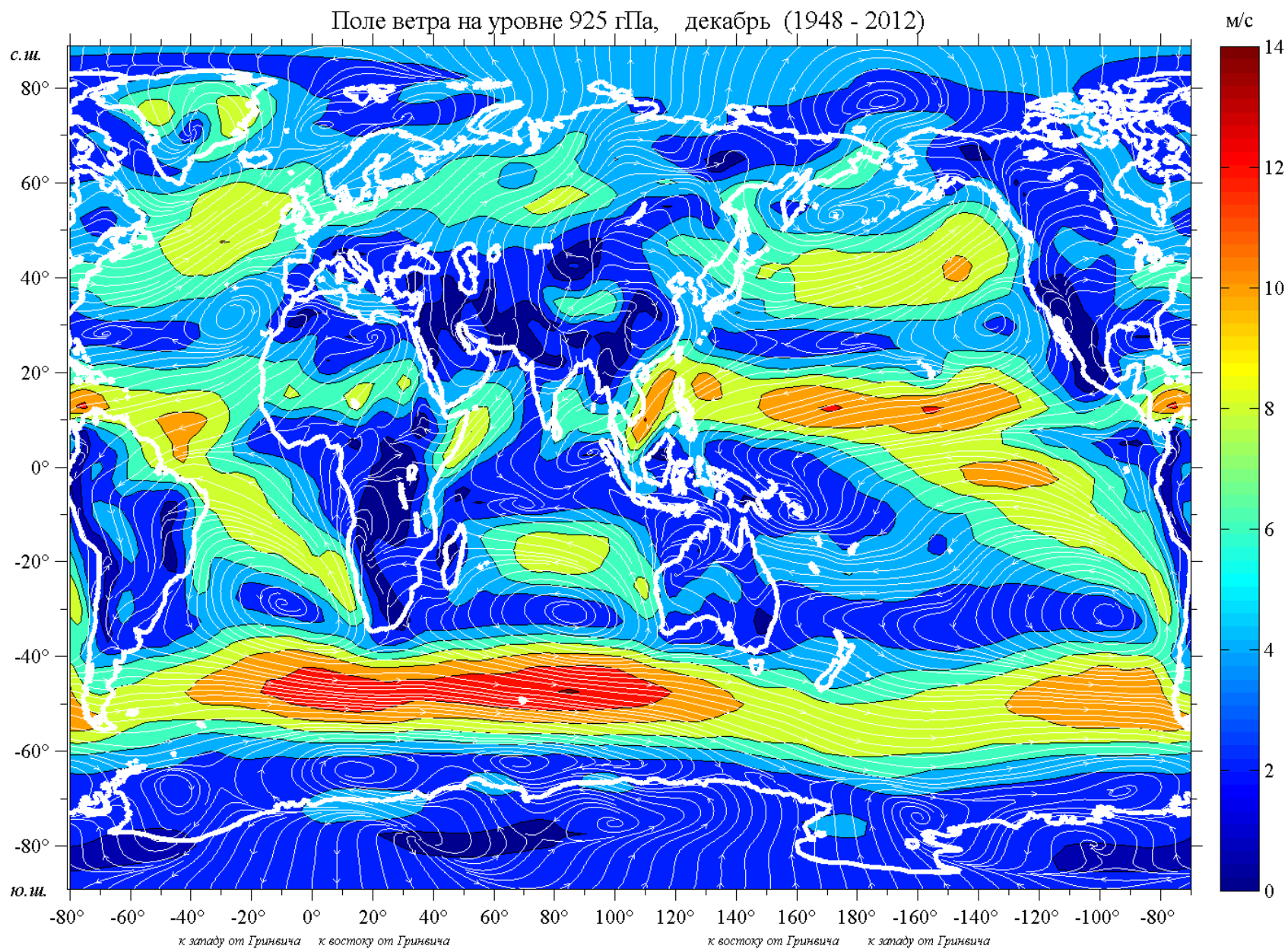












## Приложение 1

### 1.1. Расчет среднего модуля вектора скорости ветра

Приведенные карты климатических распределений изотак и линий тока для каждого месяца получены осреднением среднемесячных значений  $u$  и  $v$  за 65 лет. Отметим, что климатические значения модуля скорости ветра можно вычислить двумя способами. В одном из них по  $u_{mk}$  и  $v_{mk}$  находим  $V_{mk}$ , где  $k$  (1, 2, ..., 65) определяет номер года, а  $m$  (1, 2, ..., 12) – номер месяца в году.

Среднее значение  $\bar{V}_m$  находим по формуле

$$\bar{V}_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V_{mk}, \quad V_{mk} = \sqrt{u_{mk}^2 + v_{mk}^2}, \quad N=65.$$

Во втором способе сначала осредняем  $u_{mk}$  и  $v_{mk}$  по формулам

$$\bar{u}_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_{mk}, \quad \bar{v}_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_{mk},$$

А затем по этим средним значениям находим

$$V_{\text{ср},m} = \sqrt{\bar{u}_m^2 + \bar{v}_m^2}.$$

Рассмотрим разность

$$\Delta V = \bar{V} - V_{\text{ср}}$$

Здесь и далее индекс  $m$  опущен.

Осуществляя процедуру центрирования и осреднения

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (V_k - \bar{V} + \bar{V})^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (u_k - \bar{u} + \bar{u})^2 + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (v_k - \bar{v} + \bar{v})^2,$$

Получим соотношение

$$\sigma_V^2 + \bar{V}^2 = \sigma_u^2 + \bar{u}^2 + \sigma_v^2 + \bar{v}^2$$

для дисперсий  $\sigma_V^2$ ,  $\sigma_u^2$ ,  $\sigma_v^2$  и квадратов средних значений  $\bar{V}^2$ ,  $\bar{u}^2$ ,  $\bar{v}^2$ . В результате получим

$$\bar{V} = (V_{\text{ср}}^2 + \sigma_u^2 + \sigma_v^2 - \sigma_V^2)^{1/2}.$$

Так как  $\sigma_u^2 + \sigma_v^2 > \sigma_V^2$ , то  $\bar{V} > V_{\text{ср}}$  и  $\Delta V > 0$ . Анализ распределения величины  $\Delta V$  показал, что для большинства областей над Мировым океаном она незначительна. Исключение составляют области между ячейками Гадлея и Ферреля, а также между ячейками Ферреля и полярными, где  $\Delta V$  возрастает до 2 м/с и даже 4 м/с.

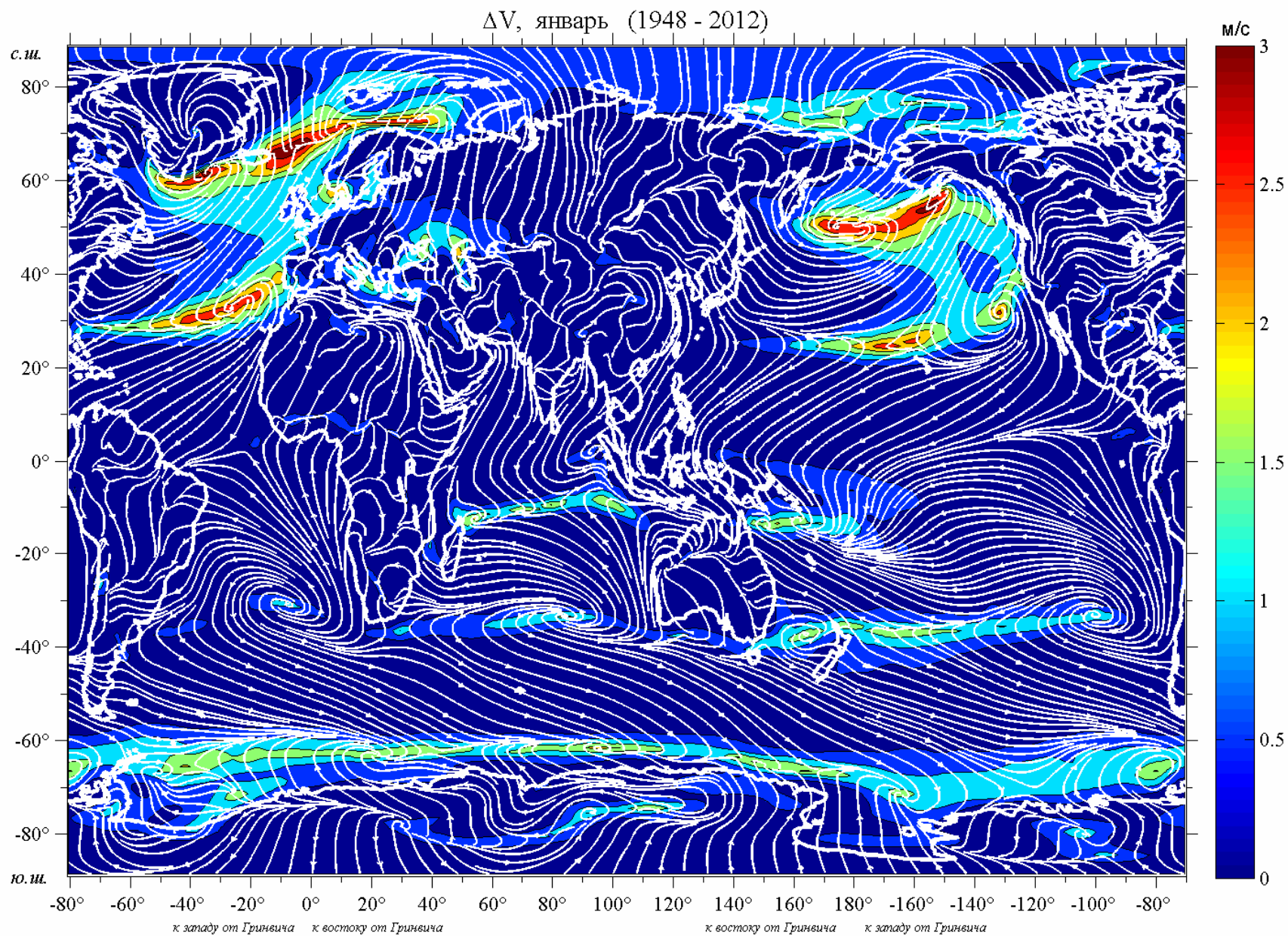


Зимой северного и зимой южного полушария величина  $\Delta V$  значительно больше, чем летом. Это может быть следствием большей устойчивости движения воздушных масс в летней атмосфере, чем в зимней.

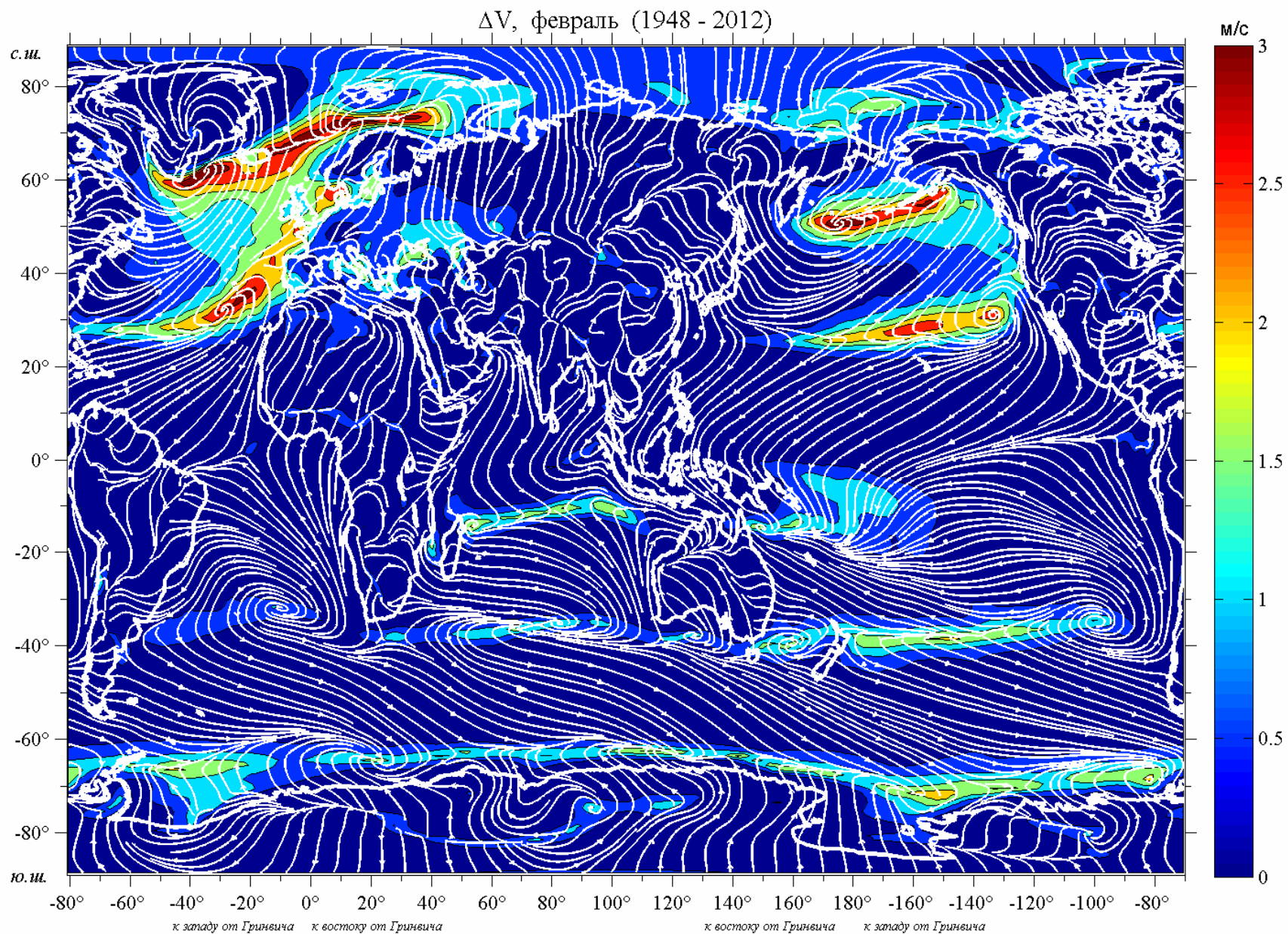
### **1.2. Карты распределения $\Delta V$**

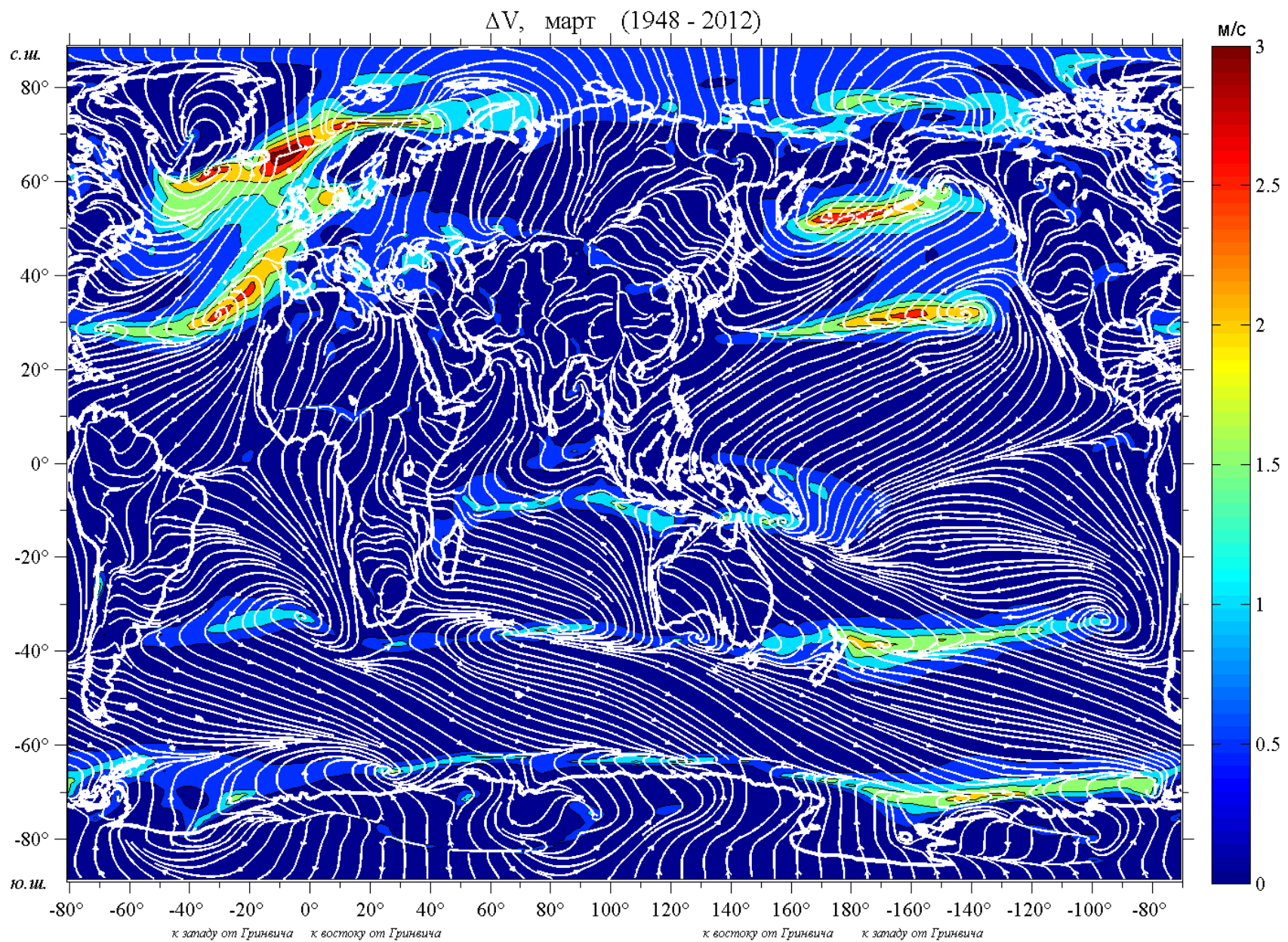
На картах для каждого месяца с шагом 1 м/с приведены изолинии  $\Delta V$ .

Белым цветом нанесены линии тока.

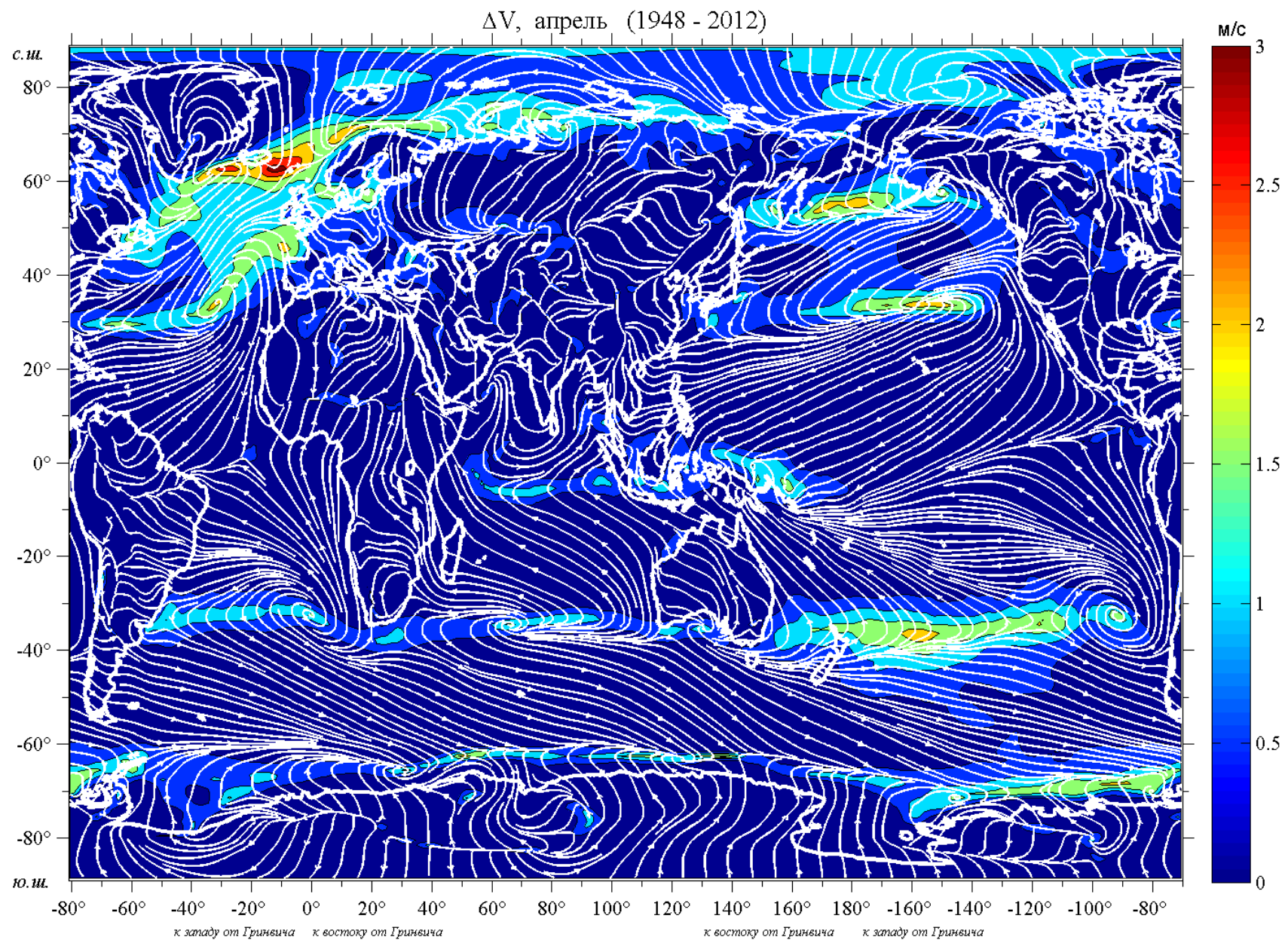




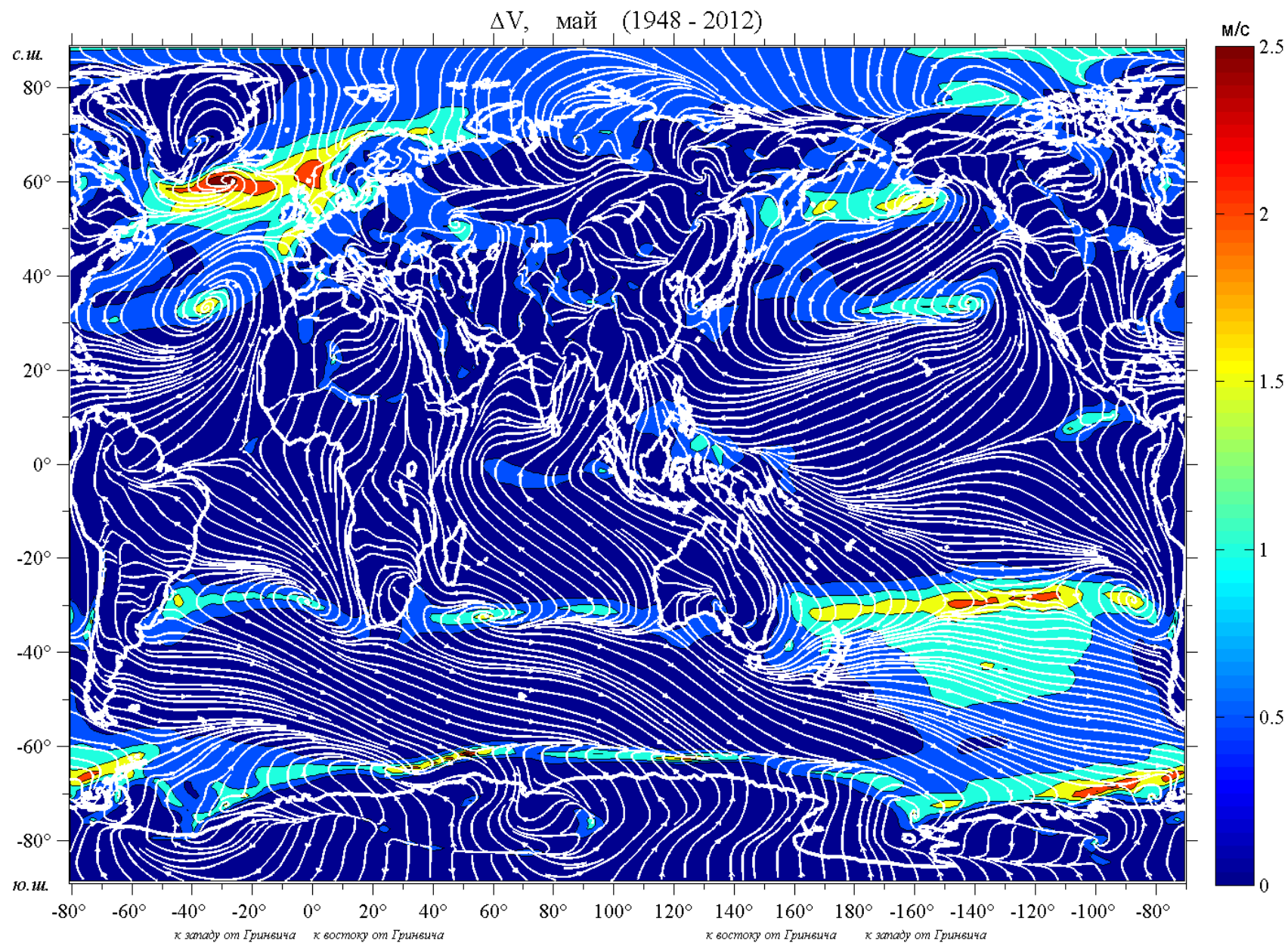


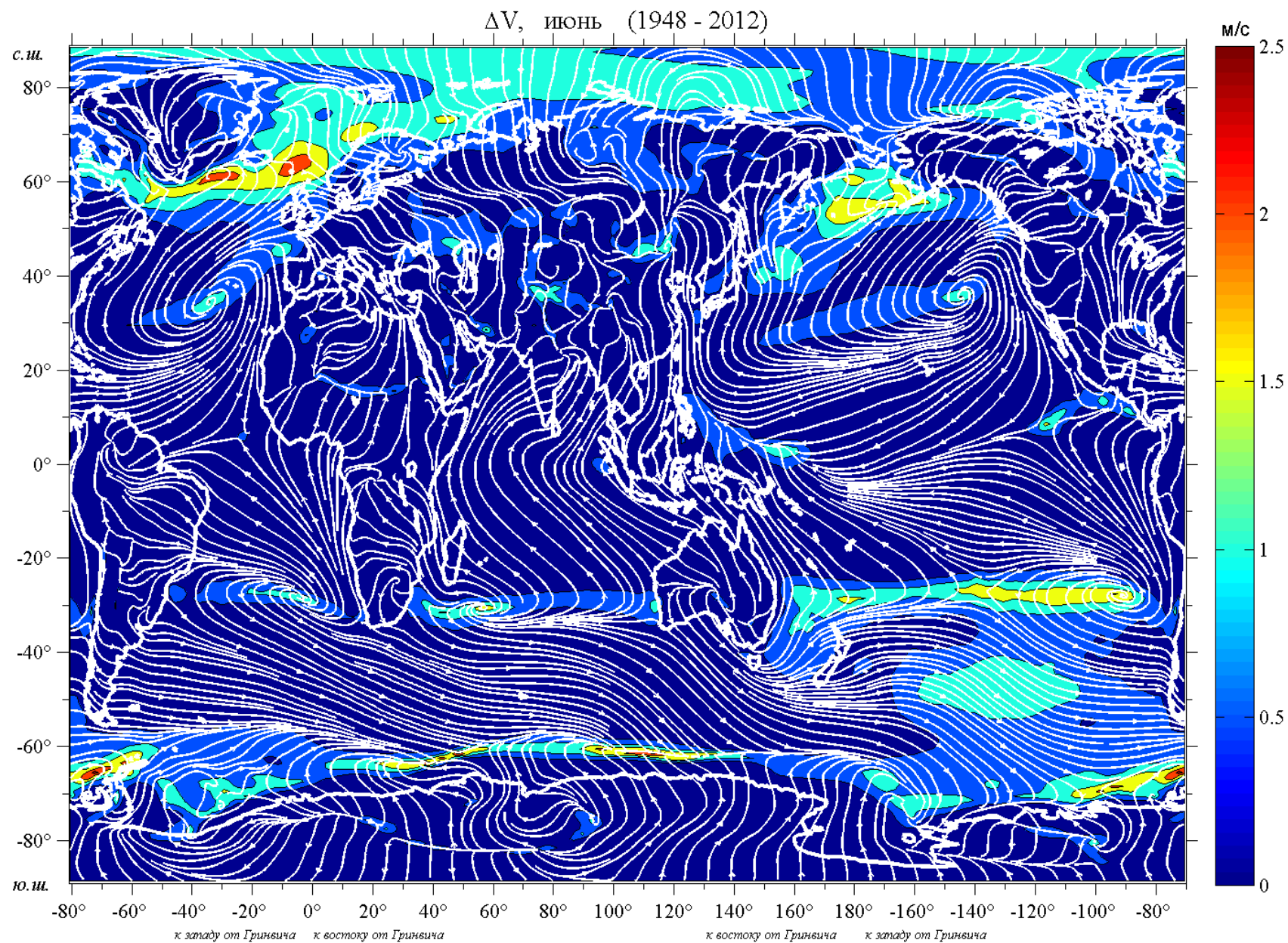




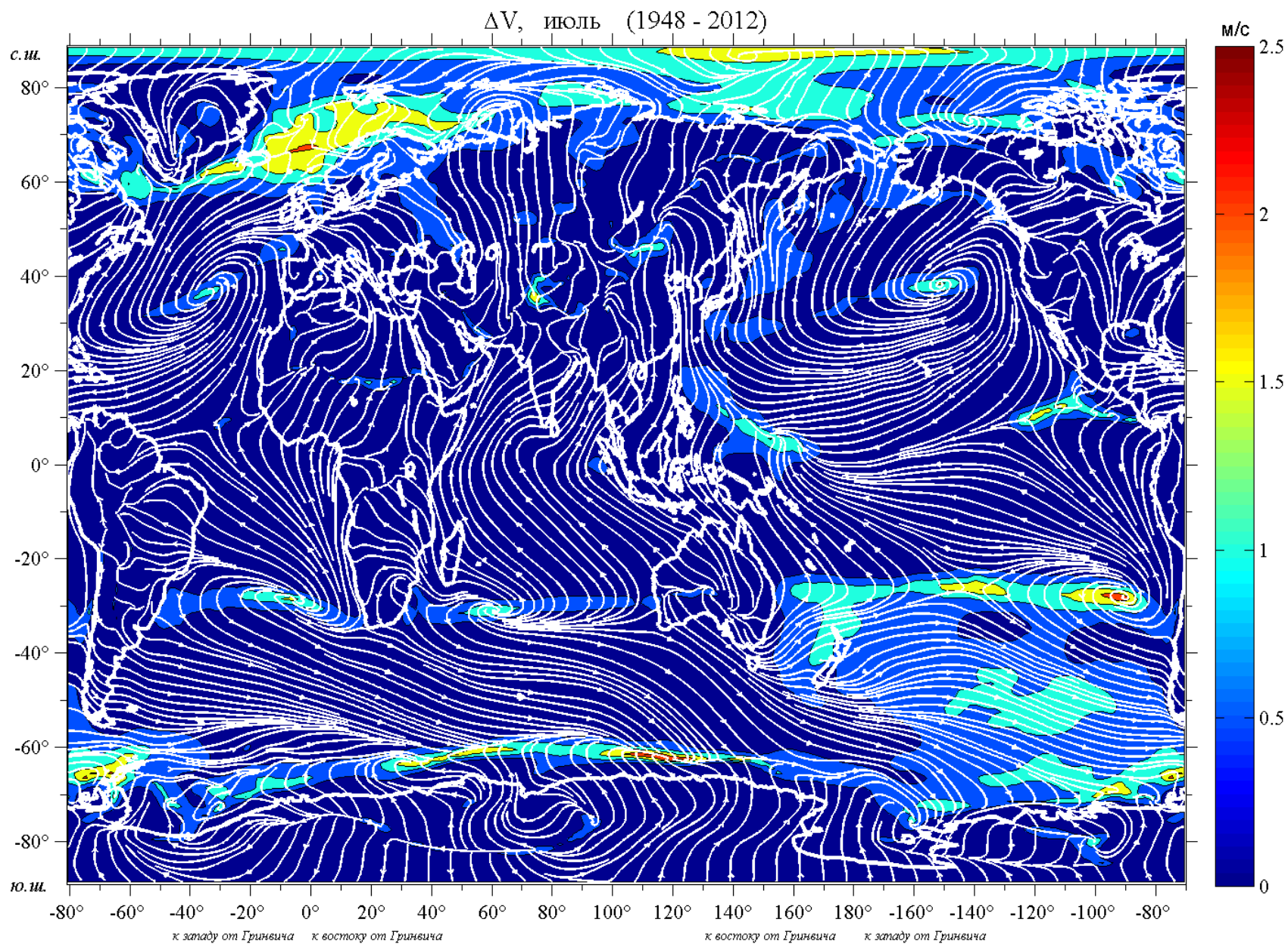




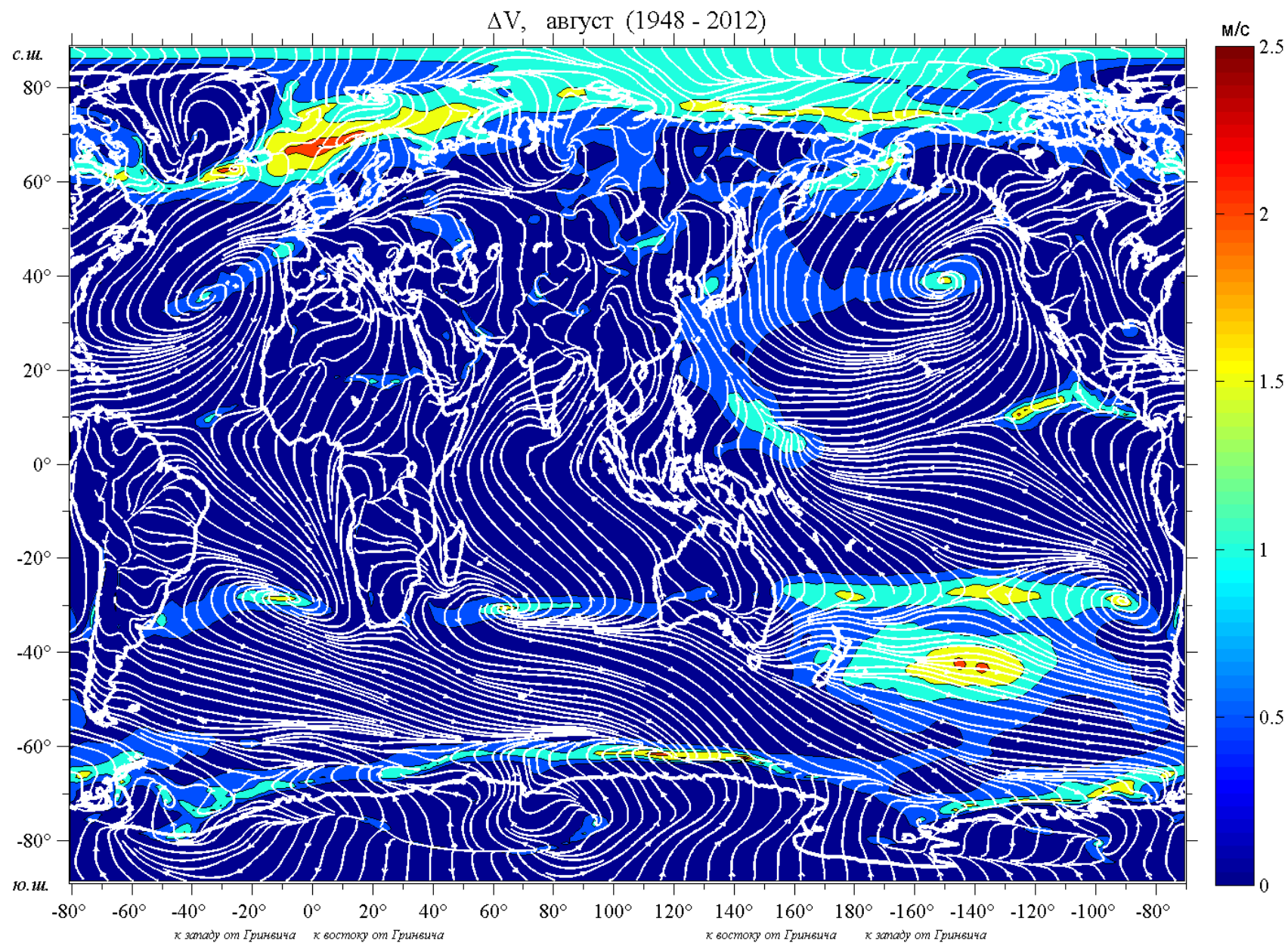


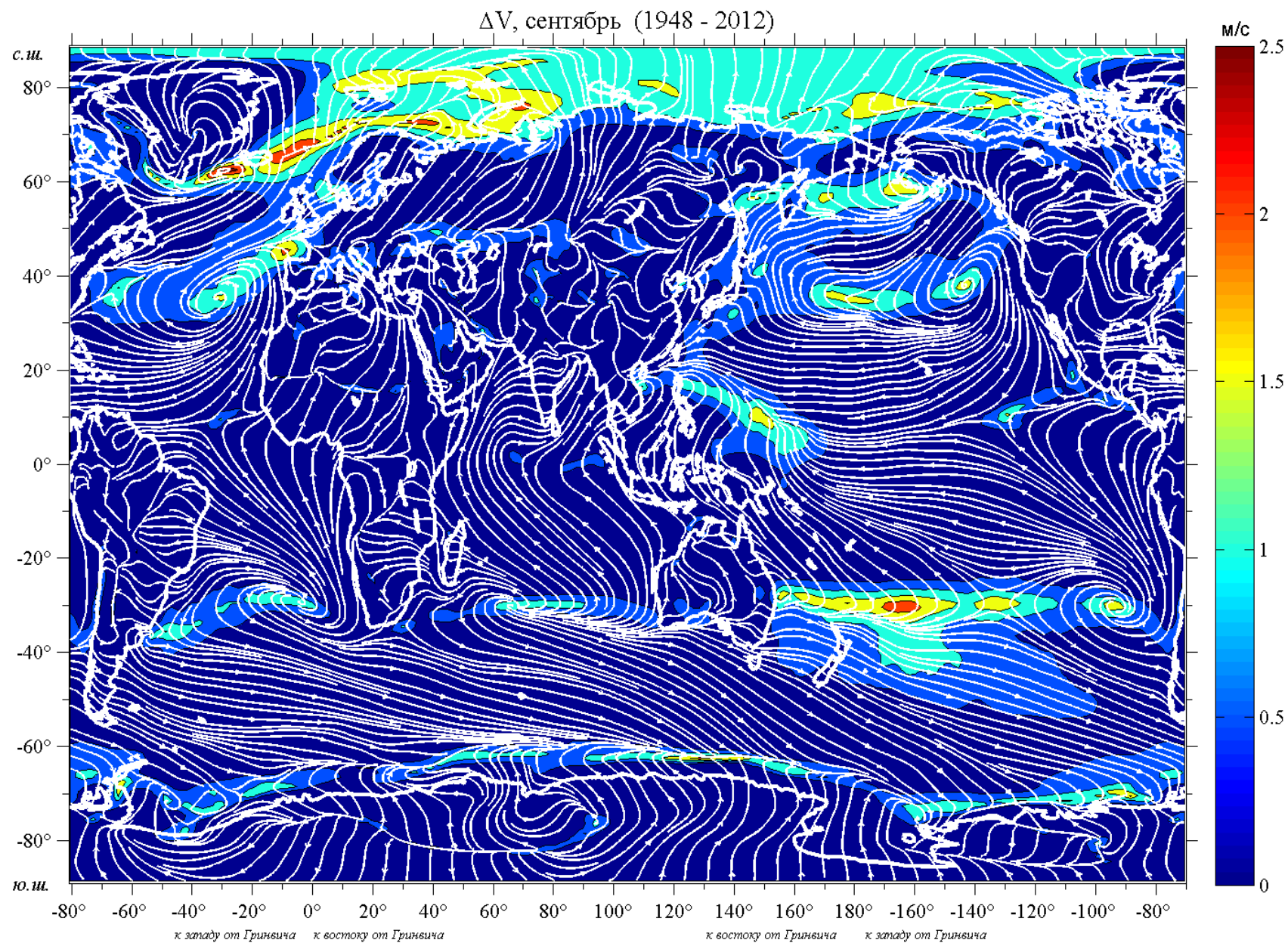




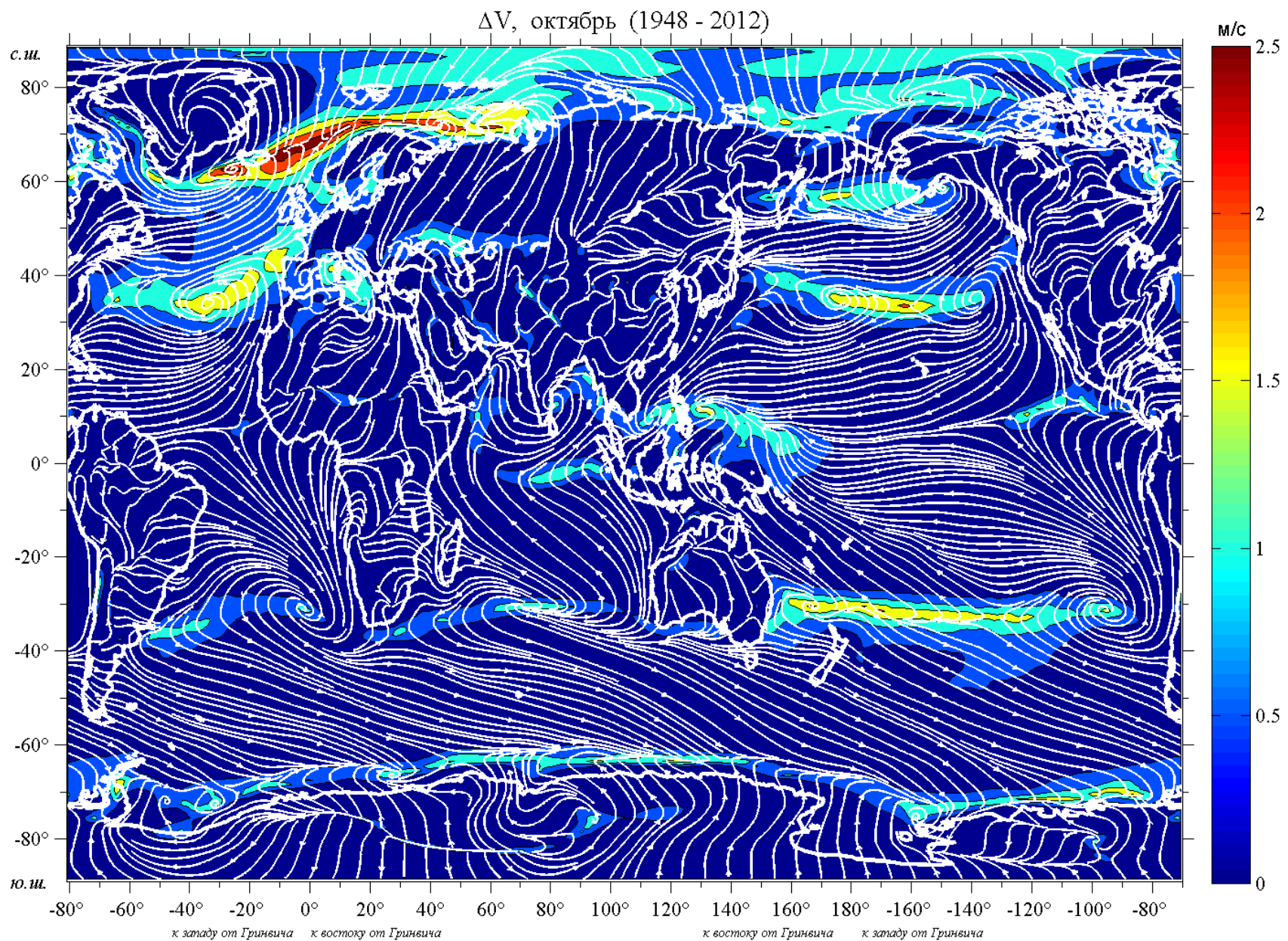




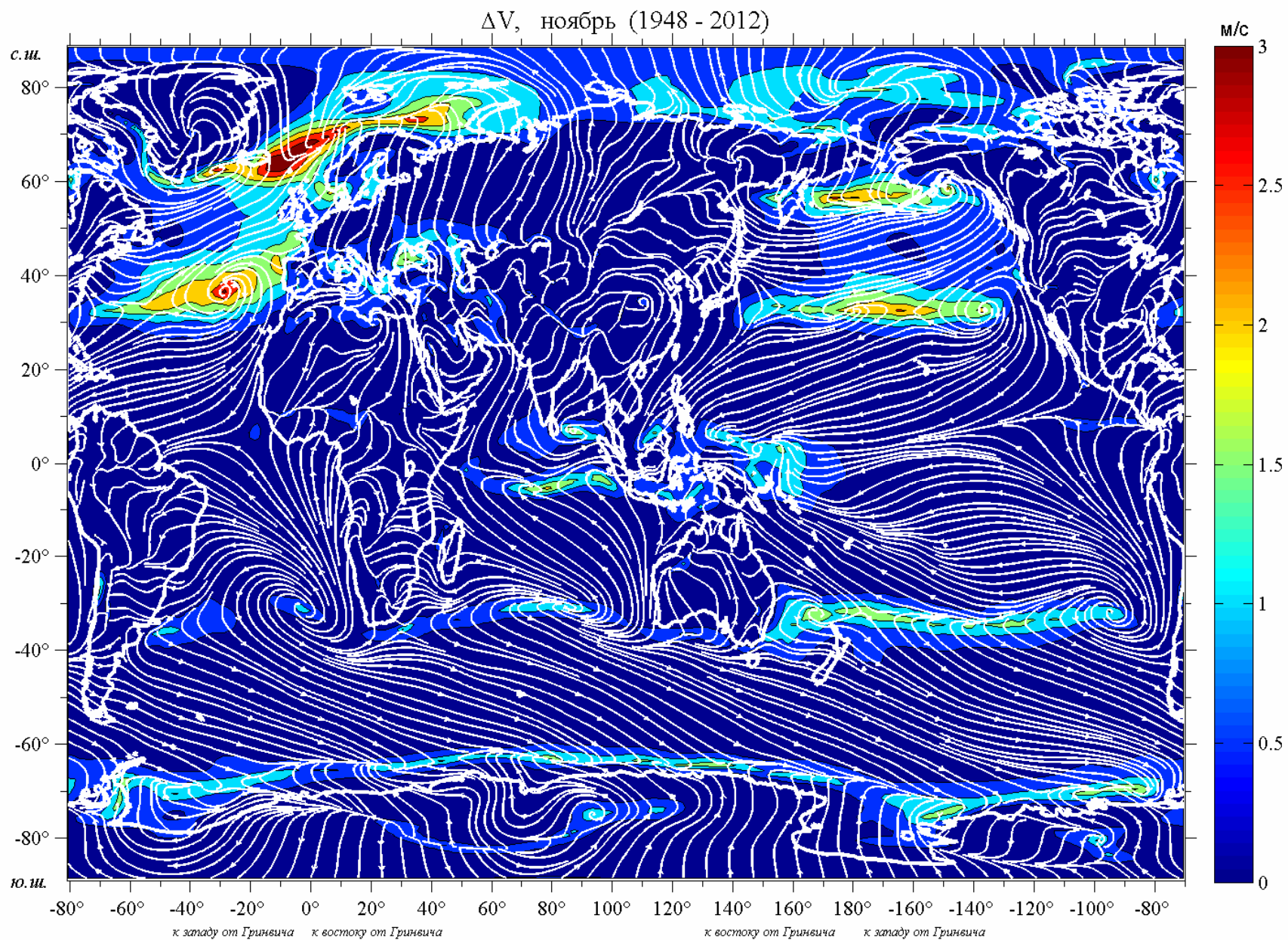


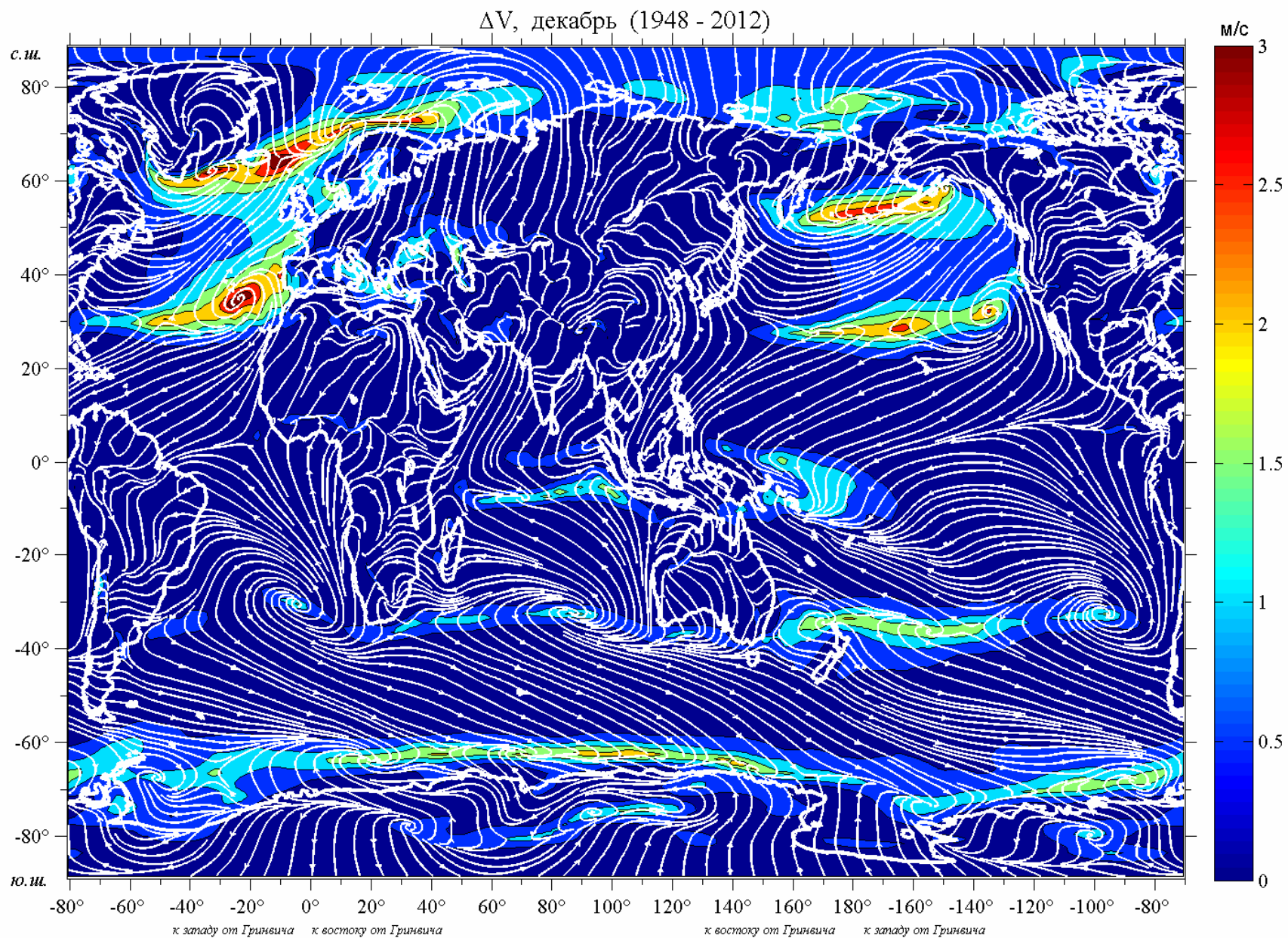












## Приложение 2

### Формулы расчета кинематических характеристик поля ветра

Для прогноза погоды важно знать расположение и развитие областей фронтогенеза и фронтолиза в атмосфере, которые сопровождаются в частности конвергенцией и деформацией элементов воздушного потока. На картах распределения климатических характеристик поля скорости ветра сгущения или разрежения изоплет позволяют визуализировать расположение фронтов.

Линейные свойства движения в любой точке ветрового поля характеризуются поступательным движением со скоростями  $u$ ,  $v$ ; дивергенцией  $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$ ; угловой или

сдвиговой деформацией  $\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ ; растягивающей де-

формацией  $\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$ ; угловой скоростью вращения

$\frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$  относительного вихря [8]. Здесь  $x$ ,  $y$  – коор-

динаты декартовой системы. Положительные направления по  $y$  и по  $x$  на север и восток соответственно.

Значения дивергенции и угловой скорости вращения инварианты к повороту системы декартовых координат, тогда как значения растягивающей и сдвиговой деформаций определяются углом поворота координатной системы. В работе [10] предлагается рассчитывать результирующую деформацию воздушного потока  $D$ , которая инвариантна к повороту координатных осей и вычисляется по формуле

$$D = \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2},$$

где под знаком корня стоит сумма квадратов растягивающей и сдвиговой деформаций.

Поворот системы координат на угол

$$\theta = \frac{1}{2} \operatorname{Arctg} \left( \frac{\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}}{\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}} \right),$$

приводит к нулевой сдвиговой деформации в новой (повернутой) системе координат. В исходной системе координат этот угол показывает направление наибольшего расширения (дилатации) элемента воздушного потока.



Алексей Евтихиевич Букатов  
Маргарита Васильевна Бабий  
Антон Алексеевич Букатов

АТЛАС  
СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ВЕТРА

---

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Морской гидрофизический институт РАН»

ул. Капитанская, 2, г. Севастополь, 299011, Российская Федерация  
<http://mhi-ras.ru>

УДК: 551.552+551.515.3  
ББК 26.233  
Б90

ISBN 978-5-9908460-3-6

DOI: 10.22449/978-5990-846-036

© А.Е. Букатов, М.В. Бабий, А.А. Букатов, 2017