Шероховатости поверхности океана и её пространственных вариаций, вызванных океаническими явлениями, по данным оптических сканеров из космоса

Мясоедов А.Г.
Кудрявцев В.Н.

Научный фонд "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена" (*Фонд "Нансен-центр"*)

Российский государственный гидрометеорологический университет
РГГМУ

NIERSC 2008

Введение:

На сегодняшний день исследования поверхностных проявлений динамических процессов в океане осуществляется в основном методами РСА зондирования

Принцип РСА идентификации динамических процессов основан на их проявлении в виде пространственных вариаций «шероховатости» морской поверхности.

В настоящее время на орбите Земли находится большое количество сканеров, работающих в видимом диапазоне, которые в принципе также могут быть использованы для наблюдения «шероховатости» поверхности и её вариаций, вызванных океаническими процессами. Однако этот вопрос

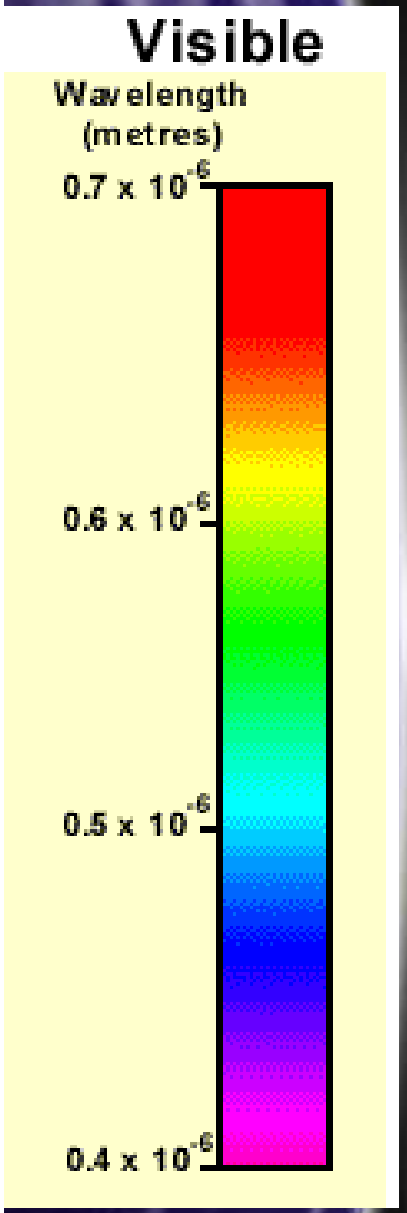
Основная Цель:

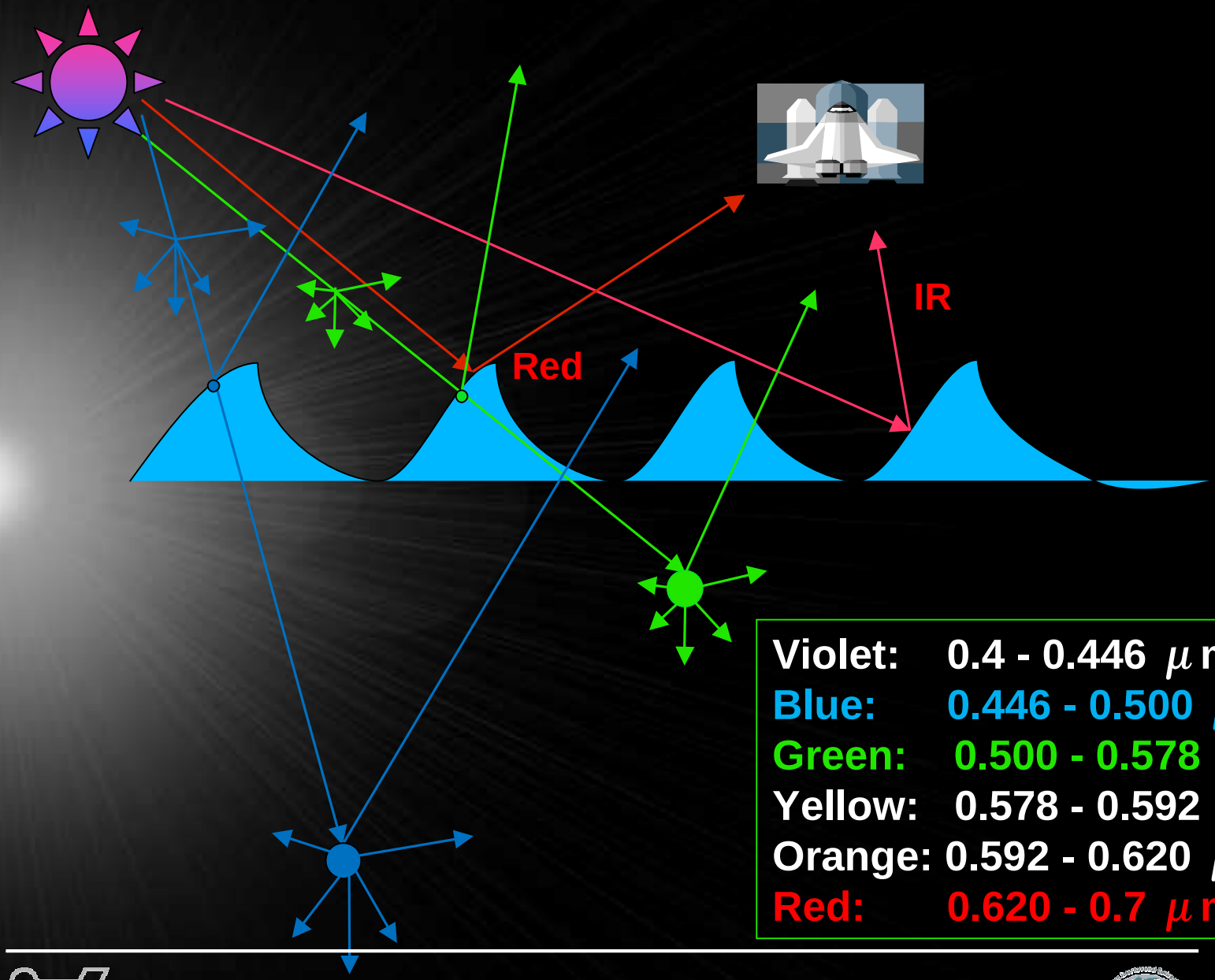
Разработка метода оценки пространственных вариаций "шероховатости" морской поверхности, вызванных океаническими явлениями, по изображениям океана в области солнечного блика, получаемых с оптических сканнеров (MODIS, MERIS, SeaWIFS) из космоса.

Задачи:

Для реализации основной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработка программно математического обеспечения, обеспечивающего:
   - Исключение облаков и береговой линии из обрабатываемых снимков
   - Выделение вариаций яркости солнечного блика, связанных с неоднородностями морской поверхности
   - Восстановление среднеквадратичного наклона морской поверхности (СКН) и его вариаций
2. Применение разработанного алгоритма для анализа данных спутника MODIS по району мыса Игольный, характеризуемого активными динамическими процессами





Violet: 0.4 - 0.446 μm
Blue: 0.446 - 0.500 μm
Green: 0.500 - 0.578 μm
Yellow: 0.578 - 0.592 μm
Orange: 0.592 - 0.620 μm
Red: 0.620 - 0.7 μm

формирование яркости морской поверхности в области солнечного блика: Теория К.Кокса и В.Манка

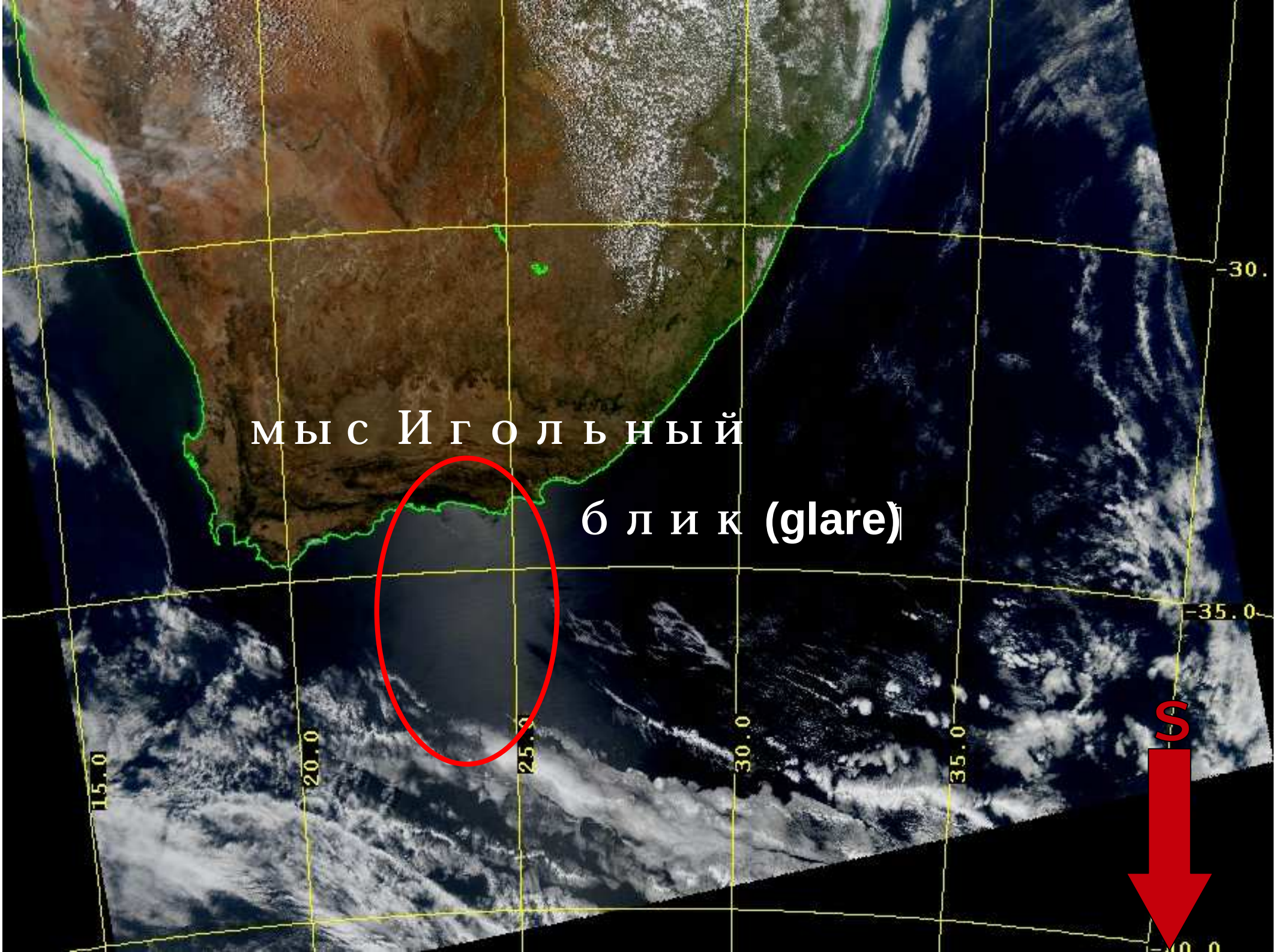
$$N = \frac{\pi\rho}{4\cos\theta_s\cos\theta_v\cos^4\theta_n} P\left(Z_x, Z_y, \overline{\zeta_x^2}, \overline{\zeta_y^2}\right)$$

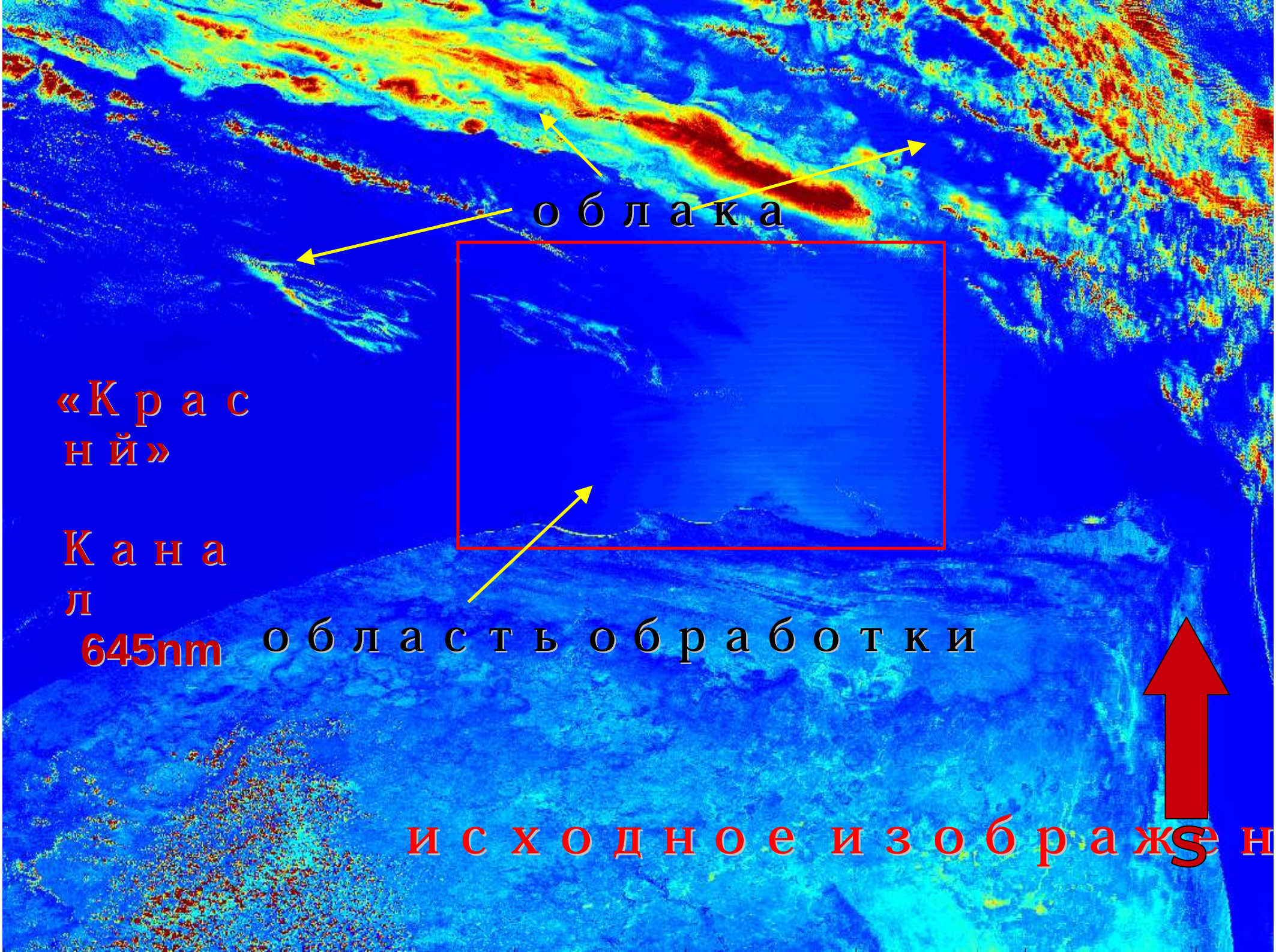
где P – плотность распределения вероятности наклонов поверхн удовлетворяющим условиям зеркального отражения

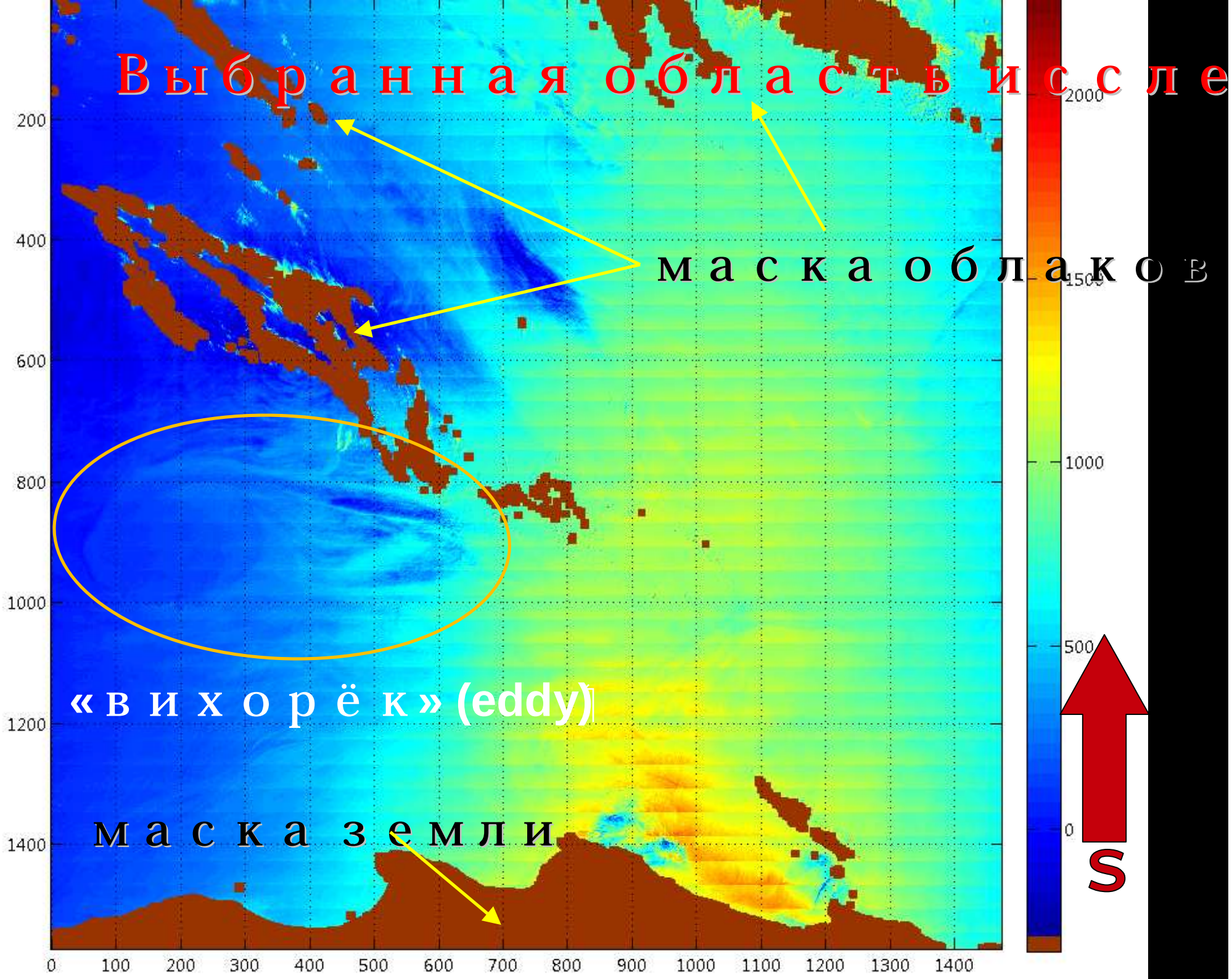
$$Z_x = -\frac{\sin\theta_s\cos\phi_s + \sin\theta_v\cos\phi_v}{\cos\theta_s + \cos\theta_v}$$

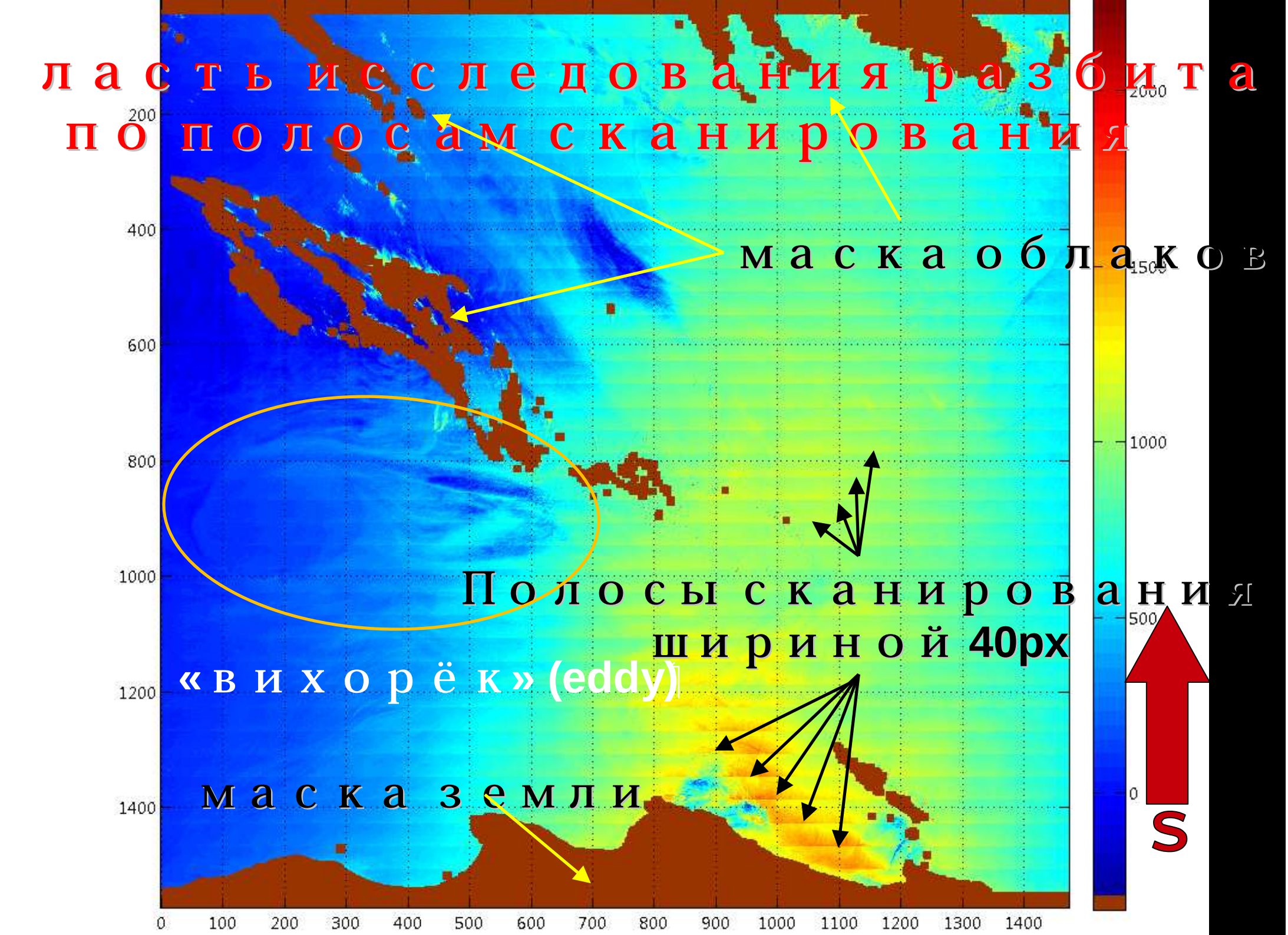
$$Z_y = -\frac{\sin\theta_s\sin\phi_s + \sin\theta_v\sin\phi_v}{\cos\theta_s + \cos\theta_v}$$

При заданной «геометрии» наблюдений, яркость морской поверхности и её вариации определяются значениями среднеквадратич $\overline{\zeta_x^2}$ и $\overline{\zeta_y^2}$ ного наклона


мыс Игольный
блик (glare)
-30.
-35.0
15.0
20.0
25.0
30.0
35.0
S


облака
«Красный»
Канал
645nm
область обработки
исходное изображен


Выбранная область иссле
маска облаков
«вихорёк» (eddy)
маска земли
S
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
2000
1500
1000
500
0


ласть исследования разбита
по полосам сканирования
маска облаков
Полосы сканирования
шириной 40px
«вихорёк» (eddy)
маска земли
S
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
2000
1500
1000
500
0

Методика анализа

1. Представление поля яркости в виде суммы среднего поля и его вариации

$$N(x, y) = \overline{N}(x, y) + \delta N(x, y)$$

2. Определение среднего значения СКН путём под
оср

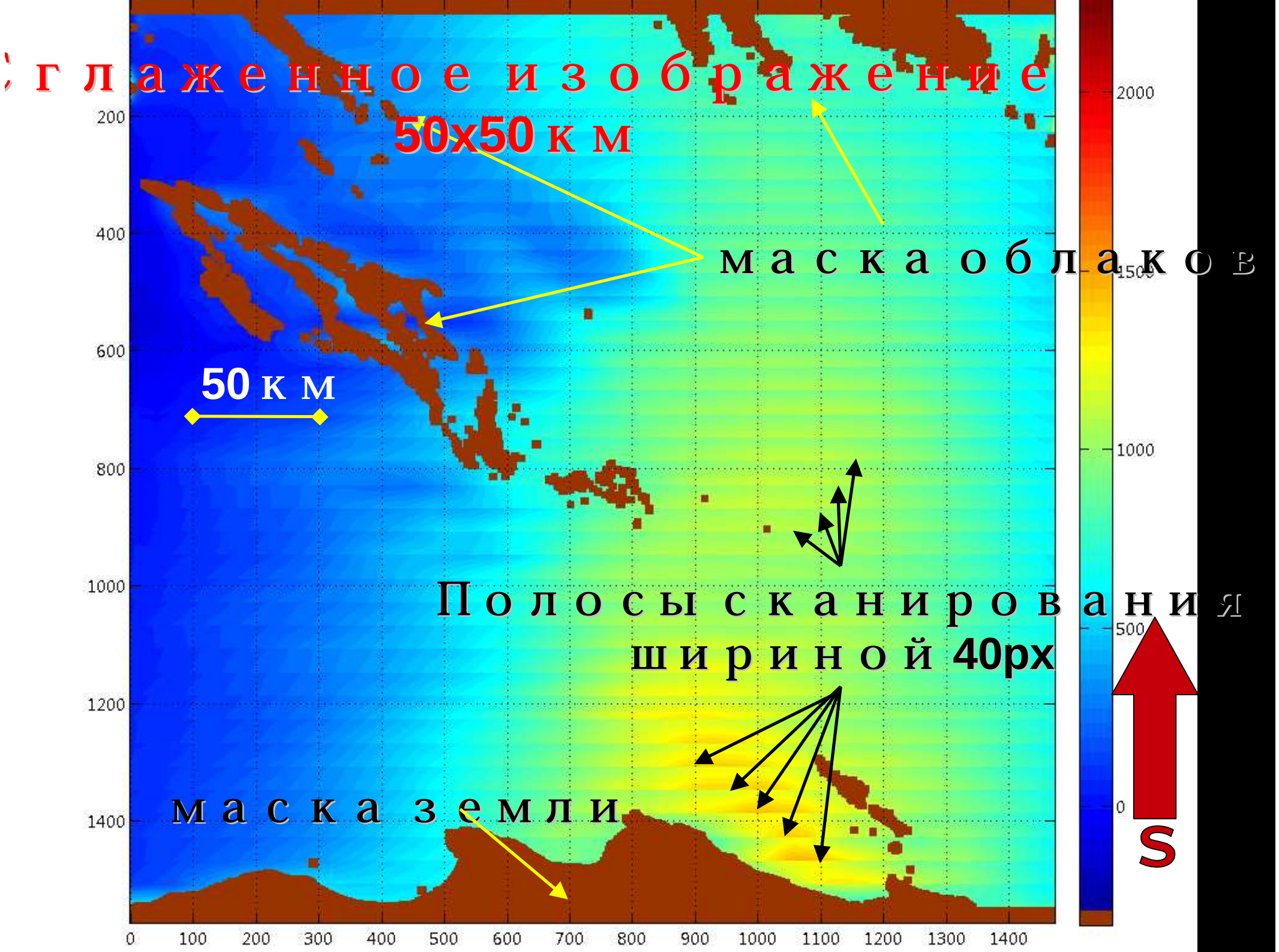
$$N_{CM}(x, y) \xrightarrow{\overline{\zeta_{\nabla}^2}} \overline{N}(x, y)$$

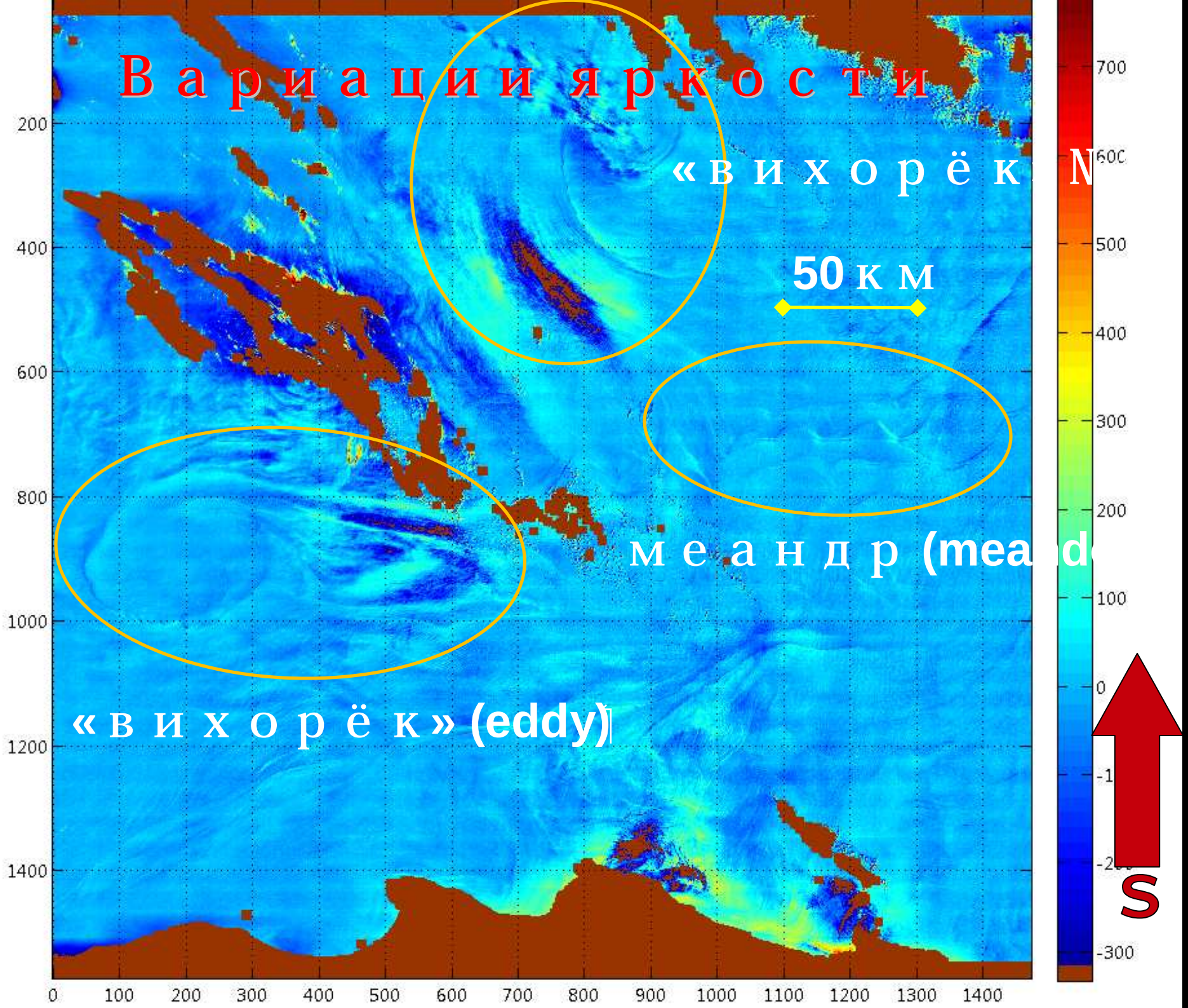
3. Оп сти
о кса-
М

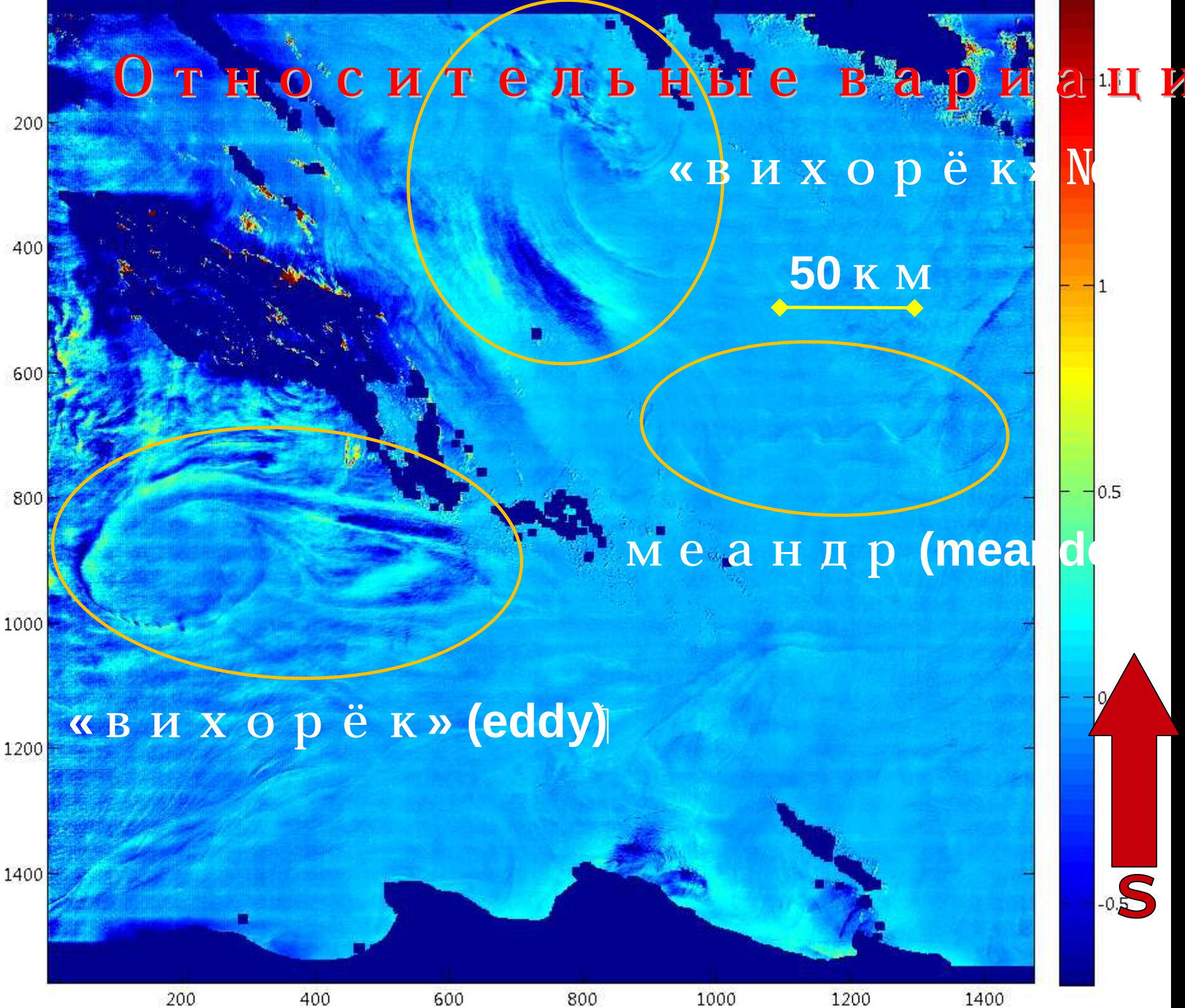
$$\frac{\delta N}{\overline{N}} = F \frac{\delta \overline{\zeta_{\nabla}^2}}{\overline{\zeta_{\nabla}^2}}, \text{ где } F = \frac{Z_x^2 + Z_y^2}{\overline{\zeta_{\nabla}^2}} - 1$$

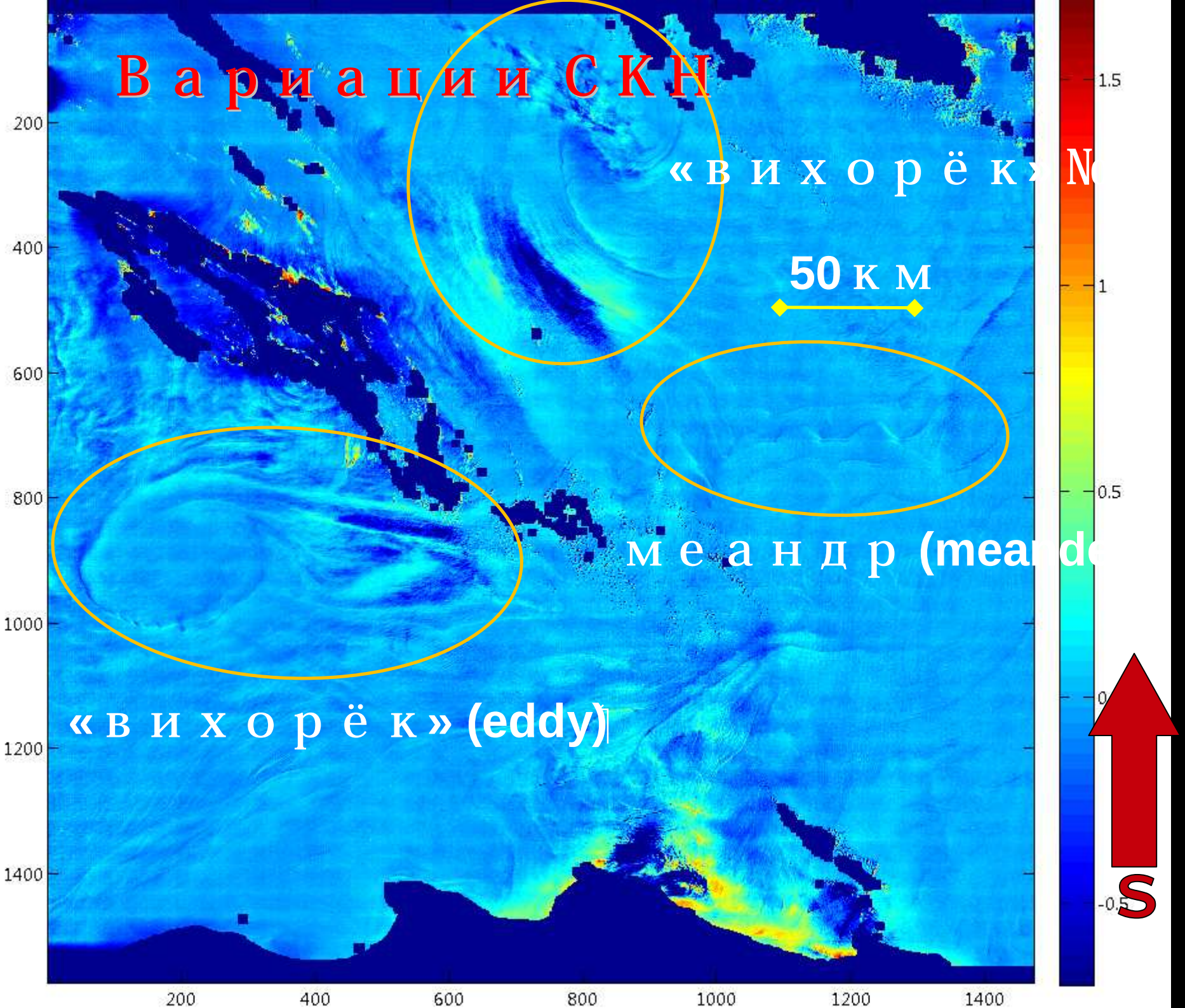
4. Восстанов ственных
вариаций СКН поверхности

$$\frac{\delta \zeta_{\nabla}^2}{\overline{\zeta_{\nabla}^2}} = F^{-1} \frac{\delta N}{\overline{N}}$$

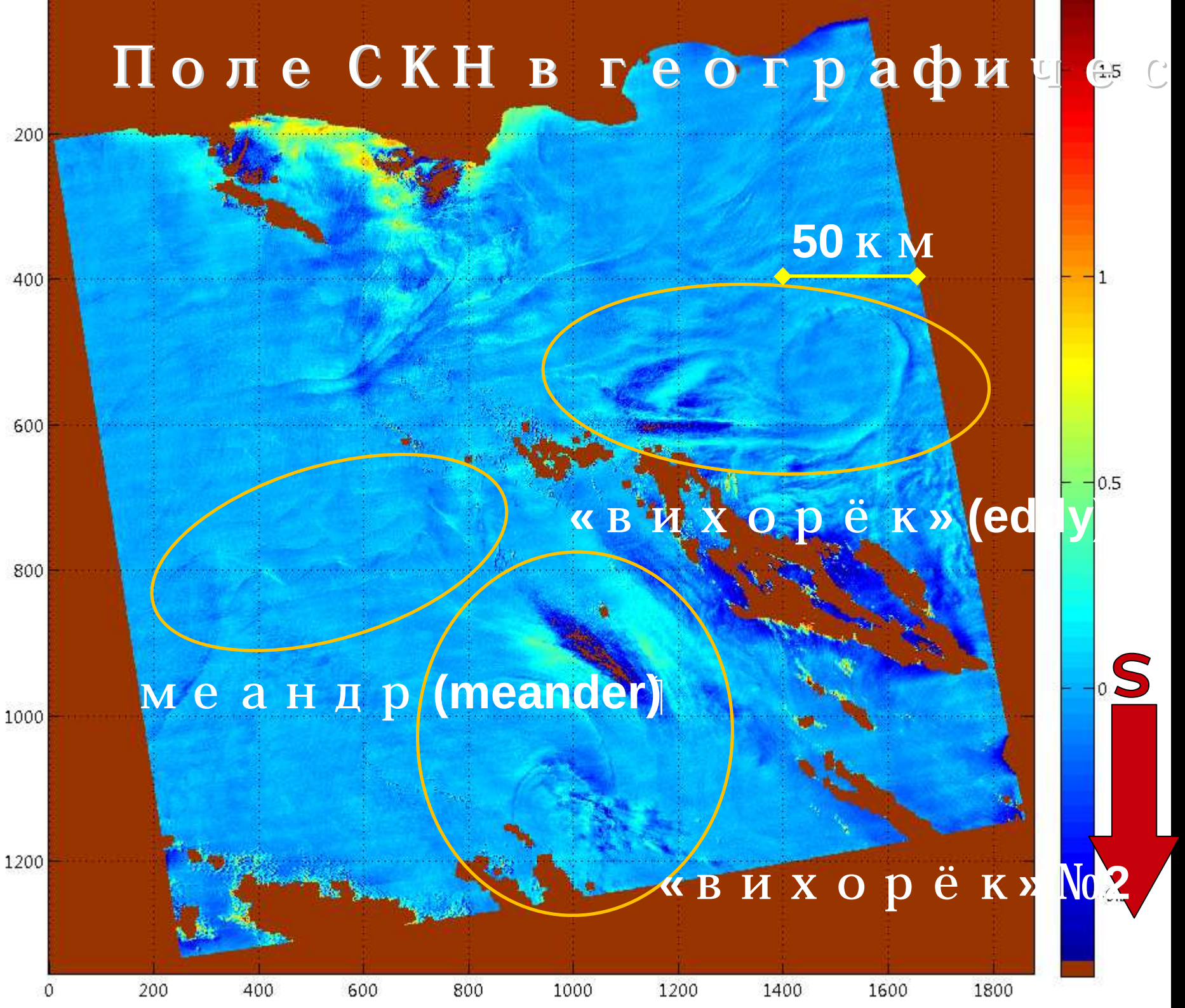

Сглаженное изображение
50x50 км
маска облаков
50 км
Полосы сканирования
шириной 40px
маска земли
S
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
2000
1500
1000
500
0


Вариации яркости
«вихорёк
50 км
меандр (mea
«вихорёк» (eddy)
N
S
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
700
500
400
300
200
100
0
-300

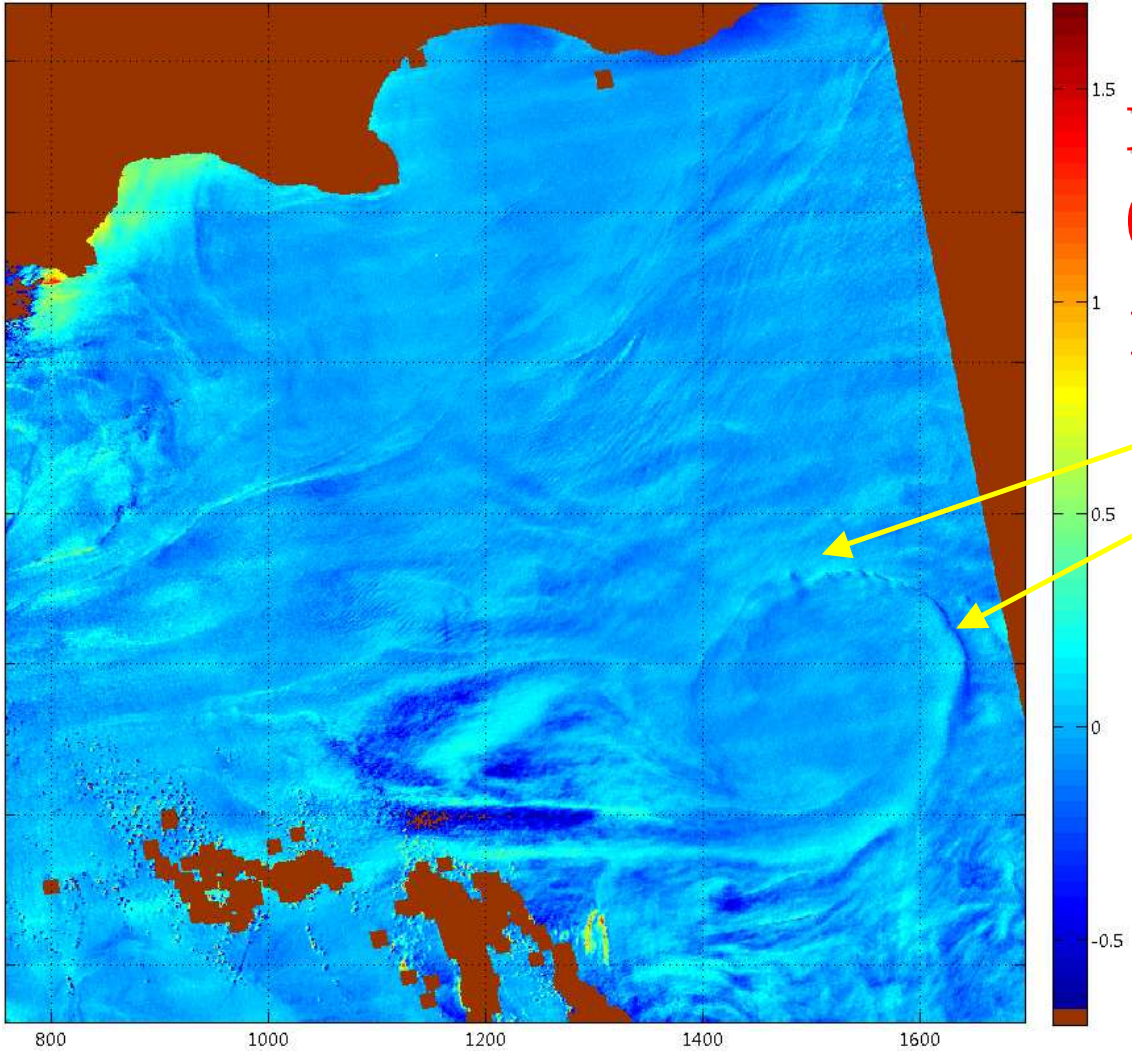

Относительные вариации
«вихорёк» N
50 км
меандр (mea
«вихорёк» (eddy)
S
200
400
600
800
1000
1200
1400
1
0.5
0
-0.5

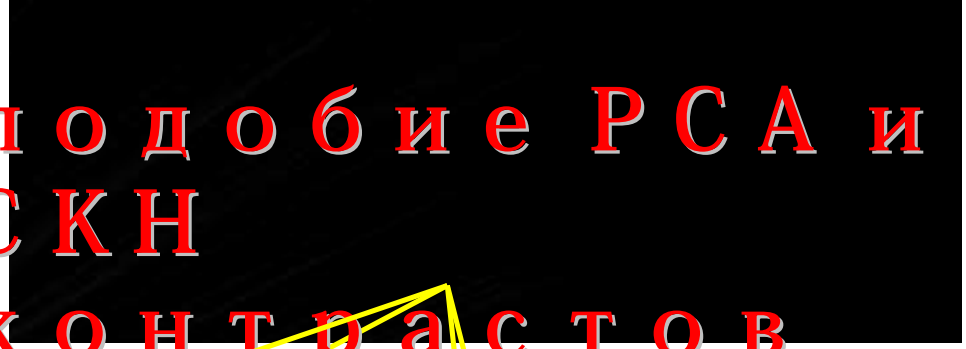

Вариации СКН
«вихорёк» N
50 км
меандр (mea
«вихорёк» (eddy)
S
200
400
600
800
1000
1200
1400
1.5
1
0.5
0
-0.5

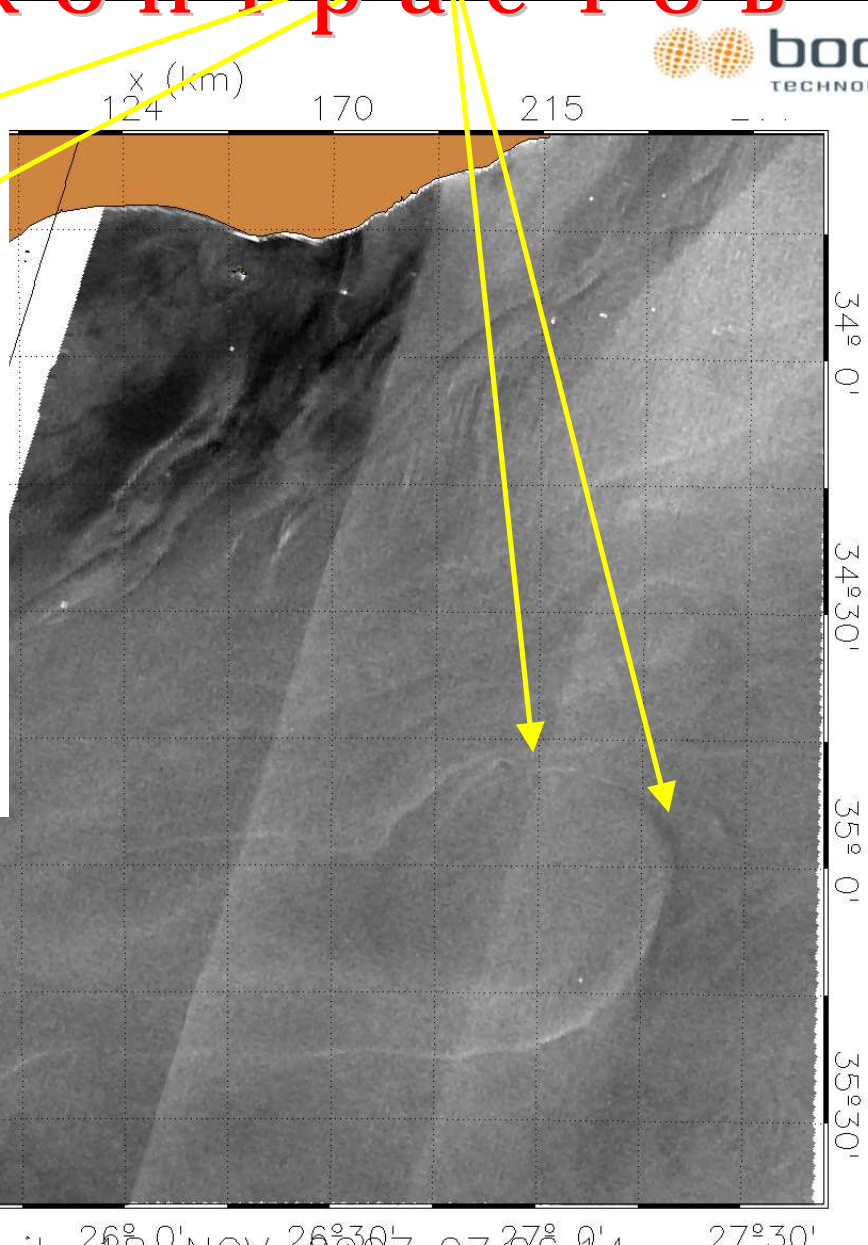
Поле СКН в географическ



подобие РСА и СКН контрастов

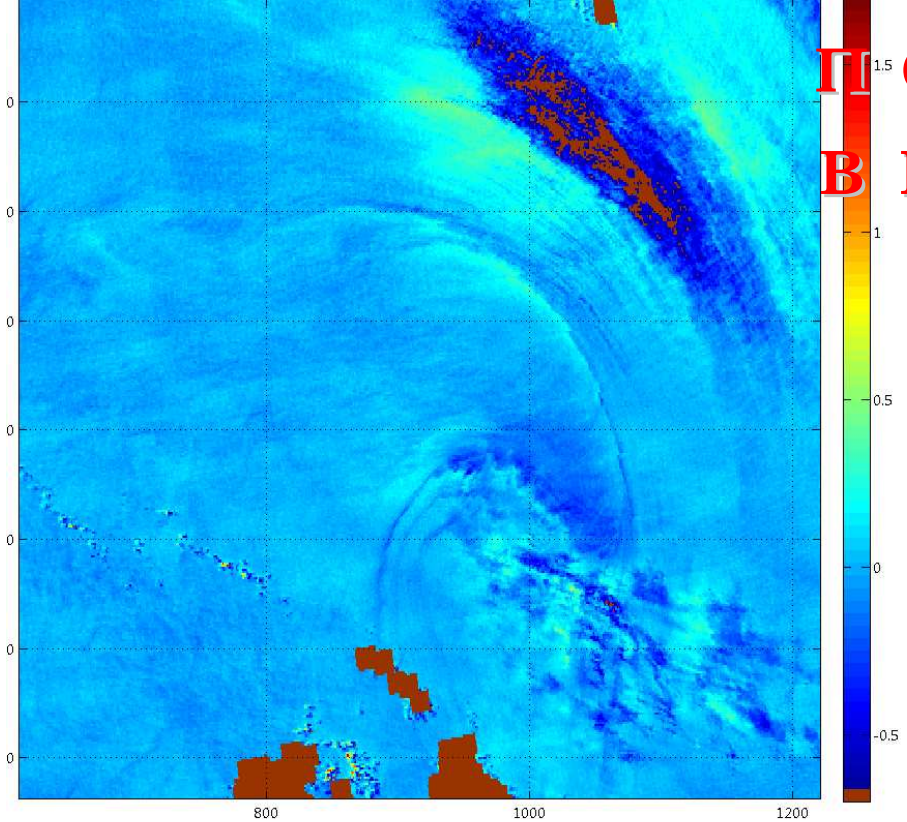


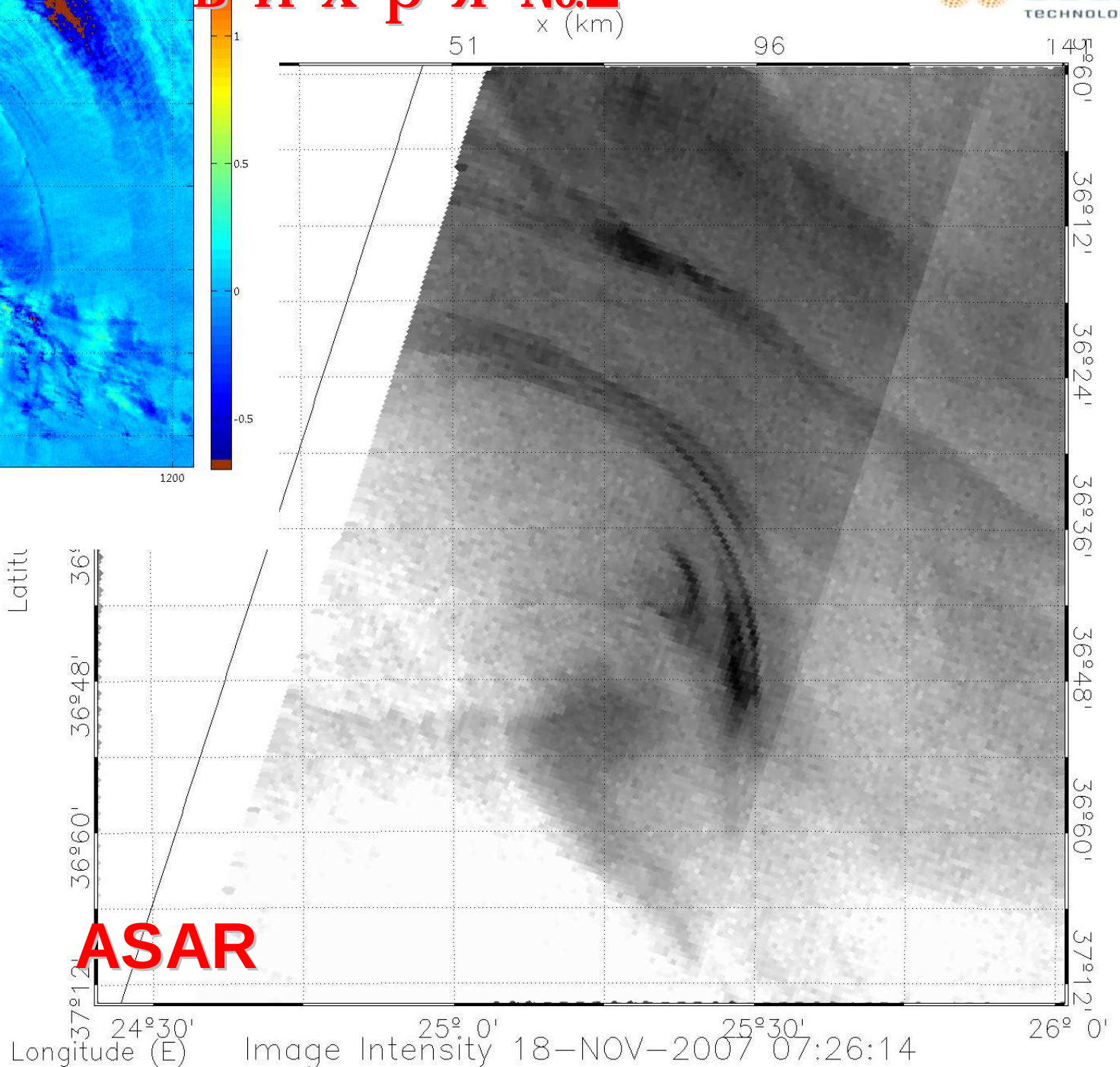




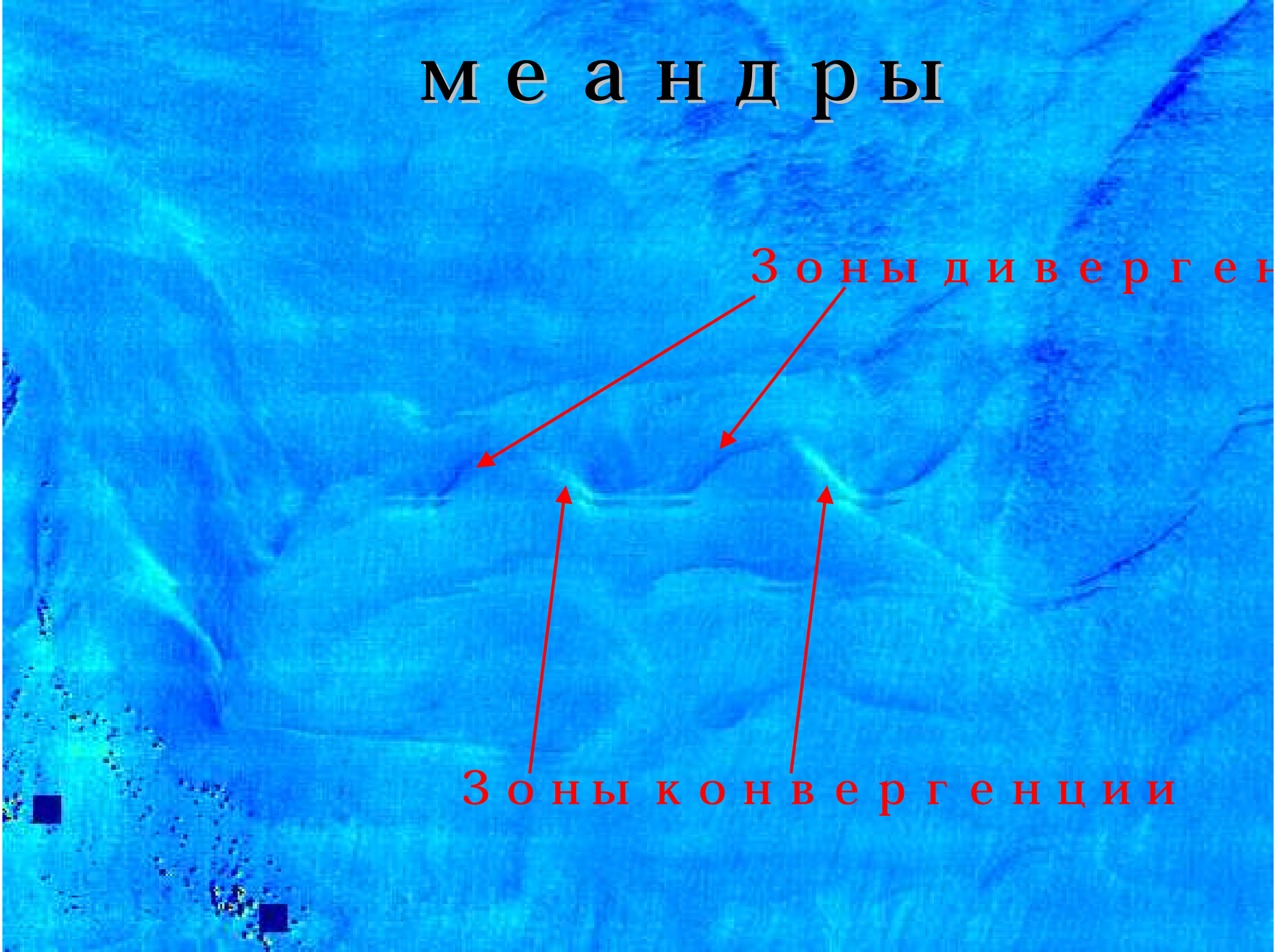
ASAR

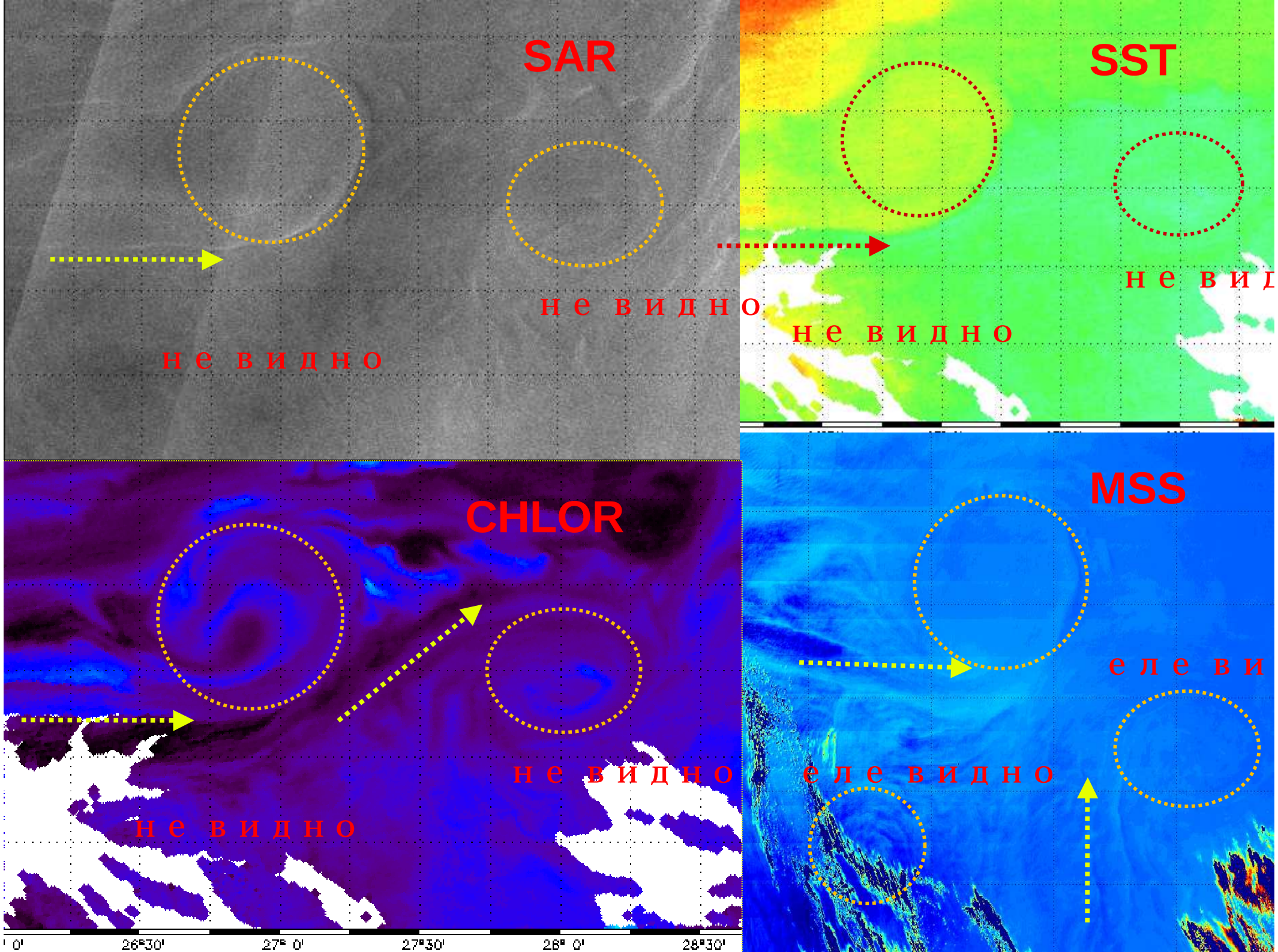
Подобие РСА и СКН в вихря №2





меандры




SAR
не видно
не видно
SST
не видно
не вид
CHLOR
не видно
не видно
MSS
еле видно
еле вид
26°30'
27° 0'
27°30'
28° 0'
28°30'

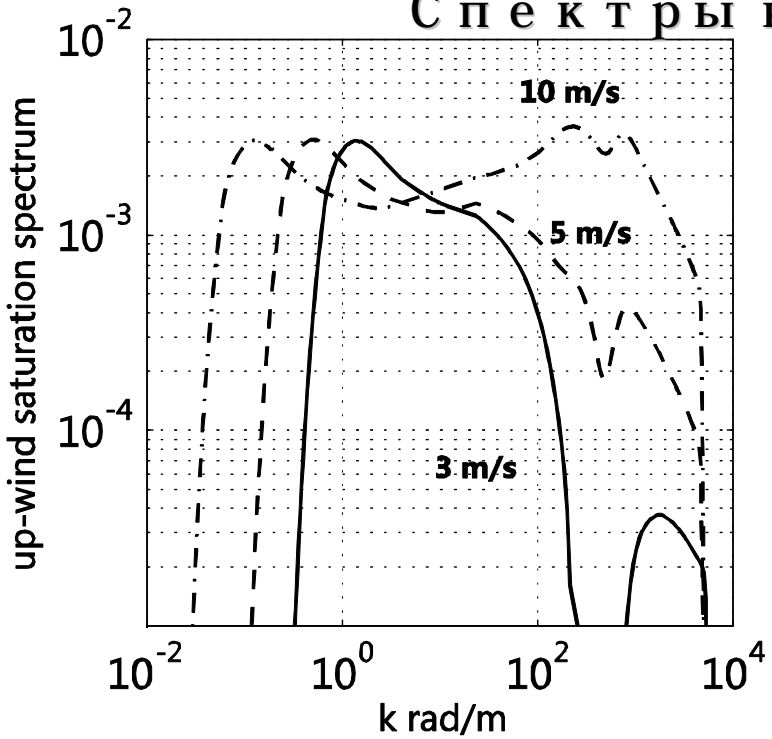
Выводы:

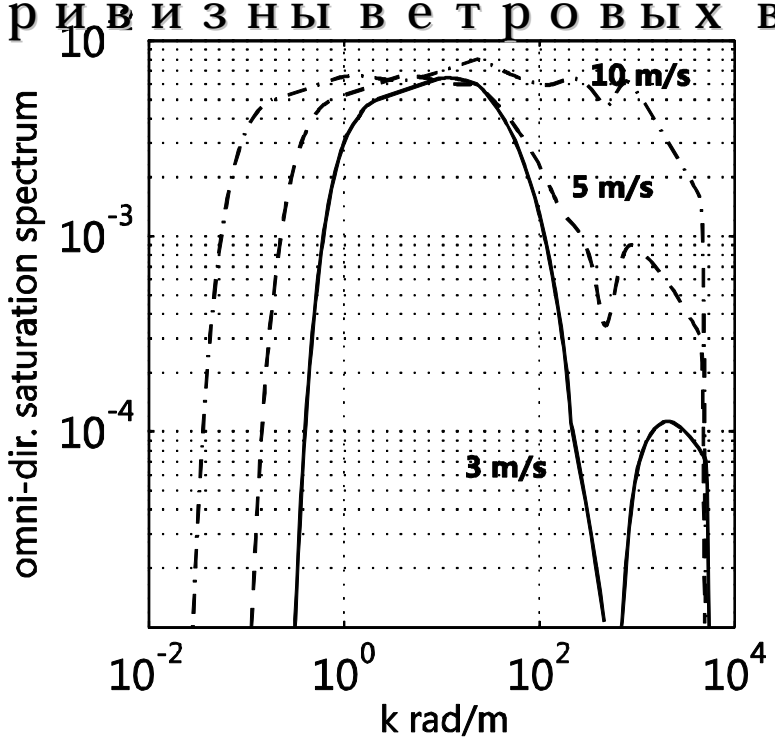
Предложена методика обработки и анализа оптических изображений океана из космоса в области солнечного блика с целью определения СКН поверхности океана и его пространственных вариаций

Показано, что мезомасштабные океанические явления проявляются на морской поверхности в виде пространственных вариаций СКН поверхности, которые могут быть эффективно зарегистрированы с помощью оптических сканеров из космоса

В качестве предварительного результата отметим, что поля вариаций СКН морской поверхности, вызванные мезомасштабными океаническими процессами (вихри, меандры границ

Спектры кривизны ветровых волн





Модель спект

Kudryavtsev et al., JGR 2003,2005

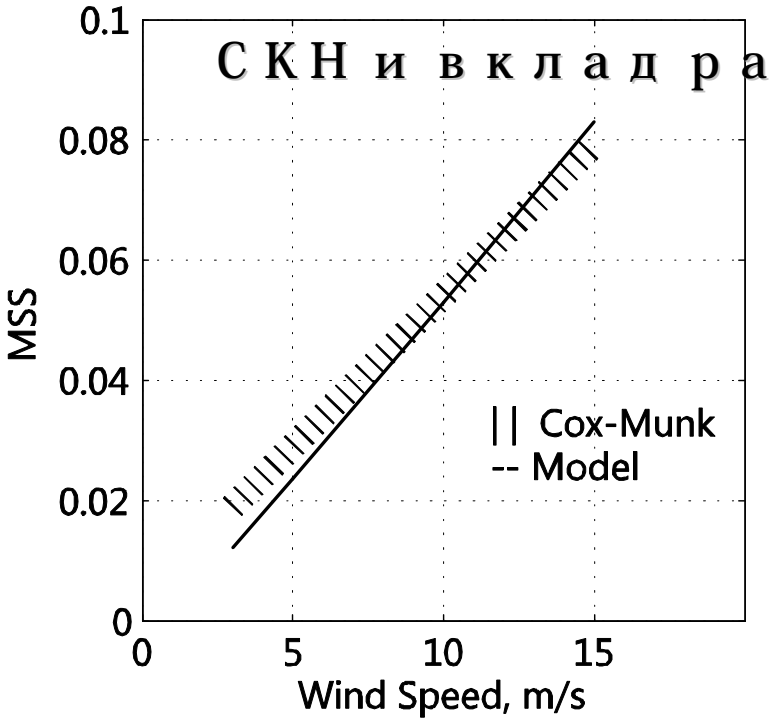
$$MSS = \int k^2 S(\vec{k}) d\vec{k}$$

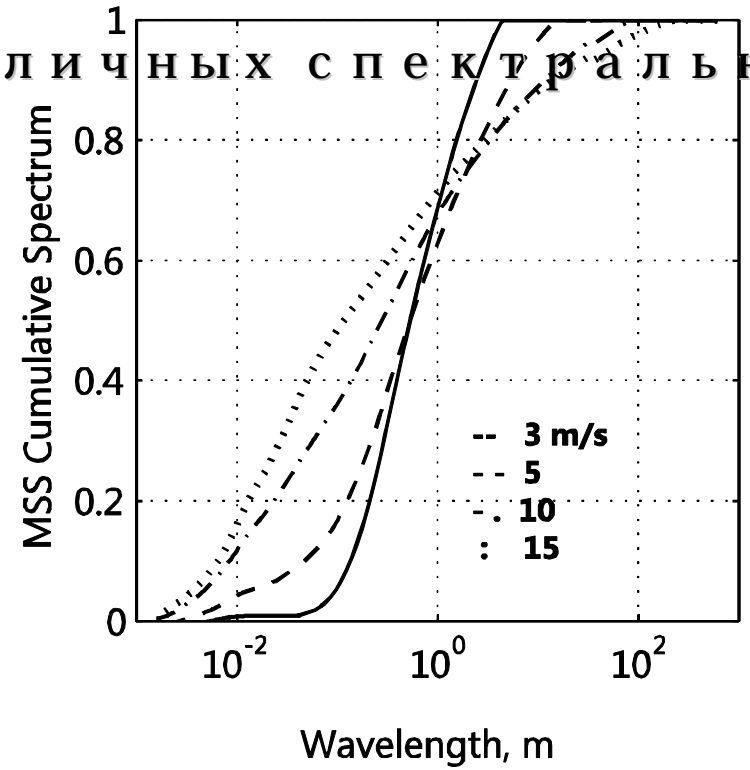
$$S(\vec{k}) = k^{-4} B(\vec{k})$$

$$MSS = \int B(\vec{k})\, d \ln k$$

$$CumMSS = \frac{\int_0^{\lambda} B(\lambda) d \ln \lambda}{\int_0^{\infty} B(\lambda) d \ln \lambda}$$

СКН и вклад различных спектральных компонент





Волны с λ < 1м Формируют 70%

MODIS AQUA

250M		1KM		1KM Emissive	
1	645	8	412	20	3750
2	858	9	443	21	3959
		10	488	22	3959
500M		11	531	23	4050
		12	551	24	4465
3	469	13	667	25	4515
4	555	13	667	27	6715
5	1240	14	678	28	7325
6	1640	14	678	29	8550
7	2130	15	748	30	9730
		16	869	31	11030
		17	905	32	12020
		18	936	33	13335
		19	940	34	13635
		26	1375	35	13935
				36	14235