

Москва, ноябрь 2018

# **Ветро-волновой климат Каспийского моря Caspian Sea Wind and wave Climate.**

**Л.И. ЛОПАТУХИН**

Санкт-Петербургский Государственный университет,  
Кафедра Океанологии,  
[leonid-lop@yandex.ru](mailto:leonid-lop@yandex.ru)

**Leonid LOPATOUKHIN**

St.-Petersburg State University, Dep. Oceanology,

[l.lopahun@spbu.ru](mailto:l.lopahun@spbu.ru)

Москва, ноябрь 2018

РАНЕЕ.....BEFORE



**Волновой климат – это  
режимное  
распределение**

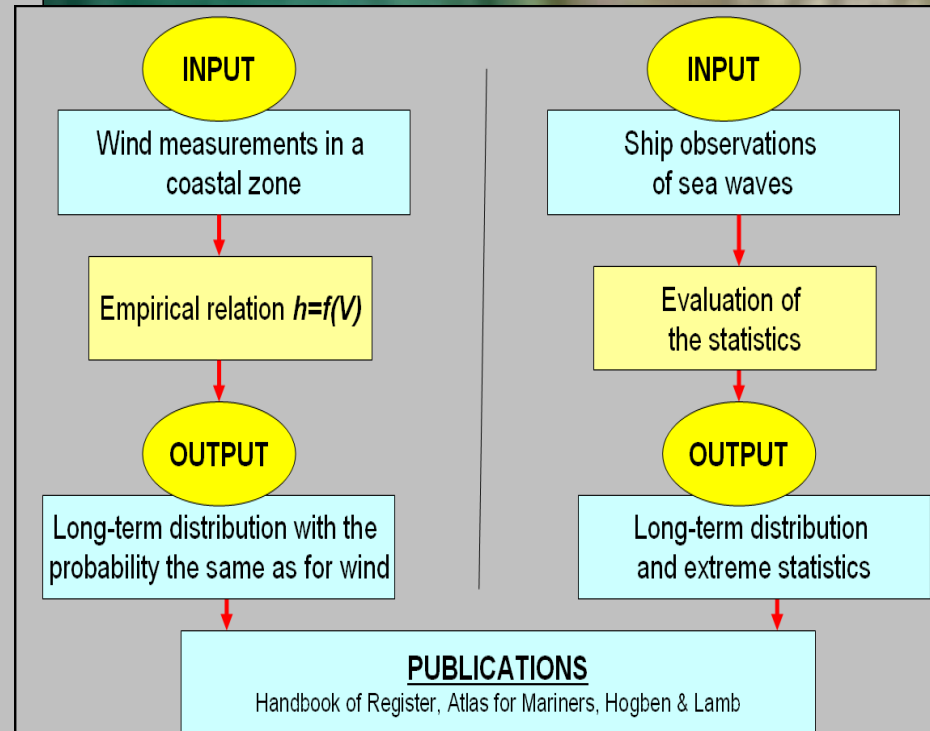
**Wave climate is a  
long-term  
distribution**

# РАНЕЕ

# BEFORE



**СЛЕДОВАТЕЛЬНО:** Волновой климат – это режимное распределение



**THEREFORE:** Wave climate is long-term distribution

**ТЕПЕРЬ**



**Волновой климат – это множество спектров и получаемых из них пространственно-временных статистик**

**NOW**



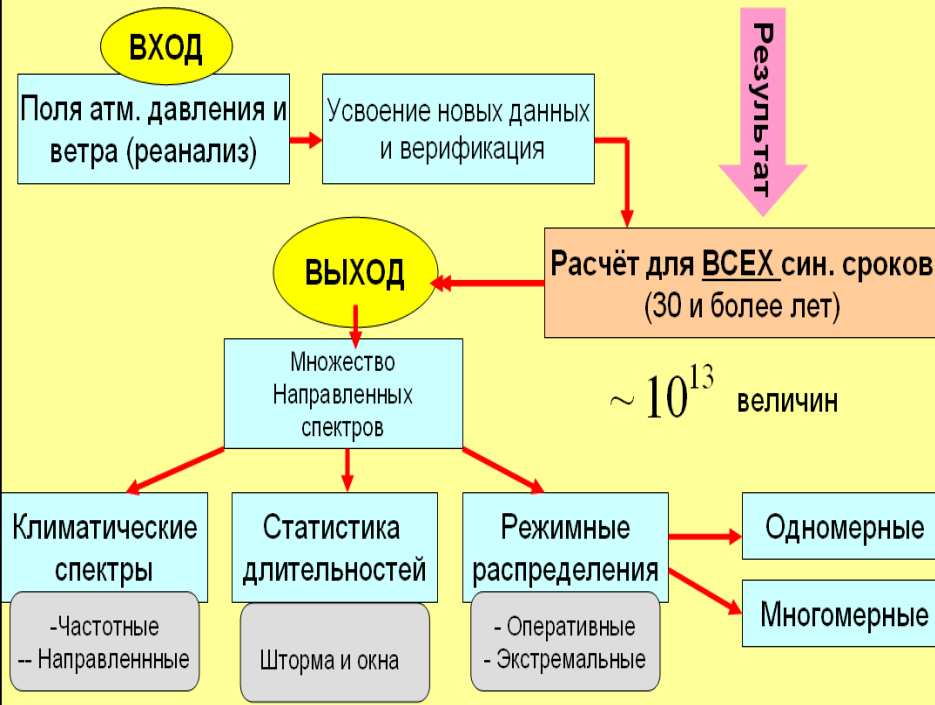
**Wave climate is a set of directional spectra and descended from them spatio-temporal statistics**

**Ансамбль состояний моря, включая синоптическую, сезонную и межгодовую изменчивость**

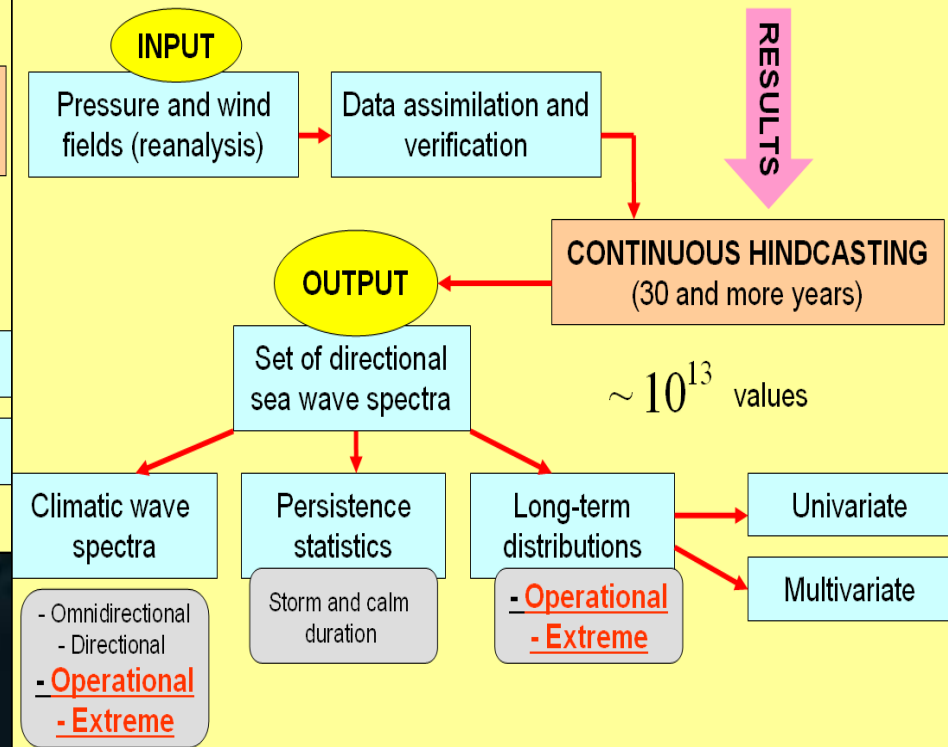
# ТЕПЕРЬ

# NOW

(1) Появление реанализа; (2) Численные модели; (3) Высокопроизводительные вычисления



(1) Advent of reanalysis (2) Numerical models of sea waves (3) High Performance Computing





Принципиальная схема описания волнового климата

## ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ВОЛНЕНИЯ

### ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Уровень моря (батиметрия в точках расчетной сетки)

Положение ледовой кромки

### МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Скорость приводного ветра (на стандартной высоте с заданным осреднением)

Расчет

Реанализ с корректировкой по данным измерений

Расчет по откорректированным входным данным

Статистическое обобщение результатов расчетов

## Модели

(спектральные дискретные),

принятые в международной практике:

WAM,

Wave WATCH,

SWAN



## Гидродинамические модели:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial \varphi} \varphi + \frac{\partial N}{\partial \theta} \theta + \frac{\partial N}{\partial k} k + \frac{\partial N}{\partial \beta} \beta + \frac{\partial N}{\partial \omega} \omega = G$$

$N = N(\varphi, \theta, k, \beta, \omega, t)$  – спектральная плотность волнового действия

Уравнение баланса волновой энергии:

$S(\sigma, \beta) = N(k, \beta) k \sigma \frac{\partial k}{\partial \sigma}$  – спектральная плотность волновой энергии

$G = G_{in} + G_{ds} + G_{nl}$  – функция источника

По форме представления  $G$  модели можно разделить на три группы:

- спектральные дискретные,
- спектральные параметрические,
- интегральные

Input to Hydrodynamic models is  
wind or pressure from Reanalysis.

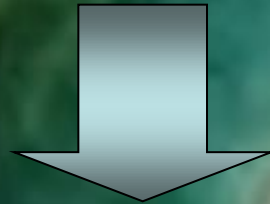
## РЕАНЕАЛИЗ

Необходим как входные  
данные для расчётов

# УСВОЕНИЕ ДАННЫХ по ВЕТРУ



Почему реанализ (в том виде как он есть)  
Не всегда применим для расчётов волнового климата



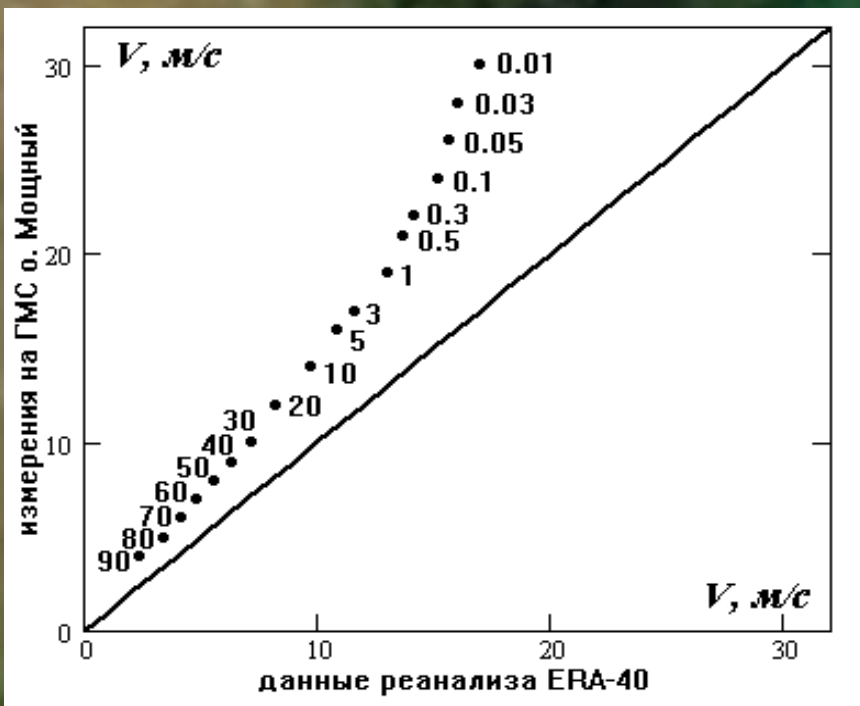
- **Занижение** экстремумов
- **Сглаживание** формы штормов
- **Смещение** между данными и измерениями
- **Пропуск** быстрых штормов

# Недостатки реанализа

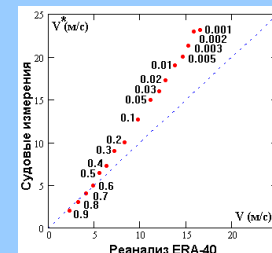
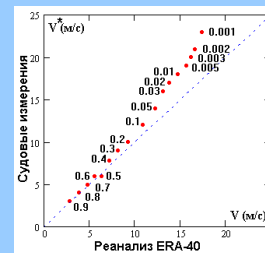
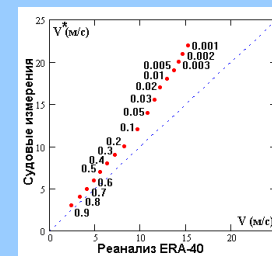
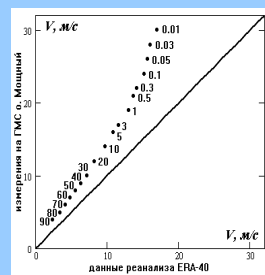
Квантильный биplot.

Скорости ветра по данным реанализа ( $V$ ) и измерениям на о. Мощный

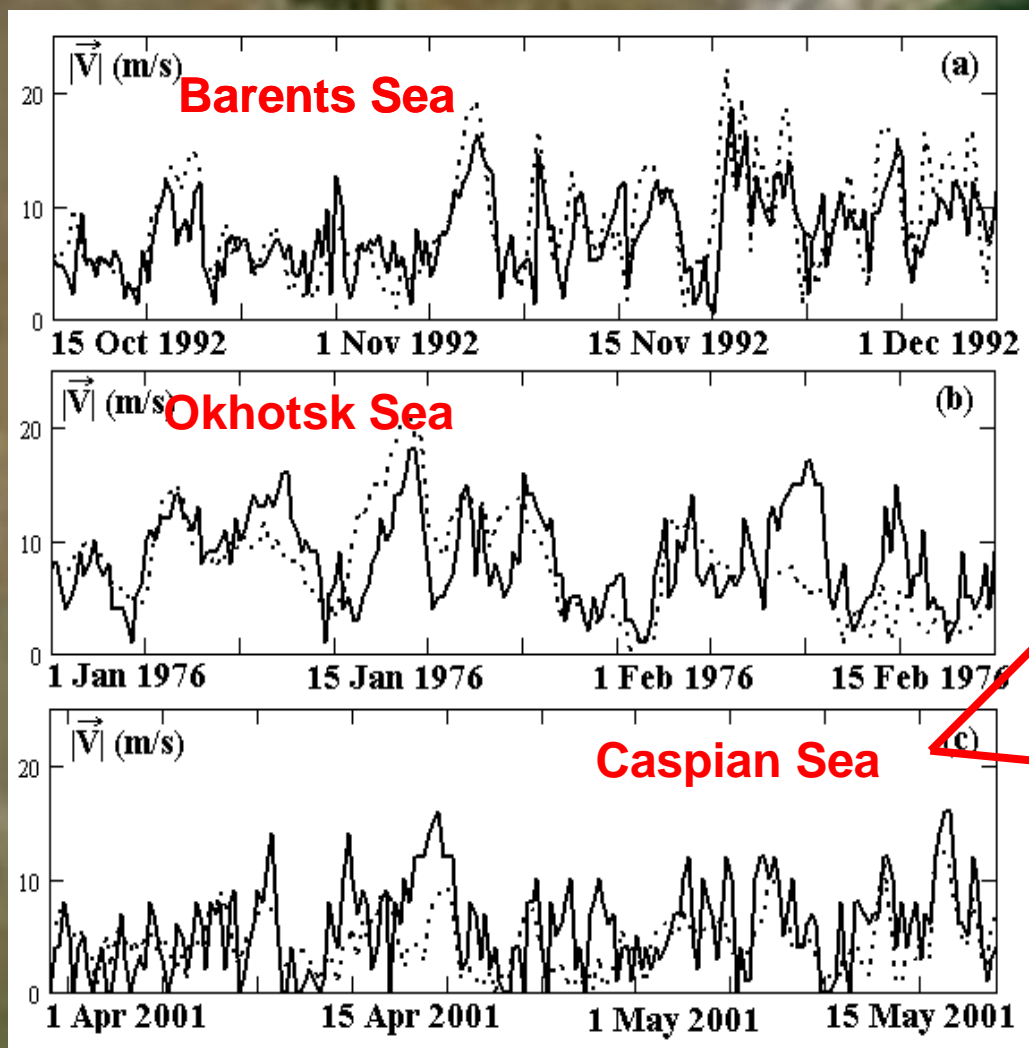
Цифры – оценки вероятности распределения  $F(V)$



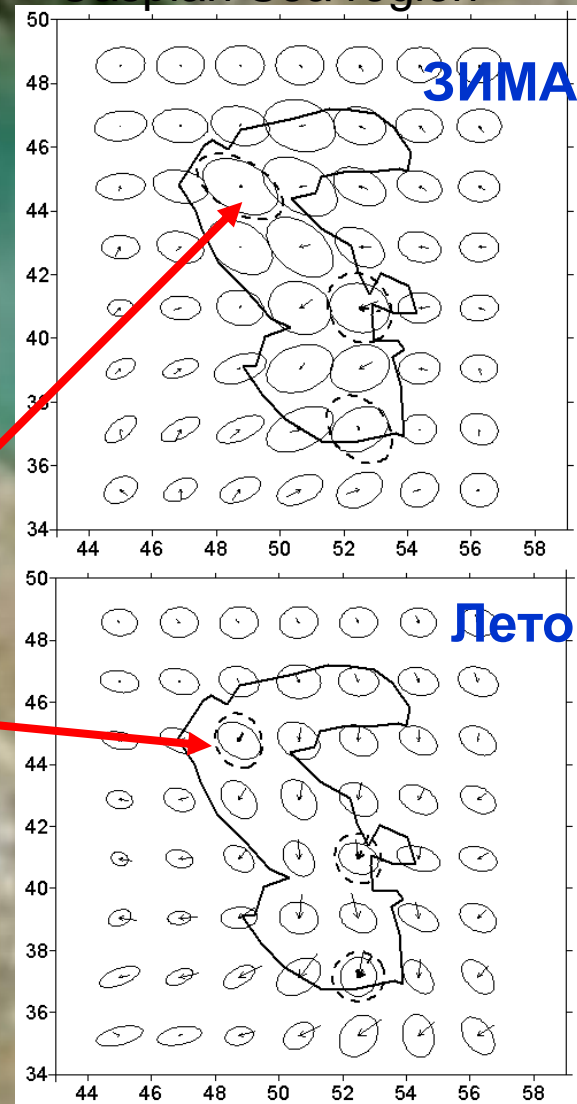
Квантильные биplotы срочных значений скорости ветра и данных реанализа ERA-40; (% соответствуют обеспеченности квантили)



# Различия в ветре по данным реанализа измерениями в синоптические сроки



Caspian Sea region



reanalysis      observations

Fig. 1. Comparison of wind speed value time series.

Solid line – Measurements, Dot line – Reanalysis.

(a) – Barents Sea (Sental Banken, 740.5N–310.0E),

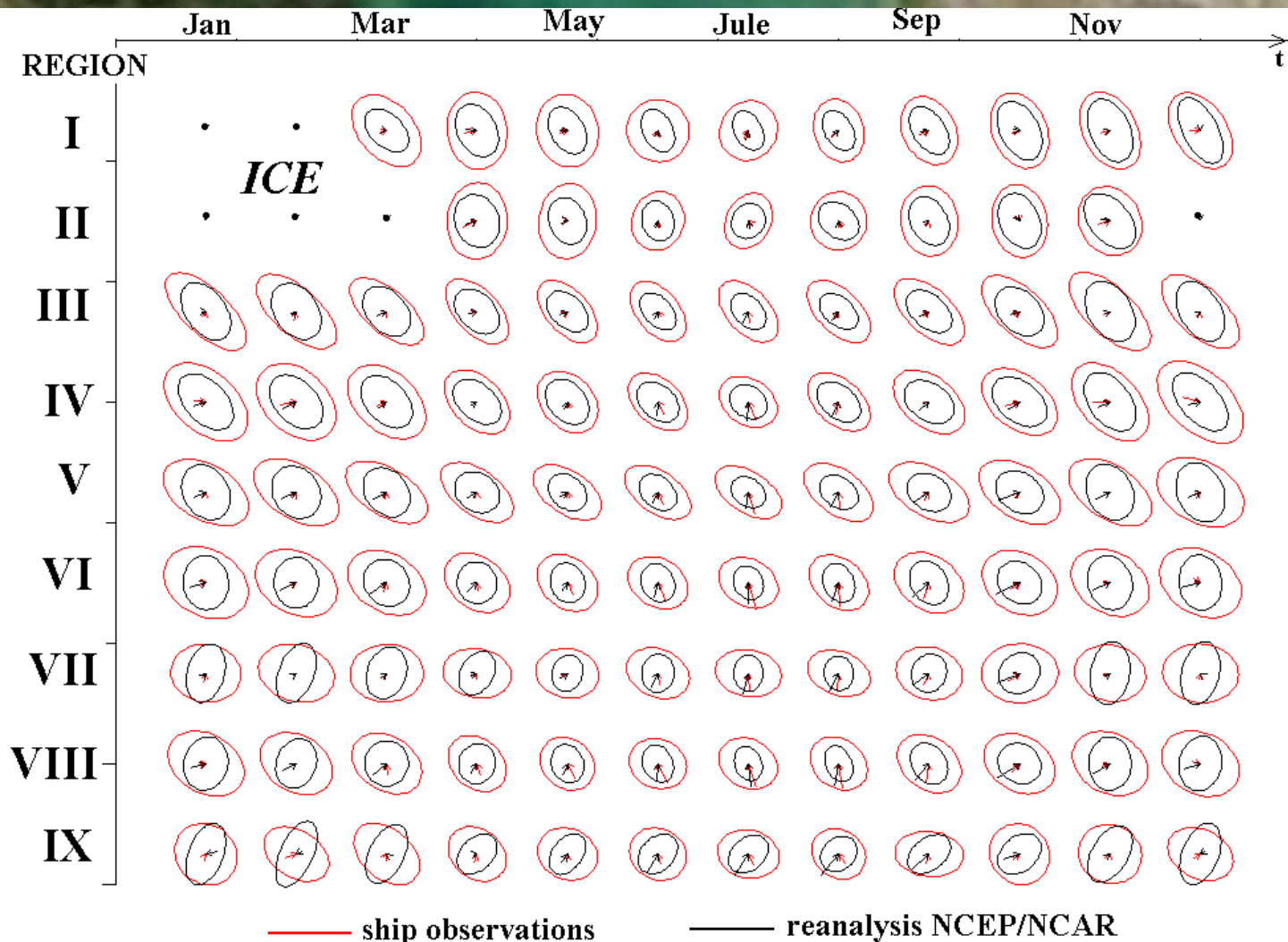
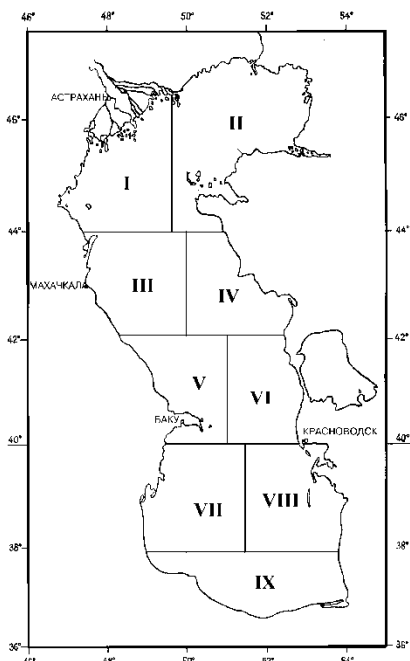
(b) – Okhotsk Sea (Odoptu, 58006'N, 143028' E),

(c) – Caspian Sea (Tuleny island, 440 30'N, 470 40'E)

# Caspian sea: differences between reanalysis and observations

Сравнение среднемесячных скоростей ветра и тензора средне-квадратического разброса

REGIONS  
of the  
Caspian sea

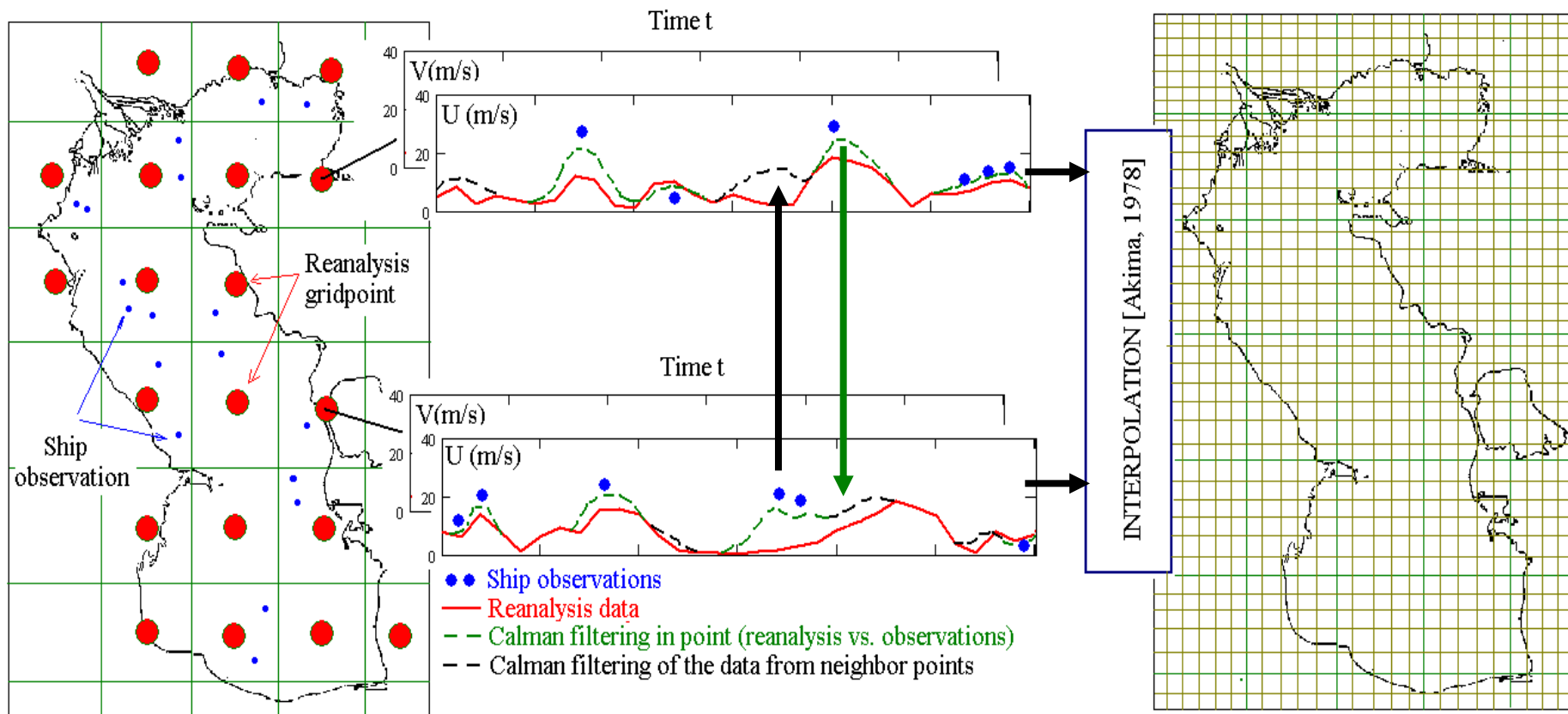


# Процедура усвоения и интерполяции

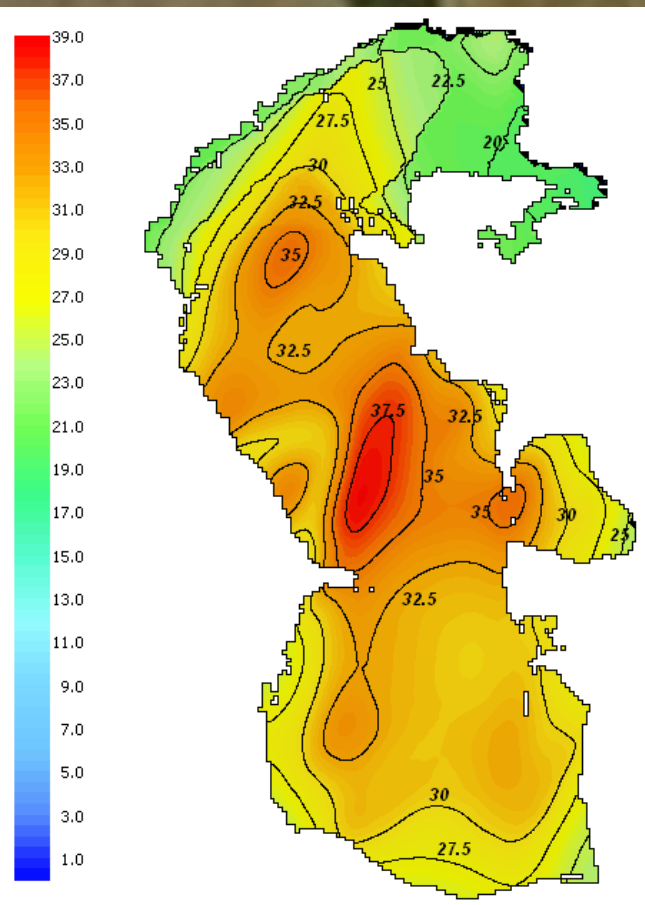
$$\vec{V}(\vec{r}, t) = \sum_{j=1}^R \Psi_{t,j}(\vec{r}) \vec{V}(\vec{r}, t-j) + \Sigma(\vec{r}, t) \vec{\varepsilon}(\vec{r}, t) \quad - \text{Стохастическая модель реанализа с шумом} \quad \vec{\varepsilon}$$

$$\vec{V}_s = H \vec{V}(\vec{r}_k, t_0) + \vec{\delta} \quad - \text{Измерения с шумом} \quad \vec{\delta}$$

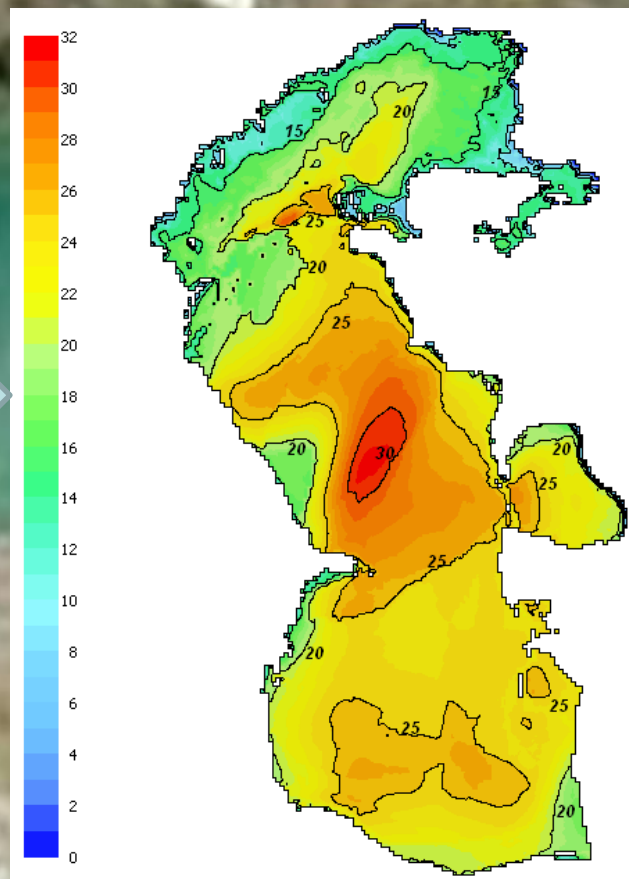
$$\vec{V}^*(\vec{r}_k, t_0) = \vec{V}(\vec{r}_k, t_0) + \mathfrak{R}_{\vec{V}}(\vec{r}_k, t_0) (\vec{V}(\vec{r}_k, t_0) - \vec{V}_s) \quad - \text{Уравнение Калмановской фильтрации}$$



Москва ноябрь 2018



← **Есть  
разница ??** →

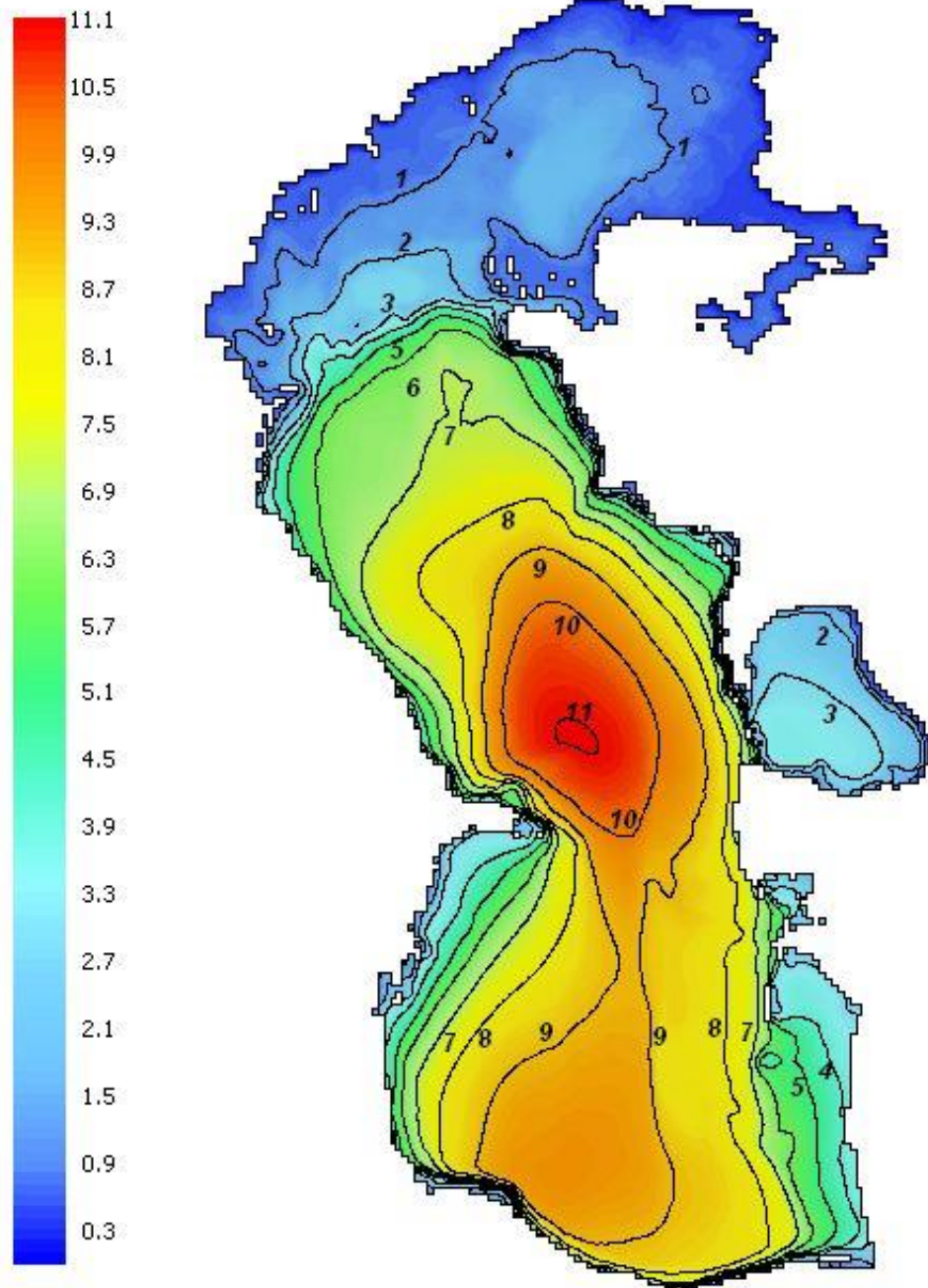
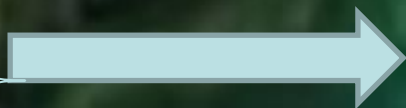


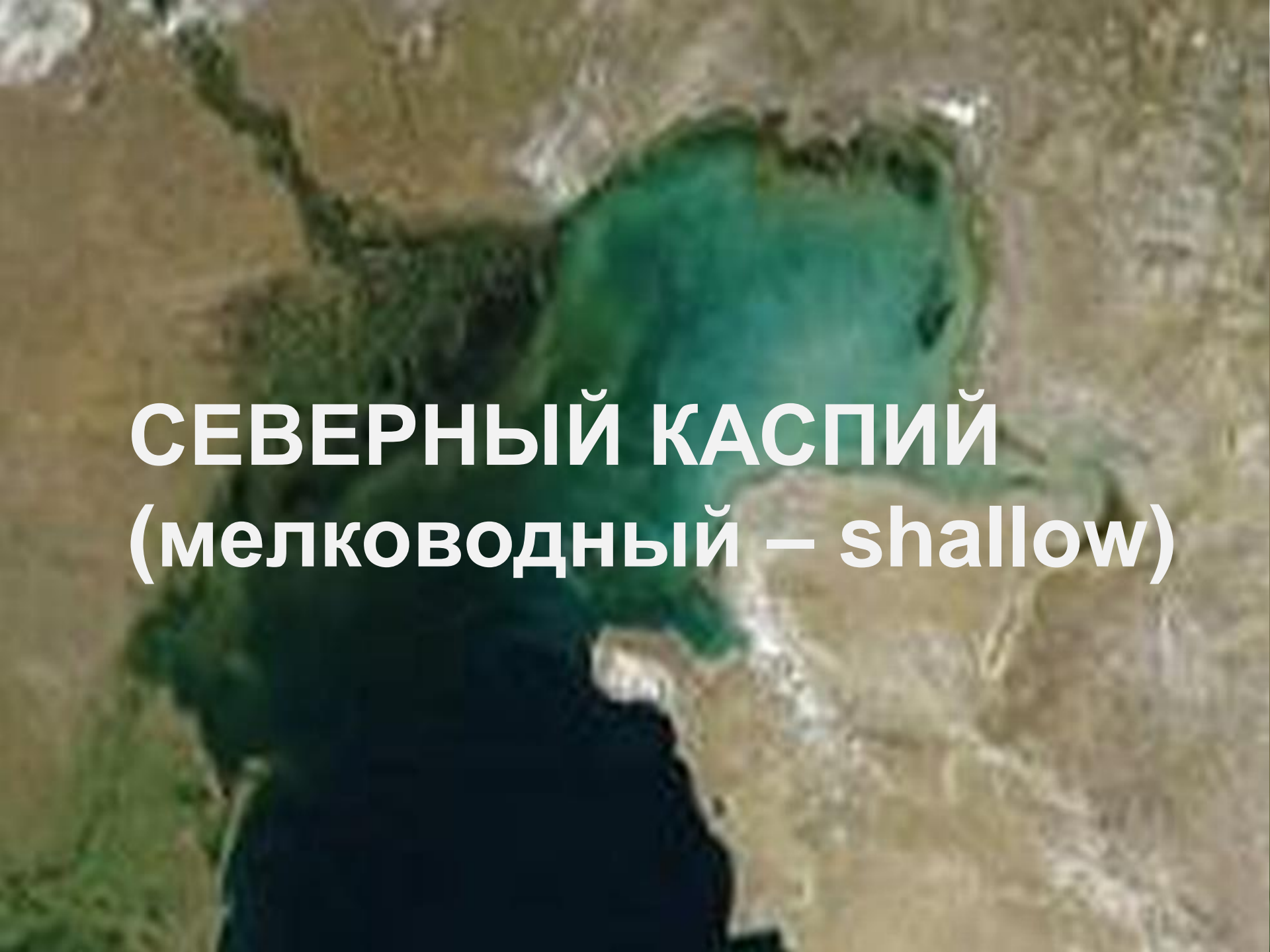
**Скорость ветра 1 раз в 100 лет**

**Скорость ветра при высоте волн 1 раз в 100 лет**

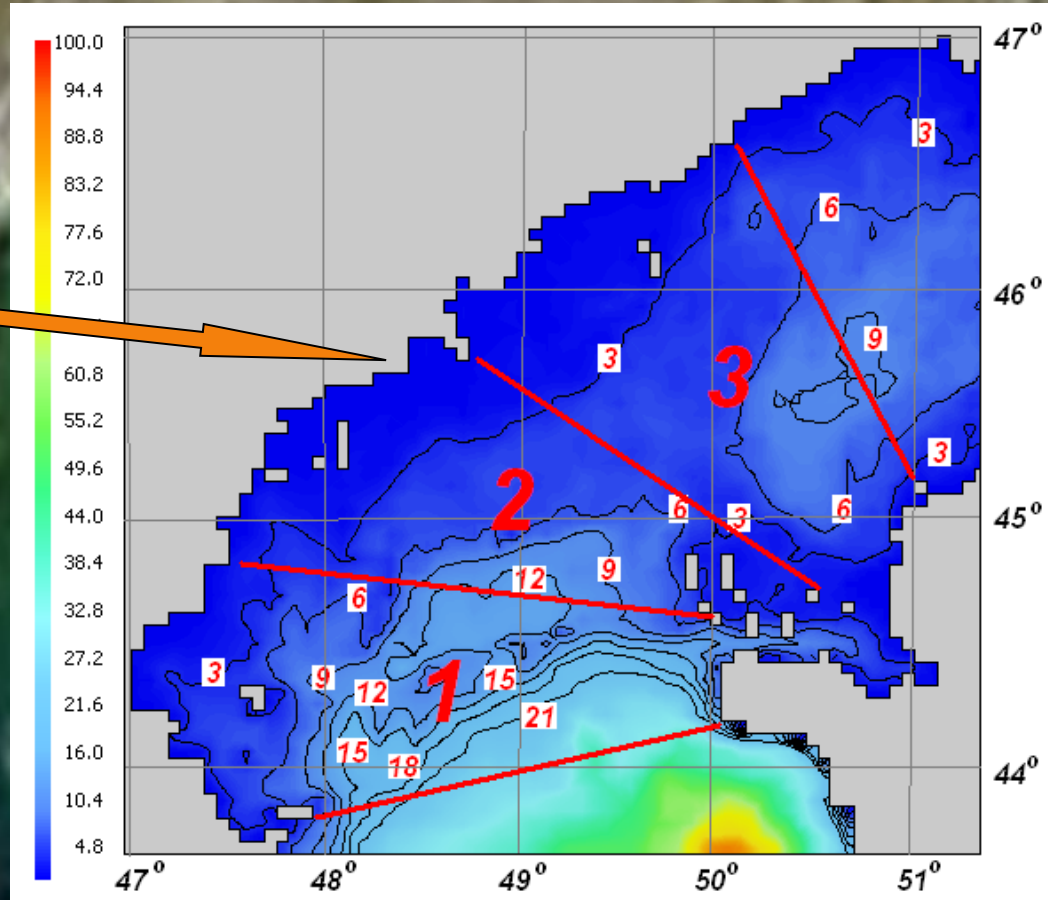
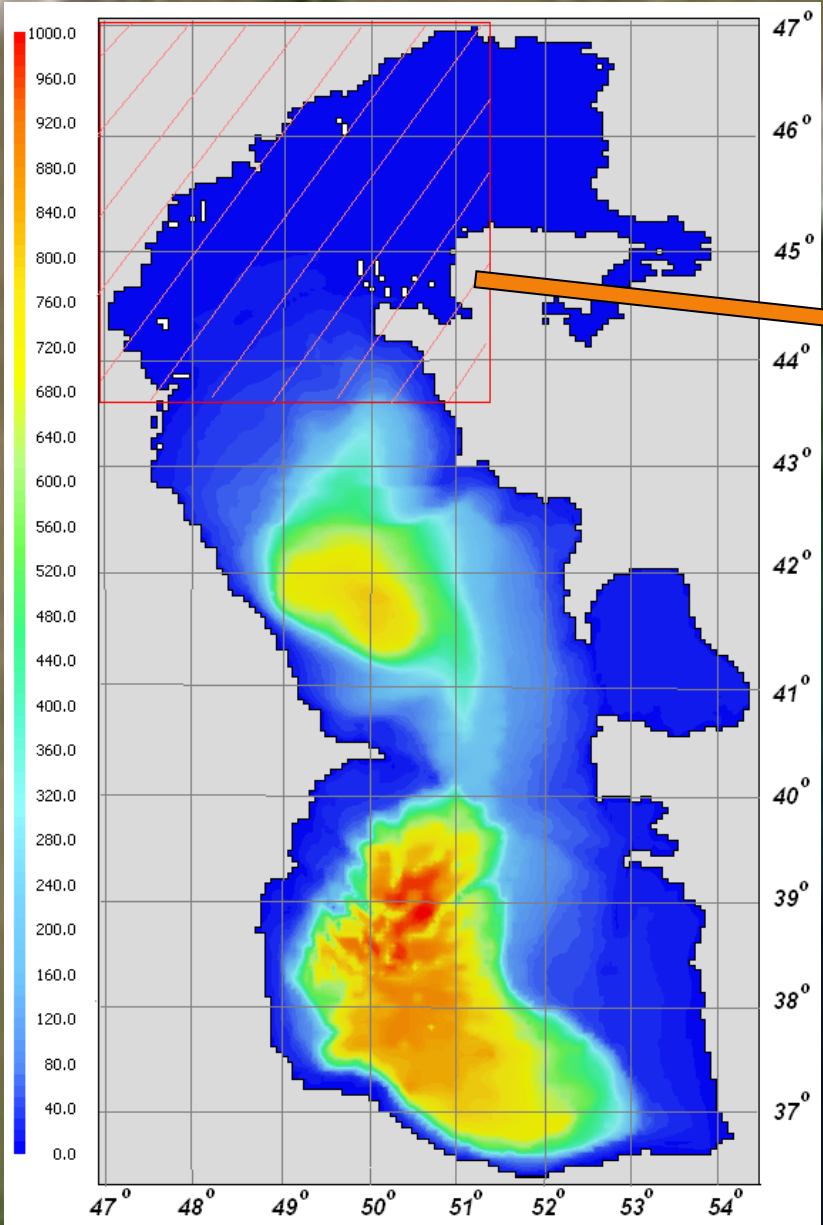


(H sign)  
100  
years



A satellite-style map of the Caspian Sea region. The sea is shown in a dark blue color. The northern part of the sea is highlighted with a green overlay. The surrounding landmasses are shown in shades of brown and tan, indicating a semi-arid or arid environment. The text is overlaid on the green area.

**СЕВЕРНЫЙ КАСПИЙ**  
**(мелководный – shallow)**



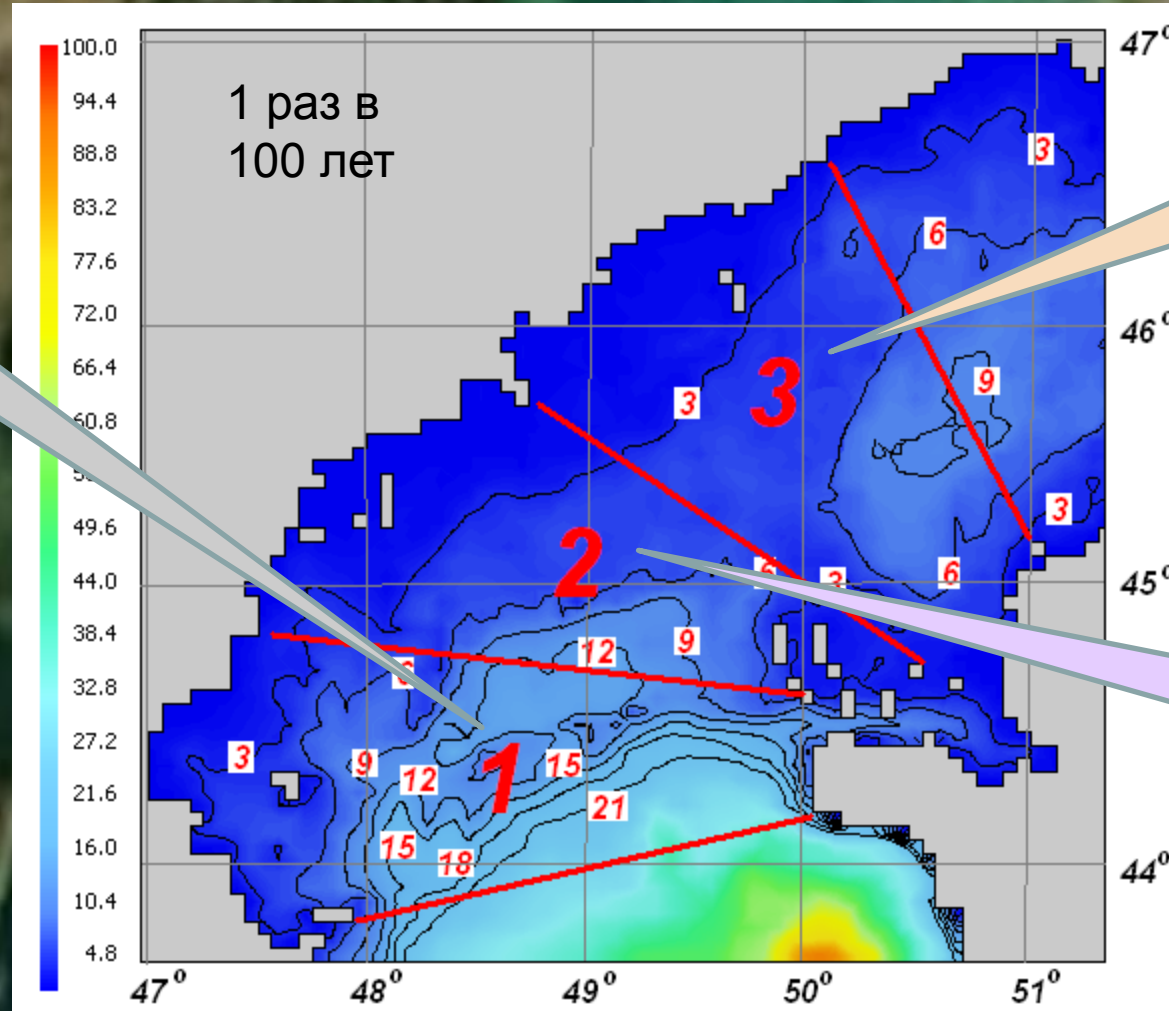
**Каспийское море** 36°30' ÷ 47°00' с.ш.;  
47°00' ÷ 54°20' в.д.

**Сев. Каспий** 43°40' ÷ 47°00' с.ш.;  
47°00' ÷ 51°15' в.д.

# НЕКОТОРЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ (РОССИЯ, КАЗАХСТАН)



# ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ (1 раз в 100 лет) ВЫСОТ ВОЛН В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ



Глубина 15 м

$h_{3\%} = 7.0 \text{ м}$   
 $h_{0,1\%} = 9.0 \text{ м}$

Глубина 5 м

$h_{3\%} = 2.5 \text{ м}$   
 $h_{0,1\%} = 3.2 \text{ м}$

Глубина 13 м

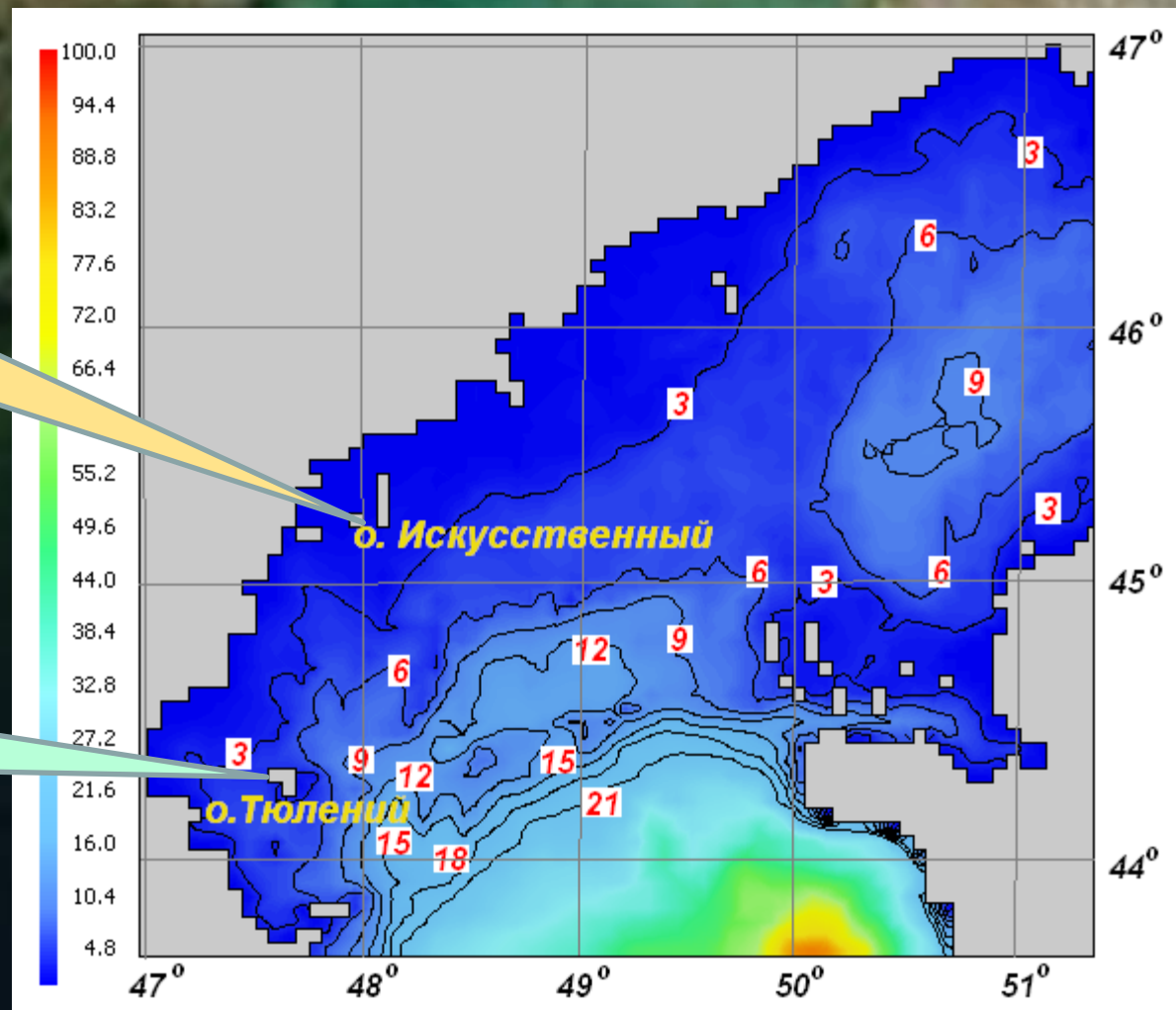
$h_{3\%} = 5.4 \text{ м}$   
 $h_{0,1\%} = 7.0 \text{ м}$

# ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ НАГОНЫ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Необходимо учитывать при расчётах волн в штормах (как правило, уровень изменяется)

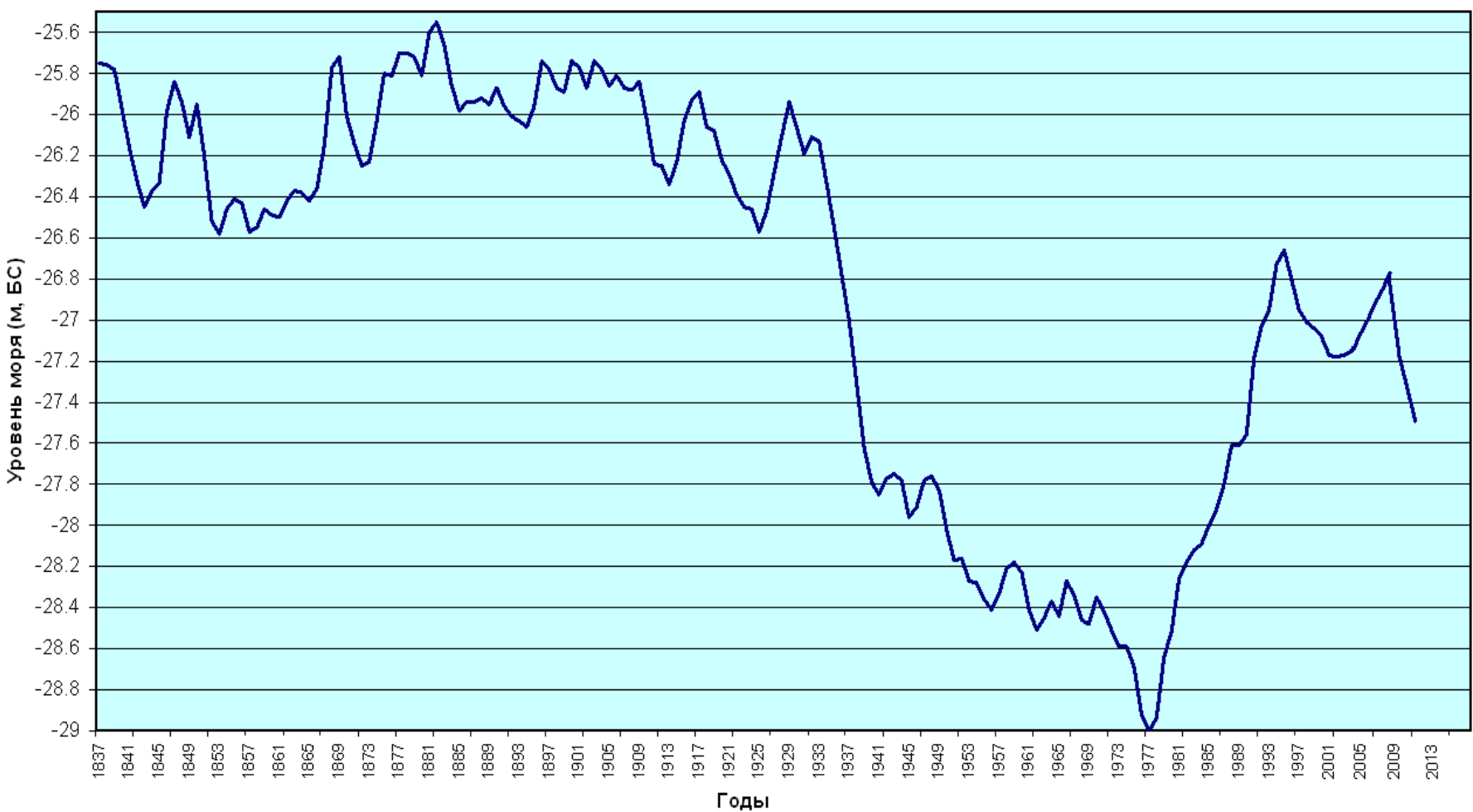
**о. Искусственный**  
**214 см**  
13.11.1952г

**о. Тюлений**  
**238 см**  
12.11.1952г



Долгопериодные колебания уровня Каспийского моря  
Уровень приведен в Балтийской системе.

Колебания уровня Каспийского моря с 1837 по 2011 год



# Прогнозы изменения уровня до 2050 г

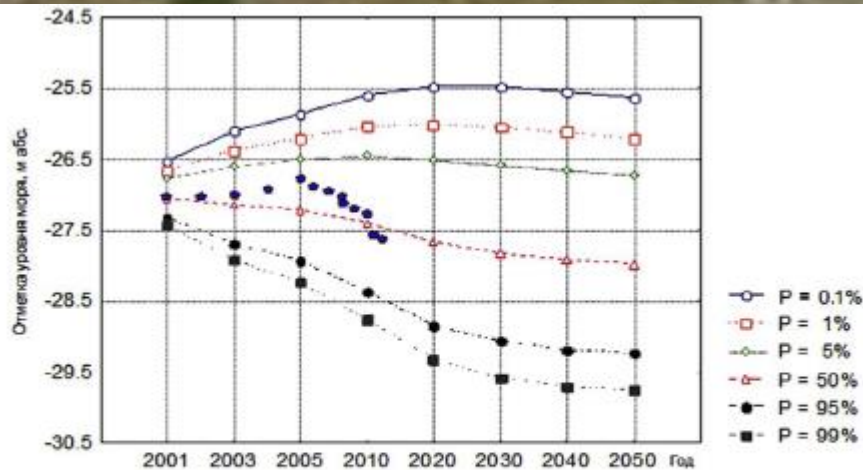
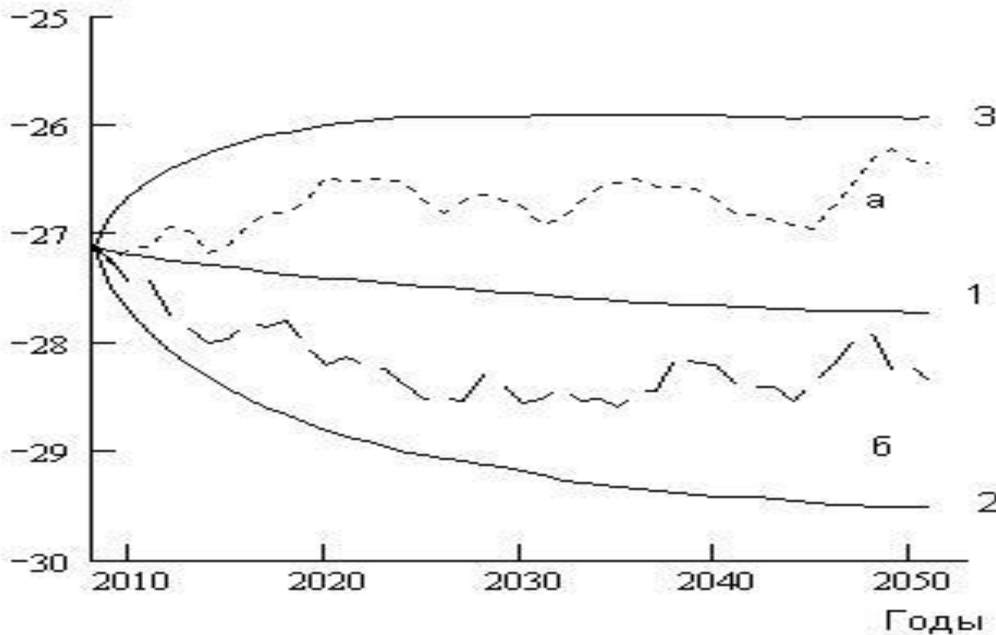


Рис. 8.30. Вероятностный прогноз уровня Каспийского моря (безвозвратные изъятия  $25 \text{ км}^3/\text{год}$ ; начальный уровень  $-27,0 \text{ м}$ ). Отдельные точки на графике – отметки уровня моря по посту Махачкала.



Водный баланс  
и  
колебания уровня  
Каспийского моря  
*Моделирование и прогноз*

Уровень, м БС



Оценка уровня Каспийского моря до 2050 года: 1 – условное математическое ожидание уровня, 2 и 3 границы 98% доверительного интервала, ..



# Как изменятся оценки экстремальных волн?!

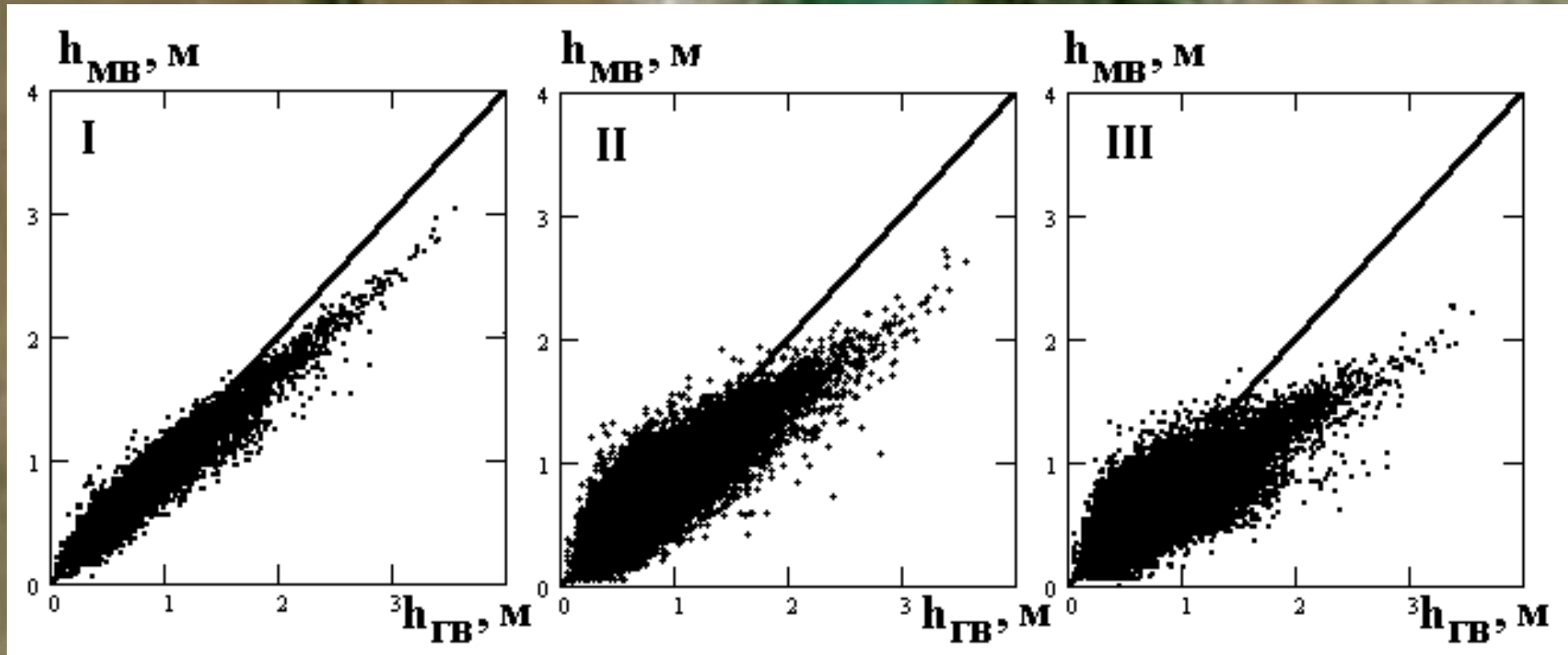
Сейчас уровень примерно – 27 м.

**Если к 2050 году:**

*уровень будет -25 м (повыситься)*, то в Северном Каспии  
Оценки экстремальных волн **возрастут** на  
??? %

*уровень будет – 29 м (понизиться)*, то в Северном Каспии  
Оценки экстремальных волн **уменьшаться** на ???%

В Среднем и Южном Каспии  
существенные изменения оценок  
экстремальных волн вряд ли будут иметь место



Точечная диаграмма высот волн на глубокой  $h_{GB}$  ( $H=27$  м) и мелкой  $h_{MB}$  воде с глубинами:  
I – 15 (м), II – 12 (м), III – 6 (м).  
Северный Каспий

**Предельные высоты волн (средние, 13%, 3%, 0.1% обеспеченности)**

Эти значения учитывают только кинематику индивидуальной волны в точке, и потому могут считаться оценками сверху.

| Глубина, (м) | Предельная высота $h_{lim}$ (м) |     |     |      |
|--------------|---------------------------------|-----|-----|------|
|              | средняя                         | 13% | 3%  | 0.1% |
| 5,5          | 1,9                             | 2,7 | 3,3 | 4,1  |
| 4,2          | 1,4                             | 2,0 | 2,4 | 2,9  |
| 2,2          | 0,9                             | 1,3 | 1,5 | 1,8  |

Москва, ноябрь 2018

**НЕОБХОДИМЫ РАСЧЁТЫ  
ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ВОЛНЕНИЯ  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЯХ  
ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ !!!**

**А также с учётом изменения уровня  
из-за нагонов-сгонов во время  
конкретных штормов**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ ☺**

**WELCOME to  
St. Petersburg**

