




География Мирового океана

Лекция 9

Сгонно-нагонные явления. Катастрофические наводнения в истории. Прогнозы уровня моря. Эмпирические модели ветрового волнения. Ветровые волны в океанах и морях. Режимные и экстремальные характеристики ветрового волнения в морях России.

Мысленков Станислав Александрович
МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет,
кафедра океанологии
stasocean@gmail.com



Колебания уровня Мирового океана

Уровень моря - высота поверхности моря, свободная от влияния ветровых волн и зыби, измеряемая относительно условного горизонта.

Уровенной поверхностью называется поверхность морей и океанов, нормальная к направлению силы тяжести.

Свободная поверхность Мирового океана, не возмущенная динамическими факторами называется геоидом. Однако уровенная поверхность находится в непрерывном колебании под влиянием многих сил и отклоняется от поверхности геоида.

Силы, вызывающие изменение уровня моря:

1. Колебания, вызванные **гидрометеорологическими процессами**, под воздействием атмосферного давления, ветра, осадков, испарения, речного стока, тепловых процессов в море:

- обратный барометр (1 гПа атмосферного давления меняет уровень моря на 1 см)
- непосредственное действие ветра (муссоны, бризовые ветры, циклоны - сгонно-нагонные)
- неравномерности поступления (осадки, речной сток, испарение)
- вызванные изменением плотности воды, (солености и температуры).

Комплексный характер процессов - комбинация нескольких факторов.

2. Влияние космических сил на положение уровня моря. Приливообразующие силы.

3. Колебания уровня под воздействием геодинамических сил. Вертикальные движения суши. они происходят от поднятия или опускания берега, на котором установлена водомерная рейка. **Тектонические колебания уровня** - землетрясения, извержения подводных и надводных вулканов (цунами, сильные сейши).

4. Эвстатические колебания уровня - изменения уровня Мирового океана, связанные с изменениями общего объема воды в нем, а также с изменениями емкости морей и океанов.

Сгонно-нагонные колебания уровня моря

Сгонно-нагонные колебания уровня моря - **непериодические изменения** уровня морей и океанов **под воздействием ветра и атмосферного давления**. В результате действия ветра возникает течение, которое вызывает перемещение масс воды, приводящее к колебаниям уровня у берегов.

В мелководных районах направление течения практически совпадает с направлением ветра. Если ветер дует в сторону берега - происходит нагон, а при обратном направлении ветра - сгон воды. В глубоких морях полный поток воды отклоняется от направления ветра на 90° , и сгонно-нагонные колебания вызваны ветрами, дующими вдоль берега.

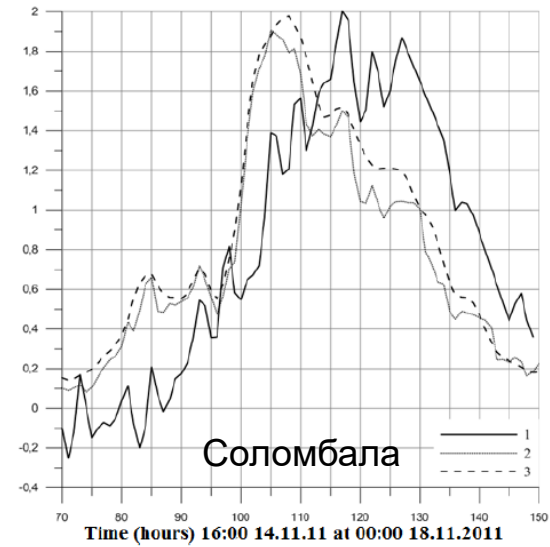
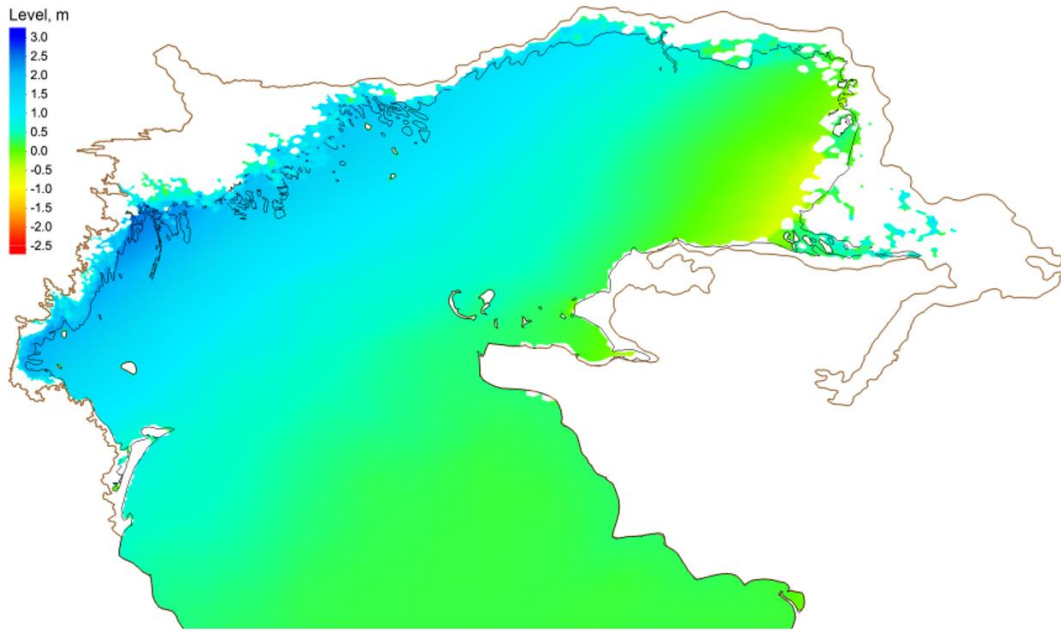
Наибольшие колебания уровня (2-3 м) наблюдаются у мелководных берегов в длинных, сужающихся заливах, узких проливах и устьях рек. В глубоких морях сгонно-нагонные колебания уровня незначительны.

В Азовском море разность уровней у наветренного и подветренного берегов этого моря составляет более 3 м. Многолетняя макс. разность в Таганрогском заливе - 670 см.

Частые (245 за 276 лет) наводнения в Санкт-Петербурге с катастрофическими подъемами уровня (382 см в 1924 г. и 421 см в 1824 г.) возникают при совпадении ветровых нагонов с длинной волной в результате прохождения циклона, входящей в сужающийся и мелководный Финский залив.



Сгонно-нагонные колебания уровня моря



Прогулка по дну Азовского моря :
Где побывать? Что посмотрет...

dzen.ru

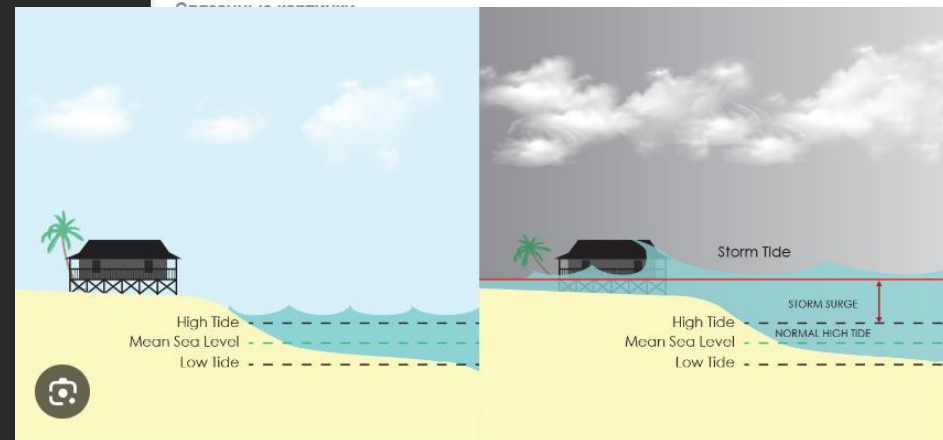
Интересное и редкое явление на Азовск...

Восточный морской ветер

Открыть 700x450

Похожие

Отправить



Катастрофические наводнения в истории

4. Ураган «Айк» \$18,5 млрд.



В 2008 году ураган «Айк» привел к огромным разрушениям в США, на Кубе, Гаити, в Доминикане и на Багамских островах. Тогда жертвами стихии стали 170 человек. Финансовые потери — \$38 млрд, сумма страхового ущерба — \$18,5 млрд.

7. Наводнение в Таиланде \$16 млрд.



Наводнение в Таиланде в 2011 году стало причиной смерти 813 человек. Финансовые потери составили \$43 млрд, сумма страхового ущерба \$16 млрд.



Storm surge from Hurricane Ike (2008). Image credit: NOAA.



Super Cyclonic Storm Amphan, Bangladesh, May 2020

Прогнозы уровня моря в океане

Для моделирования уровня и течений мелководных морей обычно используются двумерные численные гидродинамические модели, в которых рассматриваются только горизонтальные движения. Для глубоководных морей применяются трехмерные модели, описывающие также динамику движений по вертикали.

На поверхности моря задаются компоненты касательного напряжения ветра, также атмосферное давление. Необходима модель рельефа дна. Граничные условия на твердой границе моря ставятся в зависимости от характера берега: на открытых и обрывистых берегах – условие «непротекания», на мелководных и изрезанных берегах – условие «прилипания» (отсутствие течений), возможен вариант затопления.

Прогноз уровня по данным прогноза ветра и давления на 3-5 суток.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

Давление представлено с использованием уравнения гидростатики:

$$p = \int_z^{\zeta} \rho g dz = p_a + p_s + \rho_{\zeta} g \zeta,$$

Коэффициент вертикальной турбулентной вязкости N_z задается переменным по глубине в виде [220, 243, 262]:

$$N_z = (c_{ml} \cdot h_{ml})^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2} + \frac{1}{S_M} \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}, \quad (3.77)$$

На поверхности моря задаются касательные напряжения ветра, кинематическое условие и отсутствие потока плавучести:

$$N_z \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_{sx}, N_z \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_{sy}, \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} = w, K_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0. \quad (3.80)$$

На дне принимается квадратичный закон трения, задаются кинематическое условие обтекания течением неровностей рельефа дна $H(x, y)$ и отсутствие потока плавучести:

$$N_z \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_{bx}, N_z \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_{by}, u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} = w, K_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = 0, \quad (3.81)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u^2) + \frac{\partial}{\partial y}(uv) + \frac{\partial}{\partial z}(wu) - fv = -\frac{1}{c} \frac{\partial p}{\partial x} + N_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial u}{\partial z} \right),$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uv) + \frac{\partial}{\partial y}(v^2) + \frac{\partial}{\partial z}(wv) + fu = -\frac{1}{c} \frac{\partial p}{\partial y} + N_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(N_z \frac{\partial v}{\partial z} \right),$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \rho g,$$

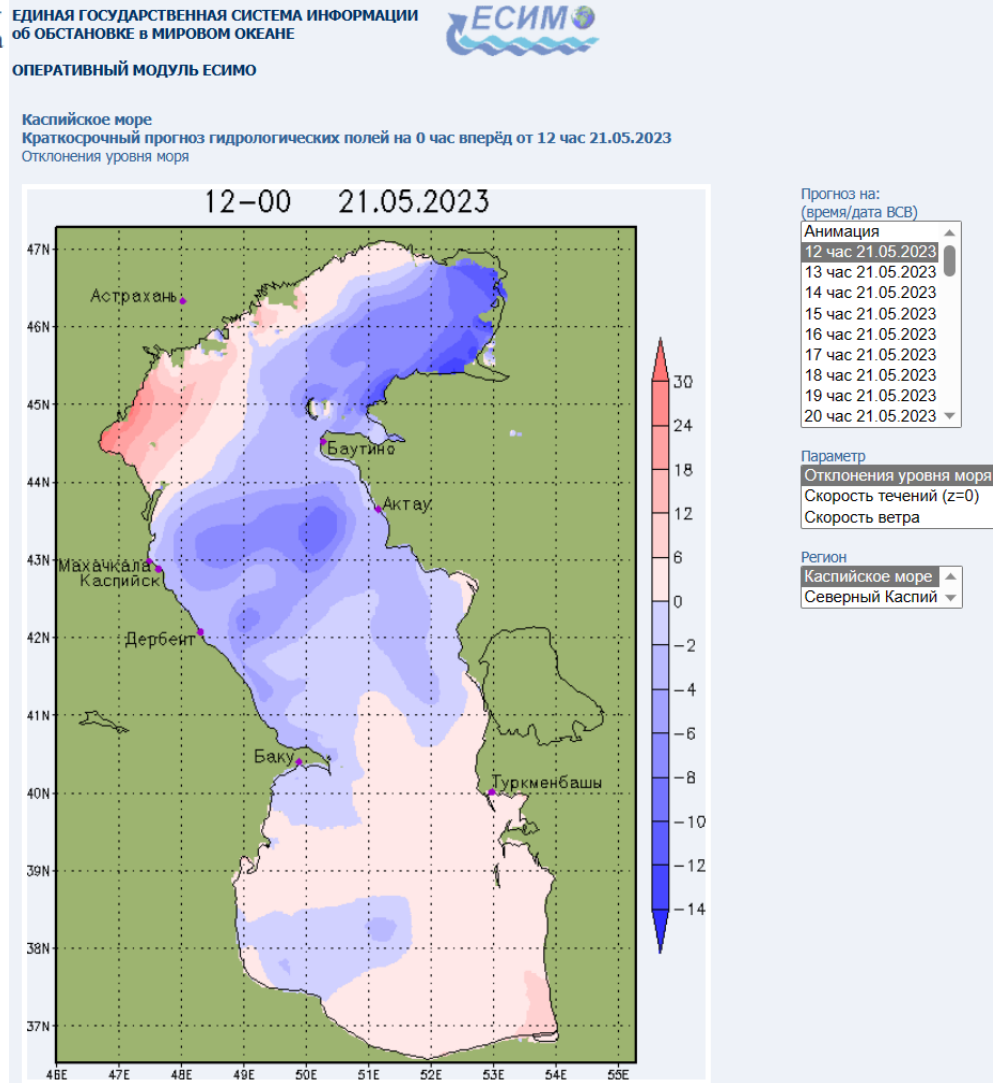
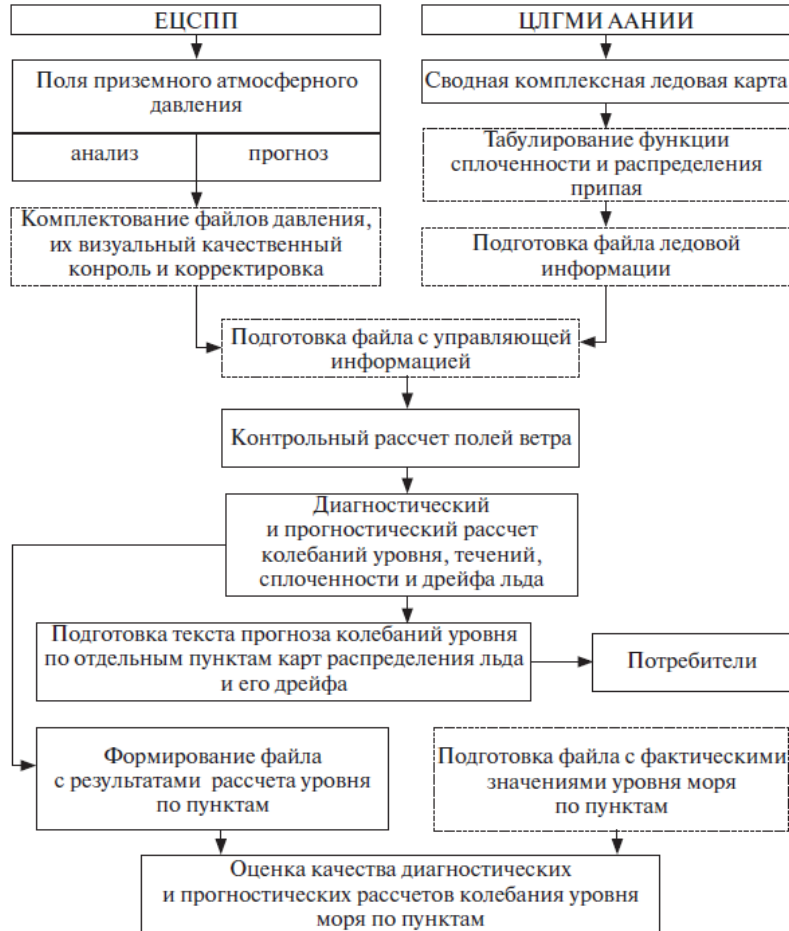
$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uT) + \frac{\partial}{\partial y}(vT) + \frac{\partial}{\partial z}(wT) = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right),$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uS) + \frac{\partial}{\partial y}(vS) + \frac{\partial}{\partial z}(wS) = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right),$$

$$\rho = f(T, S, p).$$

Прогнозы уровня моря в океане

Последовательность операций, реализующих методику численных прогнозов колебаний уровня в Финском заливе, представлена в виде блок-схемы на рис. 3.7.



Эмпирические модели ветрового волнения

Все практические методы расчета ветровых волн прямо или косвенно базируются на основных положениях, вытекающих из уравнения баланса энергии волн

$$\frac{d}{dx}(E \cdot v_c) = M_p + M_\tau - E_\mu.$$

Согласно этому уравнению, элементы волны зависят от силы (скорости) ветра, продолжительности его действия и длины разгона ветра. Длина разгона ветра определяется как расстояние, проходимое ветром над морем при изменении его направления не более чем на $\pm 22\frac{1}{2}^\circ$.

Для открытых районов морей элементы ветровых волн, высота и среднее значение длины волн рассчитываются по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} 1 - \quad h &= 0,073 WR \sqrt{DE}, & D &= 30 W^2 E, \\ E &= 1 / [0,9(100 + W^2)], & R &= (1 + e - 0,4 D / W), \\ \lambda &= 0,073 WR \sqrt{D/E}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 - \text{По формулам И. Н. Давидяна:} \\ h_\infty &= 0,0205 W^2 (t / 1,3 W)^{0,57}, & \tau &= 3,95 h^{-0,52}, \\ \tau &= 0,54 W (t / 1,3 W)^{0,28}, & h &= 0,0205 W^2 (D / 2,5 W^2)^{0,43}. \end{aligned}$$

3 – По формулам академика В. В. Шулейкина:

$$\begin{aligned} h &= 0,0205 W^2 \left[1 - e^{-1,3(t/0,526W)^{0,6}} \right], \\ \tau &= 0,526 W. \end{aligned}$$

Расчет элементов трохойдальной волны производится по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \tau &= 0,8 \sqrt{\lambda}, & P &= 0,51 h^2 + 2,41 h^2 / \lambda, \\ \lambda &= c \tau, & h &= 0,045 W^{0,56} D^{0,54} A, \\ c &= 1,25 \sqrt{\lambda}, & \lambda &= 0,31 W^{0,66} D^{0,64} A, \\ h &= 0,17 \lambda^{3/4}, & t &= 0,533 W^{0,38} D^{0,68} A, \\ E &= 0,125 pgh^2 \lambda, & A &= 1 + e^{-0,35} D/W, \end{aligned}$$

где τ – период волны (с);
 λ – длина волны (м);
 c – скорость перемещ. волны (м/с);
 h – высота волны (м);
 E – энергия волны (Дж).

P – ударная сила волны (т/м²);
 D – дистанция разгона волны (км);
 t – время разгона (ч);
 W – скорость ветра (м/с);
 H – глубина района (м).
 A – параметр шероховатости.

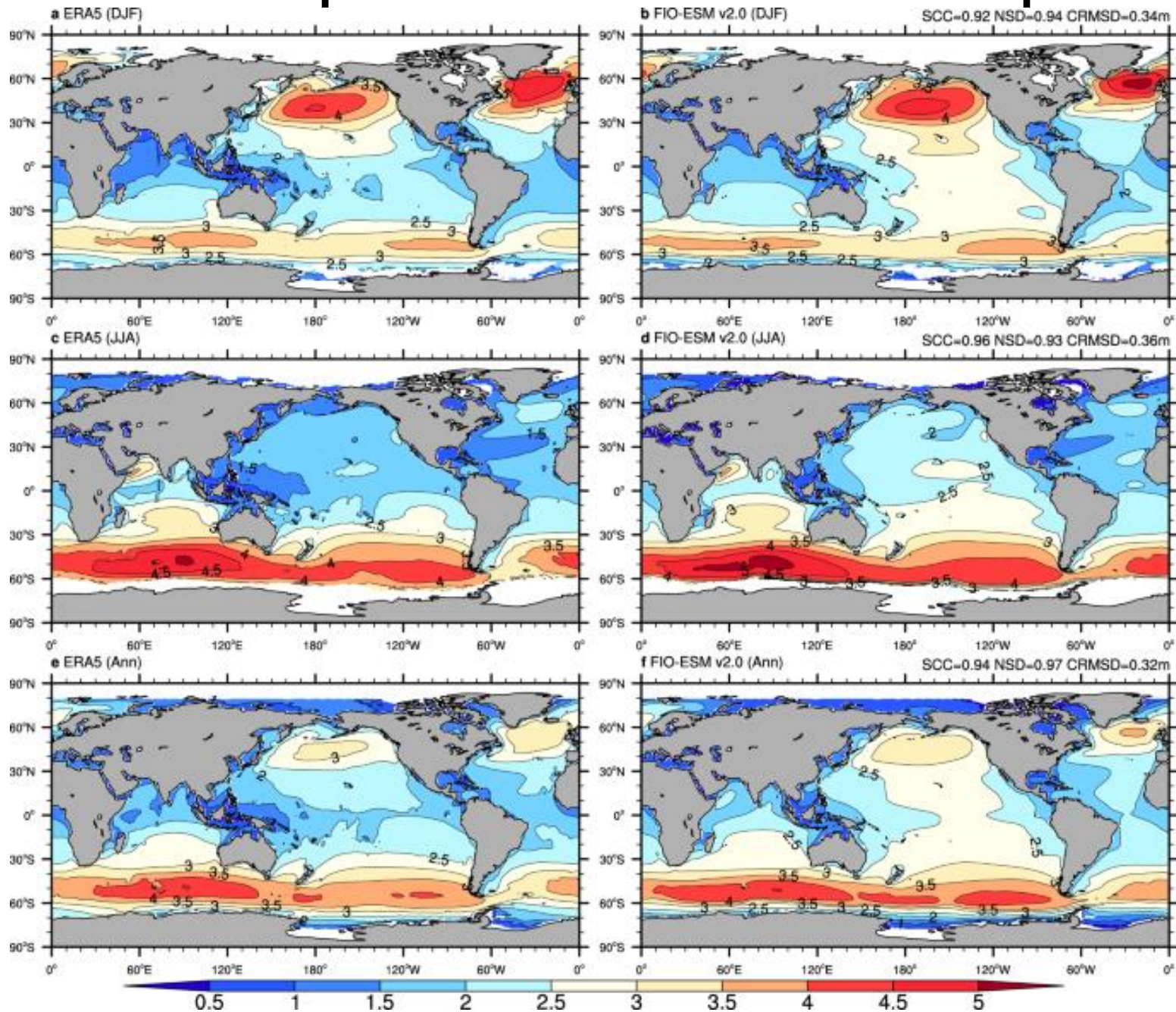
НАВИГАЦИОННАЯ И ПРОМЫСЛОВАЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

*Рекомендовано
Дальневосточным региональным учебно-методическим центром
в качестве учебно-методического пособия (практикума)
для студентов специальностей 240200 «Судовождение»,
311800 «Промысловое рыболовство»
вузов региона*

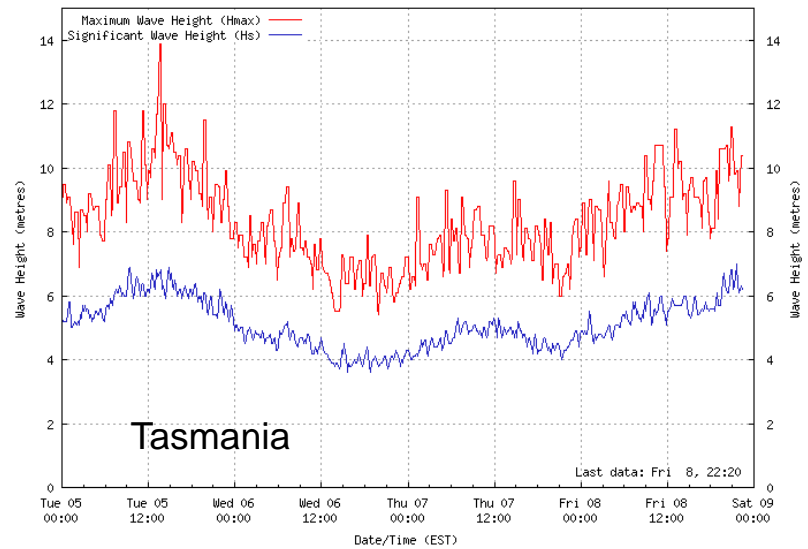
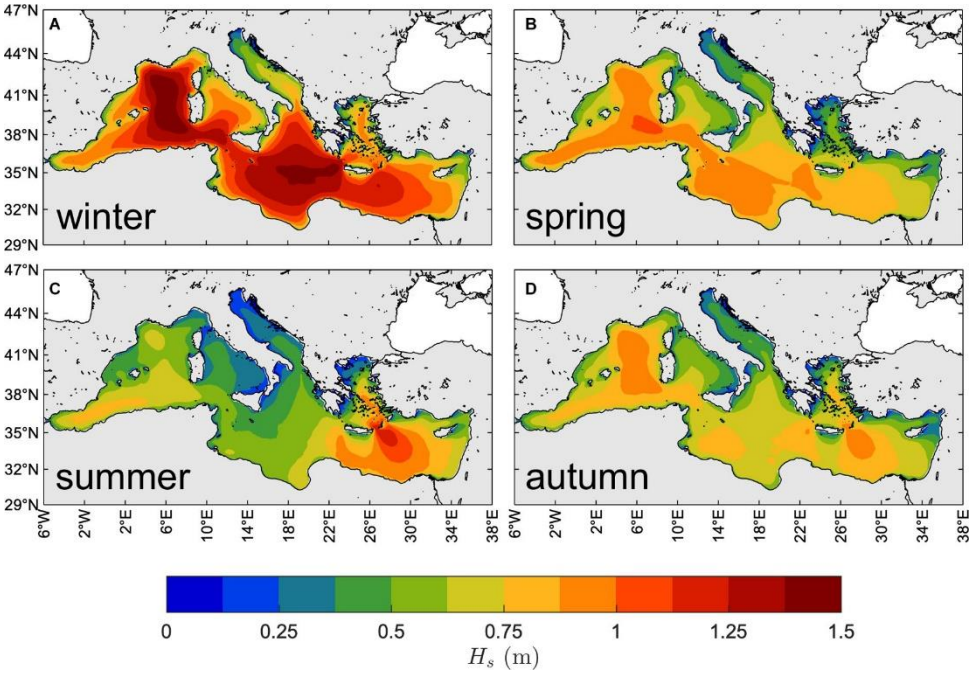
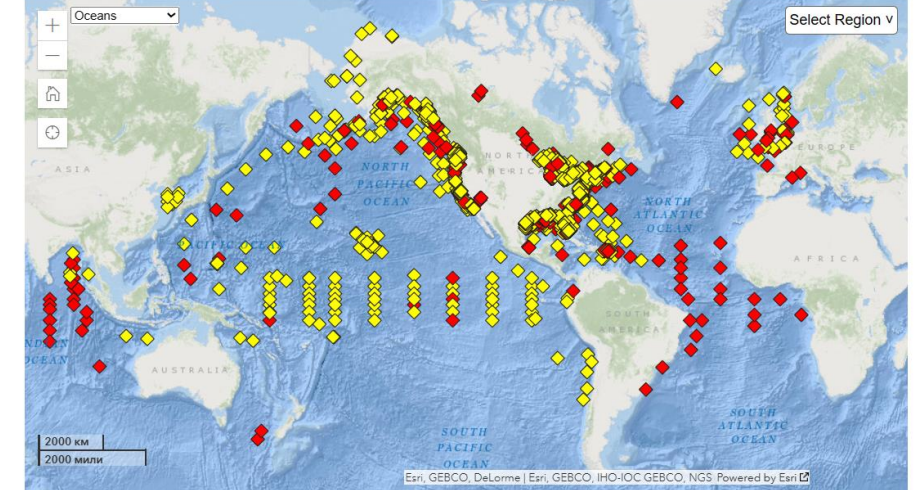
$$h, \tau, \lambda, c = \varphi(W, D, t, H),$$

где W – скорость ветра, м/с;
 D – дистанция разгона волны, км;
 t – продолжительность действия ветра, ч;
 H – глубина моря, м.

Ветровые волны в океанах и морях



Ветровые волны в океанах и морях



Режимные и экстремальные характеристики ветрового волнения в морях России

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

Набор основных статистических сведений о режиме ветра и волнения, представленных в справочниках Регистра

Электронный аналог печатного издания, утвержденного 07.12.10



СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО РЕЖИМУ ВЕТРА И ВОЛНЕНИЯ БЕРИНГОВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

Экстремальные статистики (таблицы по районам для восьми румбов и без учета направлений):

- скорости ветра (с различным осреднением), возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет;
- высоты, периоды, длины волн и высоты гребней, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет;
- возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет условные средние периоды, длины, высоты гребней, ассоциированные с высотами волн различной обеспеченности;
- средние скорости ветра, ассоциированные с высотами волн, возможными 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет.

Изолинии экстремальных статистик (карты):

- скорости ветра, возможные 1 раз в 10, 25 и 100 лет с указанием направлений;
- высоты волн, возможные 1 раз в 10, 25 и 100 лет с указанием направлений;
- условные средние периоды волн, ассоциированные с высотами волн, возможными 1 раз в 10, 25 и 100 лет;
- условные скорости ветра, ассоциированные с высотами волн, возможными 1 раз в 10, 25 и 100 лет;
- периоды повторяемости (лет) для совместного появления:
 - высот волн, возможных 1 раз в 10 и 25 лет и скоростей ветра, возможных 1 раз в 10 и 25 лет.

Справочник. База данных	Набор статистик
1974 г. [5] Визуальные наблюдения. Все моря и океаны	<p><u>Для крупных районов:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • режимные распределения скоростей ветра по сезонам; • режимные распределения высот волн по сезонам; • повторяемость скоростей ветра по направлениям за год; • повторяемость скоростей ветра и высот волн за год. <p><u>В целом для моря:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • повторяемость периодов волн по сезонам; • совместная повторяемость высот и периодов волн по сезонам; • оценки высот волн и скоростей ветра, возможные 1 раз в 30 лет
2003 г. [16] Баренцево, Охотское и Каспийское моря. Данные реанализа за 30 лет	<p><u>Экстремальные статистики по районам:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • скорости ветра (с различным осреднением), возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет, по восьми румбам и без учета направлений; • высоты, периоды, длины волн и высоты гребней, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет. <p><u>Оперативные статистики по районам и месяцам:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • повторяемость: <ul style="list-style-type: none"> – скоростей ветра по направлениям; – высот волн по направлениям; • длительность штормов и окно погоды: <ul style="list-style-type: none"> – для скоростей ветра по месяцам; – для высот волн по месяцам; • совместная повторяемость (в целом за год по районам) высот волн и периодов волн и кривые регрессии
2006 г. [1] Балтийское, Северное, Черное, Азовское и Средиземное моря. Данные реанализа за 40 лет	<p><u>Экстремальные статистики по районам:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • скорости ветра (с различным осреднением), возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет, по восьми румбам и без учета направлений; • высоты, периоды, длины волн и высоты гребней, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50, 100 лет. <p><u>Оперативные статистики по районам и месяцам:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • повторяемость по месяцам и в целом за безледный период: <ul style="list-style-type: none"> – скоростей ветра по направлениям; – высот волн по направлениям;

Режимные и экстремальные характеристики ветрового волнения в морях России

Повторяемость (%) скоростей ветра V (м/с) по направлениям θ , безусловная повторяемость $f(V)$ и обеспеченность $F(V)$ скоростей ветра, безусловная повторяемость $f(\theta)$ направлений ветра, условное среднее направление ($^\circ$) ветра $m_\theta(V)$ по градиентам скоростей, а также параметры m_V (м/с) и k_V аппроксимации условных (по направлениям) и безусловных распределений скоростей ветра двухпараметрическим законом Вейбулла. БЕЗЛЕДНЫЙ ПЕРИОД (ВСЬ ГОД)

V	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	$f(V)$	$F(V)$	$m_\theta(V)$
0-4	1,1	1,2	1,0	1,1	0,9	1,0	1,1	0,9	8,4	100,0	59
4-8	2,8	3,1	3,0	3,2	2,8	3,0	3,0	2,4	23,3	91,6	132
8-12	3,5	4,1	3,2	3,3	3,4	3,8	3,5	2,8	27,5	68,3	99
12-16	2,7	3,0	2,3	2,2	2,5	2,7	2,6	2,3	20,4	40,8	336
16-20	1,8	1,8	1,4	1,0	1,5	1,3	1,5	1,4	11,8	20,5	1
20-24	0,8	1,0	0,7	0,4	0,7	0,6	0,7	0,7	5,6	8,6	1
24-28	0,3	0,4	0,2	0,10	0,3	0,2	0,4	0,3	2,2	3,0	333
28-32	0,09	0,12	0,08	+	0,09	0,07	0,08	0,10	0,6	0,8	343
32-36	0,02	0,04	0,03	+	0,02	0,03	0,02	0,02	0,2	0,2	19
≥ 36	-	+	+	-	-	+	+	+	0,02	0,02	330
$f(\theta)$	13,1	14,8	11,9	11,4	12,2	12,8	12,8	11,0	Все направления:		
m_V	11,7	11,9	11,2	10,2	11,5	11,1	11,4	11,8	$m_V = 11,4$ (м/с)		
k_V	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	$k_V = 2,1$		

Экстремальные высоты волн (м) – средние, 13 %-, 3 %-, 1 %- и 0,1 %-ной (макс.) обеспеченностей, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50 и 100 лет, по направлениям (8 румбов) и без учета направлений (макс.)

n , лет	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Макс.
Средние высоты волн									
1	6,1	7,2	6,3	5,4	5,2	5,5	5,2	4,8	7,2
5	6,9	8,1	7,2	6,2	5,8	6,2	5,8	5,6	8,1
10	7,5	8,7	7,7	6,8	6,3	6,7	6,3	6,1	8,7
25	8,2	9,4	8,5	7,4	6,8	7,3	6,8	6,8	9,4
50	8,8	9,9	9,0	8,0	7,3	7,8	7,2	7,3	9,9
100	9,3	10,5	9,5	8,5	7,7	8,2	7,6	7,7	10,5
Значительные высоты волн (13 %-ной обеспеченности)									
1	9,8	11,6	10,2	8,7	8,3	8,8	8,4	7,8	11,6
5	11,2	13,0	11,6	10,0	9,4	10,0	9,4	9,0	13,0
10	12,1	14,0	12,5	10,9	10,1	10,8	10,1	9,9	14,0
25	13,3	15,1	13,6	12,0	11,0	11,8	11,0	10,9	15,1
50	14,1	16,0	14,5	12,8	11,7	12,5	11,6	11,7	16,0
100	15,0	16,9	15,3	13,6	12,3	13,2	12,3	12,5	16,9
Высоты волн 3 %-ной обеспеченности									
1	12,8	15,2	13,4	11,4	10,9	11,5	11,0	10,2	15,2
5	14,6	17,1	15,2	13,1	12,3	13,1	12,3	11,8	17,1
10	15,8	18,3	16,3	14,3	13,3	14,1	13,2	12,9	18,3
25	17,4	19,8	17,8	15,7	14,4	15,4	14,4	14,3	19,8
50	18,5	21,0	18,9	16,8	15,3	16,4	15,3	15,3	21,0
100	19,6	22,1	20,0	17,9	16,2	17,3	16,1	16,3	22,1
Высоты волн 1 %-ной обеспеченности									
1	14,7	17,5	15,3	13,0	12,5	13,2	12,5	11,7	17,5
5	16,8	19,6	17,4	15,0	14,1	15,0	14,1	13,6	19,6
10	18,2	21,0	18,7	16,3	15,2	16,2	15,2	14,8	21,0
25	19,9	22,7	20,4	18,0	16,5	17,7	16,5	16,4	22,7
50	21,2	24,0	21,7	19,2	17,5	18,8	17,5	17,5	24,0
100	22,5	25,3	23,0	20,5	18,5	19,9	18,5	18,7	25,3
Наибольшие высоты волн (0,1 %-ной обеспеченности)									
1	18,0	21,4	18,8	15,9	15,3	16,2	15,4	14,3	21,4
5	20,5	24,0	21,3	18,4	17,3	18,4	17,3	16,6	24,0
10	22,2	25,7	22,9	20,0	18,6	19,8	18,6	18,1	25,7
25	24,4	27,8	25,0	22,0	20,2	21,6	20,2	20,0	27,8
50	25,9	29,4	26,6	23,5	21,5	23,0	21,4	21,5	29,4
100	27,5	31,0	28,1	25,0	22,7	24,3	22,6	22,9	31,0

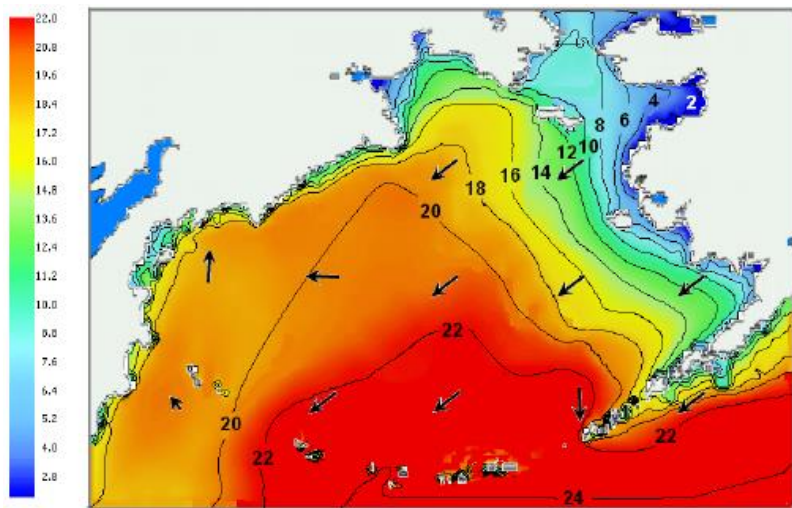


Рис. Бр.5 Высоты волн 3 %-ной обеспеченности, возможные: а – 1 раз 10 лет; б – 1 раз 25 лет; в – 1 раз 100 лет

Режимные и экстремальные характеристики ветрового волнения в морях России

Table 2. General statistics of SWH, number of storms and trends for seven Russian Seas.

Sea	Mean SWH	p95 SWH	Max SWH	Average number of storms SWH>6 m per year	Average number of storms SWH>7 m per year
Barents	1–2	3–4	14	24.6	13.7
Kara	0.5	1.5–2	7.2	1.6	0.5
Black	0.5–1	2–2.5	9.5	1.7	0.4
Caspian	0.5–1	2–2.5	8.3	1.1	0.1
Japan	1–1.5	2–3.5	13.9	16.9	9
Okhotsk	1–2	3–4	15.5	33.4	22.4
Bering	2–2.5	3–5	16.5	48	38

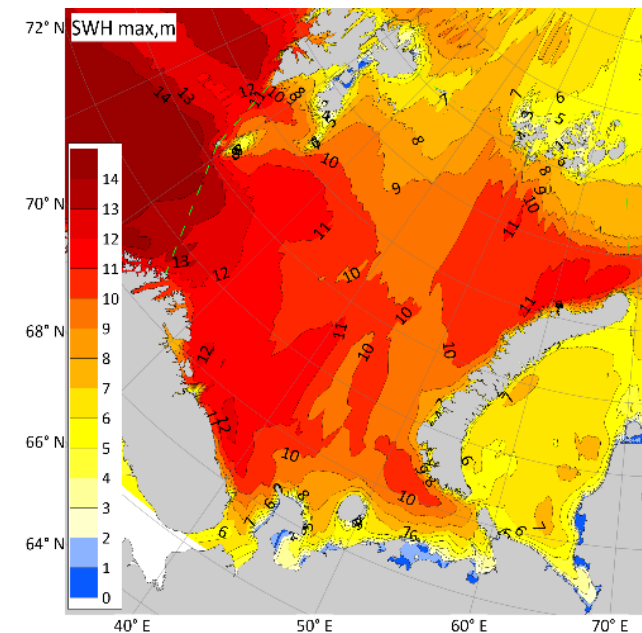
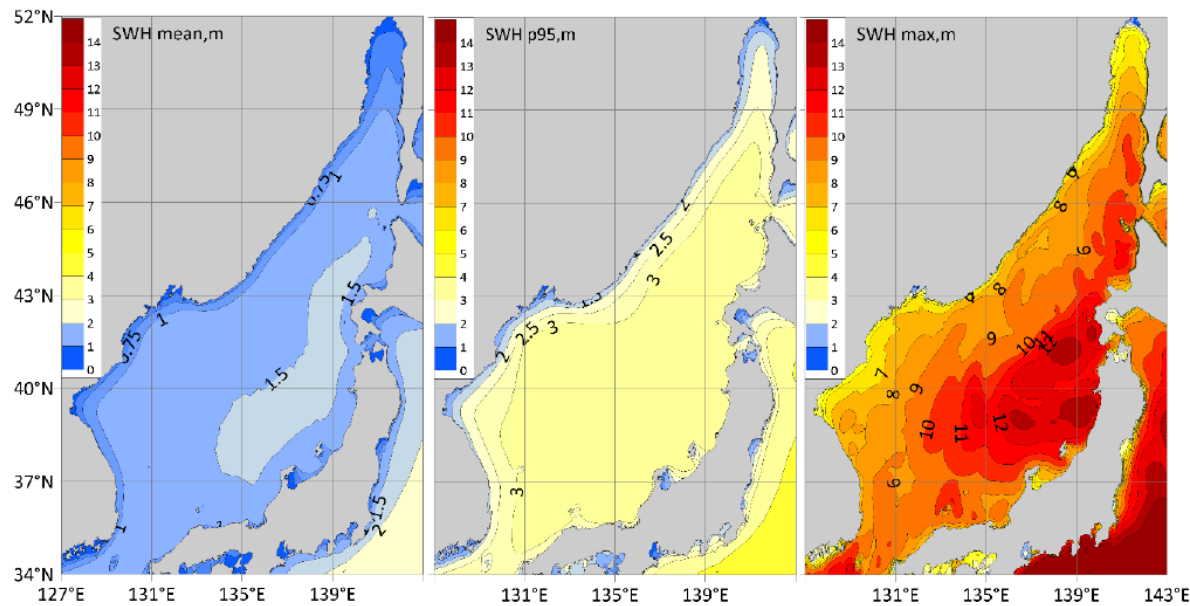
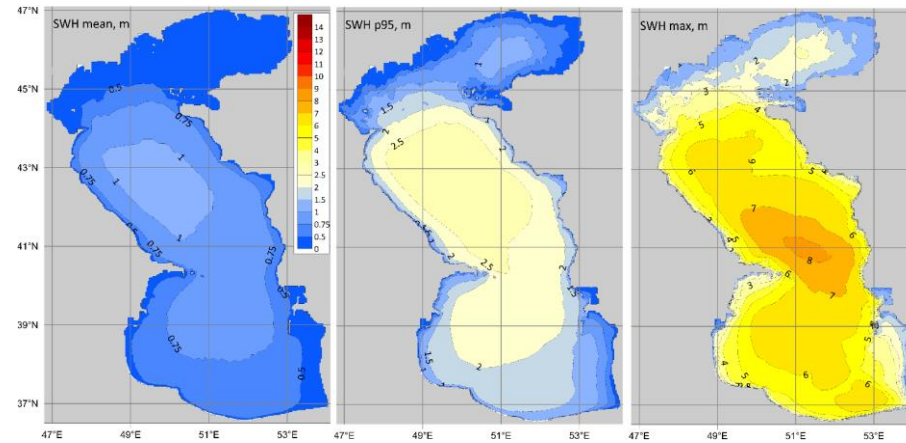


Figure 6. The long-term mean, 95% percentile, and maximum SWH according to the modeled data in the EJS for the 1979–2019 time period.

ПРОГРАММА

#КИМО2023

15 – 19 мая 2023

Конференция КИМО-2023

БЕСПЛАТНЫЕ ЭКСКУРСИИ В МУЗЕЙ СПБГУ



Экскурсия в Библиотеку Бестужевских курсов

Время проведения:

- 16 мая 15:00-15:45 (группа 1)
- 17 мая 12:00-12:45 (группа 2)
- 13:00-13:45 (группа 3)
- 18 мая 12:00-12:45 (группа 4)
- 13:00-13:45 (группа 5).

Максимум 75 чел.

Место проведения:

Институт наук о Земле (10-я линия В.О., 33-35)



Экскурсия в Особняк Кельха (Дом Юриста)

Время проведения:

- 16 мая 14:30-15:20 (группа 1)
- 17 мая 14:30-15:20 (группа 2)
- 18 мая 14:30-15:20 (группа 3)

Максимум 90 чел.

Место проведения:

ул. Чайковского, 28.

0		Обед							Первое русское кругосветное плавание
10	14	Общее фото Обед		Доклад Башмачников И.Л.					Кофе
20					Доклад Зимин А.В.				
30				Доклад Будянский М.В.	Кофе				Подведение итогов работы секций
40									
50		Доклад Жмур В.В.	Кофе	Физика океана	Биология океана	Химия океана	Экология моря	Кофе	Награждение победителей и закрытие КИМО-2023
0									
10					Физика океана	Биология океана	Химия океана	Экология моря	
20									
30									
40									
50		Пленарные доклады молодых учёных	Физика океана	Приборостроение	Морская геология	Экология моря			
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									
0									
10									
20									
30									
40									
50									

