



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



The Office of President
Vice-Presidency for Science and Technology

Iran National Science Foundation

The sea level variability of the Caspian Sea in the period range from hours to years

The future of the Caspian.
Research projects and studies
International Round Table,
November 28-29, 2018
Moscow

IGOR MEDVEDEV
SHIRSHOV INSTITUTE OF OCEANOLOGY, RAS



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



The Office of President
Vice-Presidency for Science and Technology

Iran National Science Foundation

**The research was supported by the RFBR
grant No. 16-35-60071 mol-a-dk**



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



The Office of President
Vice-Presidency for Science and Technology

Iran National Science Foundation

With the participation of:

Evguene Kulikov (Shirshov Institute of Oceanology, RAS)

Isaak Fine (Institute of Ocean Science, Canada)



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



The Office of President
Vice-Presidency for Science and Technology

Iran National Science Foundation

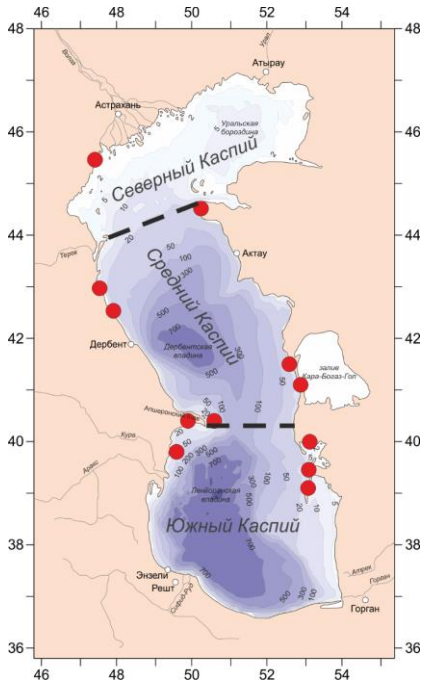


The study is intended to provide a detail research of the Caspian sea level spectrum formation.



Data and Methods

Tide gauge data



hourly records

12 stations

up to 34 years

Princeton Ocean Model (POM)

Regular grid with step $\Delta x=1'$ (based on GEBCO 30'')

Forcing:

$$\bar{F}_T = -(1 + k - h)\nabla\bar{\Omega}$$

$\bar{\Omega}$ is tidal potential, $k=0.3$ and $h=0.61$ - Love numbers

$$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = (C_B u_b |\bar{\mathbf{U}}_b|, C_B v_b |\bar{\mathbf{U}}_b|),$$

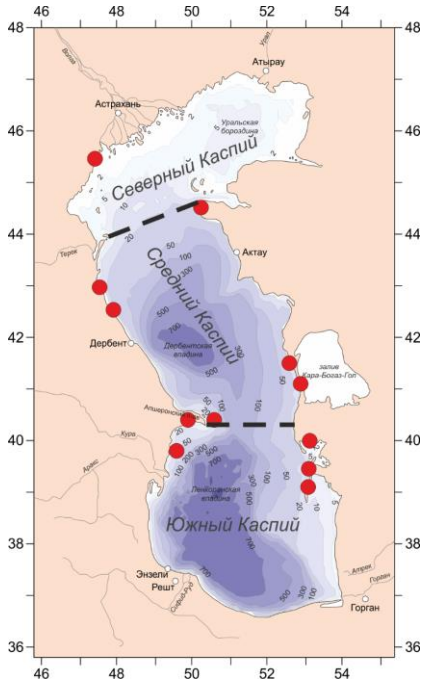
where $\bar{\mathbf{U}}_b = (u_b, v_b)$ is bottom velocity

$$C_B = 0.0025$$



Data and Methods

Tide gauge data



hourly records

12 stations

up to 34 years

Princeton Ocean Model (POM)

Meteoforcing:

The air pressure and surface wind fields from NCEP/CFSR (1979-2010),
 $\Delta t = 1 \text{ h}$, $\Delta x = \sim 0.313^\circ$ (wind), 0.5° (pres)

Wind stress

$$(\tau_x, \tau_y) = \rho_A C_D |\bar{\mathbf{U}}_W| (U_W, V_W),$$

where $\bar{\mathbf{U}}_W$ is wind velocity ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), $\rho_A = 1.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



Historical review

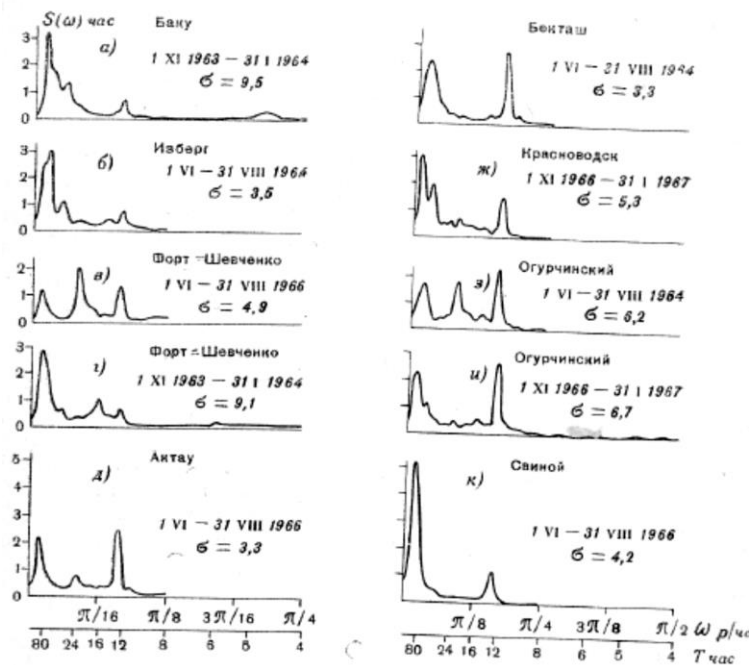


Рис. 6. Функции спектральной плотности колебаний уровня Каспийского моря $\Delta t = 2$ час, $M = 100$, $2L = 5$ суток, $\Delta\omega = \pi/200$, $N = 1104$, $\gamma = 21$.

Герман, 1970

$$\left[\frac{\chi^2}{\gamma} \right]_{0,8} = 0,74 - 1,25.$$

Герман, 1970

Косарев и Цыганов, 1972

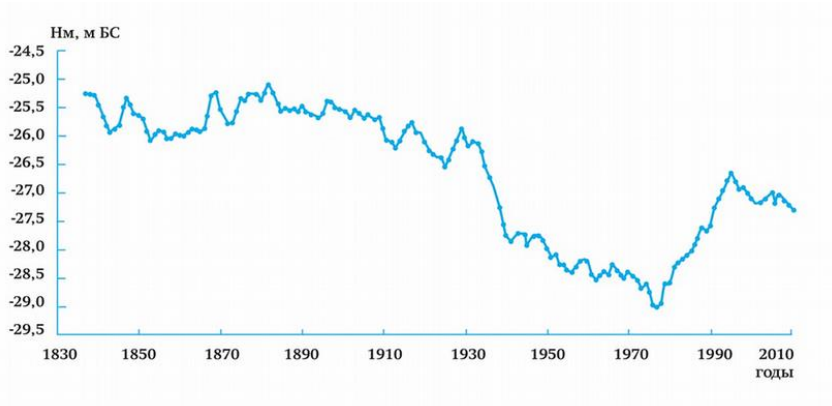
Левянт и др., 1993

Болгов и др., 2007



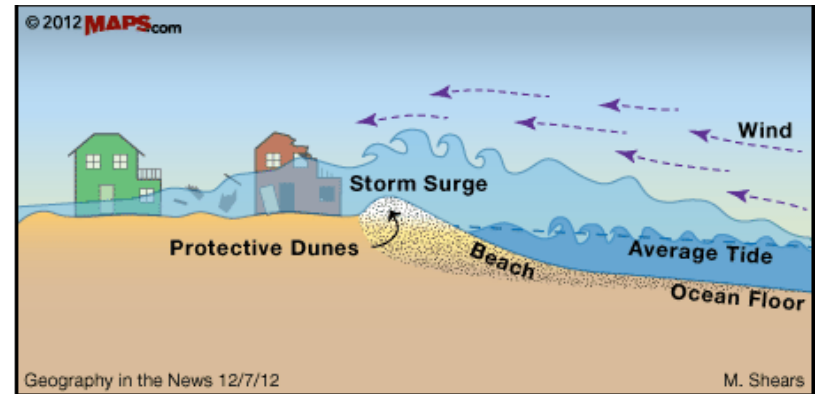
The main features of the Caspian sea level variations

Mean sea level changes



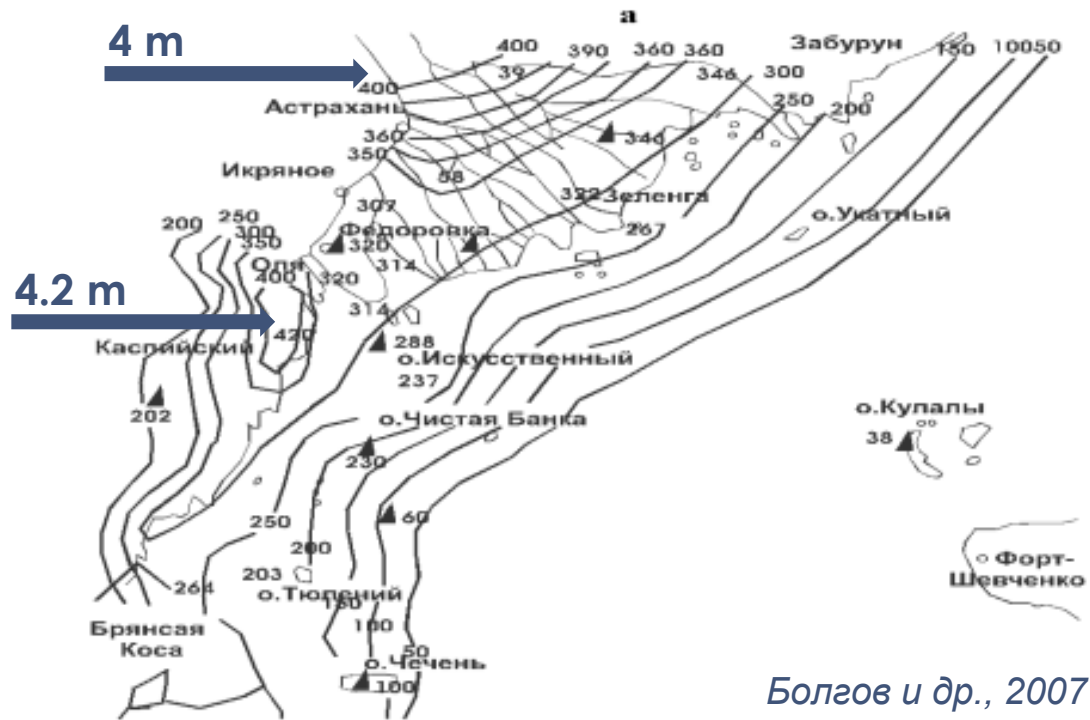
The mean sea level changes from -25 m to -29 m

Storm surges in the North Caspian



- H_{\max} is 4.5 m
- H_{\min} is -2.5..-3 m
- The length of the coast line is up to 50 km

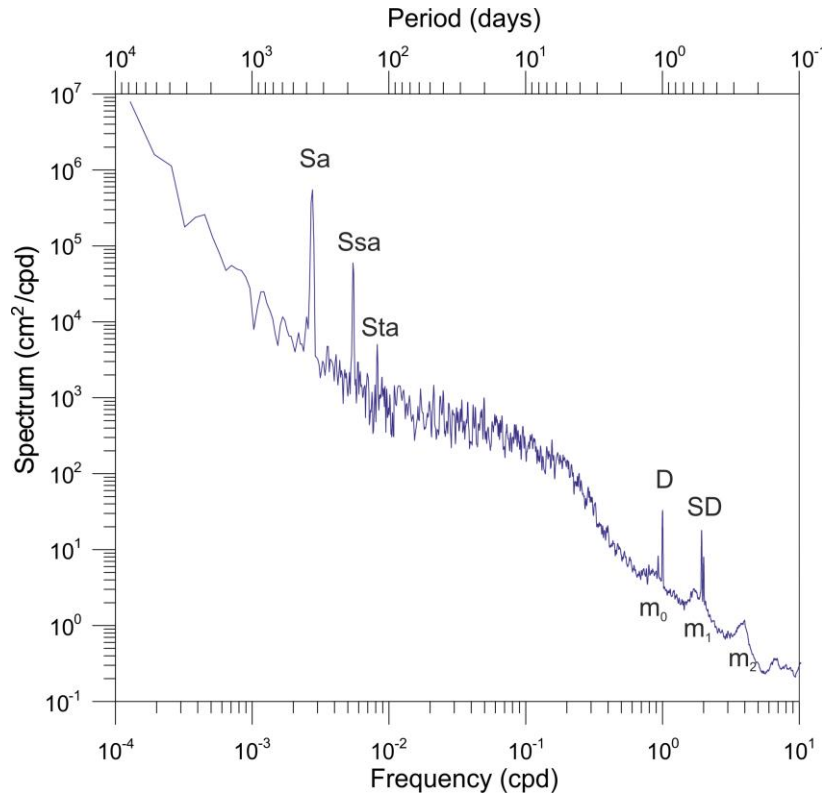
1952 storm surge in the North Caspian



Болгов и др., 2007

Рис. 5.5 Максимальные нагоны в 7 ч. 13 ноября 1952 г., см. а) – относительно нуля поста, равного – 28,00 м абс.; б) – относительно предшествовавшего уровня

The wide Caspian sea level spectrum



Main components:

12-year (Lapshin et al., 2005; Bolgov et al., 2007)

Seasonal (Sa, Ssa, Sta)

Tides (D, SD)

Seiches (m₀, m₁, m₂)

Storm surges – continuum spectrum



Seasonal sea level variations

Main factors:

Seasonal variations of the water balance components

The major factor in the Caspian Sea is river runoff (Volga, May-June)

Precipitations (October-January) and evaporation (July-November)

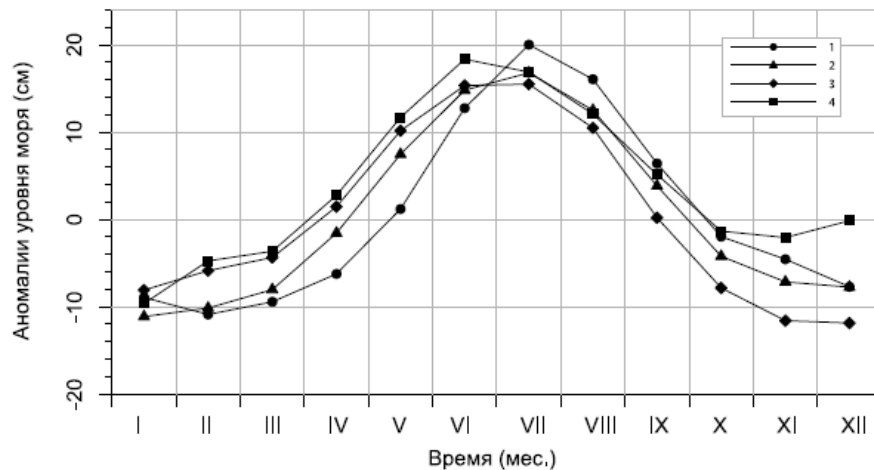


Рис. 4.11. Среднемноголетние сезонные колебания уровня Каспийского моря: 1 — 1942 — 1955 гг., 2 — 1956 — 1969 гг., 3 — 1970 — 1977 гг., 4 — 1978 — 1984 гг. [Каспийское море, 1986].
Лебедев и Костяной, 2005



Seasonal sea level variations

Features:

Mean range up to 23 cm

In 1959 range was up to 71 cm (о. Тюлений)

The displacement of the coast in in the North Caspian is 1-3 km (Скриптунов и Горелиц, 2001).

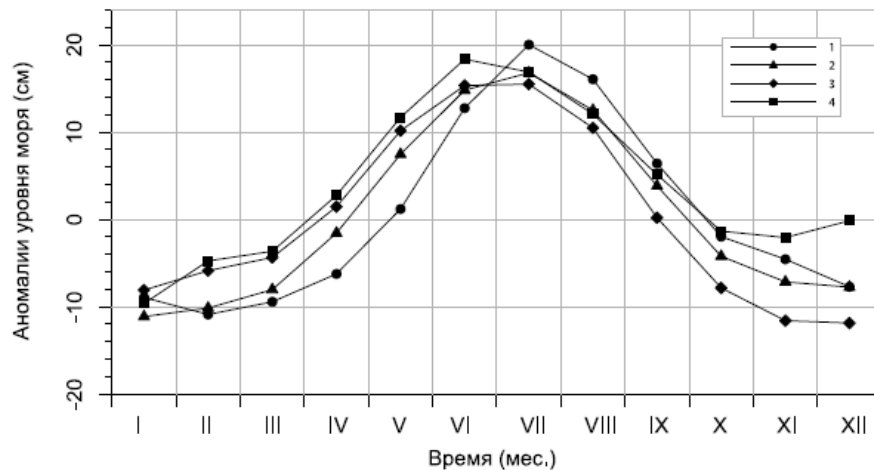


Рис. 4.11. Среднемноголетние сезонные колебания уровня Каспийского моря: 1 — 1942 — 1955 гг., 2 — 1956 — 1969 гг., 3 — 1970 — 1977 гг., 4 — 1978 — 1984 гг. [Каспийское море, 1986].
Лебедев и Костяной, 2005



Seasonal sea level variations

Features:

Mean range up to 23 cm

In 1959 range was up to 71 cm (о. Тюлений)

The displacement of the coast in in the North Caspian is 1-3 km (Скриптунов и Горелиц, 2001).

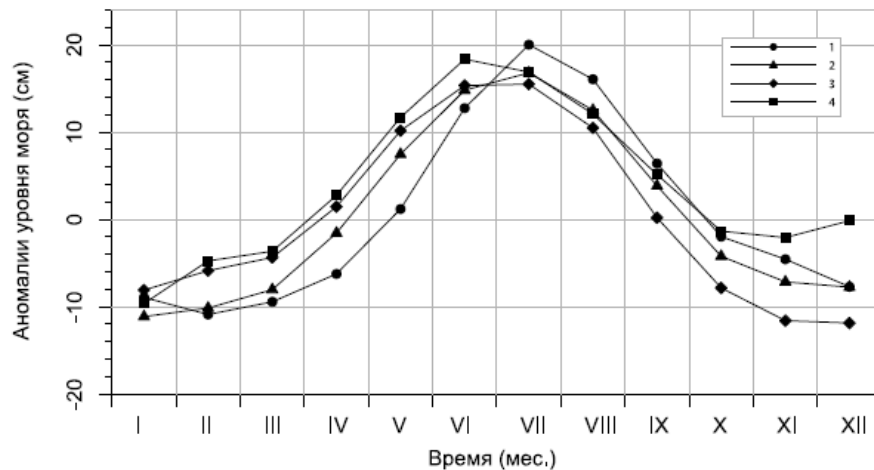
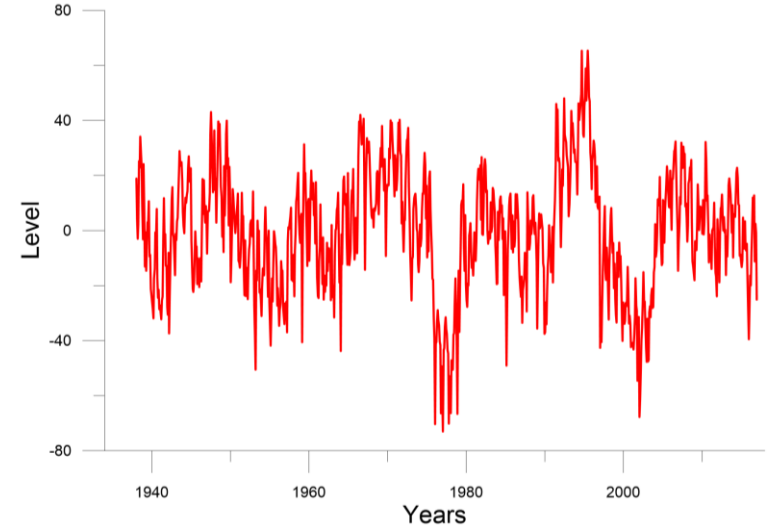
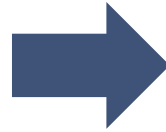
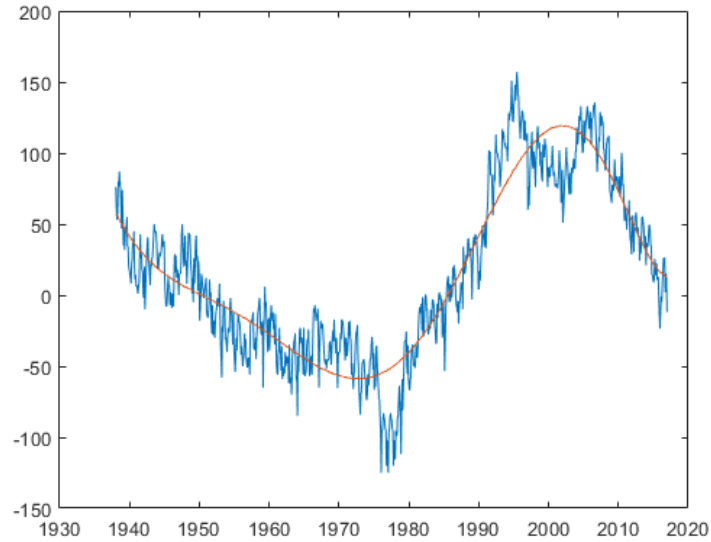


Рис. 4.11. Среднемноголетние сезонные колебания уровня Каспийского моря: 1 — 1942 — 1955 гг., 2 — 1956 — 1969 гг., 3 — 1970 — 1977 гг., 4 — 1978 — 1984 гг. [Каспийское море, 1986].
Лебедев и Костяной, 2005



Seasonal sea level variations



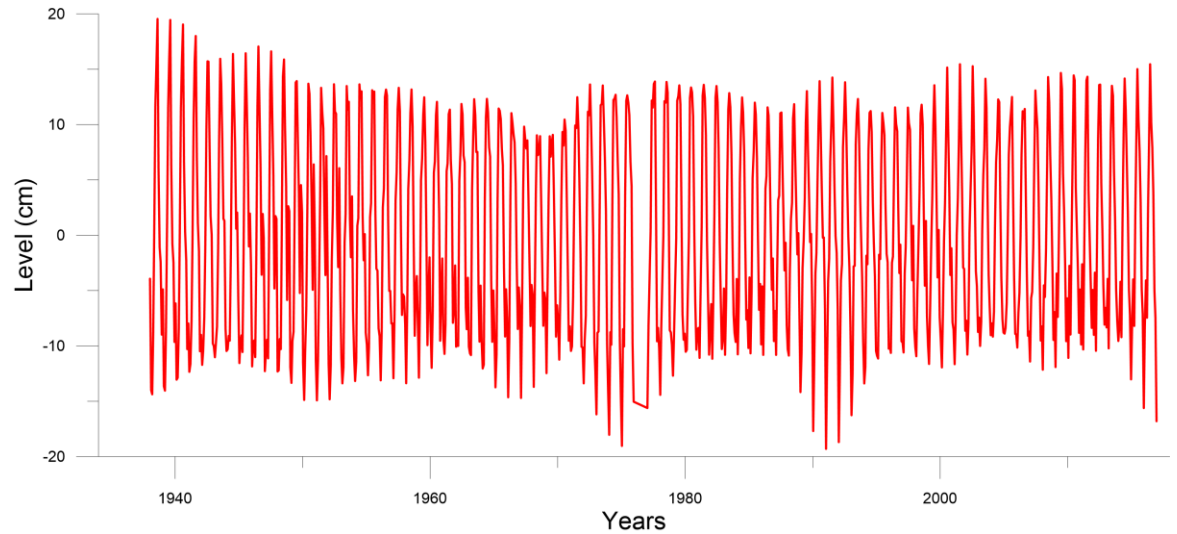


Seasonal sea level variations

Features:

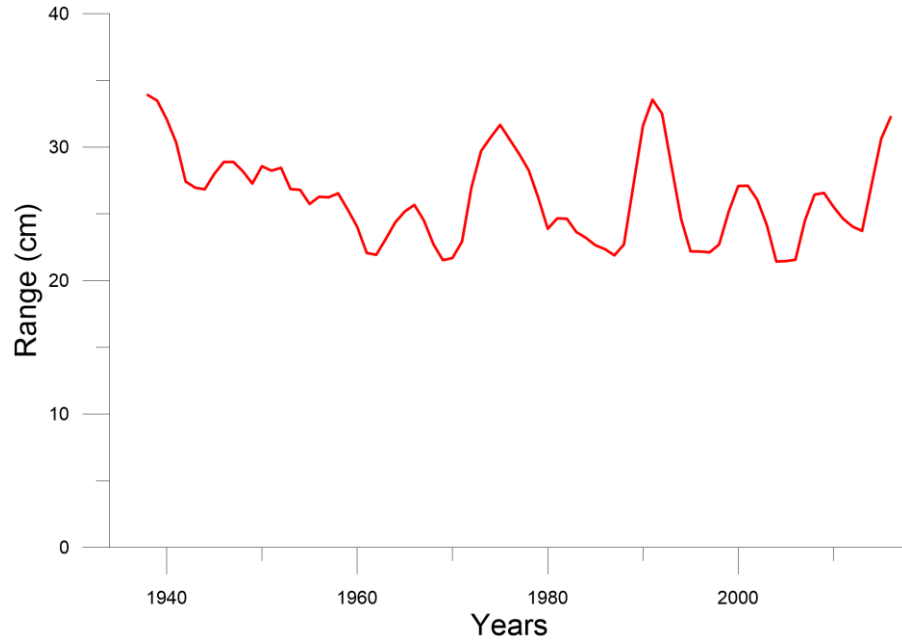
Mean range up to 18 cm

In 1991 range was up to 34



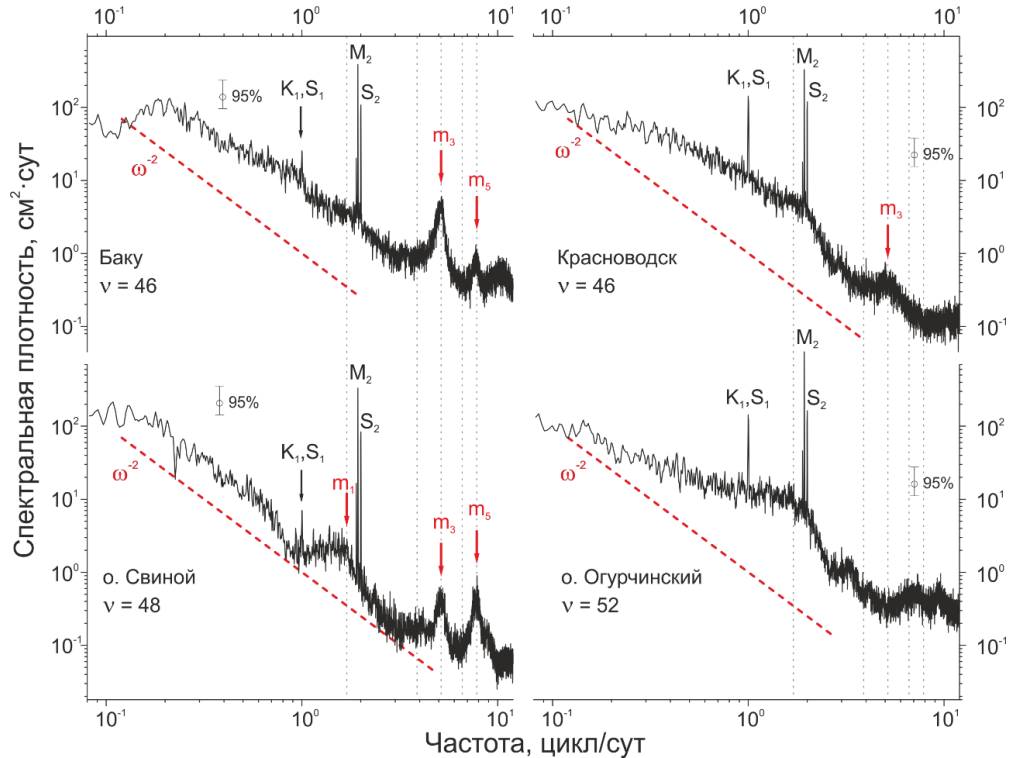


Seasonal sea level variations





Tides in the Caspian Sea

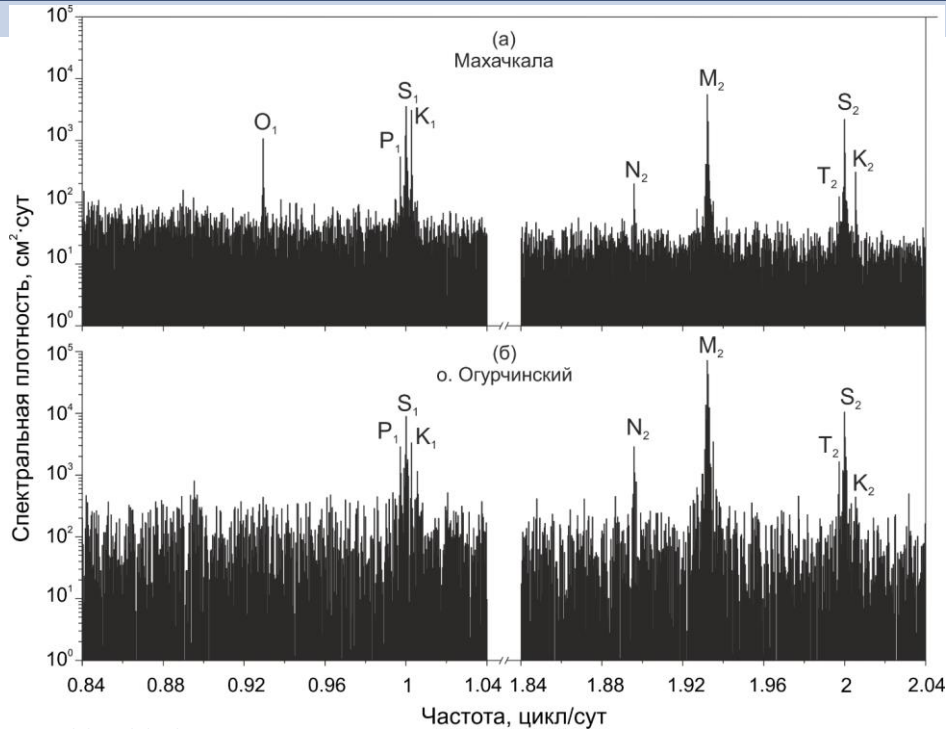


Tides are the sharp spectral peaks

Seishes (eigen modes) are wide peaks
in continuous spectrum



Tides in the Caspian Sea



The main semidiurnal harmonics (N_2 , M_2 , S_2 и K_2) exceed noise level

The amplitude of S_1 radiational tide is higher than gravitational tides (O_1 , P_1 , K_1)

The O_1 harmonic is absent on the sea level spectrum in the South Caspian, and the K_1 и P_1 peaks are relatively equal

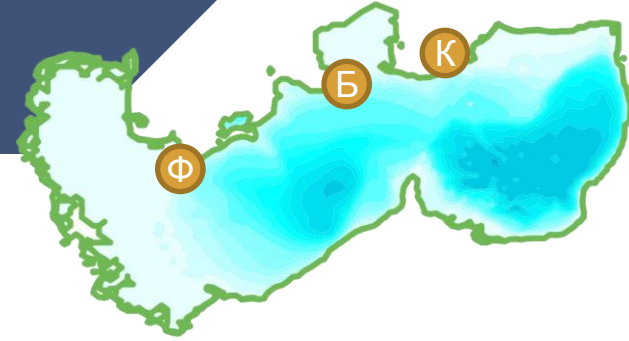
Makhachkala - 34 years, DoF = 10

Ogurchinskiy - 13 years, DoF = 2

N is 65536 hrs, $\Delta\omega$ is 0.000366 cpd



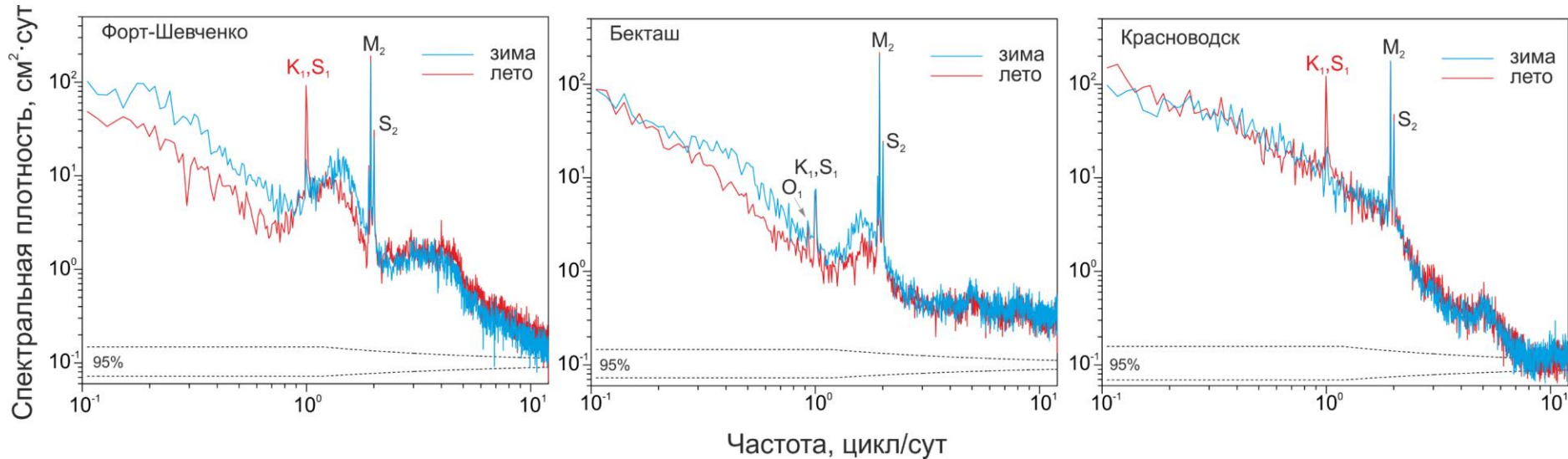
Tides in the Caspian Sea



Diurnal tides at Fort-Shevchenko and Krasnovosk in winter are absent

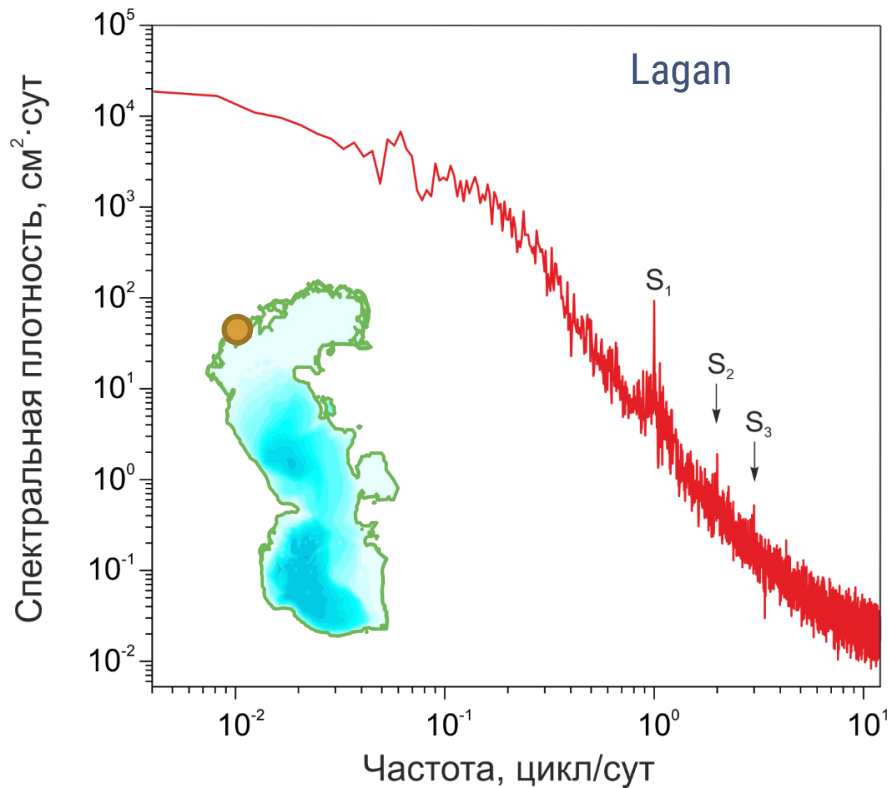


Radiational tides!





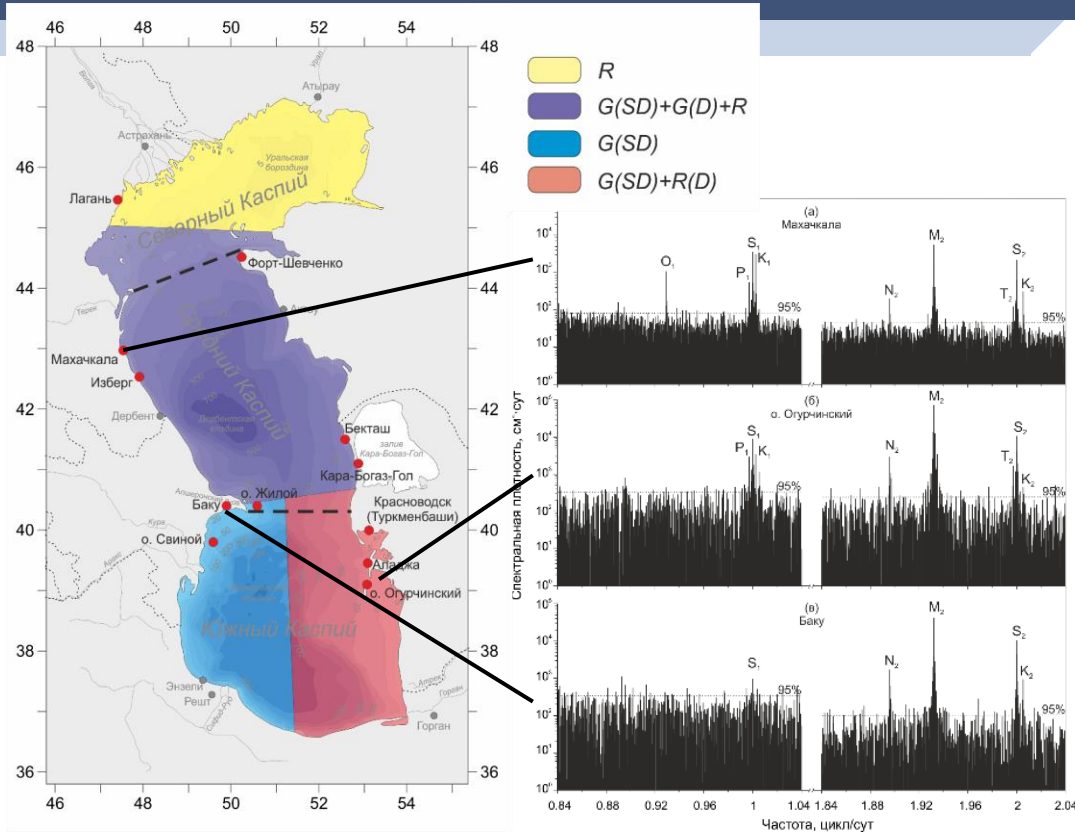
Tides in the North Caspian



In the North Caspian only **radiational tides** are observed, and **gravitational tides** are absent!!



Tides in the Caspian Sea



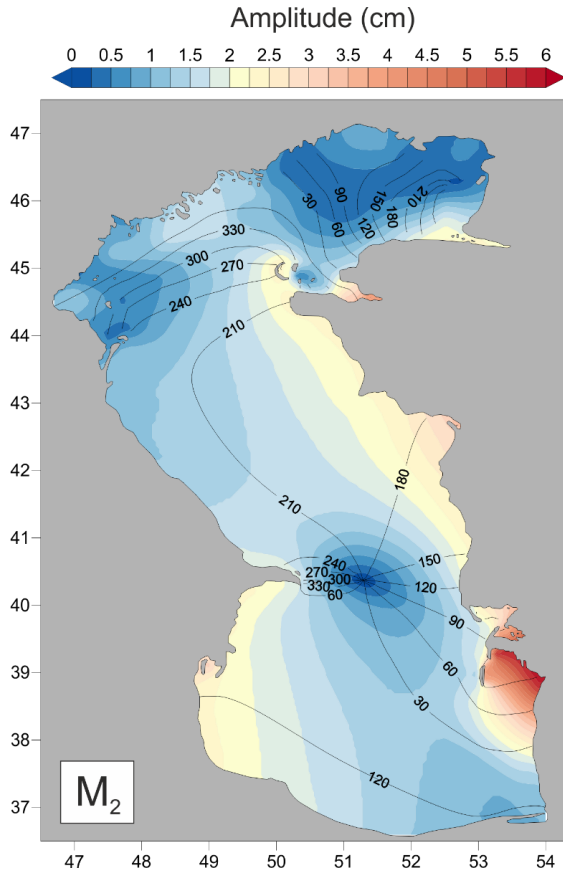
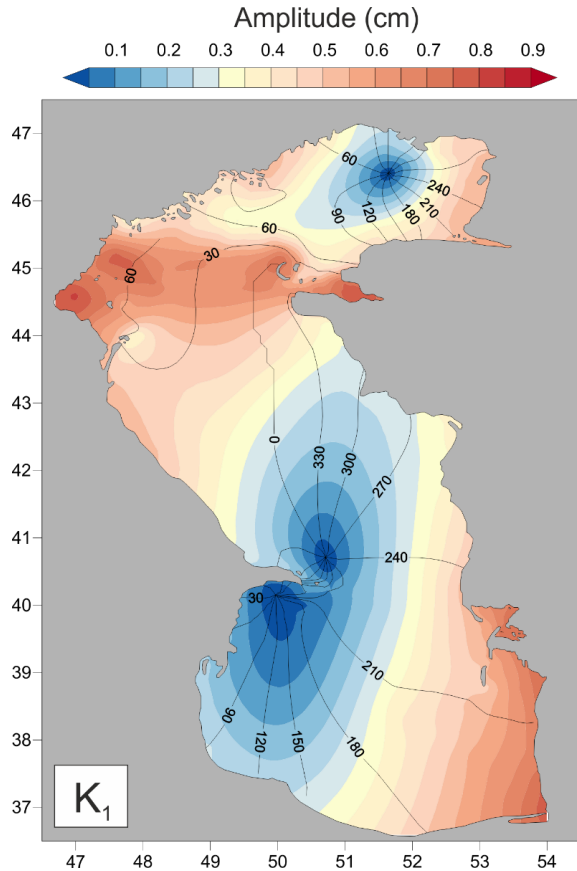
North Caspian
radiational tides

Middle Caspian
gravitational semidiurnal
gravitational diurnal

South Caspian (east)
gravitational semidiurnal
radiational diurnal

South Caspian (west)
gravitational semidiurnal

Tidal constants

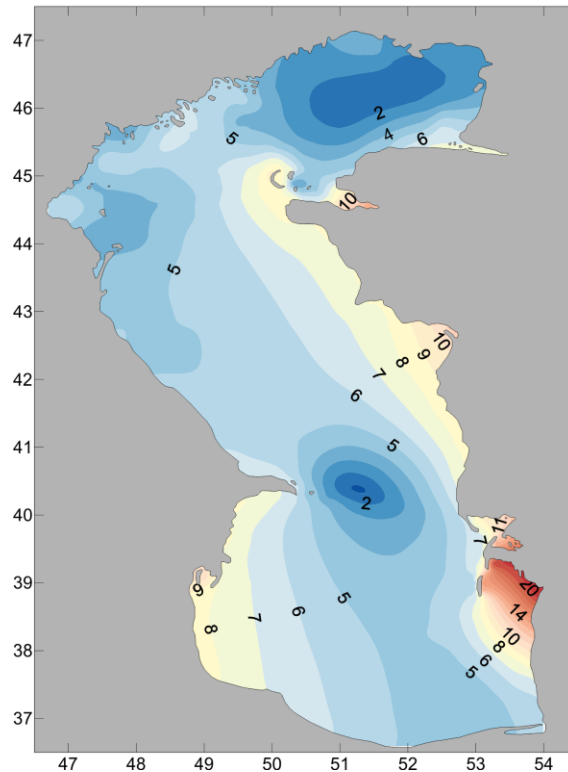
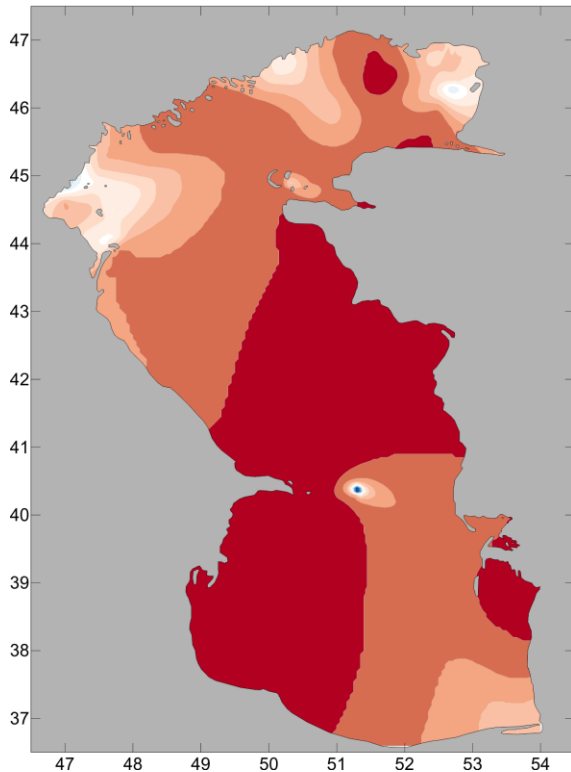
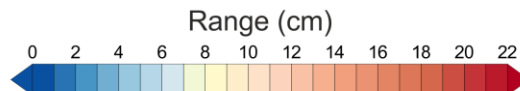
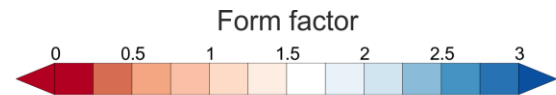


The amplitude of the tidal harmonics

up to 5.5 cm in south-eastern sea part

the amplitude of radiational tide is 2 cm in south-eastern sea part

Tides



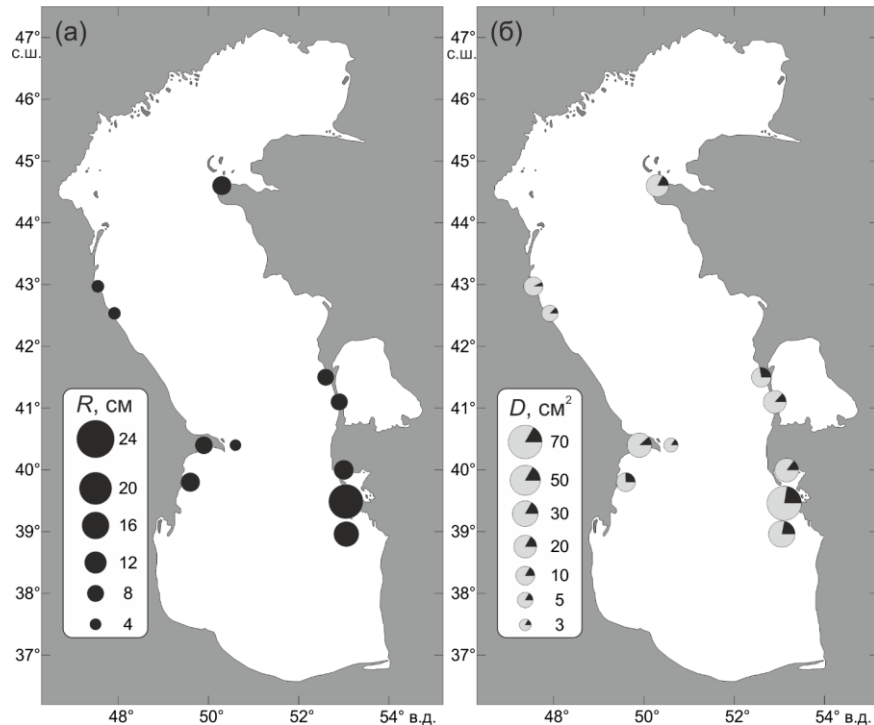
The amplitude of the tidal harmonics

is up to 5.5 cm in the south-eastern part of the sea

the amplitude of radiational tide is 2 cm in the south-eastern part of the sea



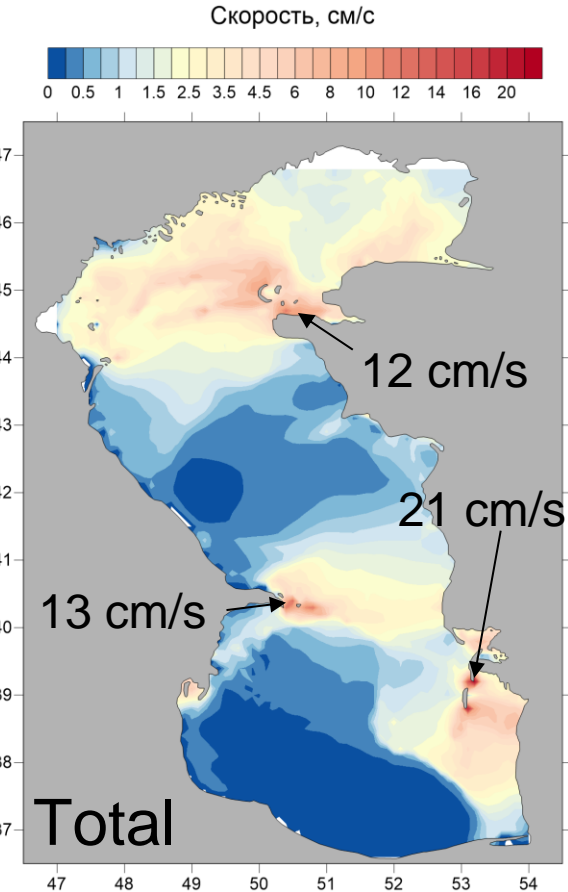
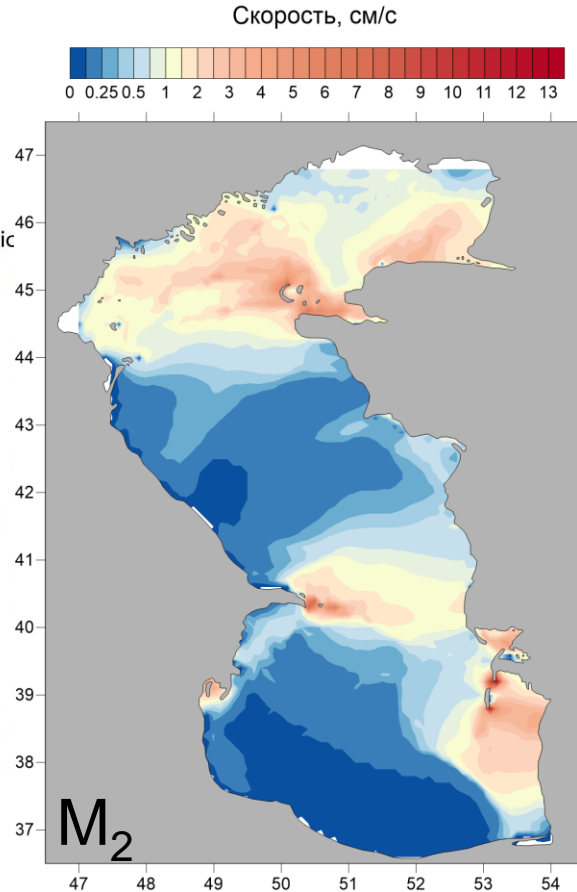
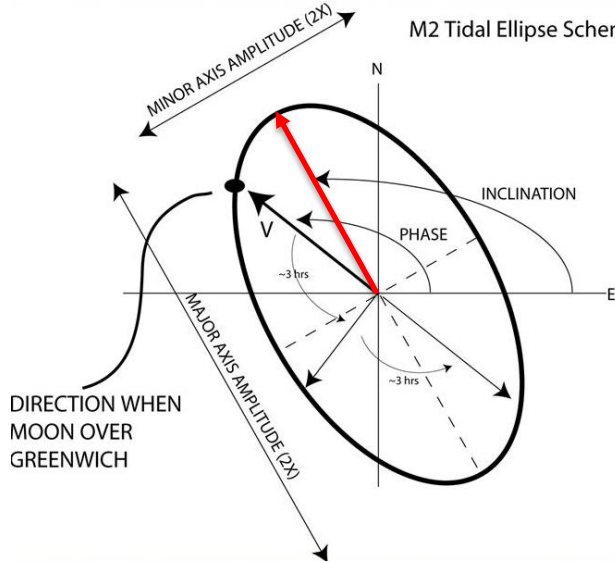
The contribution to the mesoscale sea level variance of the Caspian Sea



The tidal range is up to 24 cm

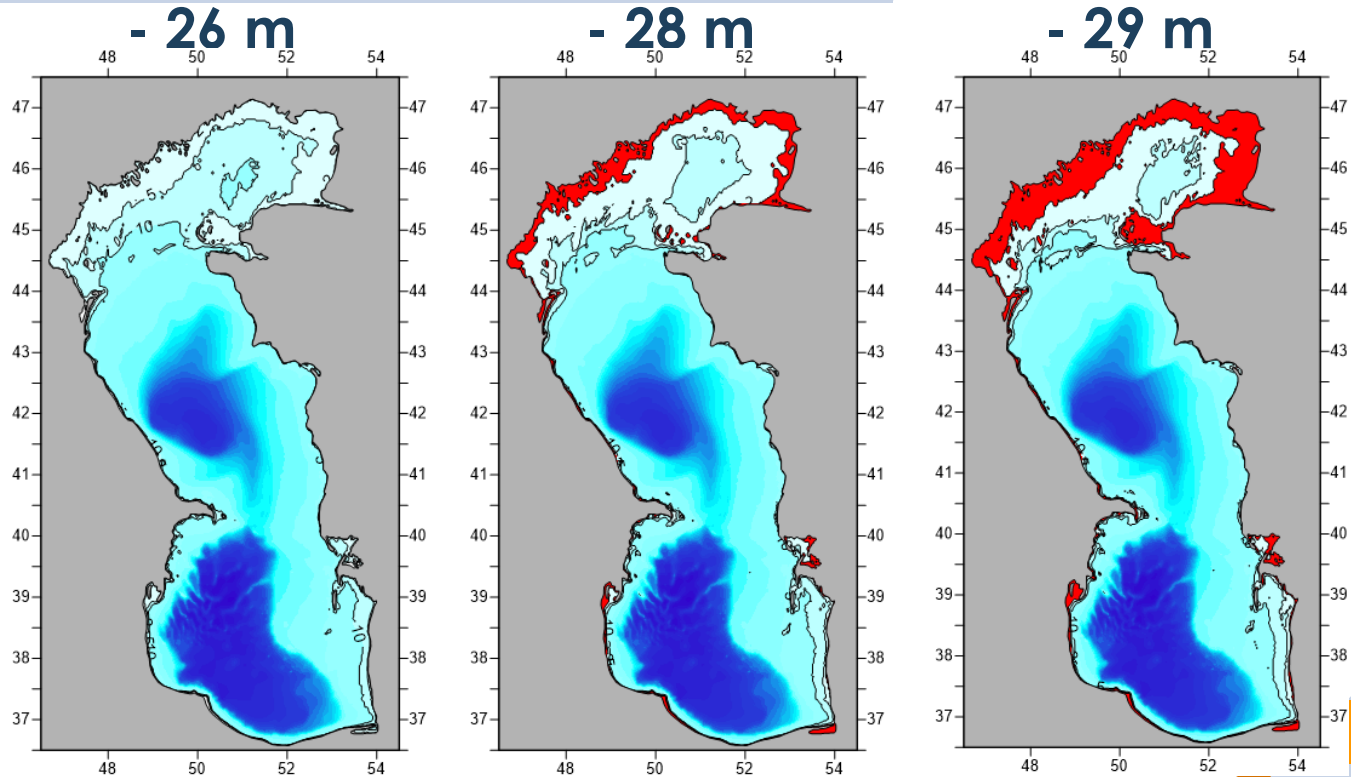
The contribution to the mesoscale sea level variance is 25-30%

Major semiaxis = tidal velocity





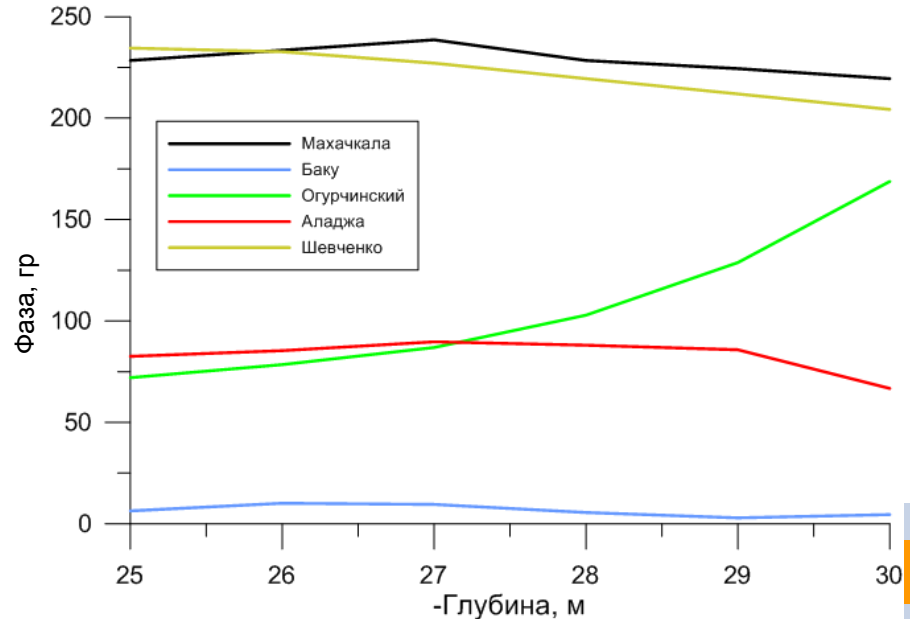
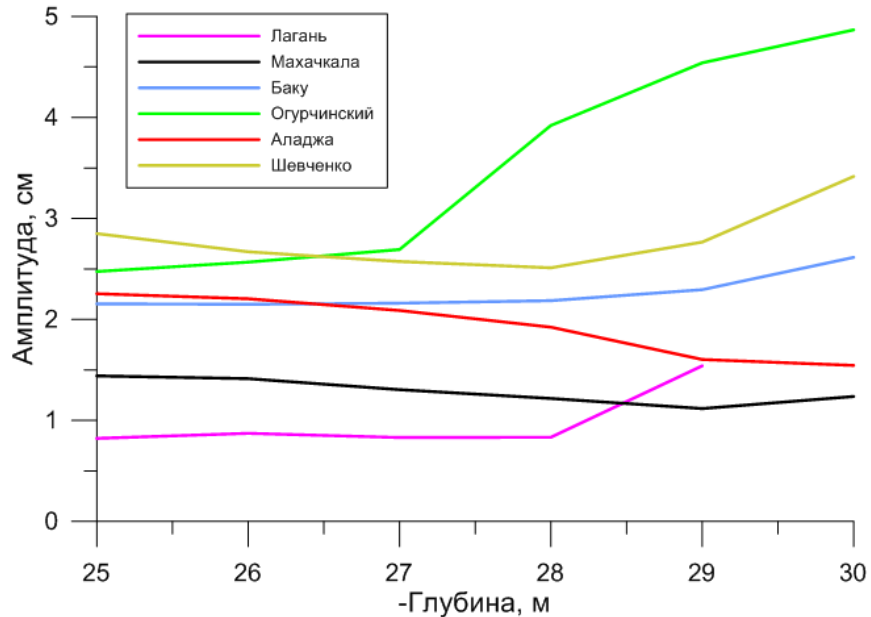
Numerical modelling with different mean sea level





Numerical modelling with different mean sea level

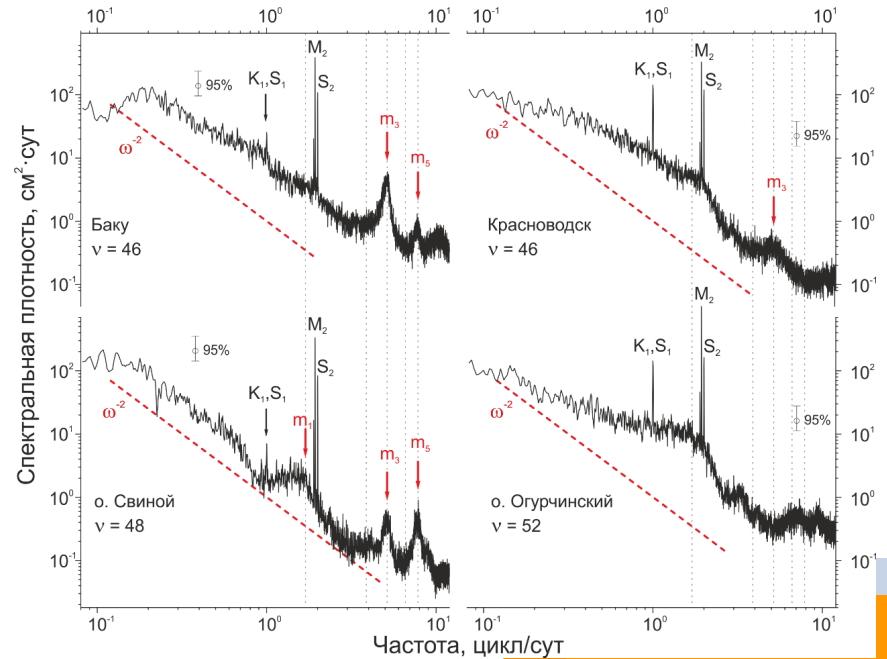
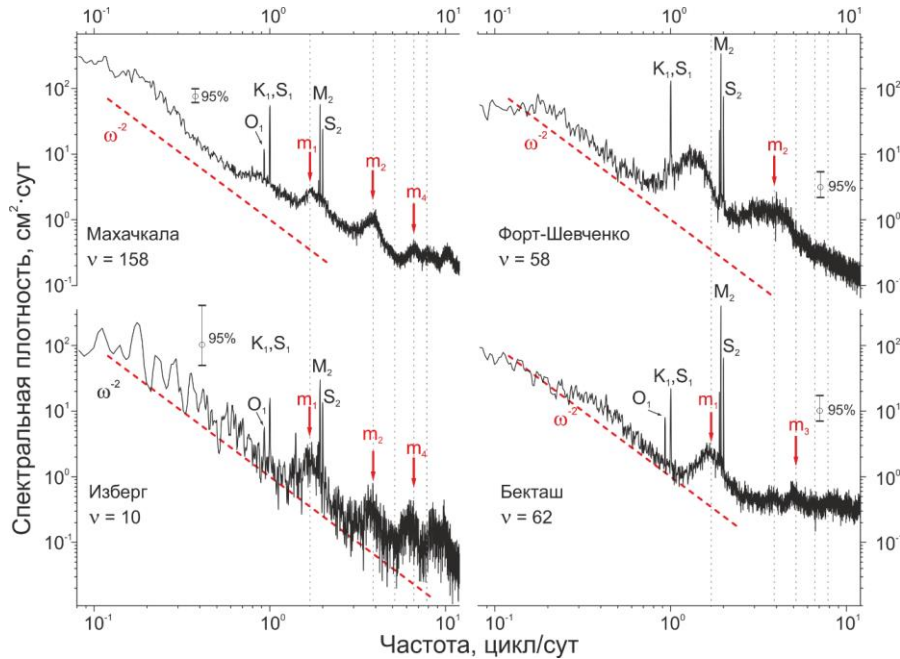
The variations of the amplitude and phase of the M_2 harmonic depending on mean sea level changes





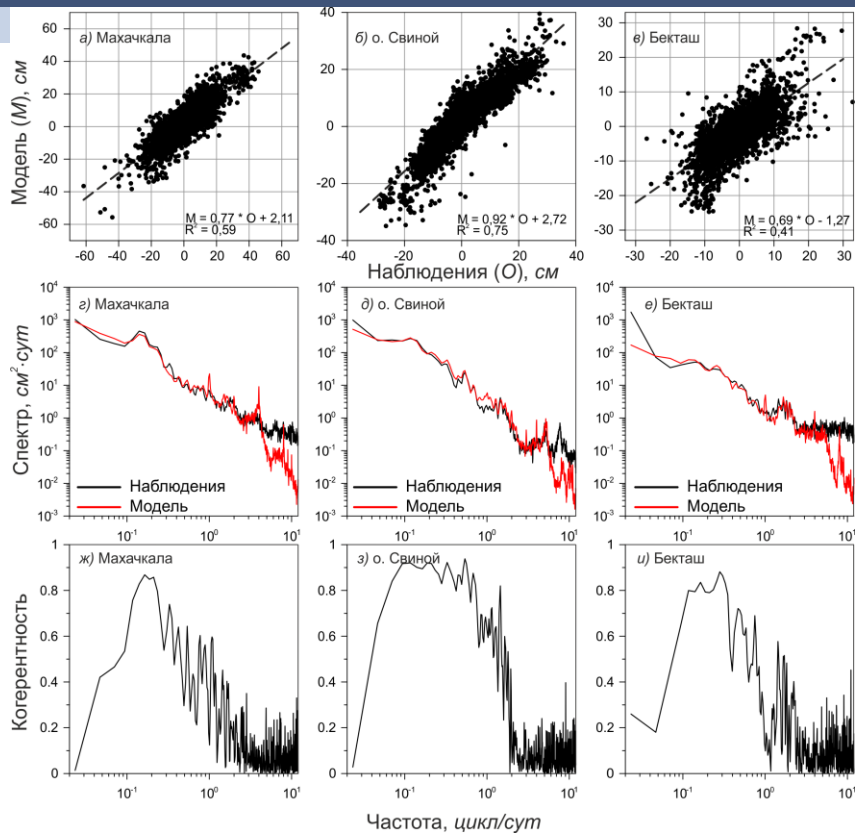
Seiches in the Caspian Sea

$m_1 = 13.9$ h
 $m_2 = 6.1$ h
 $m_3 = 4.7$ h
 $m_4 = 3.6$ h
 $m_5 = 3.06$ h





Validation of the numerical model

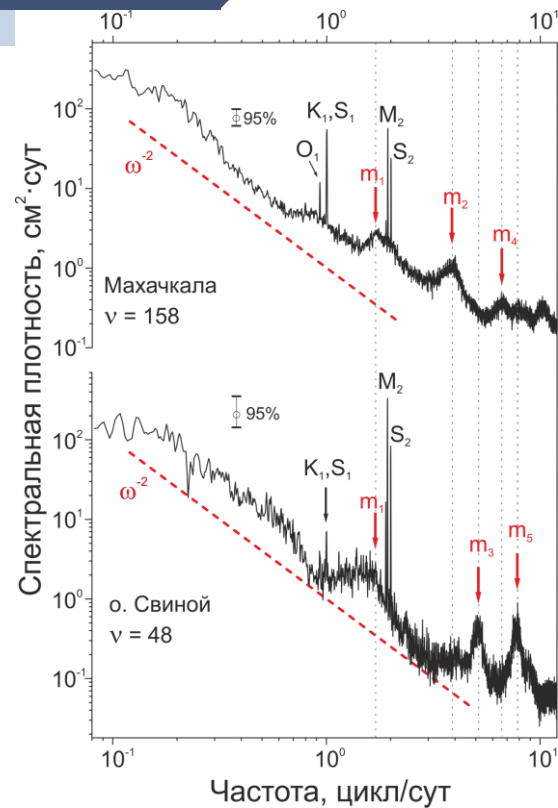
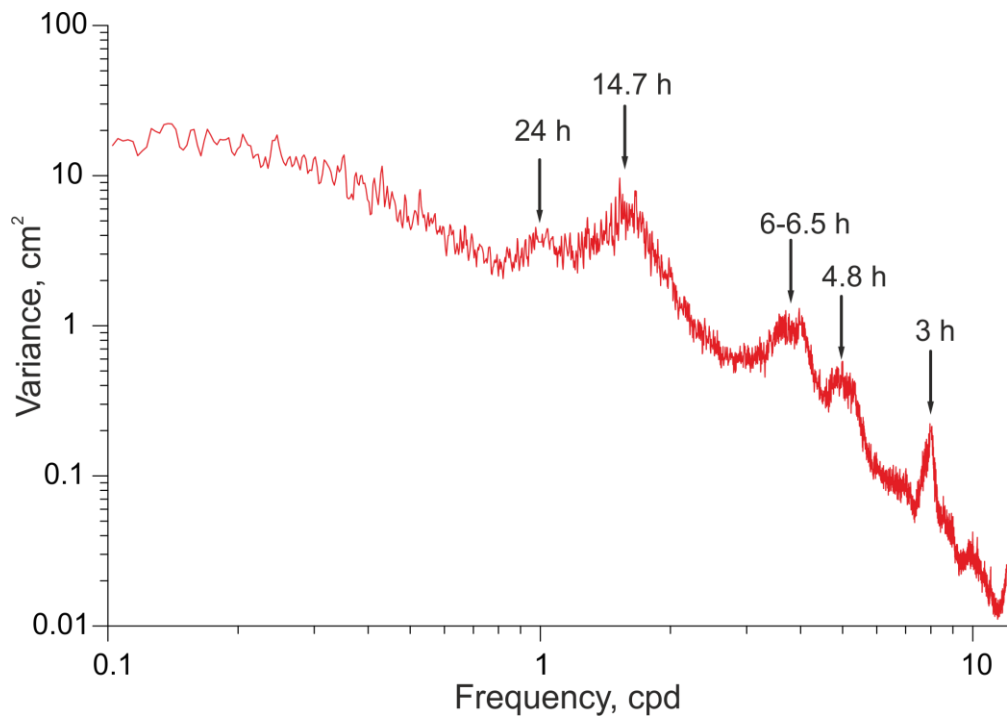


High coherence in the frequency band 0.05–2 cpd

Weak coherence at the frequency > 5 cpd



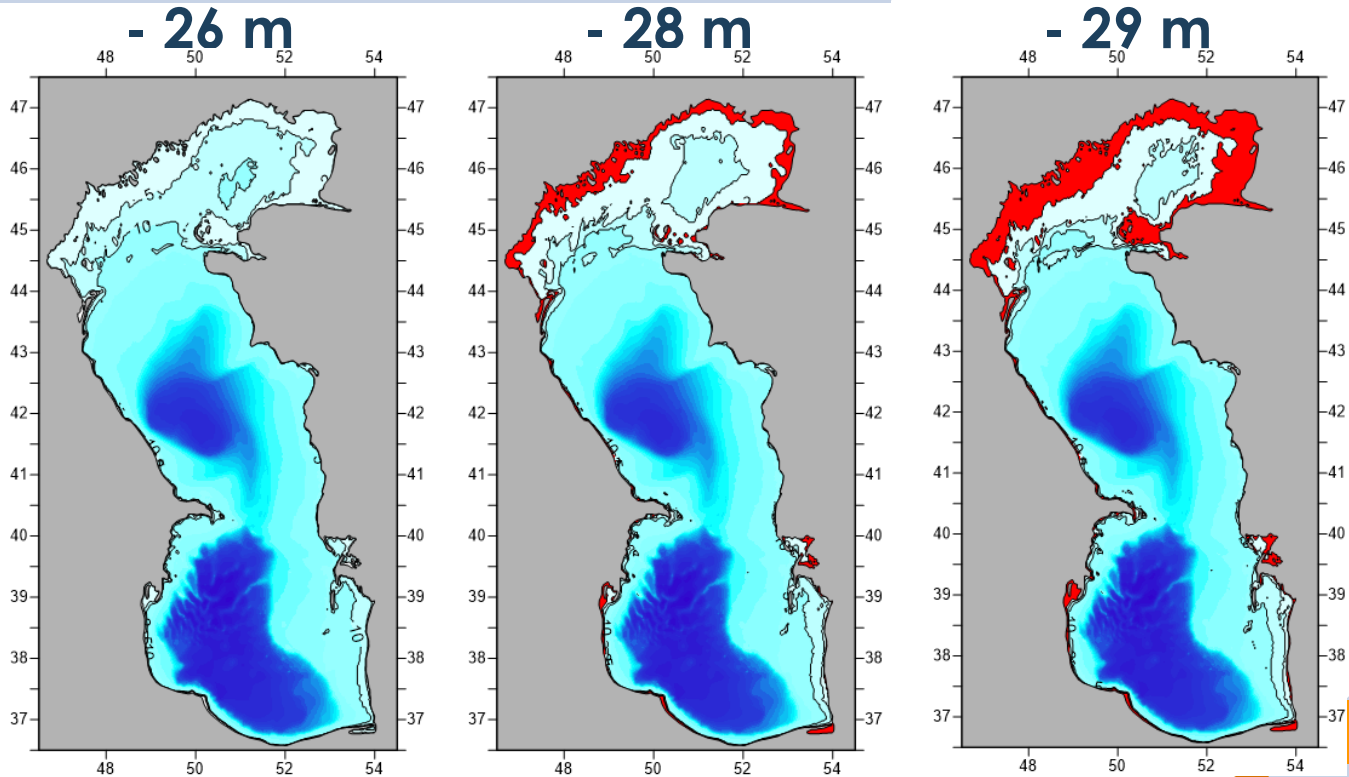
Spectrum of the natural sea level variations of the Caspian Sea



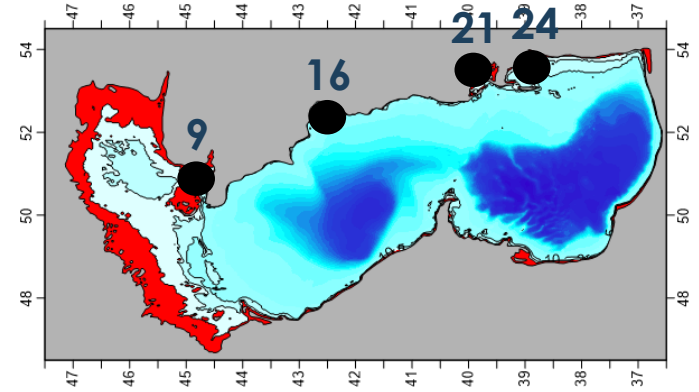
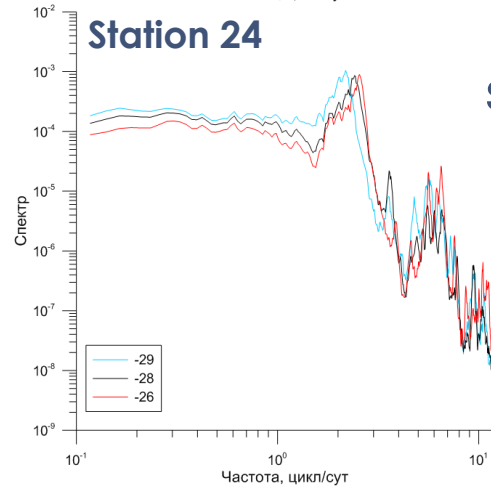
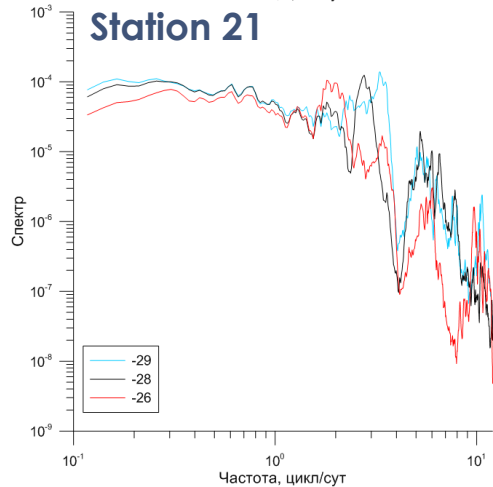
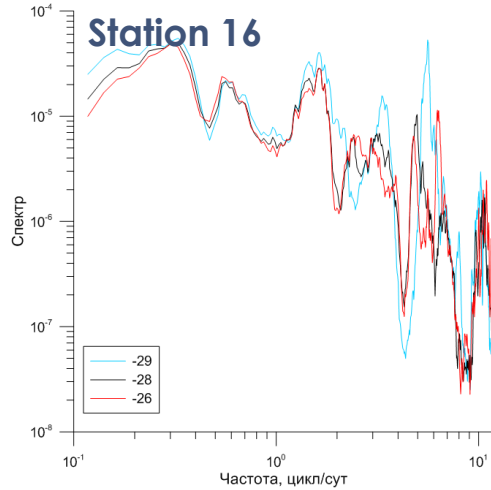
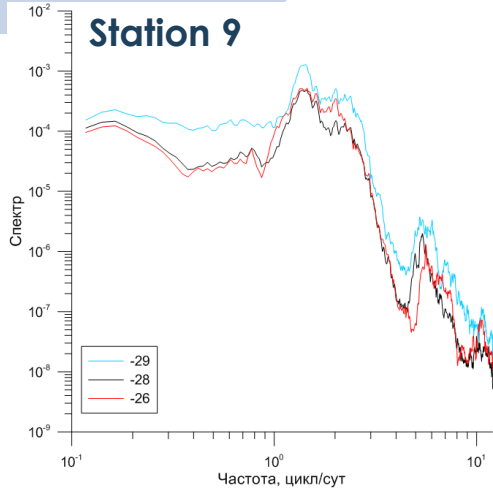
$m_1 = 13.9$ h
 $m_2 = 6.1$ h
 $m_3 = 4.7$ h
 $m_4 = 3.6$ h
 $m_5 = 3.06$ h



Numerical modelling with different mean sea level



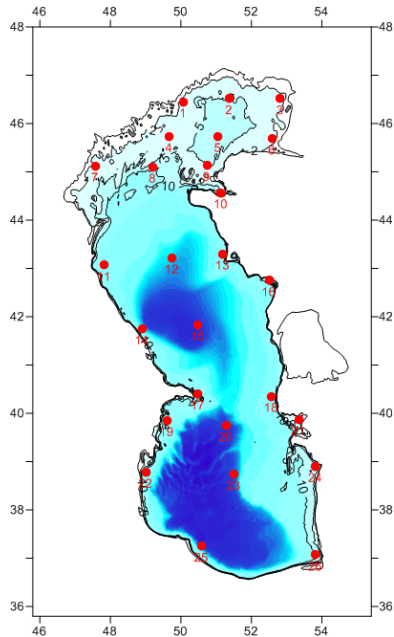
Seiches



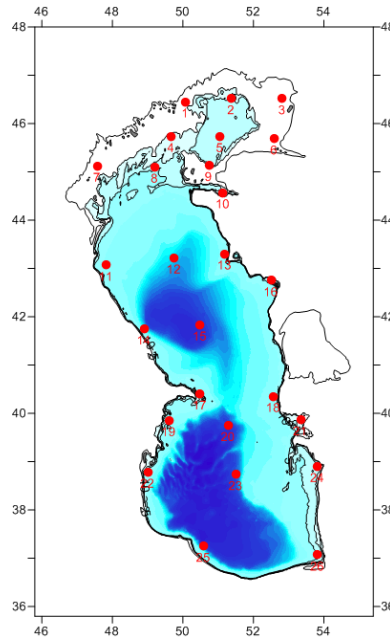
The mean sea level changes cause significant modification of the structure of the Caspian sea level spectrum

The Caspian Sea without the North Caspian

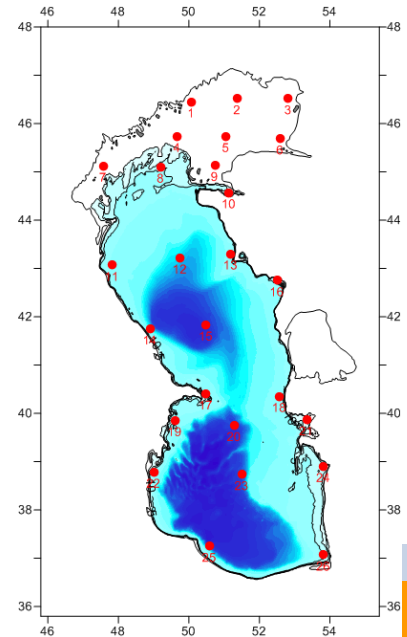
Experiment 1
Main grid (depths $\geq 2\text{m}$)

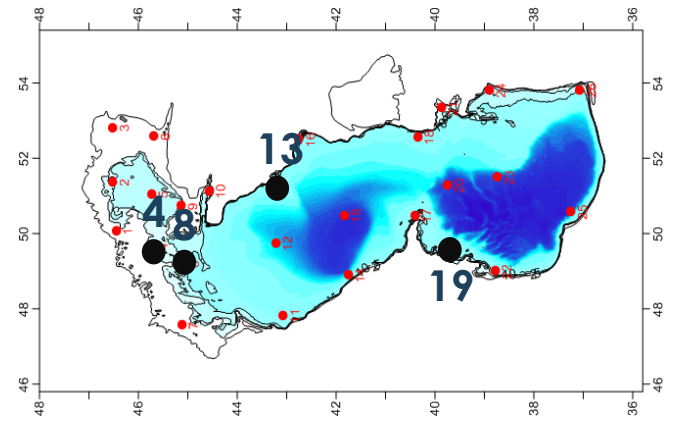
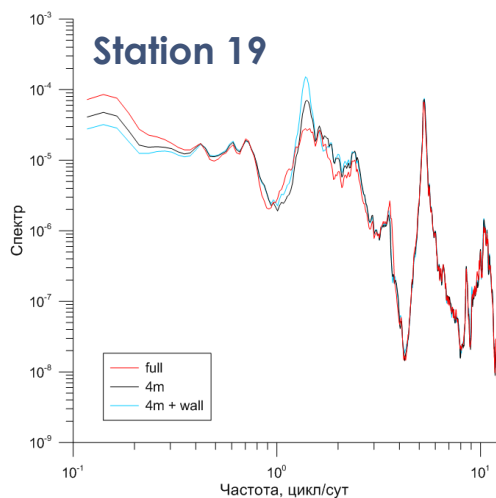
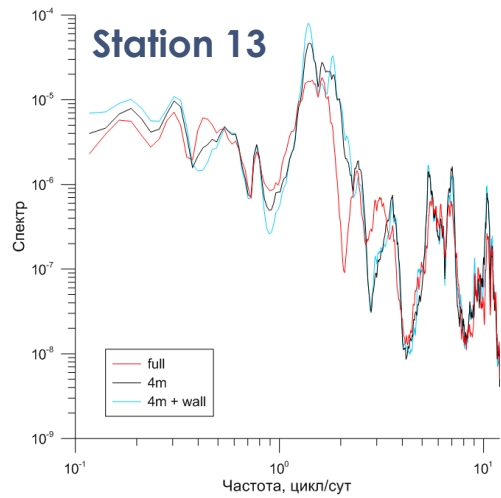
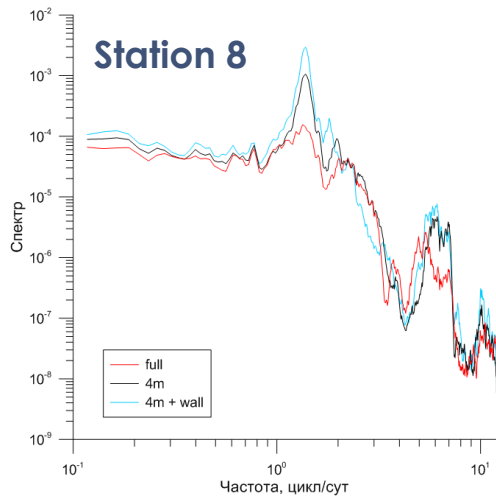
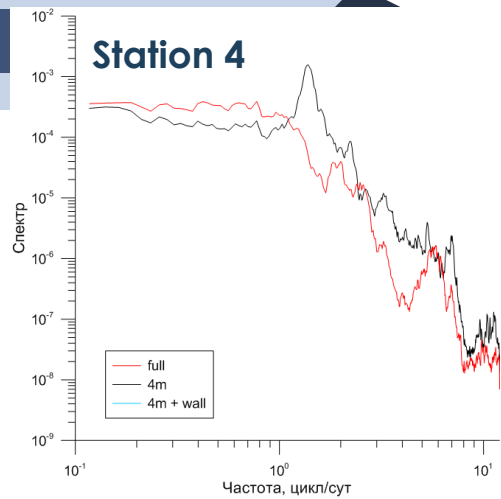


Experiment 2
In the North Caspian depths $\geq 4\text{m}$
In the Middle and South Caspian $\geq 2\text{m}$



Experiment 3
In the North Caspian depths $\geq 4\text{m}$
and cut the Ural Furrow





The modification of the sea level spectrum in the period band from 10 to 40 hours

The increase of Q-factor of the eigen modes in the Middle and South Caspian



The main conclusions

1. The mean sea level variations of the Caspian Sea affect on the sea level spectrum in a wide frequency band and on the features of individual short-period components.
2. Seasonal variations can significantly affect mean sea level and the short-period processes, such as storm surges and tides.
3. Tides are the important factor in the dynamics of the waters of the closed Caspian Sea.
4. Radiational tides in the Caspian Sea have an average amplitude of 2.5 cm and are the main component of the Caspian sea level variability with a daily periodicity.

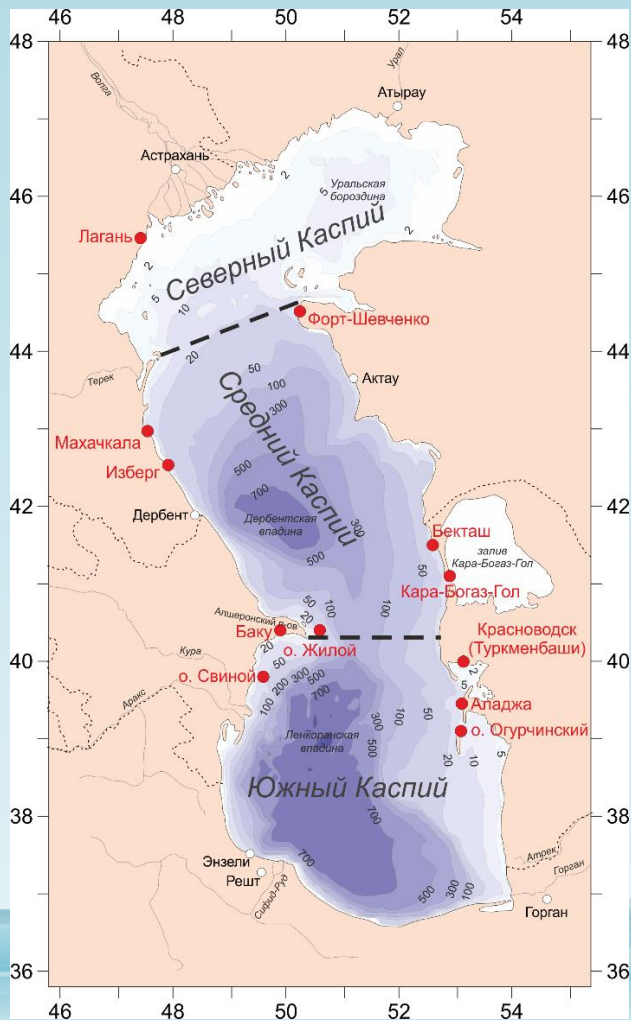


СПАСИБО!

Do you have any questions?

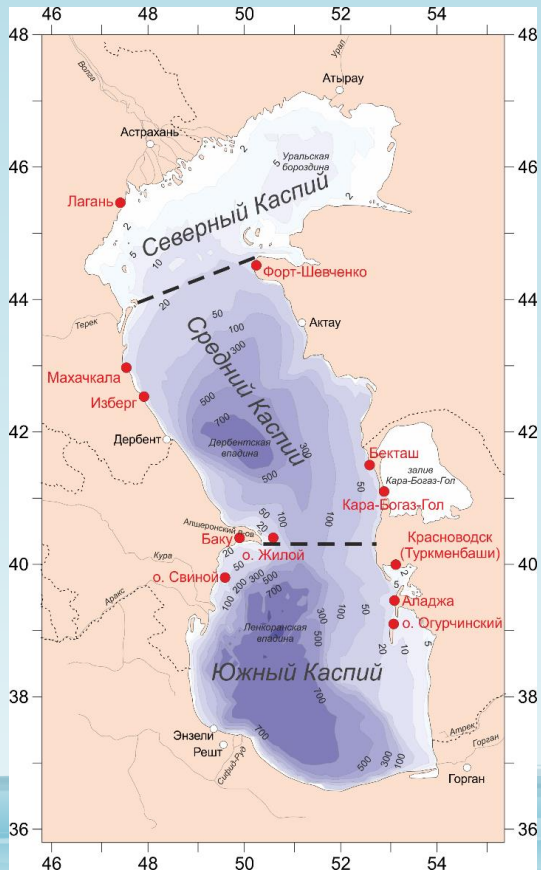
medvedev@ocean.ru

Данные

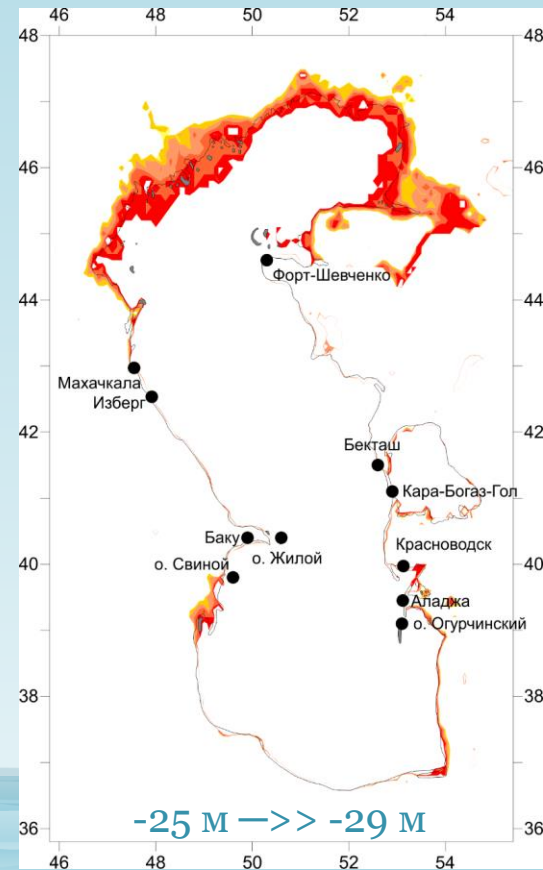


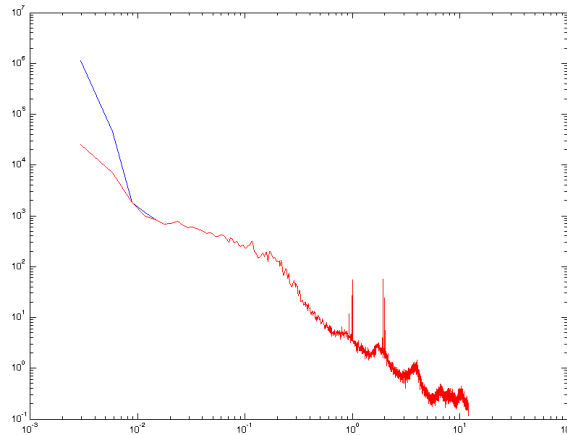
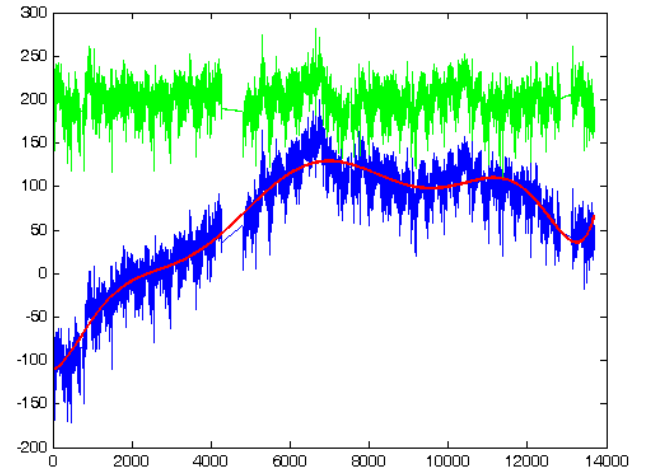
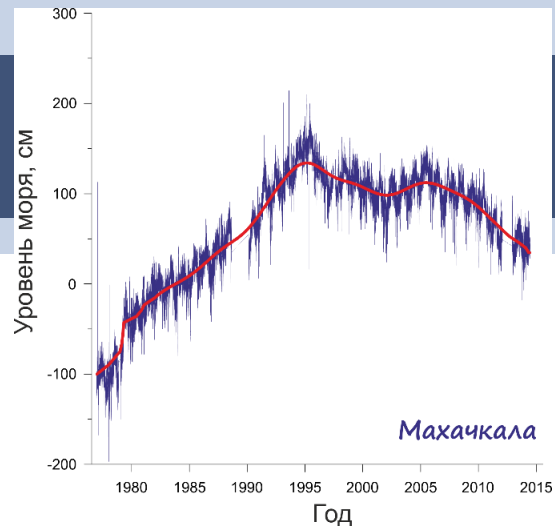
№	Станция	Другие названия	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)	Период наблюдений
1	Лагань	Каспийский	45.38	47.37	04.1977–09.1988
2	Форт-Шевченко	Форт-Урицкий	44.60	50.30	01.1977–03.1991
3	Махачкала	Петровск-Порт	42.97	47.55	01.1977–06.2014
4	Изберг	Избербаш	42.53	47.92	01.1977–06.1978
5	Баку	–	40.40	49.90	01.1977–05.1991
6	о. Жилой	о. Чилов	40.40	50.60	06.1977–02.1983
7	о. Свиной	о. Санги-Мугань	39.80	49.60	11.1977–07.1990
8	Бекташ	Карабогаз	41.50	52.60	01.1977–12.1991
9	Кара-Богаз-Гол	–	41.10	52.90	02.1977–02.1992
10	Красноводск	Туркменбаши	40.00	53.00	01.1977–06.1988
11	Аладжа	Хазар, Челекен	39.45	53.12	02.1978–12.1984
12	о. Огуринский	Огурджали	39.10	53.10	01.1977–11.1989

Основные особенности уровня режима Каспийского моря



- $S_{\text{сев}} = 1/3 S_{\text{касп}}$
- $V_{\text{сев}} = 1/100 V_{\text{касп}}$
- $1/5 V_{\text{сев}}$ – глубина < 1 м
- $H_{\text{surge}} = 4.5 \text{ м}$
- $H_{\text{negativesurge}} = 3 \text{ м}$
- $R_{\text{season}} = 0.7 \text{ м}$





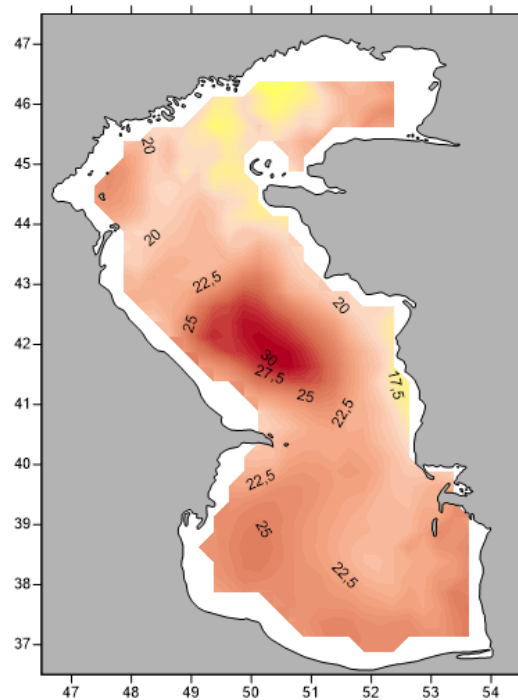
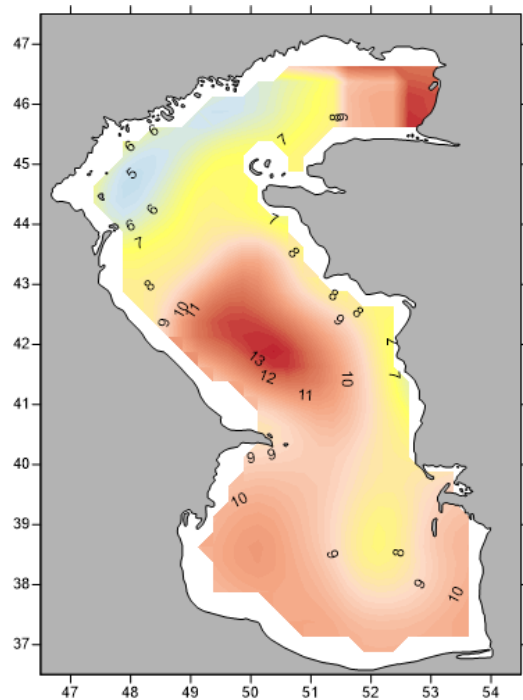


Таблица 4.2. Многолетние среднемесячные значения уровня Каспийского моря и их отклонения от среднегодовых величин [Каспийское море, 1986]¹

Период, годы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1900-1929	<u>-26.20</u> -10	<u>-26.21</u> -11	<u>-26.21</u> -11	<u>-26.20</u> -10	<u>-26.11</u> -1	<u>-25.96</u> 14	<u>-25.89</u> 21	<u>-25.93</u> 17	<u>-26.03</u> 7	<u>-26.11</u> -1	<u>-26.14</u> -4	<u>-26.16</u> -6	<u>-26.10</u> 0
1930-1941	<u>-26.86</u> -5	<u>-26.87</u> -6	<u>-26.88</u> -7	<u>-26.85</u> -4	<u>-26.77</u> 4	<u>-26.67</u> 14	<u>-26.61</u> 20	<u>-26.67</u> 14	<u>-26.79</u> 2	<u>-26.88</u> -7	<u>-26.92</u> -11	<u>-26.96</u> -15	<u>-26.81</u> 0
1942-1969	<u>-28.28</u> -10	<u>-28.28</u> -10	<u>-28.27</u> -10	<u>-28.22</u> -5	<u>-28.14</u> 3	<u>-28.03</u> 14	<u>-27.99</u> 18	<u>-28.04</u> 13	<u>-28.13</u> 4	<u>-28.21</u> -4	<u>-28.24</u> -7	<u>-28.27</u> -10	<u>-28.18</u> 0
1970-1977	<u>-28.72</u> -8	<u>-28.70</u> -6	<u>-28.68</u> -4	<u>-28.62</u> 2	<u>-28.54</u> 10	<u>-28.49</u> 15	<u>-28.48</u> 16	<u>-28.53</u> 11	<u>-28.64</u> 0	<u>-28.72</u> -8	<u>-28.77</u> -13	<u>-28.77</u> -13	<u>-28.64</u> 0
1978-1982	<u>-28.55</u> -12	<u>-28.54</u> -11	<u>-28.50</u> -7	<u>-28.43</u> 0	<u>-28.35</u> 8	<u>-28.27</u> 16	<u>-28.29</u> 14	<u>-28.34</u> 9	<u>-28.41</u> 2	<u>-28.48</u> -5	<u>-28.49</u> -6	<u>-28.47</u> -4	<u>-28.43</u> 0
1900-1982	<u>-27.41</u> -10	<u>-27.41</u> -10	<u>-27.40</u> -9	<u>-27.37</u> -6	<u>-27.28</u> 3	<u>-27.17</u> 14	<u>-27.11</u> 20	<u>-27.16</u> 15	<u>-27.25</u> 6	<u>-27.34</u> -3	<u>-27.37</u> -6	<u>-27.39</u> -8	<u>-27.31</u> 0

Таблица 4.3. Внутригодовое распределение количества атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Каспийского моря [Каспийское море, 1986]²

Период, годы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1878-1945 ³	<u>17</u> 10	<u>12</u> 7	<u>17</u> 10	<u>18</u> 10	<u>13</u> 7	<u>13</u> 7	<u>9</u> 5	<u>11</u> 6	<u>15</u> 9	<u>16</u> 9	<u>18</u> 10	<u>18</u> 10	<u>177</u> 100
1942-1969	<u>20</u> 10	<u>17</u> 9	<u>18</u> 9	<u>15</u> 8	<u>11</u> 6	<u>9</u> 5	<u>8</u> 4	<u>13</u> 7	<u>19</u> 10	<u>29</u> 15	<u>22</u> 11	<u>19</u> 10	<u>200</u> 100
1970-1977	<u>24</u> 10	<u>22</u> 9	<u>21</u> 9	<u>18</u> 8	<u>17</u> 7	<u>10</u> 4	<u>7</u> 3	<u>8</u> 3	<u>22</u> 9	<u>28</u> 12	<u>33</u> 14	<u>28</u> 12	<u>236</u> 100
1978-1982	<u>22</u> 9	<u>18</u> 7	<u>29</u> 11	<u>26</u> 10	<u>25</u> 10	<u>14</u> 5	<u>8</u> 3	<u>22</u> 9	<u>18</u> 7	<u>28</u> 11	<u>29</u> 11	<u>18</u> 7	<u>256</u> 100
1878-1982	<u>20</u> 10	<u>17</u> 8	<u>19</u> 9	<u>16</u> 8	<u>14</u> 7	<u>10</u> 5	<u>8</u> 4	<u>13</u> 6	<u>19</u> 9	<u>28</u> 13	<u>24</u> 12	<u>20</u> 10	<u>210</u> 100

¹ — Числитель — среднемесячный уровень моря (м), знаменатель — отклонение среднемесячного уровня от среднегодового (см).

² — Числитель — мм слоя, знаменатель — в процентах

³ — По данным Б.Д. Зайкова [1946]

Таблица 4.4. Внутригодовое распределение стока Волги по данным гидропоста Верхнее Лебяжье в 1900 — 1982 гг. [Каспийское море, 1986]¹.

Период, годы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1900-1929	<u>7.8</u> 3	<u>6.8</u> 3	<u>7.6</u> 3	<u>14.9</u> 6	<u>49.8</u> 20	<u>65.8</u> 26	<u>32.0</u> 13	<u>15.8</u> 6	<u>13.1</u> 5	<u>13.2</u> 5	<u>13.4</u> 5	<u>10.4</u> 4	<u>250.6</u> 100
1930-1941	<u>6.5</u> 3	<u>6.3</u> 3	<u>6.7</u> 3	<u>12.8</u> 6	<u>44.9</u> 22	<u>50.3</u> 25	<u>23.3</u> 12	<u>12.0</u> 6	<u>8.7</u> 4	<u>9.4</u> 5	<u>11.2</u> 6	<u>8.4</u> 4	<u>200.5</u> 100
1942-1969	<u>10.2</u> 4	<u>11.4</u> 5	<u>13.6</u> 6	<u>18.4</u> 8	<u>51.5</u> 21	<u>50.1</u> 21	<u>22.4</u> 9	<u>14.7</u> 6	<u>12.7</u> 5	<u>13.4</u> 6	<u>13.5</u> 6	<u>9.3</u> 4	<u>241.2</u> 100
1970-1977	<u>13.6</u> 7	<u>13.2</u> 6	<u>15.9</u> 8	<u>16.0</u> 8	<u>42.5</u> 20	<u>28.1</u> 14	<u>15.0</u> 7	<u>13.2</u> 6	<u>11.7</u> 6	<u>12.0</u> 6	<u>12.2</u> 6	<u>14.2</u> 7	<u>207.6</u> 100
1978-1982	<u>19.3</u> 7	<u>18.1</u> 7	<u>23.3</u> 9	<u>17.8</u> 6	<u>47.0</u> 17	<u>39.5</u> 14	<u>18.7</u> 7	<u>17.9</u> 7	<u>16.6</u> 6	<u>17.4</u> 6	<u>18.8</u> 7	<u>19.9</u> 7	<u>274.3</u> 100
1900-1982	<u>9.7</u> 4	<u>9.6</u> 4	<u>11.3</u> 5	<u>16.1</u> 7	<u>48.9</u> 21	<u>53.2</u> 22	<u>25.1</u> 11	<u>14.8</u> 6	<u>12.4</u> 5	<u>13.0</u> 5	<u>13.4</u> 6	<u>10.7</u> 4	<u>258.2</u> 100

Таблица 4.5. Внутригодовое распределение величины испарения с поверхности Каспийского моря [Каспийское море, 1986]²

Период, годы	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
1942-1969	<u>40</u> 4.2	<u>45</u> 4.7	<u>38</u> 3.9	<u>46</u> 4.8	<u>52</u> 5.4	<u>86</u> 8.9	<u>96</u> 10.0	<u>127</u> 13.2	<u>146</u> 15.2	<u>123</u> 12.8	<u>98</u> 10.2	<u>66</u> 6.9	<u>963</u> 100
1970-1977	<u>79</u> 7.6	<u>65</u> 6.3	<u>36</u> 3.5	<u>50</u> 4.8	<u>54</u> 5.2	<u>79</u> 7.6	<u>103</u> 9.9	<u>137</u> 13.2	<u>150</u> 14.5	<u>120</u> 11.6	<u>82</u> 7.9	<u>82</u> 7.9	<u>1037</u> 100
1978-1982	<u>69</u> 7.0	<u>50</u> 5.1	<u>35</u> 3.6	<u>42</u> 4.3	<u>49</u> 5.0	<u>71</u> 7.3	<u>83</u> 8.5	<u>137</u> 14.0	<u>158</u> 16.0	<u>129</u> 13.2	<u>93</u> 9.5	<u>63</u> 6.4	<u>979</u> 100
1942-1982	<u>52</u> 5.2	<u>52</u> 5.2	<u>38</u> 3.8	<u>46</u> 4.6	<u>51</u> 5.1	<u>85</u> 8.5	<u>98</u> 9.8	<u>131</u> 13.1	<u>148</u> 14.8	<u>124</u> 12.4	<u>93</u> 9.3	<u>79</u> 7.9	<u>997</u> 100

¹ — Числитель — сток в км³, знаменатель — в процентах от среднегодового стока

² — Числитель - мм слоя, знаменатель - в процентах

Обзор исследований по приливам

10.3.3. Приливные колебания уровня

Первые исследования проведены Н. В. Малиновским [263] по материалам наблюдений за уровнем моря в Баку, Махачкале и Красноводске за 30 сут. Обработка мареографных записей этих уровней постов методом гармонического анализа показала, что характер приливных волн везде полусуточный незначительной величины.

А. Н. Косарев и В. Ф. Цыганов [226] на основании спектрального анализа уровня выделили составляющую полусуточного прилива с периодом, близким к 12,4 ч, у о. Огурчинского. Колебания уровня в этом районе не превышают 12 см, а на Нефтяных Камнях — 2 см.

Наиболее полно приливные колебания уровня на Каспии исследованы А. Н. Спидченко [384]. Им вычислены характеристики прилива методом гармонического анализа (табл. 10.13).

На всех уровнях постах прилив имеет полусуточный или неправильный полусуточный характер. Неправильности могут возникать под влиянием бриза на проявляющуюся суточную составляющую, хотя автор [384] считает, что это требует дополнительных доказательств.

В результате гармонического анализа показано существование приливов полусуточного и реже суточного характера, т. е. данные А. Н. Спидченко почти полностью совпадают с результатами Н. В. Малиновского [263].

*Каспийское море – Проект
"Моря СССР", 1992*

Каспийское море

Малиновский, 1926

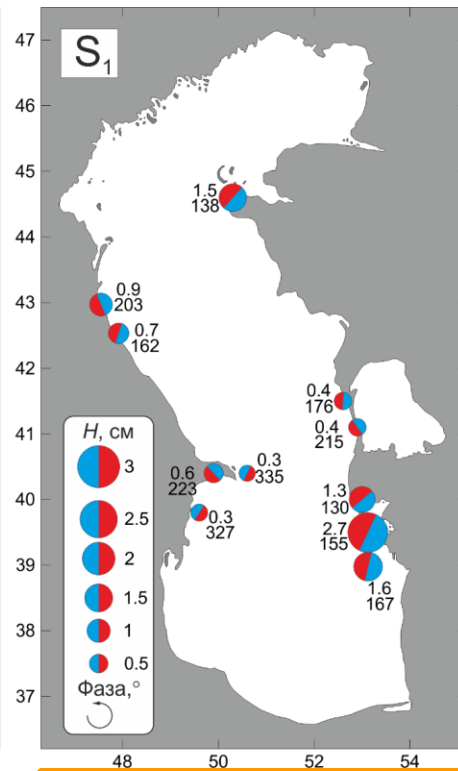
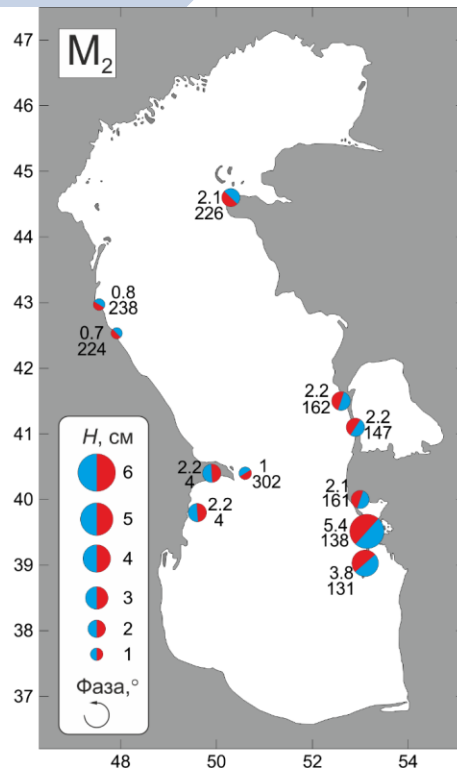
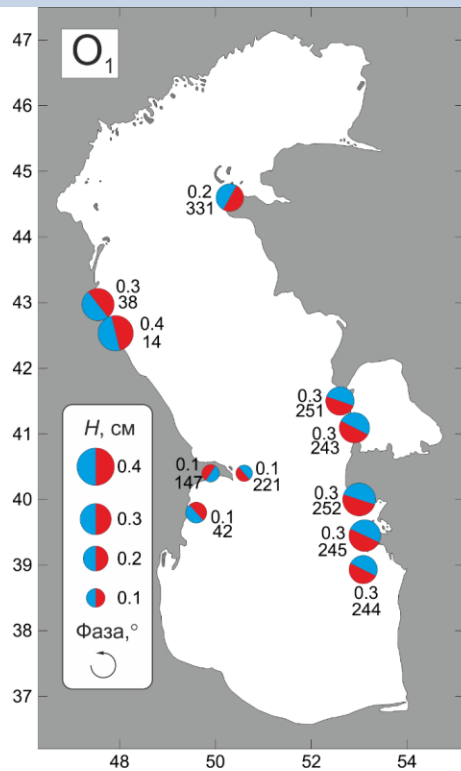
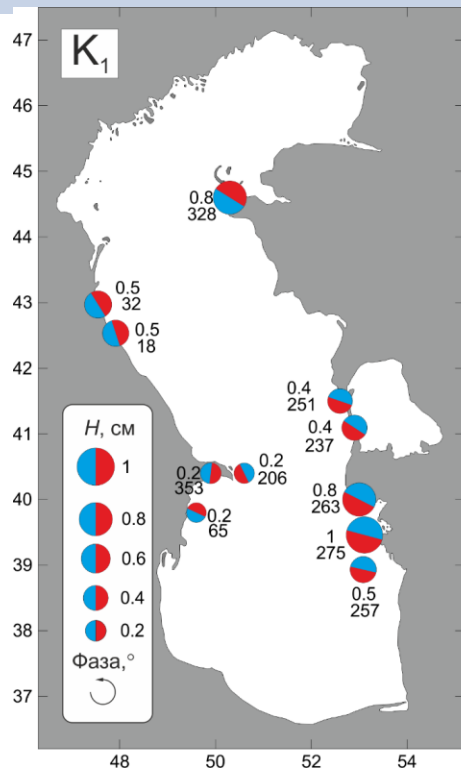
Герман, 1970

Косарев и Цыганов, 1972

Спидченко, 1973

Левянт и др., 1993

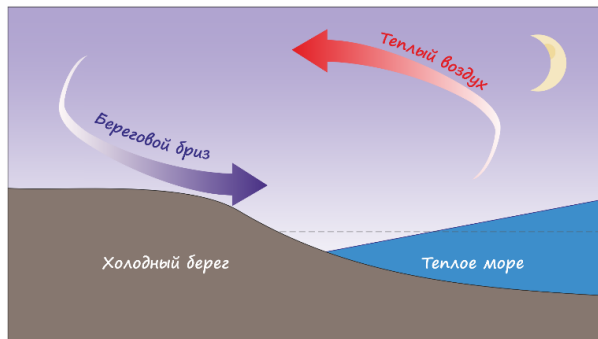
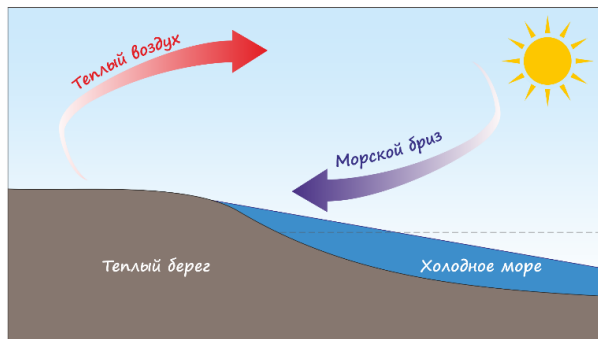
Карты гармонических постоянных





Радиационные приливы во внутренних морях

Формирование бризовых колебаний уровня моря



- Изменения температуры воды и воздуха
- Атмосферные приливы
- Бризовый ветер!



Радиационные приливы

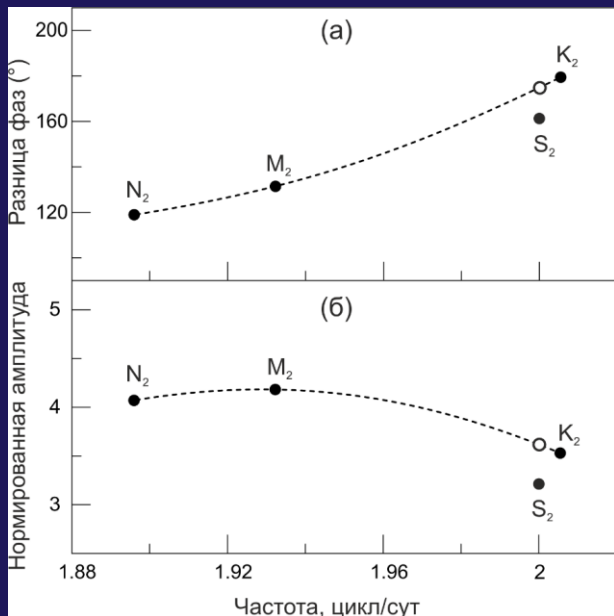
Response method

Munk and Cartwright, 1966

Credo of smoothness

Zetler, 1971; Wunsch, 1972

$$\frac{S_2^r}{S_2^g} \sim 0.15$$

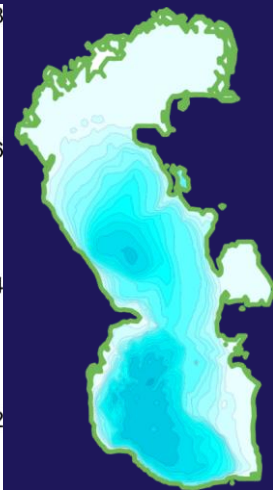
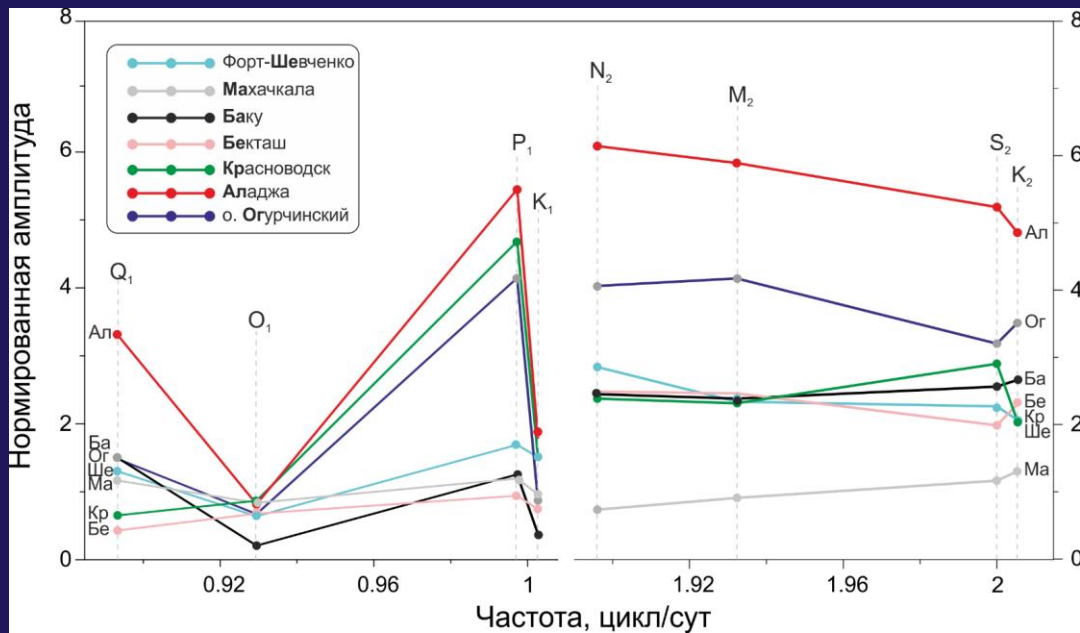


Станции	S ₂ ^t		S ₂ ^g		S ₂ ^r		H(S ₂ ^r)
	H, см	G, °	H, см	G, °	H, см	G, °	H(S ₂ ^g)
Форт-Шевченко	0.96	248	0.87	230	0.31	312	0.36
Махачкала	0.50	303	0.54	288	0.14	45	0.27
Изберг	0.55	273	0.58	231	0.41	346	0.70
Баку	1.09	14	1.11	345	0.56	92	0.50
о. Жилой	0.37	327	0.49	317	0.14	110	0.29
о. Свиной	1.02	19	1.10	342	0.67	97	0.61
Бекташ	0.84	177	0.99	175	0.15	341	0.15
Кара-Богаз-Гол	0.81	160	0.97	155	0.18	313	0.19
Красноводск	1.23	179	0.87	190	0.41	156	0.47
Аладжа	2.22	173	2.09	199	0.96	103	0.46
о. Огурчинский	1.36	161	1.53	175	0.38	51	0.25

В Каспийском море $\frac{S_2^r}{S_2^g} \sim 0.2-0.7$



Резонансное усиление



13-14 ч

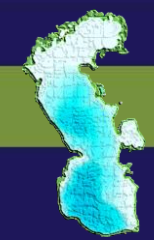


Валидация модели приливов Каспийского моря

№	Станция	M ₂										
		Набл.	z ₀ , м						Набл.	z ₀ , л		
			0,005	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3		0,005	0,01	0,05
		H, см	ΔH, см						G, °	ΔG,		
1	Махачкала	0,72	0,52	0,50	0,43	0,39	0,34	0,30	229,4	-1	-1	-1
2	Баку	2,30	-0,12	-0,11	-0,06	-0,03	0,00	0,01	10,8	-5	-5	-6
3	о. Свиной	2,13	-0,05	-0,04	0,02	0,05	0,07	0,08	2,7	4	4	3
4	о. Огурчинский	3,87	0,11	0,05	-0,23	-0,46	-0,80	-1,07	139,2	-41	-36	-22
5	Красноводск	2,07	0,53	0,39	0,11	0,01	-0,10	-0,20	154,6	-26	-26	-27
6	Кара-Богаз-Гол	2,10	0,32	0,29	0,23	0,21	0,19	0,19	150,9	7	6	3
7	Бекташ	2,28	0,17	0,14	0,09	0,07	0,06	0,05	160,9	6	5	3
8	Форт-Шевченко	2,58	-0,13	-0,07	0,15	0,27	0,41	0,50	218,9	3	1	-5
	RMSE		0,30	0,26	0,20	0,25	0,35	0,44		18	16	13
№	Станция	K ₁										
		Набл.	z ₀ , м						Набл.	z ₀ , л		
			0,005	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3		0,005	0,01	0,05
		H, см	ΔH, см						G, °	ΔG,		
1	Махачкала	0,39	0,17	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	44,9	-20	-20	-19
2	Баку	0,49	-0,44	-0,44	-0,46	-0,46	-0,45	-0,44	321,8	-5	1	34
3	о. Свиной	0,25	-0,15	-0,15	-0,15	-0,14	-0,13	-0,13	84,2	-29	-27	-25
4	о. Огурчинский	0,49	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	216,2	12	14	20
5	Красноводск	0,83	-0,16	-0,16	-0,18	-0,20	-0,24	-0,27	284,5	-51	-50	-48
6	Кара-Богаз-Гол	0,27	0,22	0,22	0,22	0,21	0,20	0,20	194,4	52	52	51
7	Бекташ	0,35	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	256,1	-3	-3	-3
8	Форт-Шевченко	0,87	-0,19	-0,21	-0,27	-0,31	-0,35	-0,38	307,4	19	19	20
	RMSE		0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26		30	29	31



История изучения проблемы



Мезомасштабные колебания уровня Каспийского моря имеют длительную, но нерегулярную историю исследований

Малиновский, 1926

Герман, 1970

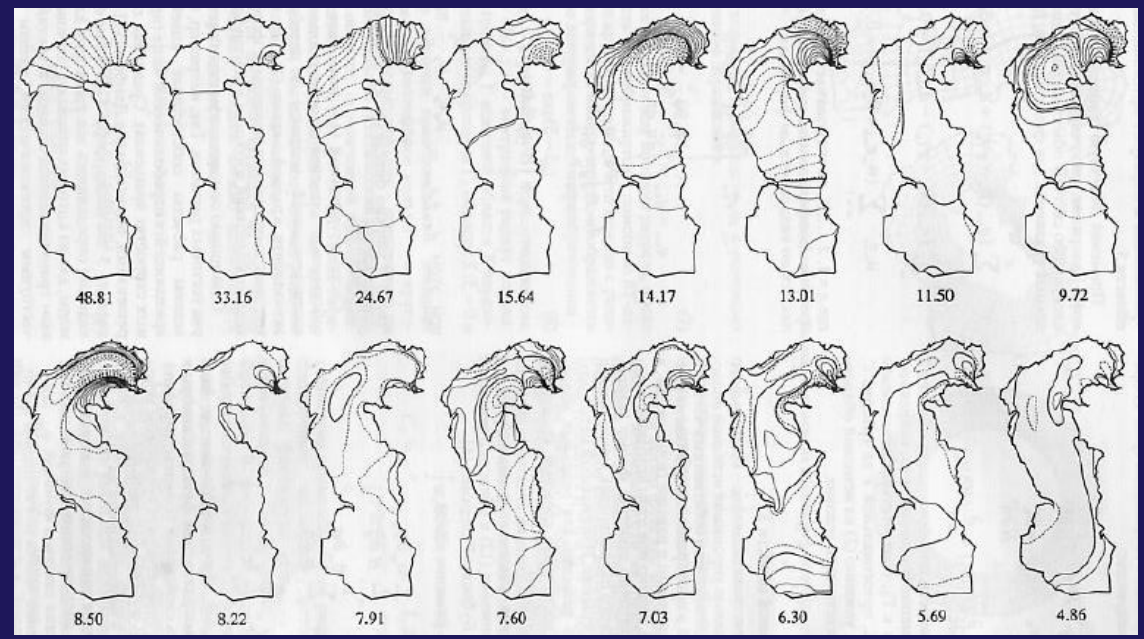
Косарев и Цыганов, 1972

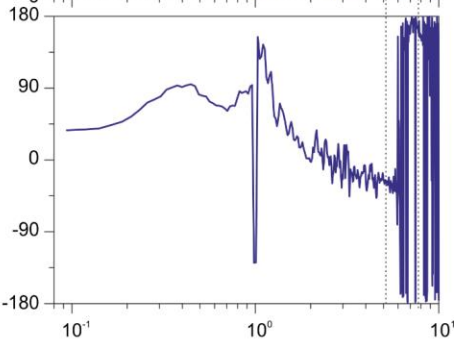
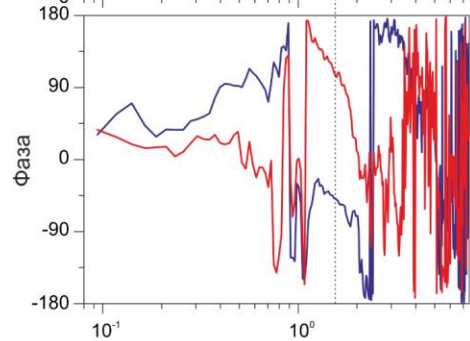
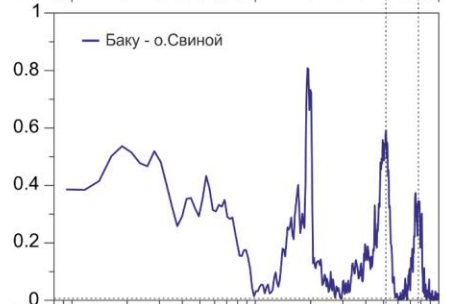
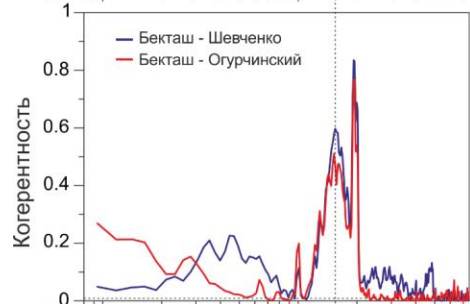
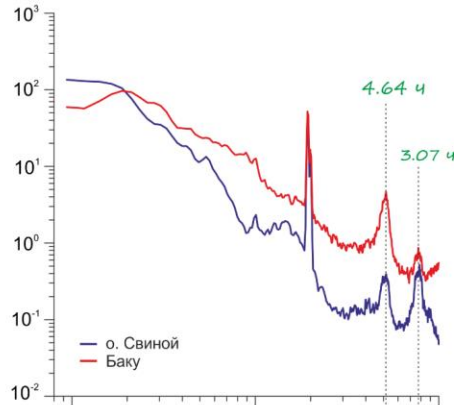
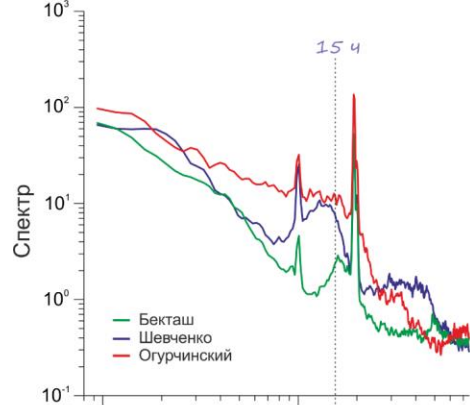
Спидченко, 1973

Рабинович, 1973

Герман и Левиков, 1988

Левянт и др., 1993





Частота, цикл/сут

14-15 ч

6.1 ч

4.6 ч

3.6 ч

3.1 ч



ПУБЛИКАЦИИ

- *Medvedev I.P., Rabinovich A.B., Kulikov E.A.* Tides in three enclosed basins: the Baltic, Black and Caspian seas // *Front. Mar. Sci.* 2016. V. 3. № 46. doi: 10.3389/fmars.2016.00046.
- *Медведев И.П., Куликов Е.А., Рабинович А.Б.* Приливы в Каспийском море // *Океанология.* 2017. Т. 57. № 3. С. 400–416.

