

**Ежегодный обзор гидрометеорологических процессов и оценки текущего состояния
Черного и Азовского морей за 2014 г.**

(А.В. Григорьев, И.М. Кабатченко, Ю.Г. Филиппов)

Оценка состояния вод Черного моря по данным численного моделирования

(А.В. Григорьев)

В данном разделе приводятся результаты, основанные на спутниковой информации и данных численного моделирования, характеризующие особенности термохалинной структуры и динамики вод Черного моря в 2014 году.

На рис. 1 приведен временной ход температуры поверхности Черного моря (ТПМ) по среднегодовым данным (спутник MODIS AQUA) за период 1990-2014 гг. Рост ТПМ составил с 1990 года составил $\sim 2^{\circ}\text{C}$. Следствием общего повышения температуры поверхности вод региона в смысле влияния на термохалинную структуру и динамику может быть следующее:

а) уменьшение холодозапаса холодного промежуточного слоя (ХПС) – характерной особенности вертикальной структуры вод моря [Oguz et al, 2006; Шокурова, 2010; Полонский с соавт., 2013];

б) уменьшение глубины перемешивания вод вследствие осенне-зимней конвекции;

в) усиление зимней атмосферной накачки импульсом – сезонной интенсификации Основного черноморского течения (ОЧТ);

г) вследствие этого – увеличения разницы залегания изоповерхностей (температуры, солености, плотности, оси ХПС и др.) между прибрежными и центральноморскими водами (увеличение заглубления у берегов и поднятие в центральных областях моря).

Главная особенность внутригодовой изменчивости динамики вод Черного моря – наличие главным образом общebasейновой циркуляции (Основное Черноморское течение, ОЧТ) в холодный период года и фактический его распад на систему мезомасштабных (синоптических) вихрей в теплый [Зацепин с соавт., 2011]. В системе море-атмосфера море играет роль локального источника нагрева атмосферы, создавая локализованную над ним барическую депрессию и связанную с ней ячейку циклонической циркуляции. В свою очередь, создаваемые под влиянием моря особенности атмосферной циркуляции определяют либо оказывают воздействие на формирование соответствующей ей системы течений в море [Григорьев, Петренко, 1999].

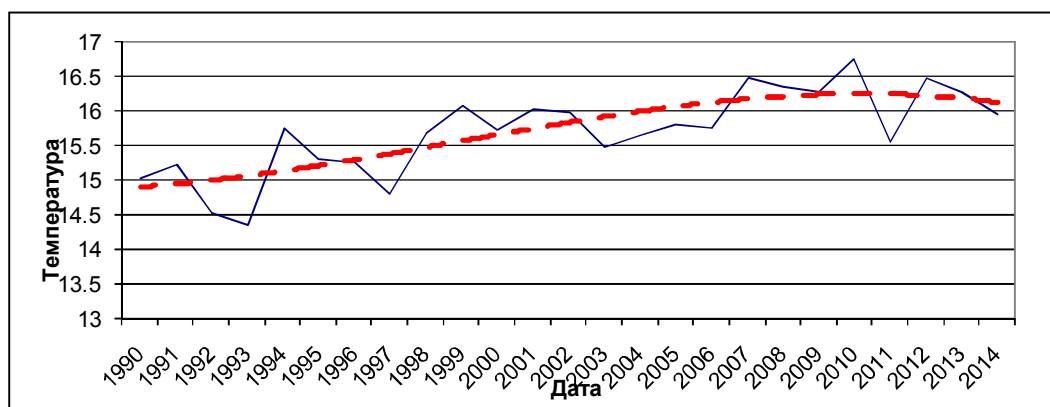


Рис. 1. Временной ход средней по поверхности ТПМ Черного моря по среднегодовым данным (MODIS AQUA, 1990-2014 гг.)

Как видно из графиков временной изменчивости кинетической энергии ветра и течений за период 2010-2014 гг. (рис. 2), локальные максимумы этих характеристик соответствуют ноябрю-декабрю каждого года – начало зимнего выхолаживания вод, осенне-зимней конвекции и первым затакам холодных воздушных масс с запада.

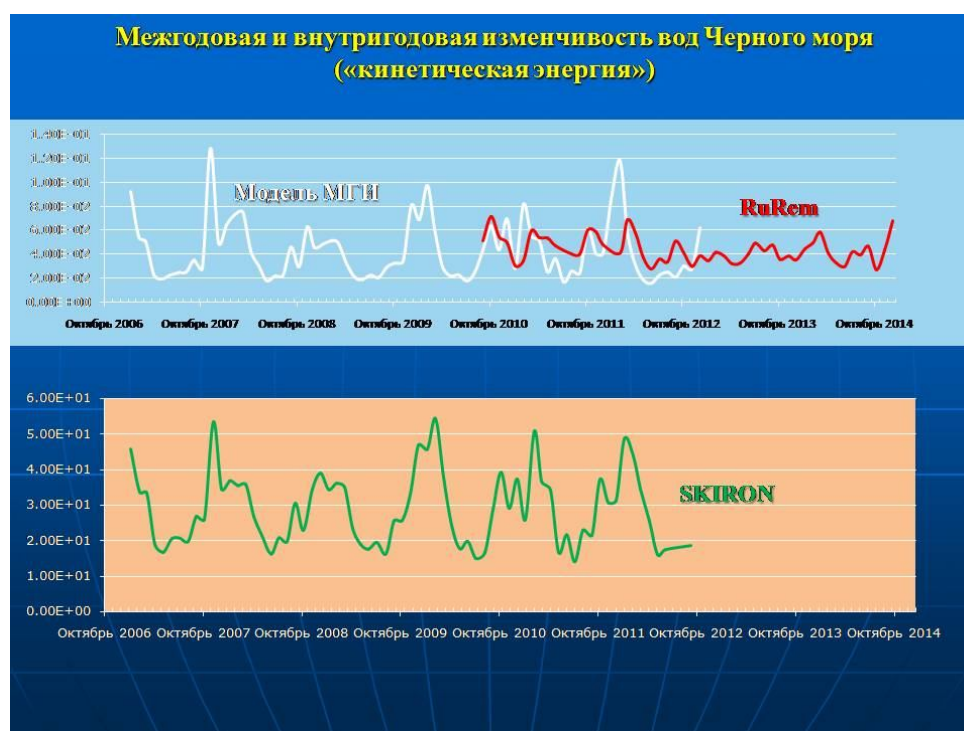


Рис. 2. График временной изменчивости кинетической энергии поверхностных течений (общечерноморская модель МГИ и региональная модель СВ-области моря RuRem,) и ветра (модель SKIRON, Греция) за период 2010-2014 гг. Модельные данные, средние значения по региону.

Как видно из рисунка 3, динамика вод региона обусловлена в первую очередь ветровым полем над морем. Климатические поля ветра для характерных месяцев года приведены на рис. 3.

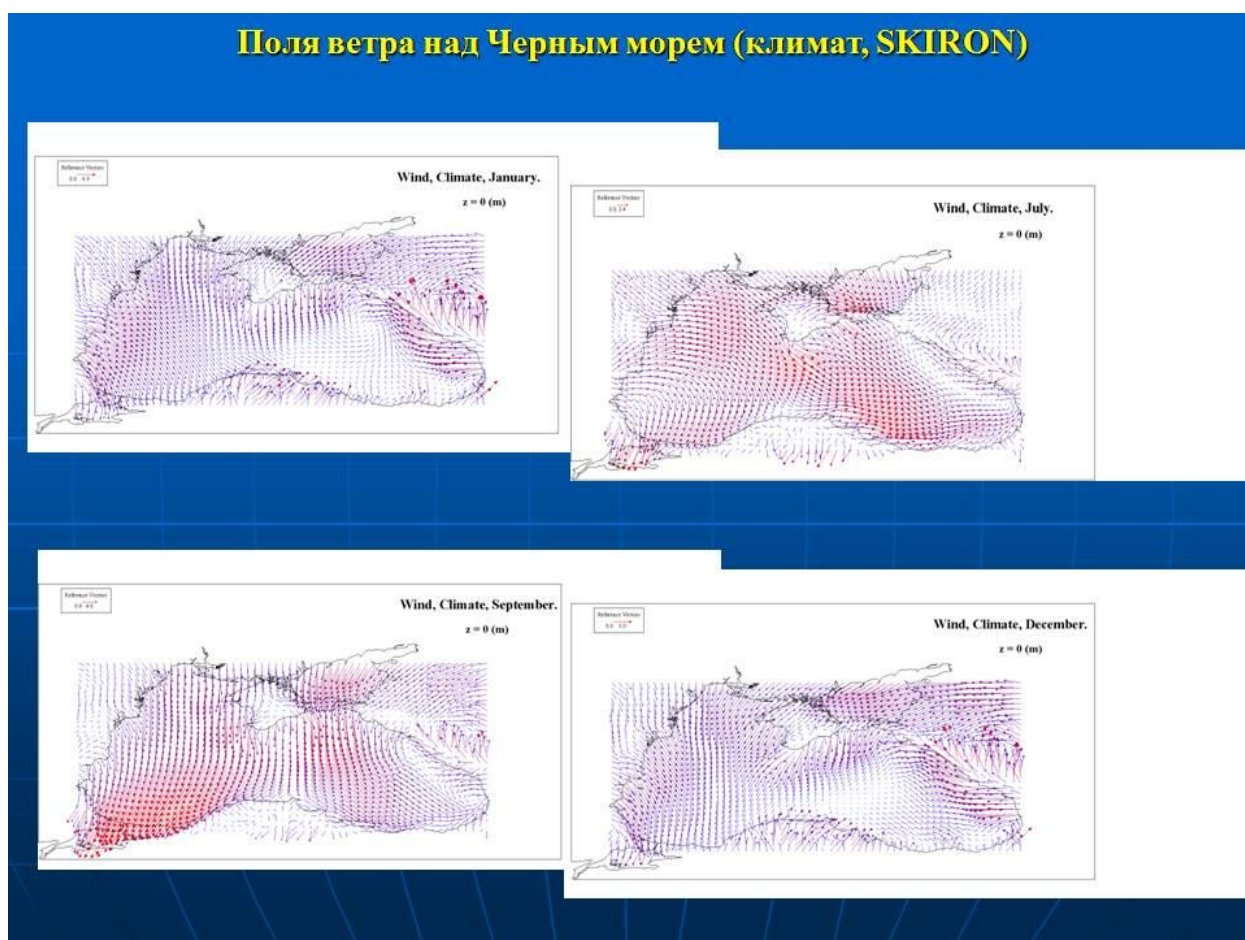


Рис. 3. Климатические поля ветра по данным SKIRON (2006-2012 гг.)

Характерные карты температуры, солёности, динамического уровня и скоростей течений приведены на рисунках 4-11.

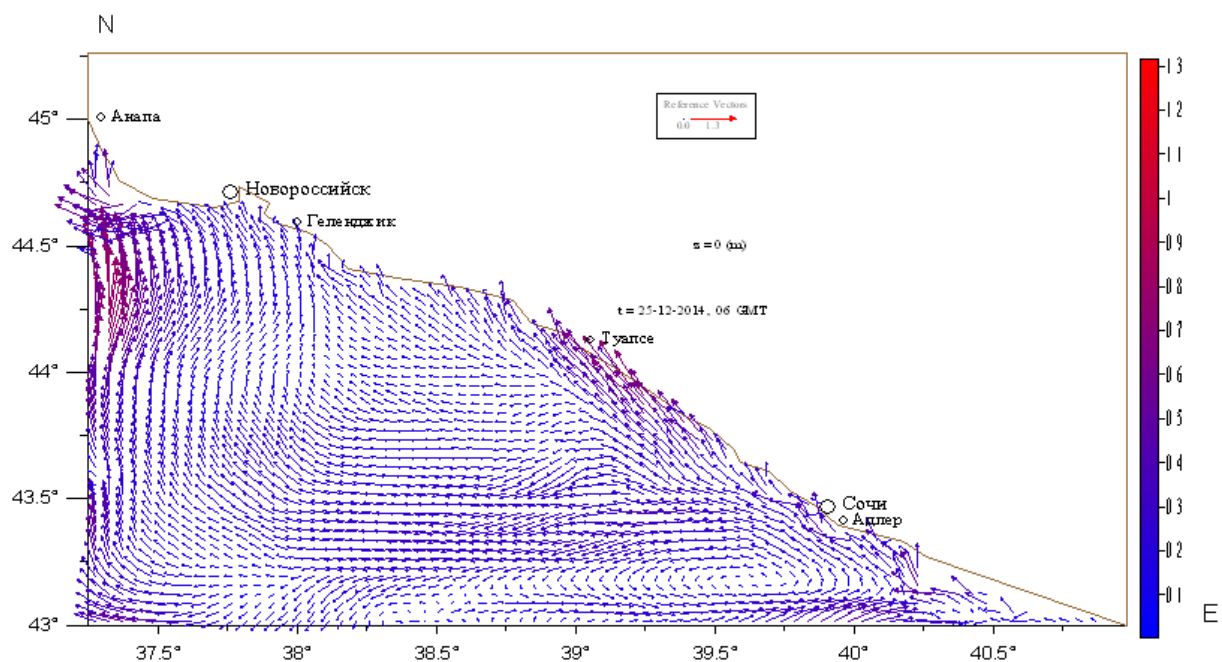


Рис. 4. Скорости течений на глубине 0 м (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, зима).

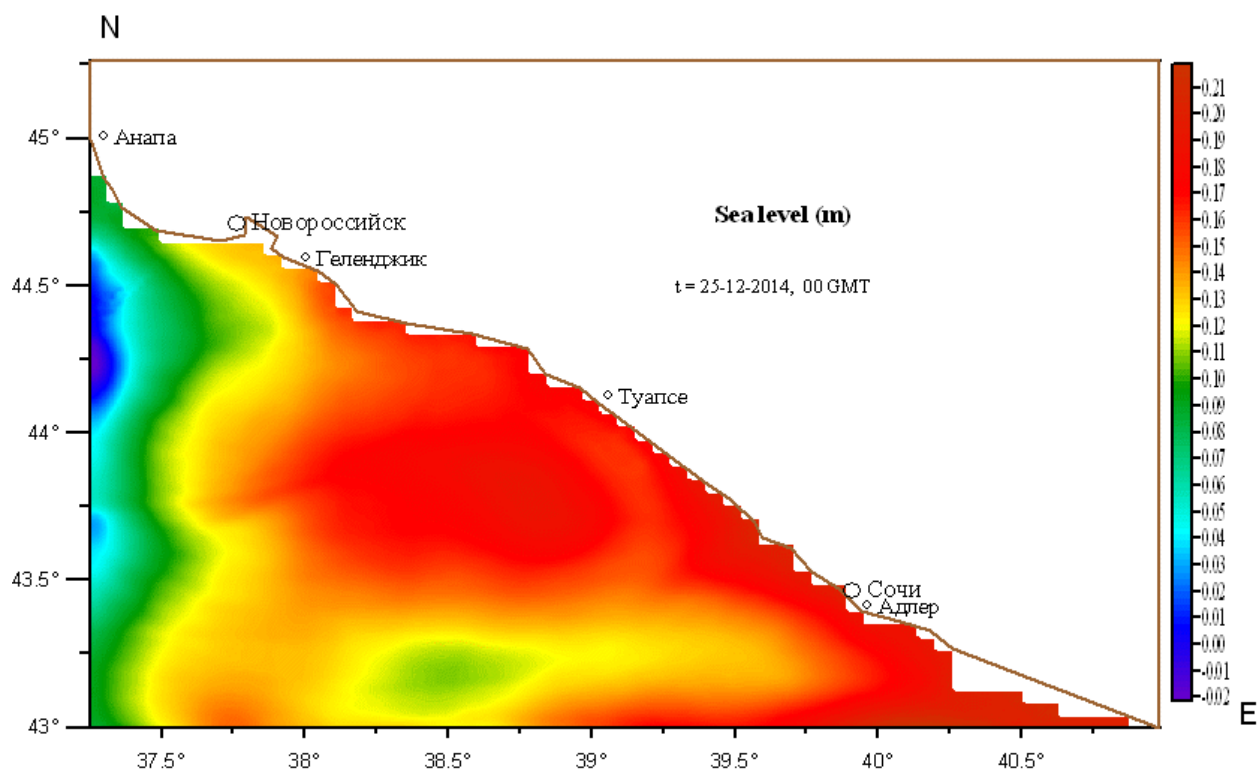


Рис. 5. Динамический уровень моря (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, зима).

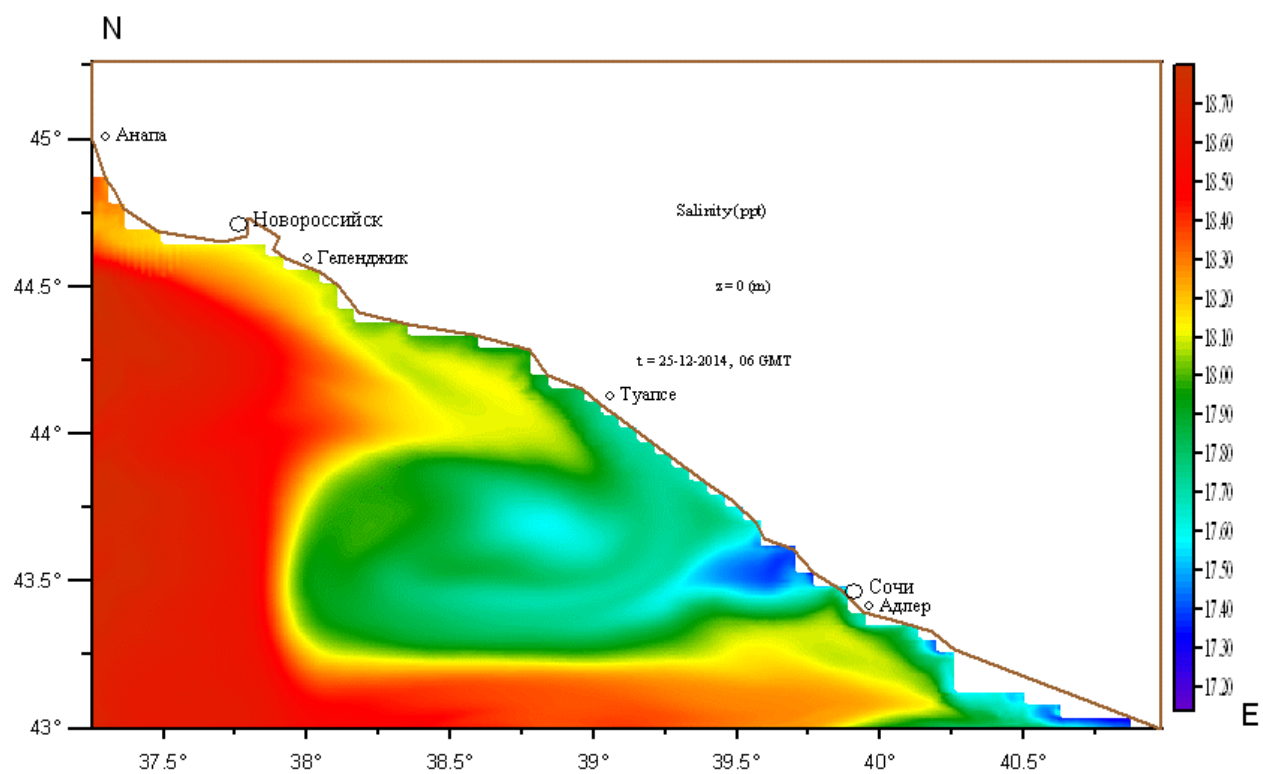


Рис. 6. Соленость на глубине 0 м (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, зима).

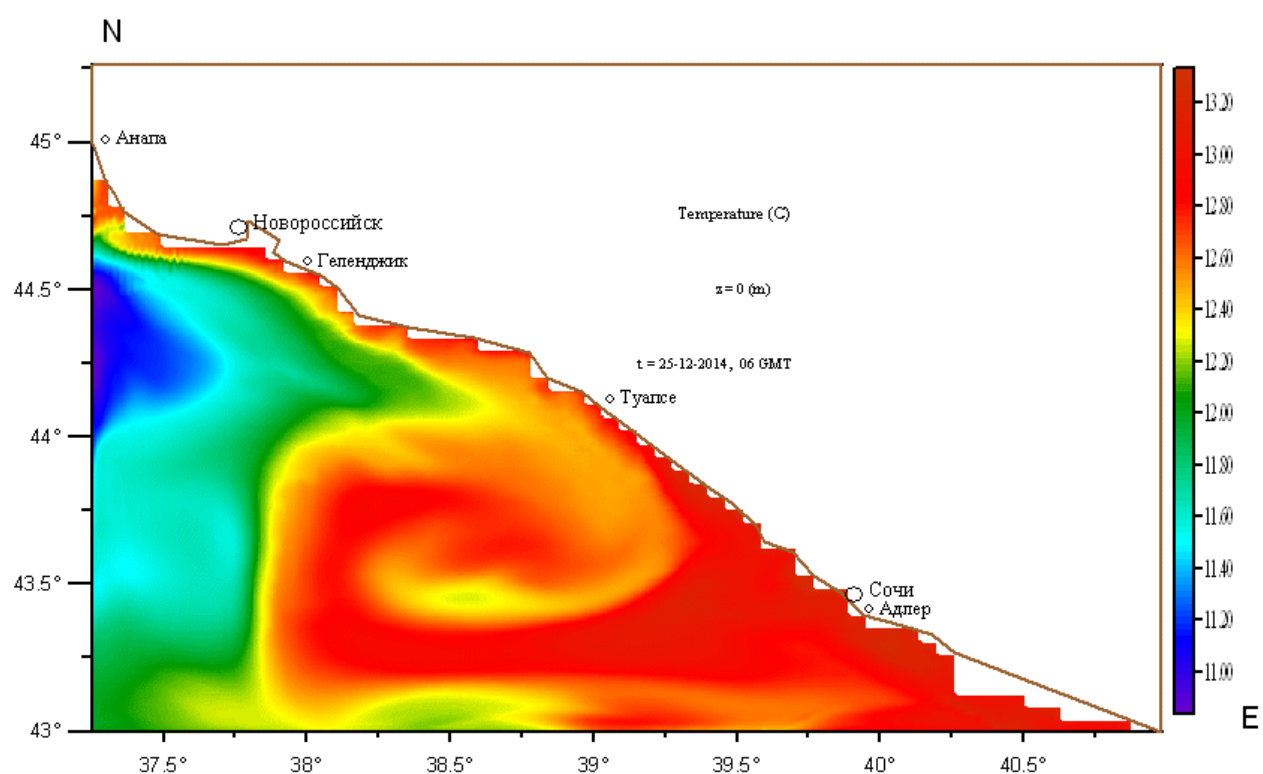


Рис. 7. Температура на глубине 0 м (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, зима).

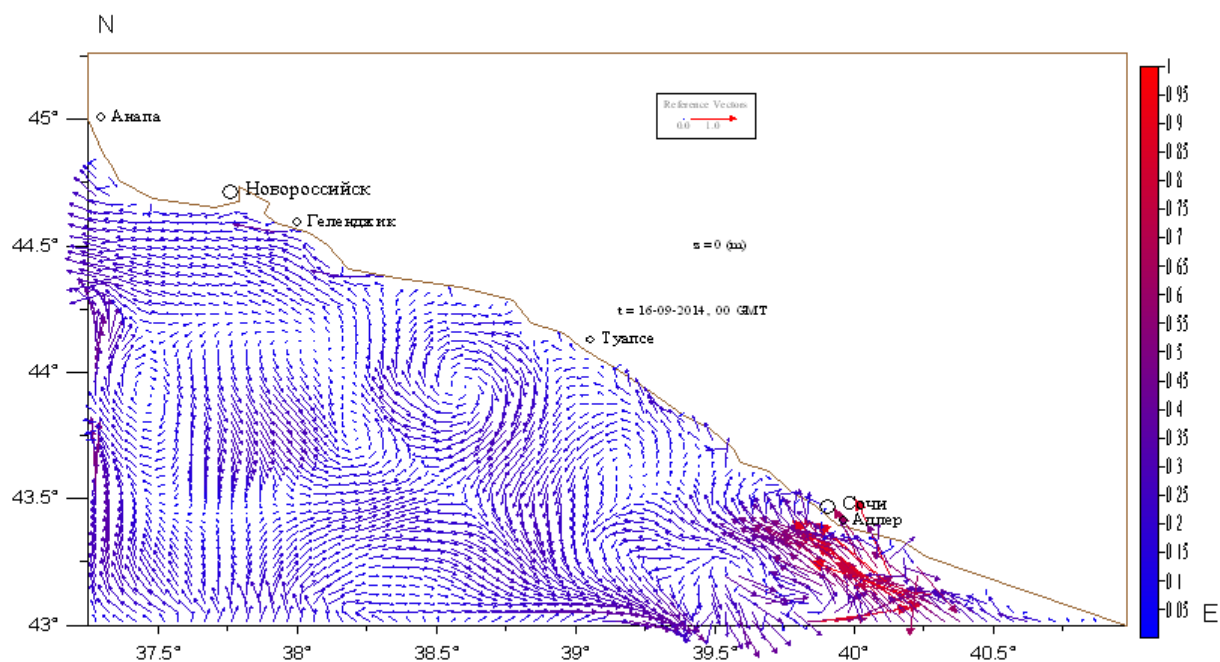


Рис. 8. Скорости течений на глубине 0 м (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, лето).

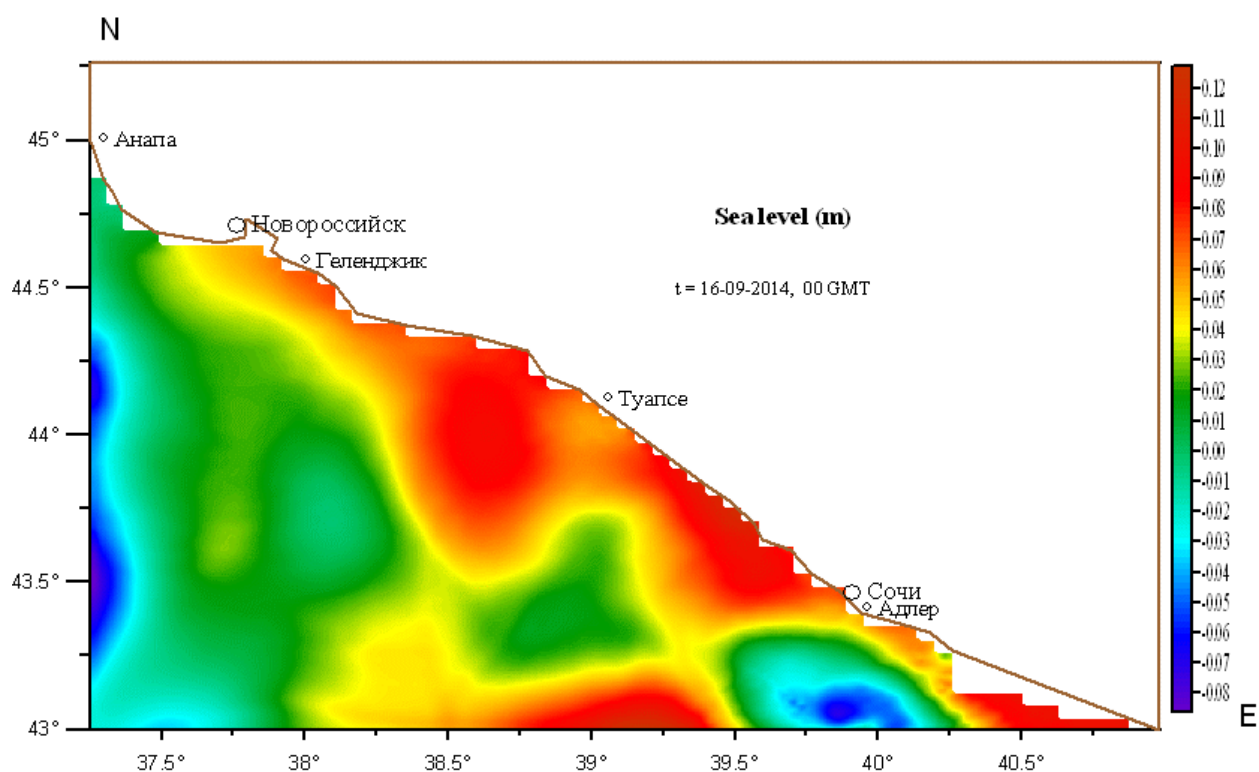


Рис. 9. Динамический уровень моря (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, лето).

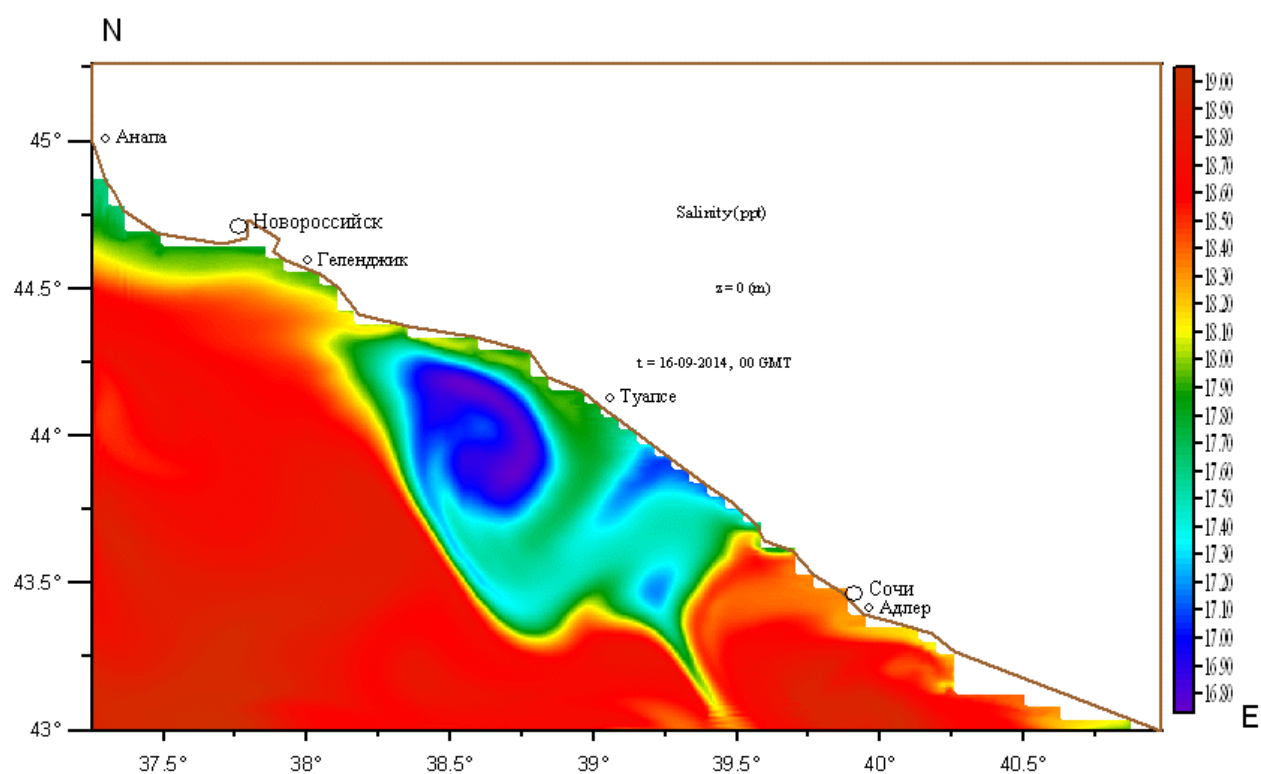


Рис. 10. Соленость на глубине 0 м (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, лето).

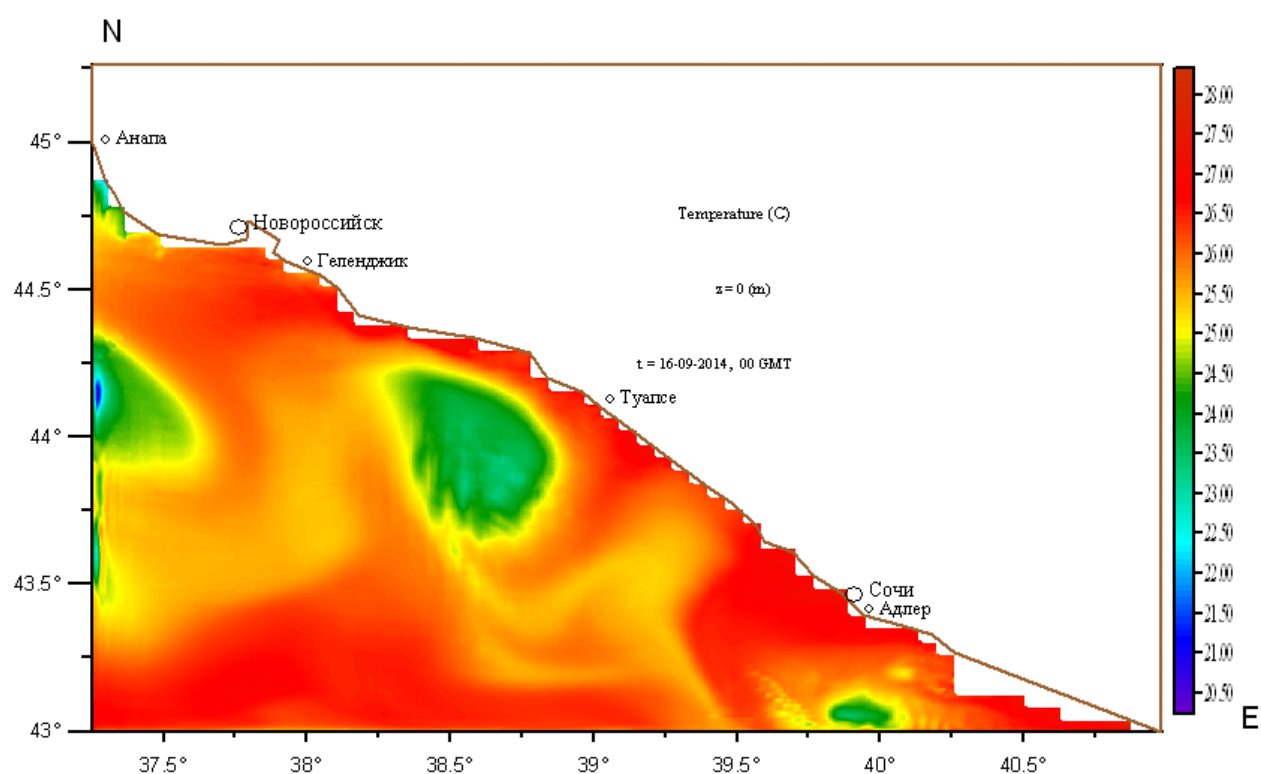


Рис. 11. Температура на глубине 0 м (модельные расчеты, региональная модель СВ-области моря, 2014 год, лето).

Литература

1. В.А.Иванов, В.Н.Белокопытов. Океанография Чёрного моря: НАН Украины,- Морской гидрофизический институт, - Севастополь, - 2011,- 212 с.
2. A. V. Grigoriev, A.G. Zatsepin. Numerical Modeling of Water Dynamics of Russian Zone of the Black Sea within the Framework of Operational Oceanography Tasks. - J Coast. Dev., 2014, 17:1, <http://dx.doi.org/10.4172/1410-5217.1000387>.
3. Oguz T.,Dippner J.W., Kaymaz Z. Climatic regulation of the Black Sea hydrometeorological and properties at interannual-to decadal time scales // J. Mar. Syst. – 2006. – 60. iss. 3 – 4. – P. 235 – 254.
4. Шокурова И.Г. Долговременная изменчивость гидрологических полей и геострофической циркуляции в Черном море // Диссертация канд. геогр. Наук. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – 176 с.
5. Полонский А.Б., Шокурова И.Г., Белокопытов В.Н. Десятилетняя изменчивость температуры и солености в Черном море. Морской гидрофизический журнал. – Севастополь. – 2013. – №6. – С. 27 – 41.
6. Кубряков А.А., Станичный С.В., Зацепин А.Г. Геострофическая циркуляция Черного моря по данным спутниковой альтиметрии. 2012 г.
7. А. Г. Зацепин, В. И. Баранов, А. А. Кондрашов, А. О. Корж, В. В. Кременецкий, А. Г. Островский, Д. М. Соловьев. Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы.- Океанология, том 51, №4, 2011, сс. 1-14
8. А.В. Григорьев, Л.А. Петренко. Черное море как фактор влияния на атмосферные процессы в регионе.- Сб. научн. тр.: "Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа", 1999 г. Севастополь, НАН Украины, МГИ.

Характеристика приводных параметров ветра и ветрового волнения в Азово-Черноморском бассейне

(И.М. Кабатченко)

Качество расчета ветрового волнения в море в первую очередь определяется качеством расчета атмосферного воздействия, получаемого с помощью модели RegCM. Следует отметить, что эта модель, в силу своего высокого качества и удобства использования, принята во многих зарубежных и отечественных центрах для воспроизведения и прогноза региональной атмосферной циркуляции. Адаптация к условиям Черноморского региона региональной гидростатической модели атмосферной циркуляции RegCM была произведена версии 4.3.5.6 (Elguindi, et. al., 2013), разработанной в Европейском центре среднесрочного прогноза погоды (ЕЦСПП) или ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

На основании модели RegCM были рассчитаны поля приводного ветра за 1979 – 2013 гг. на сетке 138×74 с шагом 0,11 градусов, как по широте, так и по долготе. Шаг по времени 6 часов. Поля приводного ветра по модели RegCM рассчитывались в Морском Гидрофизическом Институте и передавались в ГОИН в рамках межинститутского взаимодействия. С 2014 года это взаимодействие прекратилось, и расчет полей приводного ветра по модели WRF на сетке 194×94 с шагом 0,08 градусов, как по широте, так и по долготе. Шаг по времени 1 час. Поля волнения, полученные за 1979 – 2013 гг. переинтерполировались в сетку WRF.

По полям приводного ветра были получены поля ветрового волнения. Для расчета направленного спектра ветрового волнения Черного и Азовского морей была использована модель PABM (Российская Атмосферно-Волновая Модель) на той же сетке, что и модель WRF. В модели используется «узконаправленное» упрощение кинетического интеграла Хассельмана, описывающего нелинейные взаимодействия в спектре ветровых волн.

Волновой климат Черного моря рассчитывался по всем годам модели RegCM. Отдельно были получены режимные характеристики за 2014 год. К сожалению, переход с одной модели ветра на другую мог внести дополнительные различия в режимных характеристиках, полученные за разные годы. В результате сравнения режимных характеристик высот волн, полученных по всему архиву данных (рис. 1) и за 2014 год (рис.2), было установлено, что волновые в 2014 году мало отличались (рис. 3) от средних многолетних. В центральных районах моря максимальное за 2014 год волнение оказалось на 20% ниже средне климатических значений, в северных районах моря (кроме мелководных акваторий) оно было на 20% выше (рис. 3).

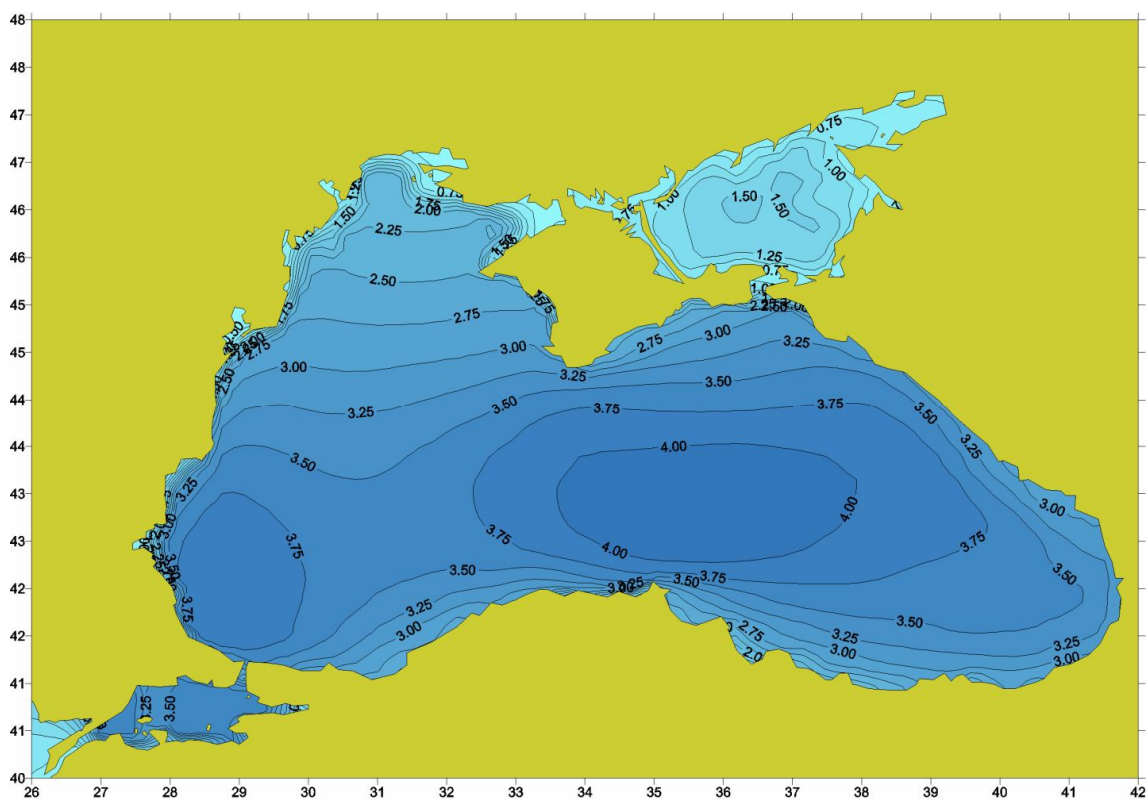


Рис.1 Средние высоты волн, возможные раз в год в Азово-Черноморском бассейне (по данным за 1979-2013 гг.)

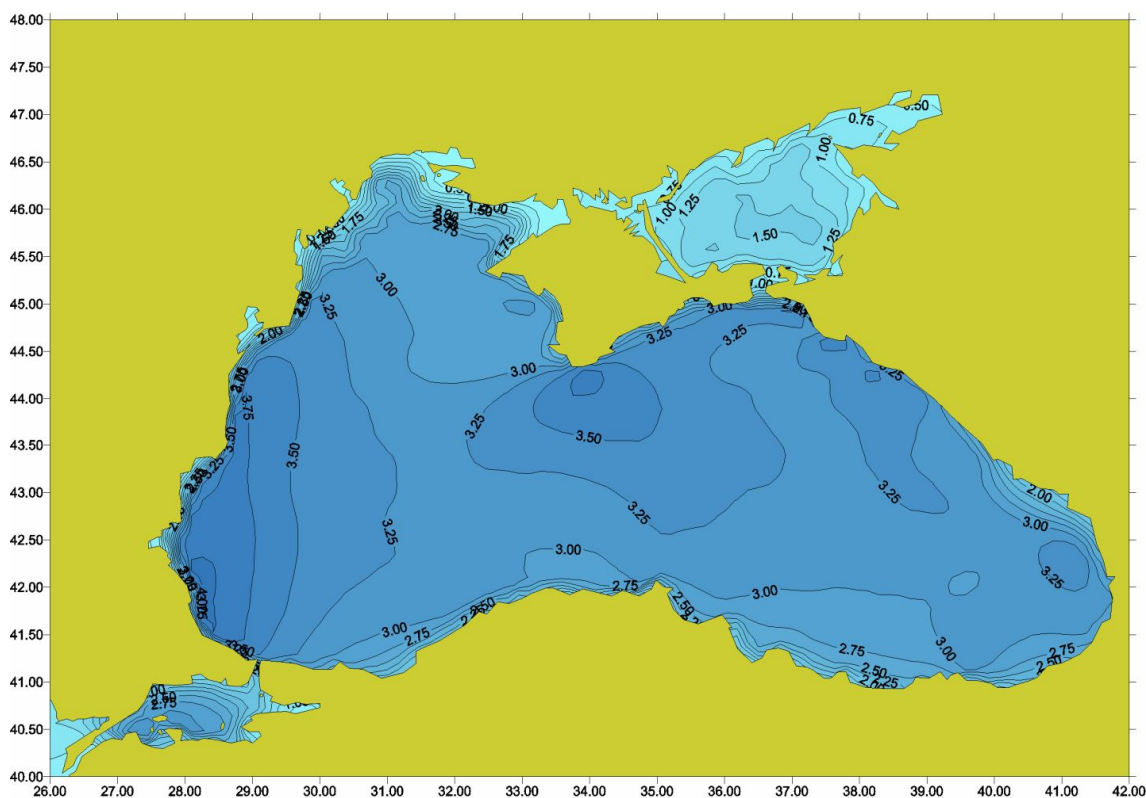


Рис.2 Средние высоты волн, возможные раз в год в Азово-Черноморском бассейне (по данным за 2014 г)

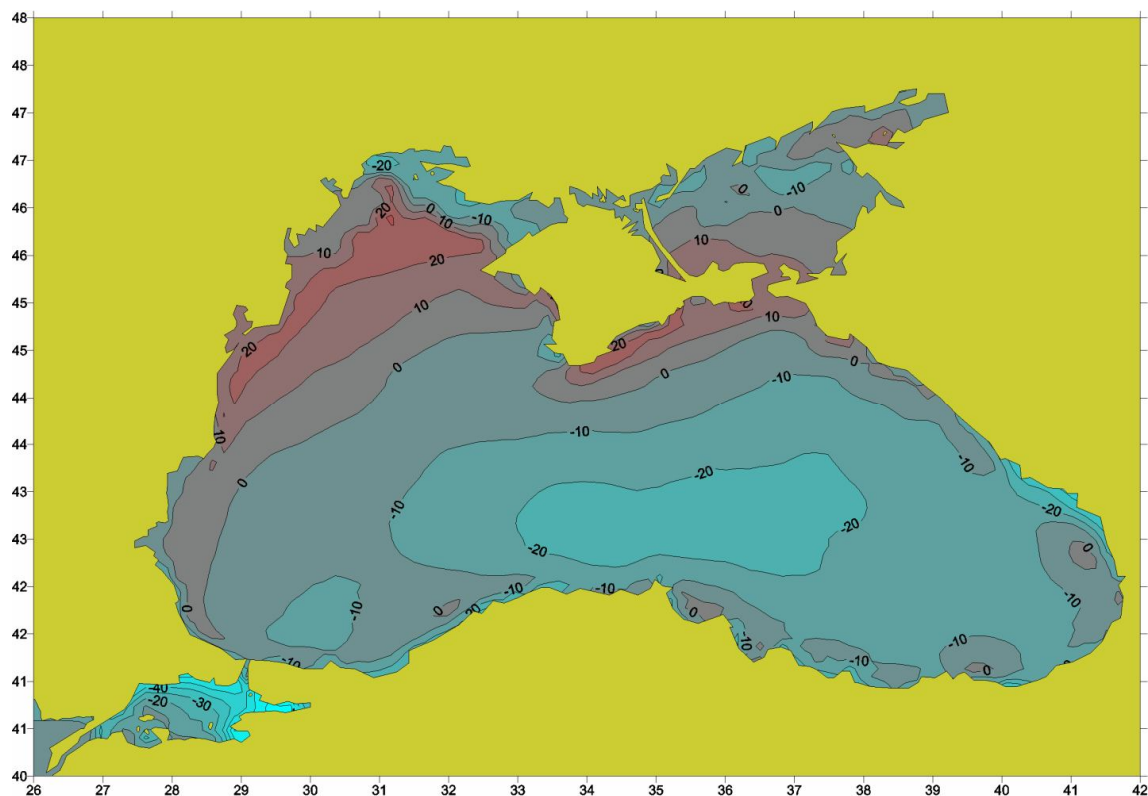


Рис.3 Различие в % между средними высотами волн, возможными раз в год в среднем за 1979-2013 гг. и по данным за 2014 г в Азово-Черноморском бассейне

В результате сравнения режимных характеристик периодов волн, полученных по всему архиву данных (рис. 4) и за 2014 год (рис.5), было установлено, что периоды волн в 2014 году оказались меньше на 5-10% (рис. 3) средних многолетних. Наибольшее уменьшение (до 15%) произошло в северных районах моря.

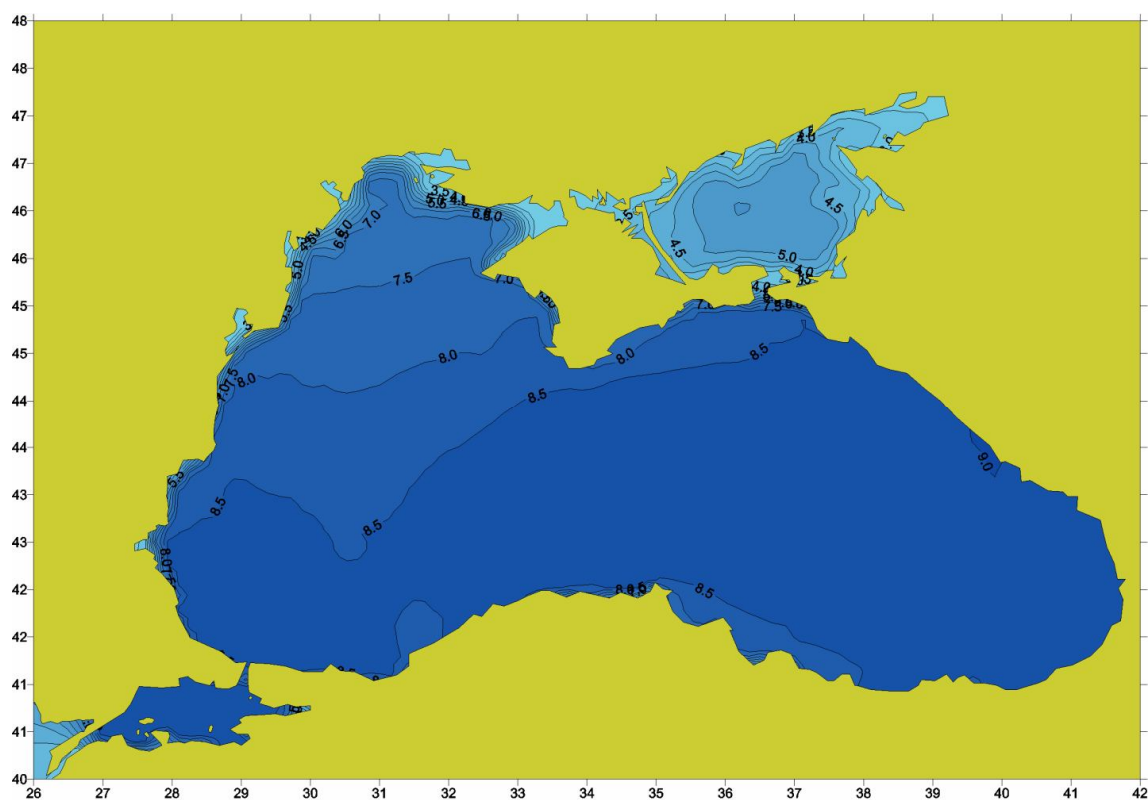


Рис.4 Средние периоды волн, возможные раз в год в Азово-Черноморском бассейне (по данным за 1979-2013 гг.)

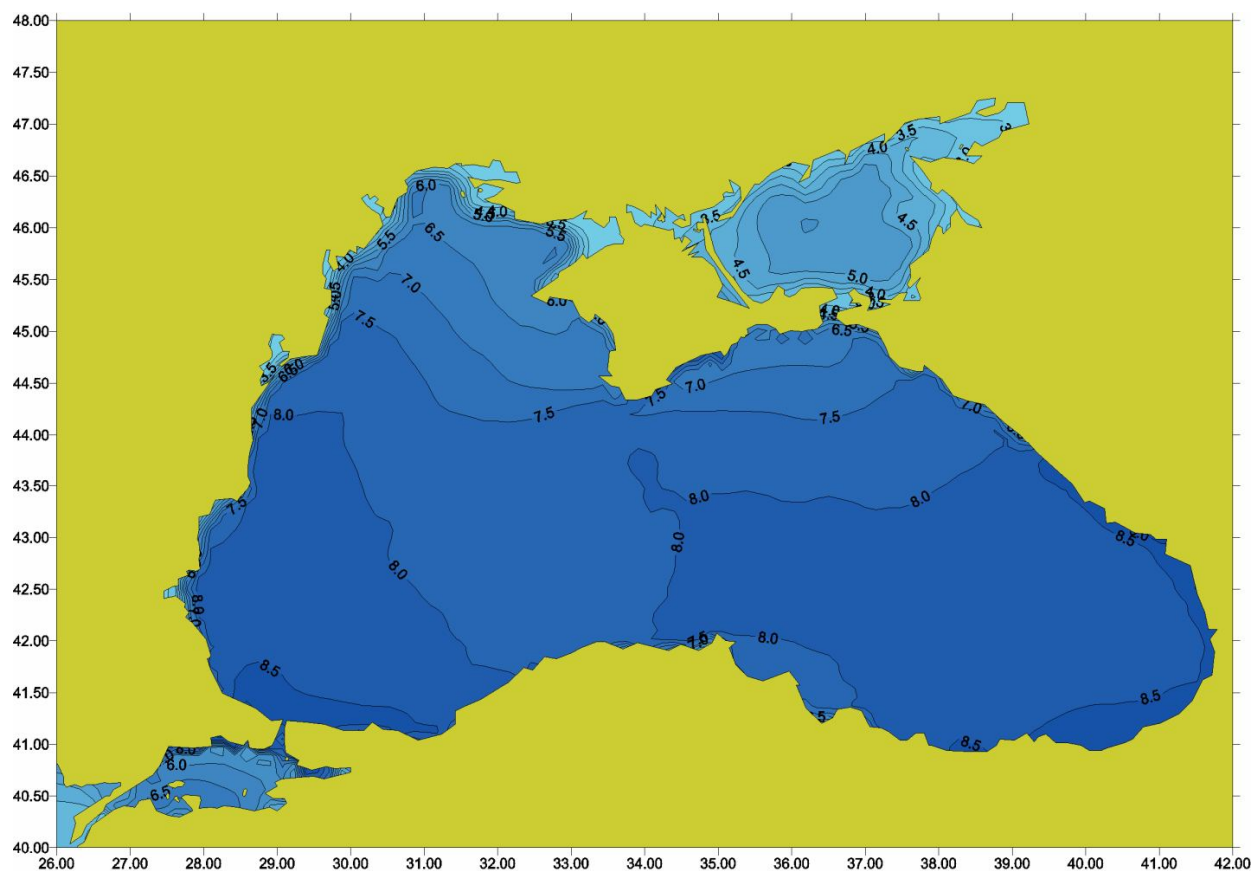


Рис.5 Средние периоды волн, возможные раз в год в Азово-Черноморском бассейне (по данным за 2014 г)

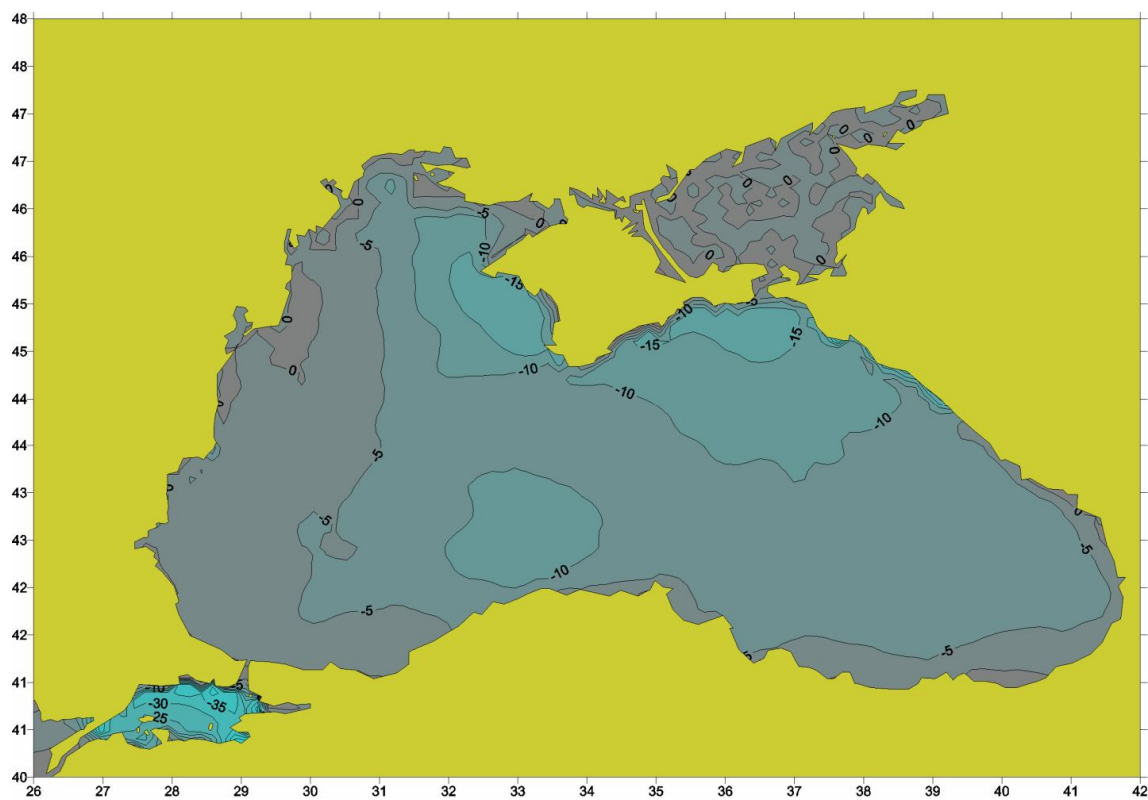


Рис.6 Различие в % между средними периодами волн, возможными раз в год в среднем за 1979-2013 гг. и по данным за 2014 г в Азово-Черноморском бассейне

Наибольшие изменения в режиме ветрового волнения в 2014 году (рис. 8) произошли в направлении ветрового волнения (напомним, что оно отсчитывается в компас). В среднем (рис.7) направление ветрового волнения по всему архиву данных имеет северо-восточное направление для западной акватории моря. Северное направление характерно для центральной акватории и северо-западное, западное и юго-западное для восточной его части. В 2014 году (рис.9) произошел общий разворот волнение направо (при этом для отдельных акваторий это изменение достигало 60°) и только в акватории прилегающей к Керченскому проливу волнение отклонилось налево. Северо-восточным направлением была охвачена не только западная часть моря, но и его северная часть. В целом, данный тип волнения был характерен до 60-х годов 20 века, когда зимой норд-ост доминировал над всей северо-западной частью моря. Граница этого доминирования проходила по линии Новороссийск-Босфор.

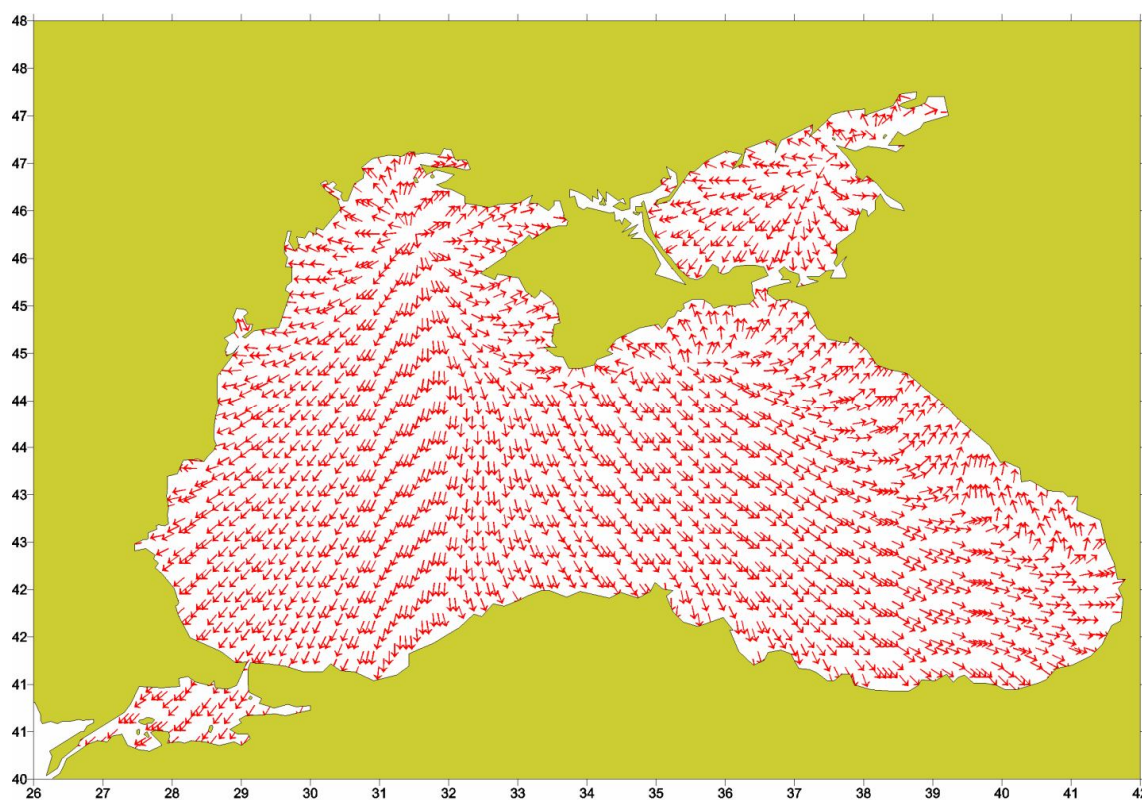


Рис.5 Среднее направление волн в Азово-Черноморском бассейне (по данным за 1979 - 2013 гг)

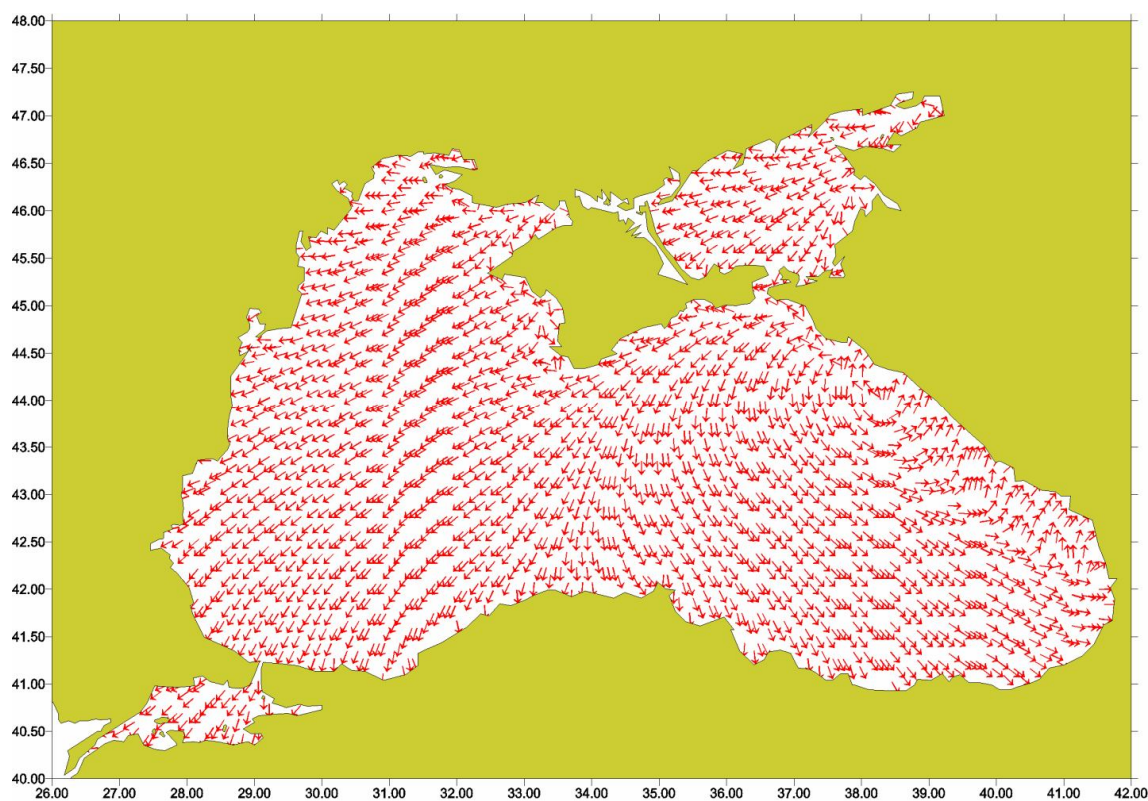


Рис.6 Среднее направление волн в Азово-Черноморском бассейне (по данным за 2014 г)

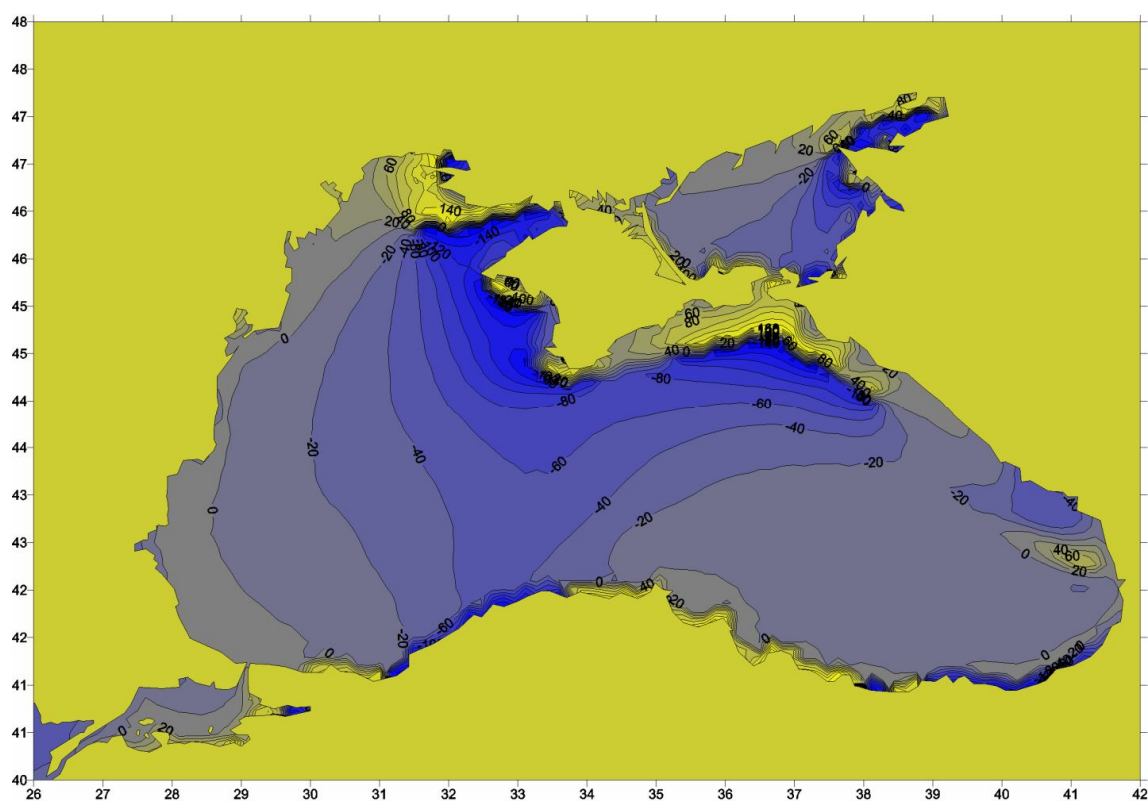


Рис.6 Различие в среднем направлении волн по данным за 2014 г и за 1979 - 2013 гг. в

Азово-Черноморском бассейне (синим цветом и знаком – отмечено изменение направления направо, желтым цветом и знаком + отмечено изменение направления налево)

Оценки изменчивости уровня Азовского моря

(Ю.Г. Филиппов)

Методика расчета и прогноза уровня Азовского моря, разработанная в ГОИНе, основывается на решении системы уравнений для длинных волн в однородной несжимаемой жидкости в поле силы Кориолиса:

$$\begin{aligned}\partial u / \partial t - f v &= -(H+h) g \partial h / \partial x + \tau_x^w - \tau_x^b \\ \partial v / \partial t + f u &= -(H+h) g \partial h / \partial y + \tau_y^w - \tau_y^b, \\ \partial h / \partial t + \partial u / \partial x + \partial v / \partial y &= 0\end{aligned}\tag{1}$$

с граничным условием непротекания на твердом контуре моря. Здесь u, v - составляющие полного потока, $\vec{u} = (u, v)$; h - отклонение уровня от невозмущенного состояния; f - параметр Кориолиса; $\tau_{x,y}^b$ и $\tau_{x,y}^w$ - трение о дно моря и ветровое трение; H - начальная глубина места.

Трение определяется, как обычно, пропорциональным квадрату скорости. Стратификация атмосферы принимается наиболее вероятной - равновесной или слабо неустойчивой [1]. Используемая в расчетах численная схема описана, в основном, в работе [2].

Расчетная область охватывает Азовское море с Таганрогским заливом, Керченский пролив и прилегающий шельфовый район Черного моря. Таким образом, южная граница расчетной области находится в Черном море в районе изобаты 100 м. На этой границе ставилось условие свободного протекания.

На рис 1 -4 представлены результаты расчетов уровня моря за средние месяцы сезонов 2014 года в районе Таганрога, наиболее крупного порта Азовского моря. Данные представлены в системе ГВО СССР. По горизонтальной оси отложены дни месяца, по вертикальной – уровень моря в см.

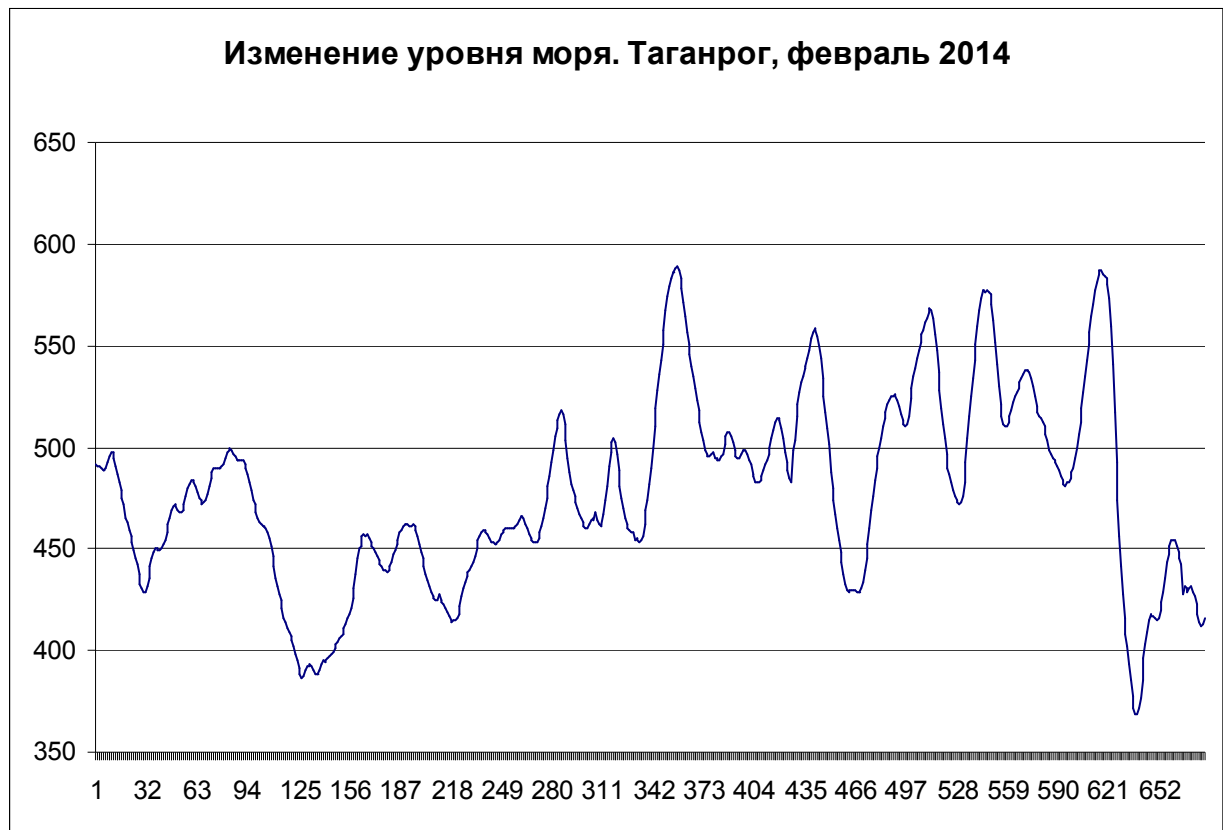


Рис 1

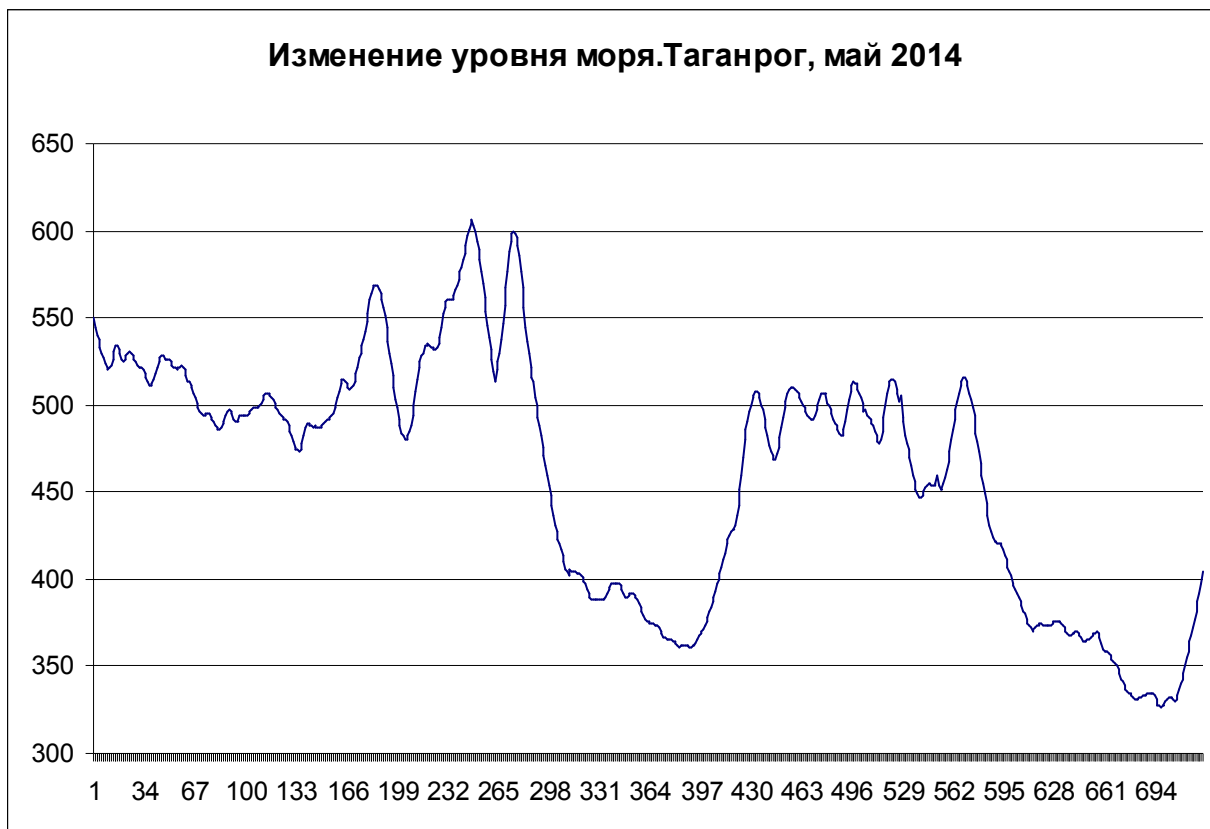


Рис 2

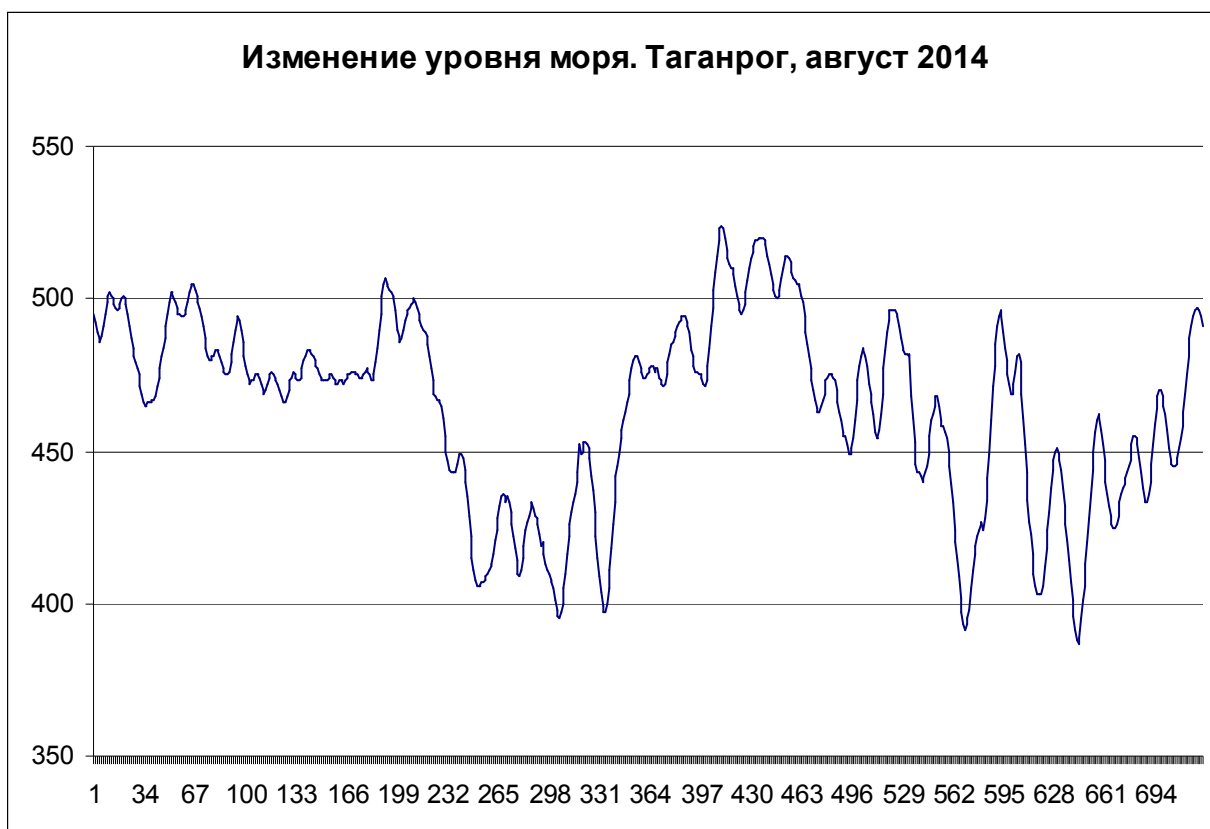


Рис 3

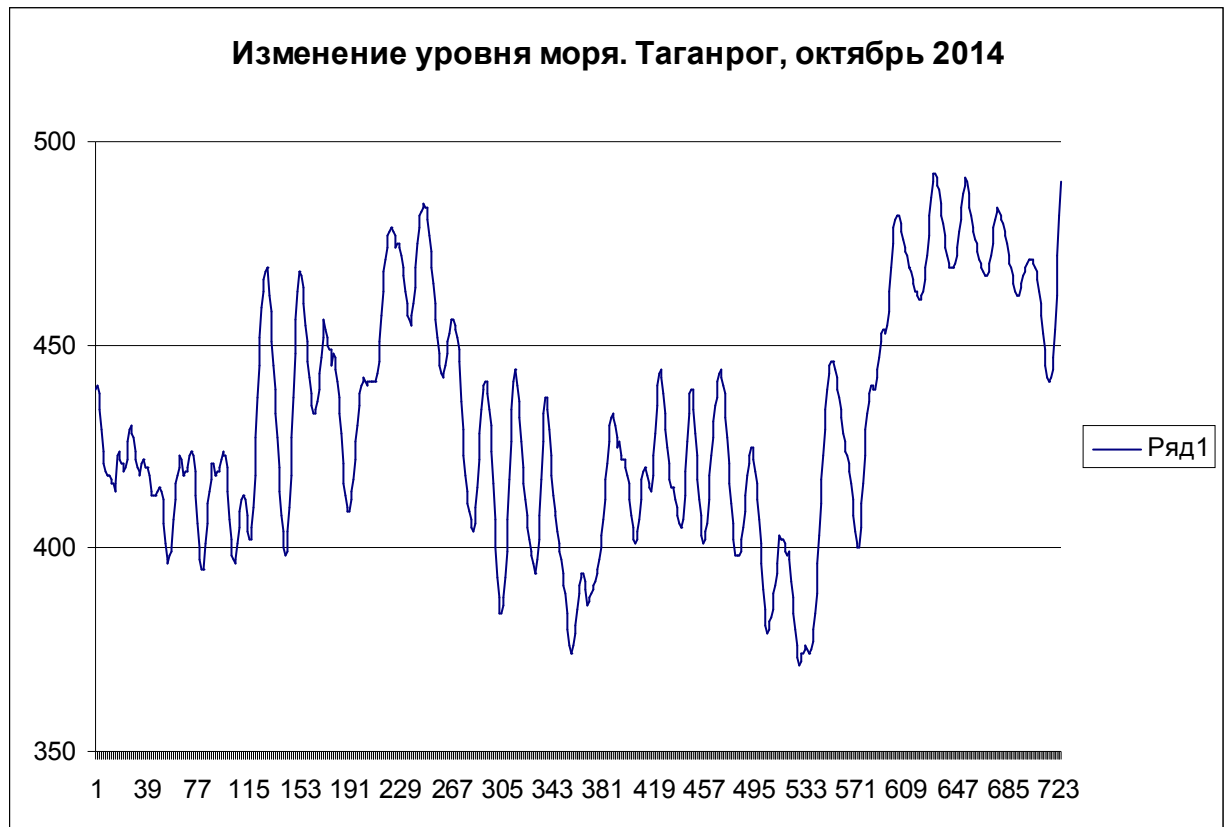


Рис 4

Из рисунков видно, что наиболее штормовыми были весенние месяцы. Это подтверждают и данные о средних месячных уровнях моря (рис 5).

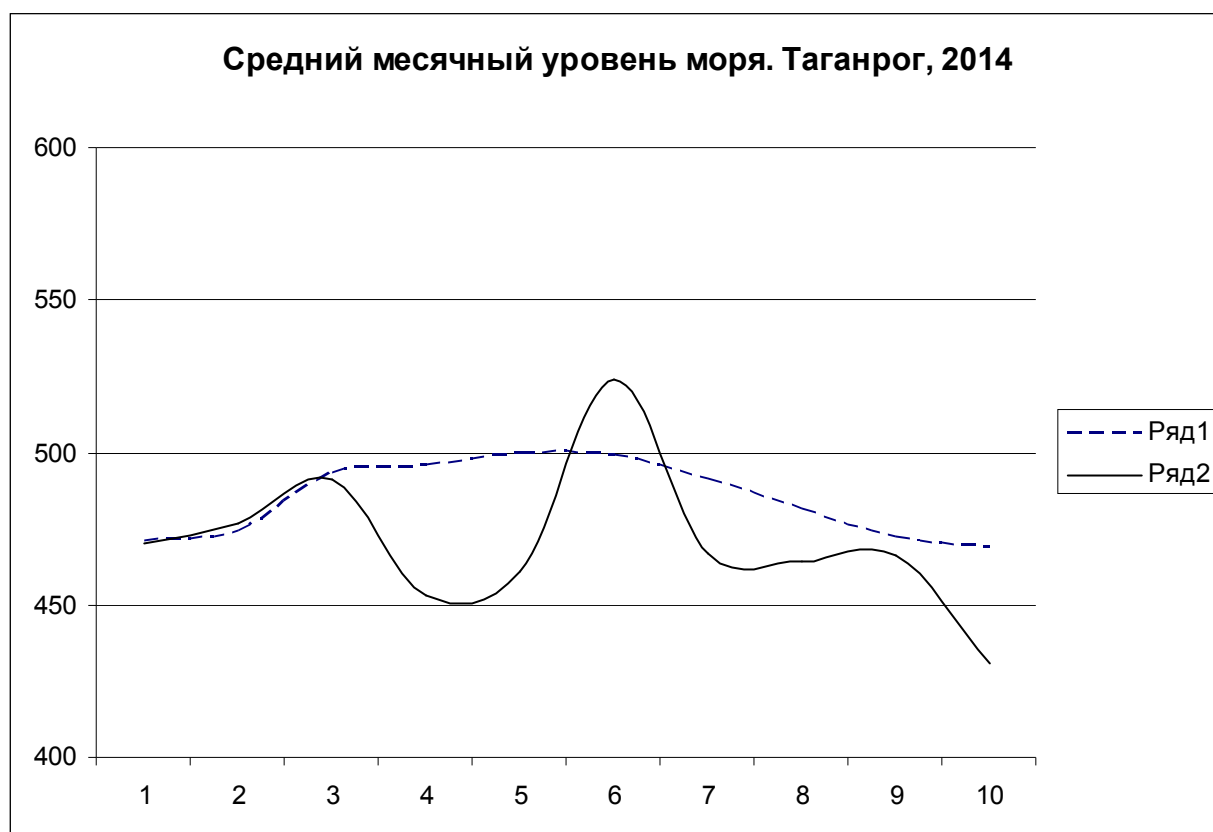


Рис 5

На рис 5 представлен график изменения рассчитанных средних месячных значений уровня моря в районе Таганрога в 2014 г.(ряд 2). По горизонтальной оси здесь отложены номера месяцев. Отсутствие данных в ноябре и декабре объясняется частыми сбоями ЭВМ и переходом на другую систему подготовки ветровых данных. Ряд 1 показывает среднемесячный уровень моря в Таганроге по данным наблюдений за десять последних лет (2004 – 2013 гг). Уменьшение уровня моря в Таганрогском заливе в апреле – мае и во второй половине года связано было с усилением ветров восточных направлений.

Максимальный подъем уровня в восточной части моря в 2014 г наблюдался 24 сентября

(Рис 6). В результате сильного западного ветра в Таганроге уровень достиг экстремальной отметки 798 см, в Ейске 656 см, в Приморско-Ахтарске 690 см ГВО.

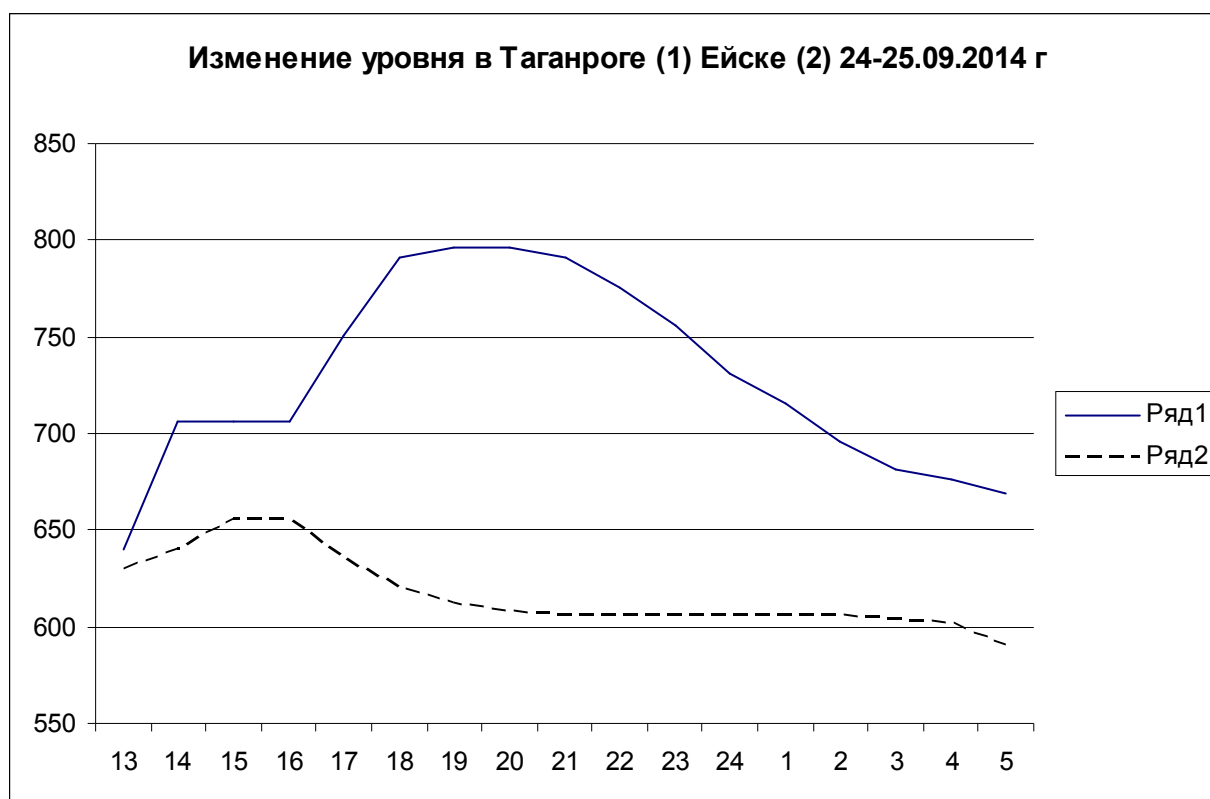


Рис 6.

Нагонный уровень 24 сентября 2014 г превысил критическую отметку в Таганроге на 218 см, в Ейске на 56 см, в Приморско-Ахтарске – на 160 см. В Таганроге такой уровень является наибольшим за весь период наблюдений. В Приморско –Ахтарске уровень выше был отмечен только однажды – в 1923 г и составил тогда 724 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соркина А.И. Построение карт ветровых полей для морей и океанов. Труды ГОИН, вып.44, М., Гидрометеиздат, 1958, с.75.
2. Филиппов Ю.Г. Гидродинамические расчеты нагонов на восточном побережье Северного Каспия. Труды ГОИН. Юбилейный выпуск 2, М, 1995, с.147-154.
3. Ю.Г. Филиппов О влиянии стока р.Дон на уровень воды в Таганрогском заливе.// Метеорология и гидрология, 2015, N2, с. 76-80.