

Remote sensing

Дистанционные методы измерений в океане



В.М. Кушнир
С.В. Федоров
Л.А. Петренко
Морской гидрофизический институт
Национальной академии наук Украины

Севастополь

Шторм в Керченском проливе
Фото: Игорь Альхимович

РЕАКЦИЯ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА НА ИНТЕНСИВНЫЙ ЦИКЛОН 10-11 НОЯБРЯ 2007 ГОДА

по данным дистанционного зондирования

10-11 ноября 2007 года в Азово-Черноморском бассейне в результате экстремальных штормовых условий произошли драматические события. Подобные природные явления происходят в регионе каждые несколько лет. Представляет определенный интерес обобщение максимально возможного количества данных, связанных с реакцией Черного и Азовского морей на сильные атмосферные возмущения с целью минимизации их негативных последствий. Материал посвящен анализу и некоторой систематизации соответствующих данных, главным образом, на основе результатов дистанционного зондирования.

В Керченском проливе в районе российского порта «Кавказ» из-за сильного шторма 11 ноября затонуло четыре судна – сухогрузы «Вольногорск», «Нахичевань», «Ковель», «Хадж-Измаил» (Грузия). Шесть судов сорвались с якорей и сели на мель, получили повреждения два танкера («Волгонефть-139» и «Волгонефть-123»). Всего сигналы SOS передали двадцать судов. В

море попало около 1300 тонн мазута и около 6800 тонн серы [2].

Поля скорости ветра, относящиеся к 10-11 ноября 2007 года, получены на основе данных системы SCERON как синтез результатов всех доступных измерений (главным образом, спутниковых скатерометров типа QuickSCAT) и современной атмосферной модели.

Представлена обобщенная информация о полях скорости ветра, дрейфовых течениях, параметрах поверхностных волн и отдельные данные об оптических характеристиках, связанных с этим явлением.

Причиной экстремального шторма в Азово-черноморском бассейне стала активная фронтальная зона, протянувшаяся в меридиональном направлении

через западную часть европейской территории. На возмущенной фронтальной зоне сформировался очень активный южный циклон, который принес на территорию Украины целый комплекс опасных явлений. Так, западные-северо-западные ветры на западном побережье Крымского полуострова достигали 28 м/с, а шторм на море стал причиной крушения в Керченском проливе свыше 10-ти судов. Глубокий циклон, который сформировался северо-западнее Черного моря, в течение 10-11 ноября перемещался в восточном, северо-восточном направлении. На рисунке 2 показан космический снимок облаков (сканер MODIS/Terra, канал 0,469 мкм), структура которых показывает, что к 9-ти часам GMT или к 11-ти часам местного времени центр циклона находился севернее Азовского моря, при этом район наиболее сильного ветра охватывал Азовское море и Керченский пролив.

На рисунке 3 показаны распределения векторов скорости ветра в последовательные моменты времени 10-11 ноября, охватывающие период от увеличения скорости до максимальных значений около 29 м/с и до ее уменьшения после прохождения циклона. По этим распределениям можно проследить изменение области экстремальной скорости ветра, в том числе ее положение ночью и в первой половине дня 11 ноября 2007 года, когда шторм и большие волны обрушились на Севастополь (рис. 4). Примерно в это же время область экстремальных значений скорости ветра была вблизи от Керченского пролива, где произошли крушения большей части судов.

Распределения значительных высот волн, вычисленные для этих же моментов времени по численной модели третьего поколения SWAN [6], показаны на рисунке 5. Видно, что полоса штормовых волн перемещалась из северо-западной части Черного моря в его центральную часть по мере перемещения центра циклона. Высоты волн достигали 9-10 м. Такие высоты волн наблюдались в южной части Керченского пролива в первой половине дня 11 ноября, как это хорошо видно на рисунке. В Азовском море в это время высоты волн не превышали 2-3 м.

Поля поверхностных течений, индуцированных ветром, показаны на рисунке 6. Расчеты проводились по модели



Рис. 1. Карта Керченского пролива

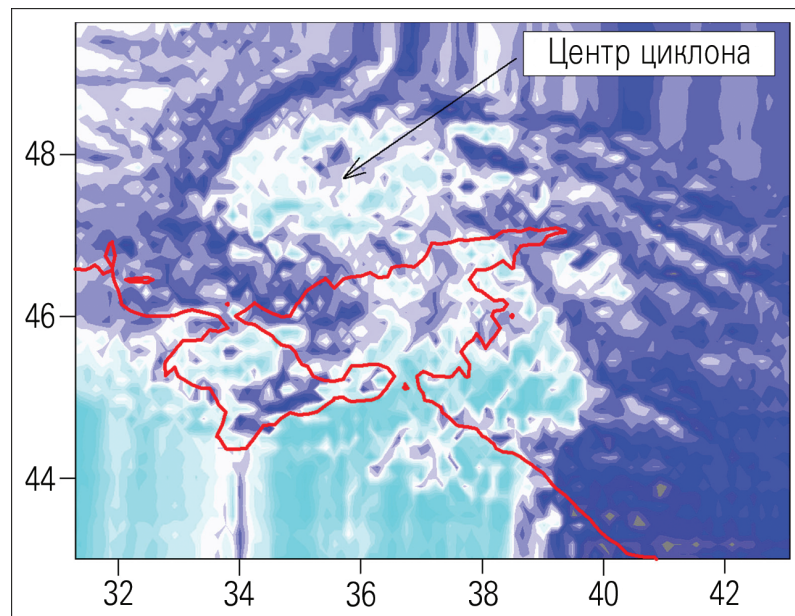


Рис. 2. Положение центра циклона 11 ноября 2007 года в 09.00 GMT по данным цветового сканера MODIS/Terra на длине волны 0,469 мкм

Мадсена [5]. В этой модели верхний квазиоднородный слой рассматривается как некоторый аналог логарифмического пограничного слоя на вращающейся поверхности, а соответствующая

зависимость коэффициента турбулентной вязкости от расстояния имеет следующий вид:

$$K_m = \kappa u_* z, \quad (1)$$

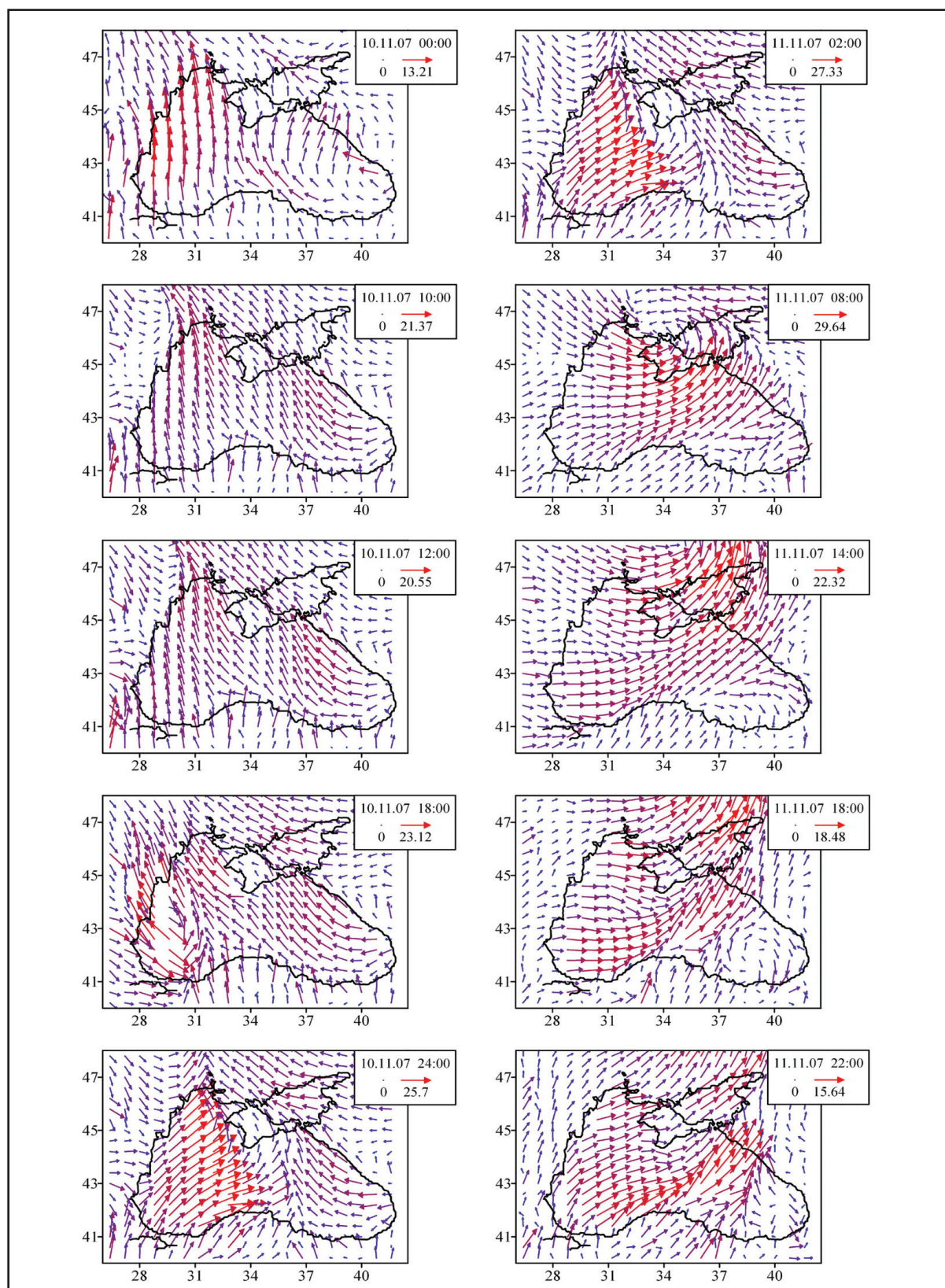


Рис. 3. Поле скорости ветра в последовательные моменты времени



Рис. 4. Волны в Севастопольской бухте 11 ноября 2007 года

Где $K = 0,41$ – постоянная Кармана, $u_* = u_{*a} \sqrt{\rho_a / \rho}$ – динамическая скорость (скорость трения) на поверхности моря, ρ_a – плотность воздуха, ρ – плотность воды, $u_{*a} = \sqrt{\tau_a / \rho_a}$ – динамическая скорость в приводном слое воздуха, τ_a – тангенциальное напряжение на поверхности моря, которое зависит от скорости ветра следующим образом $\tau_a = (0.0605W + 0.84) \cdot 10^{-3} \rho_a W^2$. Динамическую скорость на поверхности моря также можно выразить через скорость ветра W : $u_* = 0.008W$ [1, 2, 6]. z – расстояние от нижней границы пограничного слоя.

Уравнения для составляющих скорости течения записываются следующим образом: $\frac{\partial U}{\partial t} + i f U = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial U}{\partial z} \right)$, (2)

где $U = u + i v$,

$$\langle u'v' \rangle = u_*^2 = K_m \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{0.5},$$

f – параметр Кориолиса. В соотношении (2) u, v – составляющие скорости течения вдоль осей ox, oy системы координат, в которой ось oy направлена вдоль направления ветра, ось ox – образует с осью oy правую декартову систему координат, вертикальная ось oz направлена вертикально вверх от нижней границы пограничного слоя или от поверхности дна, если глубина меньше слоя ветрового перемешивания.

Умножение левой и правой частей (2) на комплексно-сопряженную величину $U^* = u - i v$ и последующие простые преобразования приводят к следующему соотношению для кинетической энергии K :

$$\frac{\partial K}{\partial t} = \kappa u_* \left(\frac{\partial K}{\partial z} + z \frac{\partial^2 K}{\partial z^2} \right), \quad (3)$$

с граничными условиями:

$K = K_s = 0,5(u_s^2 + v_s^2)$ при $z = l_m = \kappa u_* / f = 3,66W / \sin \varphi$ [5], $K = 0$ при $z = 0$.

$$v_s = \frac{u_*}{\kappa} \left[\ln \left(\frac{l_m}{z_s} \right) - 1,15 \right], \quad u_s = \frac{\pi u_*}{2\kappa}$$

– составляющие вектора скорости поверхностного течения вдоль скорости ветра и под углом 90° , z_s – шероховатость поверхности моря, которая зависит от скорости ветра как $z_s = 6 \cdot 10^{-7} W^{2.53}$, м.

Масштаб времени T_w реакции верхнего слоя моря при резком изменении скорости ветра определяется из уравнения (3) и равен

$$T_w = \frac{l_m}{\kappa u_*} = \frac{1}{f}, \quad \text{если } H > l_m,$$

$$\text{и } T_w = \frac{H}{\kappa u_*}, \quad \text{если } H < l_m. \quad (4)$$

Глубина перемешивания l_m зависит от скорости ветра следующим образом (см. Таблицу):

Скорость ветра, м/с	Глубина слоя перемешивания l_m , м
10	61
15	102
20	146
30	244



Нерченский пролив. 10-11 ноября 2007 года. Источник фотографий: <http://kaktebelecirimea.ru/index.php/topic,1920.html>

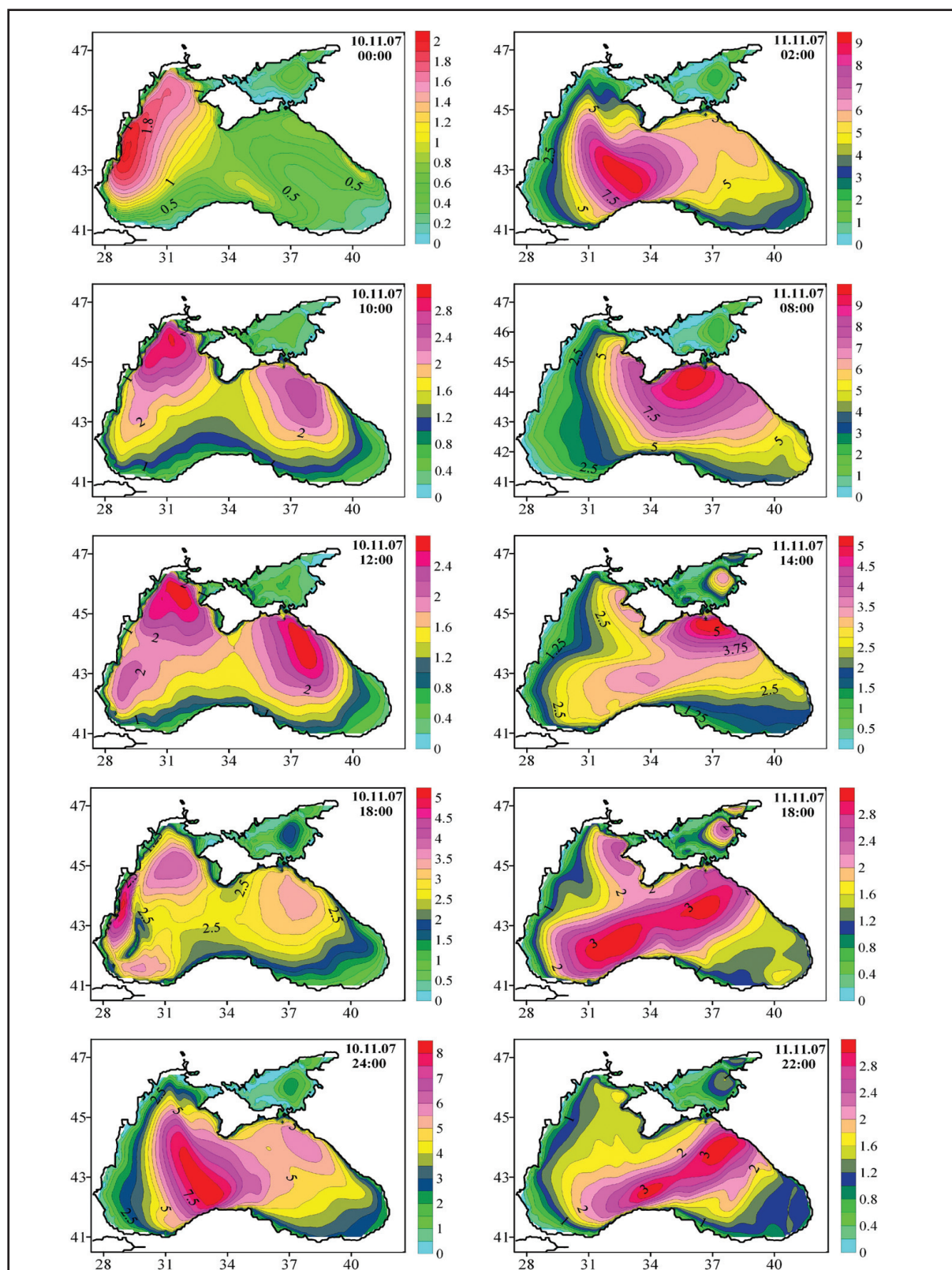


Рис. 5. Пространственное распределение значительных высот волн (высоты волн 3% обеспеченности) в последовательные моменты времени

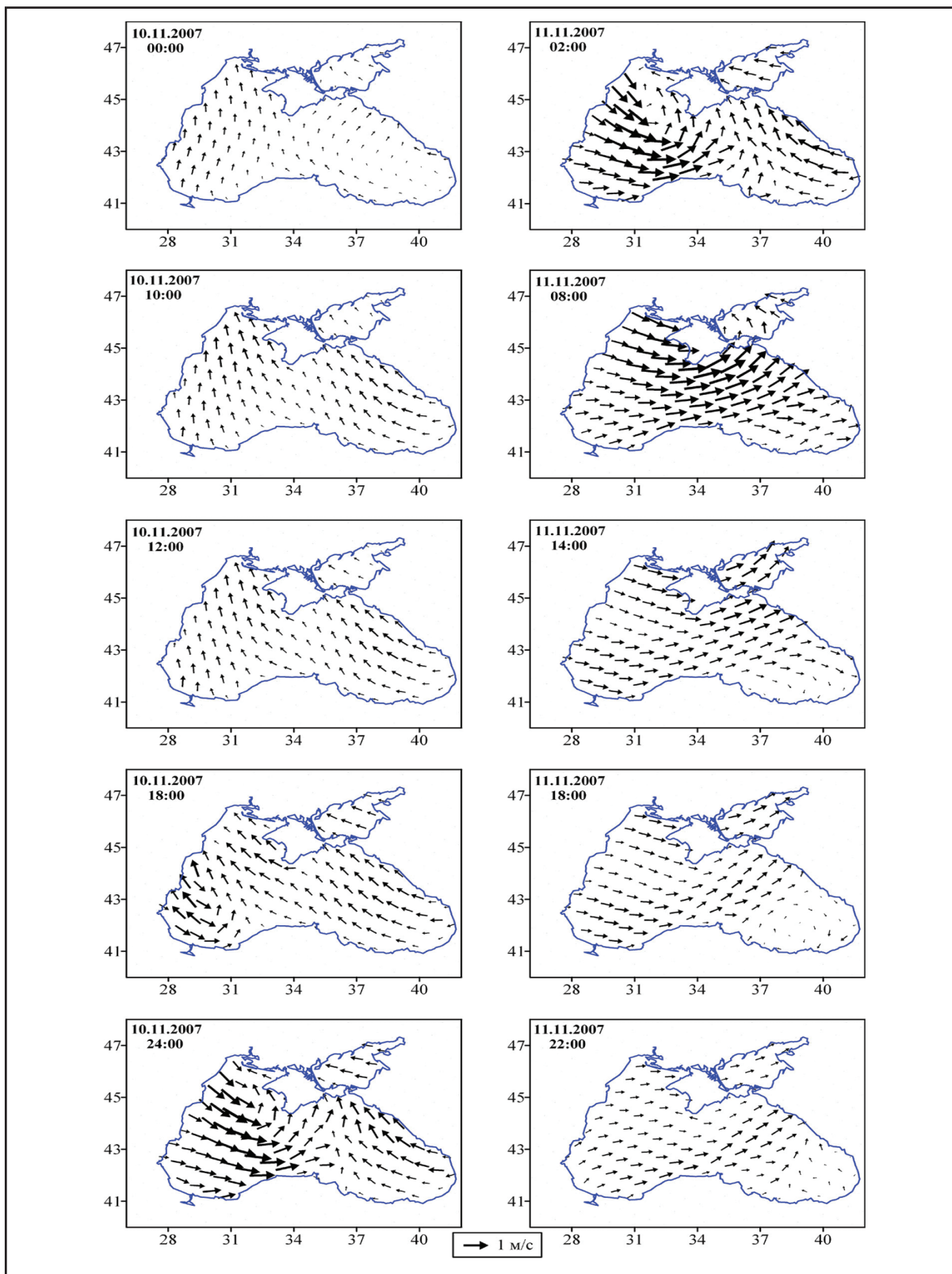


Рис. 6. Поверхностные течения 10-11 ноября 2007 года (модель Мадсена). Масштаб скорости, общий для всех представленных полей, показан в нижней части рисунка

Дистанционные методы измерений в океане

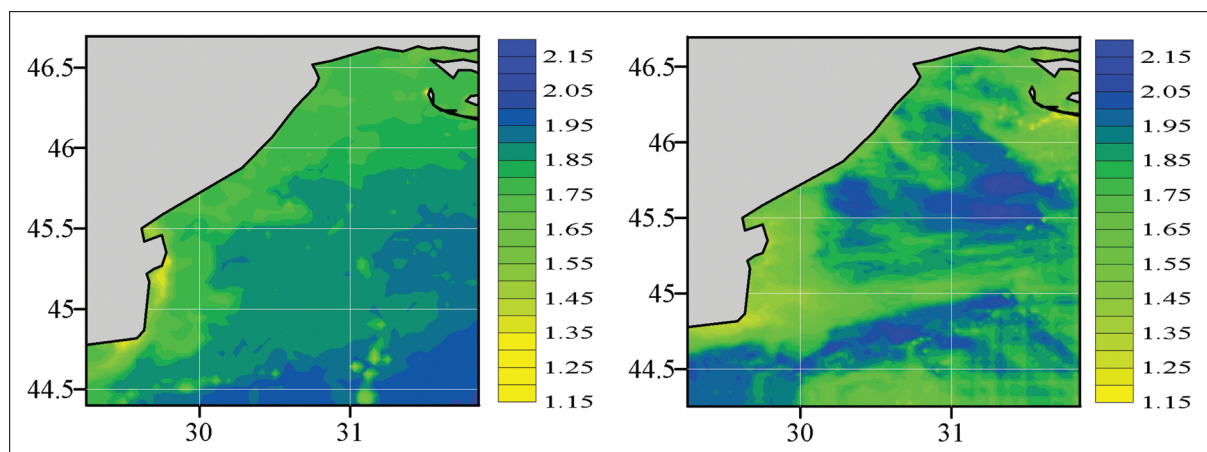


Рис. 7 Пространственное распределение оптических контрастов северо-западного района Черного моря до шторма (левый рисунок) и спустя три дня после его окончания

Таким образом, в шельфовых мелководных районах Азово-черноморского бассейна, величина lt может быть больше глубины моря в данной точке. В этом случае, время реакции верхнего слоя моря меньше инерционного периода, как это следует из соотношения (4). В Азовском море, средняя глубина которого равна 8 м, эта величина при скоростях ветра в диапазоне 15-30 м/с изме-

няется от 1,33 до 0,6 ч соответственно. Во время экстремального шторма в мелководных районах волны подняли со дна взвесь из грязи и ила, что значительно увеличило мутность воды. Для иллюстрации этого явления на рисунке 7 приведены оптические контрасты $I_t(\lambda_1, \lambda_2) = L_t(\lambda_1) / L_t(\lambda_2)$, $\lambda_1 = 0,469 \mu m, \lambda_2 = 0,555 \mu m$, вычисленные на основе спутниковых снимков се-

веро-западной части Черного моря за две недели до шторма (левый рисунок) и спустя три дня после его окончания. К сожалению, во время шторма сплошная облачность не позволила получить снимки оптических характеристик водной среды. На приведенных рисунках хорошо виден эффект взмучивания (соответствует меньшим значениям lt) мелководной части моря и полоса мутной воды, вытяну-



Шторм в Керченском проливе. Фото: Игорь Альхимович

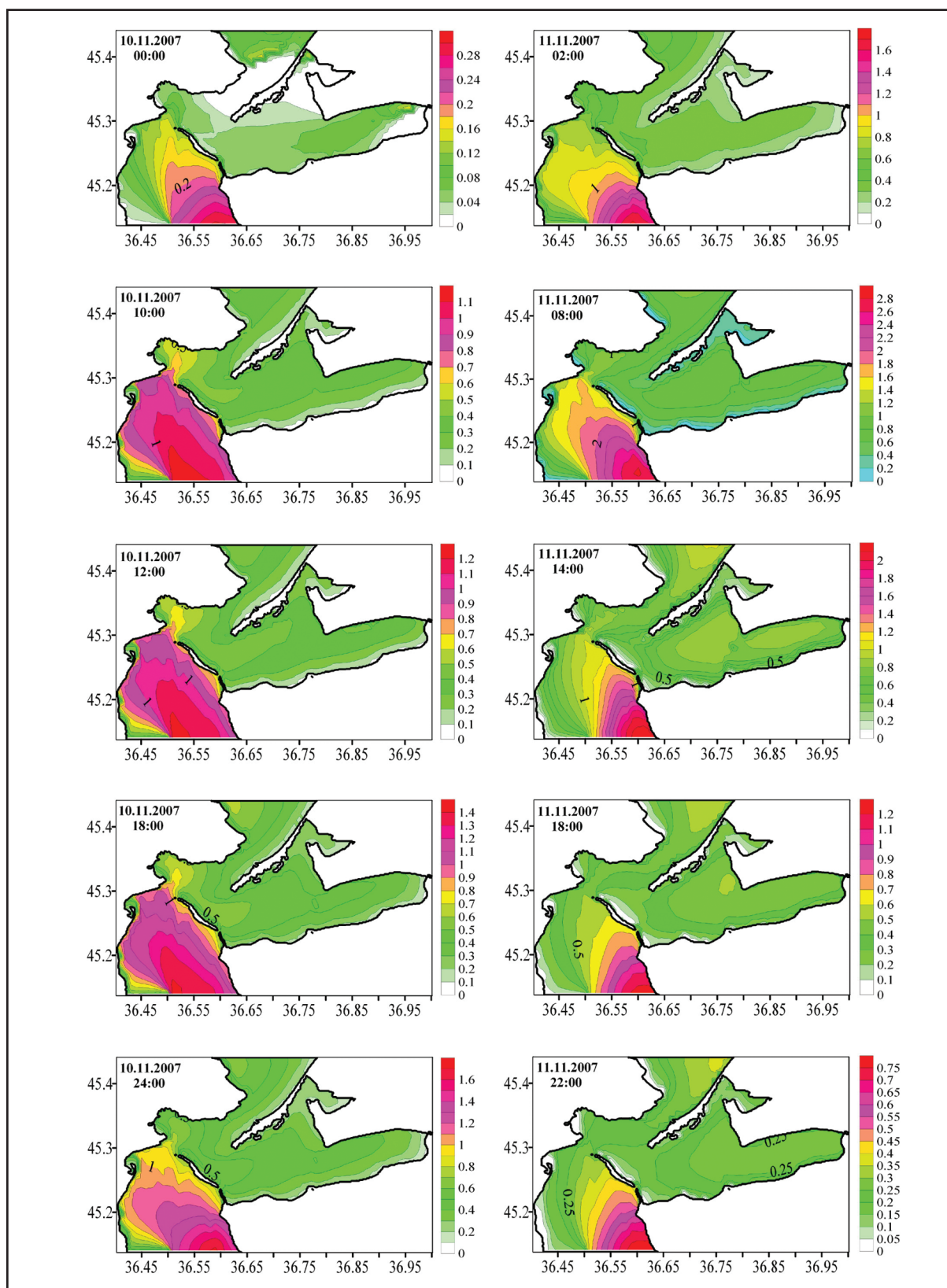


Рис. 8. Высоты волн 3% обеспеченности в Керченском проливе в последовательные моменты времени



Керченский пролив. 10-11 ноября 2007 года. Источник фотографий: <http://koktebel.ecrimea.ru/index.php/topic,1920.html>

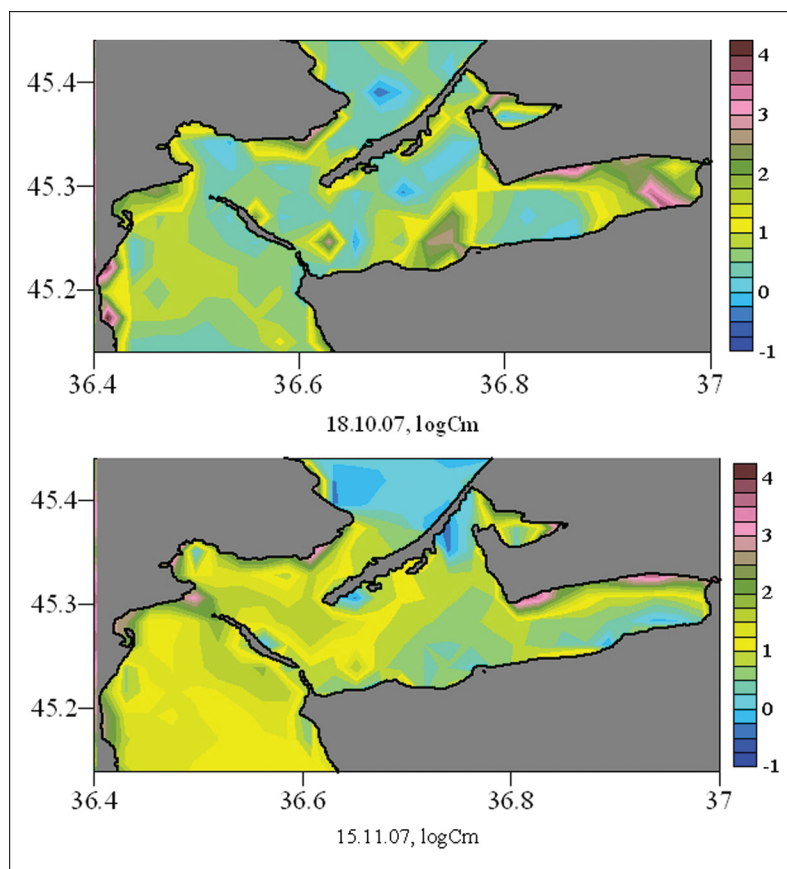


Рис. 9. Распределение $\log$ концентрации взвеси в Керченском проливе до шторма и спустя три дня после его окончания. Вблизи острова Тузла концентрация взвеси увеличилась от 3-4 г/м³ до 60-100 г/м³

тая от устья Дуная к западному берегу Крыма, где, по рассказам очевидцев, берега были завалены водорослями, мусором и донным материалом.

Керченский пролив во время циклона стал ареной наиболее драматических событий. Для этого района были вычислены высоты волн с обеспеченностью 3% (рис. 8). При расчетах использовался метод «вложенных сеток», в соответствии с которым граничные условия для численного решения уравнений прикладного пакета SWAN определялись на границах пролива по данным расчетов поверхностных волн для всего Азово-черноморского бассейна.

Видно, что максимальные высоты волн отмечались в первой половине дня 11 ноября и достигали в южной части пролива 2,8-3 м при скорости ветра в это же время до 28-30 м/с. В центральной части пролива, южнее острова Тузла, высоты волн были равны 2-2,4 м, а севернее этого острова – в пределах 1,2-1,4 м.

Интенсивные поверхностные волны и

течения способствовали интенсификации литодинамических процессов в Керченском проливе. Об этом можно судить по изменению концентрации взвеси вблизи острова Тузла, которые характерны для относительно спокойных условий и после описываемых событий. Для иллюстрации на рисунке 9 приведены распределения $\log$ концентрации взвеси, вычисленные по данным цветового сканера системы MODIS 18 октября (спокойные условия) и 15 ноября (спустя 3 дня после шторма).

Таким образом, современные методы и средства дистанционного зондирования морской поверхности в совокупности с прикладными пакетами для расчетов атмосферных процессов, поверхностных волн и течений обеспечивают получение подробной и всесторонней информации об экстремальных явлениях в Азово-черноморском бассейне. Эти же методы могут использоваться для прогноза таких явлений и их последствий.

Литература

1. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. – М.: Мир, 1988. – 325 с.
2. <http://www.glavred.info/archive/2007/11/12/124202-3.html>
3. <http://www.morskayakollegiya.ru/news/>
4. <http://www.sevinform.com/news/index%5B5031%5D%.html>
5. Madsen O.S. A Realistic Model of the Wind-Induced Ekman Boundary Layer // J. Physical Oceanography. – 1976. – Vol. 7. – P. 248-255.
6. SWAN. Technical documentation. – Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Environmental Fluid Mechanics Section. – 2006. – P. 88. – <http://www.uidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm>

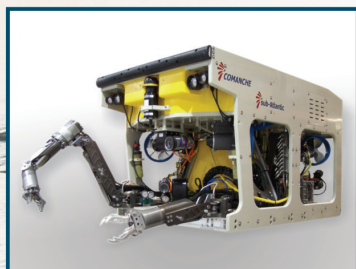


Шторм в Керченском проливе. Фото: Игорь Альхимович

Абсолютная безопасность и надежность. Неограниченные возможности. Изучение, освоение, выполнение подводных работ.

Компания ДайвТехноСервис, специализирующаяся на комплексных поставках снаряжения и оборудования для подводно-технических работ, расширяет модельный ряд поставляемой продукции.

В апреле 2007 года компания Sub-Atlantic вошла в холдинг Triton Group, объединяющий компании, специализирующиеся на технологиях удалённых работ и управления. Благодаря этому слиянию были объединены усилия ведущих инженеров отрасли, а компания Дайвтехносервис получила возможность поставлять на российский рынок, помимо продукции Sub-Atlantic, гидравлические аппараты компании Perry Slingsby Systems.



Sub-Atlantic Comanche

- Макс. глубина - до 6000 м
- Масса, кг - 1130
- Возможность установки двух манипуляторов рабочего класса
- Макс. тяга осевая/лаговая/вертикальная, кгс - 225/225/195

ТПА Comanche первый аппарат лёгкого рабочего класса, поставлен весной 2008 г. в Россию на Дальний Восток. С начала производства (2006г.) изготовлено и успешно введено в эксплуатацию 11 аппаратов. Не имеет конкурентов среди ТПА электрического класса!

PSS Triton XLS 150

- Макс. глубина - 3000 м.
- Масса, кг - 4400
- Мощность гидравлической станции, л.с. - 150
- Макс. тяга осевая/лаговая/вертикальная, кгс - 460/460/600

За свою более чем тридцатилетнюю историю компанией Perry Slingsby поставлено более 500 телеуправляемых аппаратов, в том числе, на крупнейшие объекты нефтегазовой инфраструктуры по всему миру. Аппараты успешно работают как в тропических широтах, так и в экстремальных условиях крайнего севера.

ТПА производства Perry Slingsby Systems являются эталоном надежности. В эксплуатации находятся ТПА, изготовленные 25 лет назад!



**Опыт и Знания
для Вашей
Безопасности**

С-Пб, пр. Кима, д.22
тел.: (812) 350 9544, 323 9034
факс: (812) 350 0786
www.diveservice.ru