

УДК 551.5, PACS 92.60.-e

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ HARMONIE ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДИНАМИКИ ВОД В ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНАХ МОРЯ

С. В. Иванов, И. Г. Рубан, Ю. С. Тучковенко

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, science@odeku.edu.ua*

Рассматривается возможность использования конвективно-разрешающей атмосферной модели Harmonie для задания условий на верхней границе расчетной области численных гидродинамических моделей морской среды. Дано описание основных блоков и конфигураций атмосферной модели, компьютерной реализации на вычислительных ресурсах Европейского центра среднесрочных прогнозов, а также пространственно-временных параметров прогонки модели. Представлены результаты численного эксперимента над акваторией северо-западной части Черного моря и прилегающими областями суши для сложных синоптических условий и высоких скоростей ветра в зимний период. Показаны возможности использования модели для воспроизведения мезомасштабных особенностей циркуляции атмосферы над заливами и вдоль береговой черты, таких как струйные течения нижних уровней, термические градиенты над границей раздела между различными типами подстилающей поверхности, сдвиг ветра над береговой чертой. Перечислены преимущества использования модели Harmonie при задании верхних граничных условий в задачах моделирования гидрофизических и гидродинамических процессов в прибрежных районах моря.

Ключевые слова: атмосферная модель HARMONIE; верхние граничные условия; прибрежные акватории; мезомасштабные особенности циркуляции; сложные погодные условия

1. ВВЕДЕНИЕ

С 80-х годов прошлого столетия оперативные прогнозы состояния атмосферы, подстилающей поверхности суши, морей и океанов, выполняются исключительно с использованием численных моделей. За этот период достигнуты неоспоримые успехи в прогнозировании крупномасштабной циркуляции атмосферы и океана. На повестке дня стоит совершенствование численного описания мезомасштабных особенностей обеих сред. При решении прикладных задач морского природопользования важно знать состояние ветрового волнения на акватории, особенности прибрежной динамики вод и изменчивости уровня моря, пространственную структуру полей температуры и солёности, включая вертикальную стратификацию этих величин, а также определяемые этими характеристиками распределения различных химико-биологических показателей качества морской среды. Подходы к решению таких задач рассматривались в ряде работ. Например, в статье [1] с применением баротропного варианта многоуровневой модели, основанной на примитивных уравнениях и моно-

тонизированной разностной схеме, исследовались ветровые и стоковые течения для зимне-весеннего сезона с разрешением 6,1 км по оси x и 4,6 км по оси y . Показано, что существенную роль в формировании циркуляции вод играют рельеф дна и динамический эффект речного стока. В работах [2, 3] с использованием многослойной квазиизопикнической модели изучалась сезонная изменчивость термогидродинамических полей в северо-западной части Черного моря и Каламитском заливе с разрешением 9,35 км по оси x и 9,27 км по оси y . В статье [4] описана численная гидродинамическая модель прибрежной циркуляции вод, адаптированная к условиям Одесского и Приднепровско-Бугского районов. Приведены результаты имитационных расчетов изменчивости термохалинной структуры и циркуляции вод с заданными из наблюдений температурой воздуха, скоростью и направлением ветра для марта – августа 1986 г. В работе [5] с применением u -координатной модели исследовались волновые поля, генерируемые атмосферными возмущениями типа циклонов на северо-западном шельфе. Для расчета и прогноза трехмерной структуры циркуляции вод в усло-

виях мелкой воды используется модифицированный вариант имитационной гидродинамической модели MECCA (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) [6]. Описание математической структуры этой модели, а также результаты ее адаптации к некоторым районам СЗЧМ приведены в работах [5, 7].

Фактором, существенно ограничивающим пространственную детализацию воспроизведения при моделировании особенностей динамики вод и изменчивости гидрофизических характеристик морской среды в прибрежных районах, остается задание верхних граничных условий. Другими словами, возрастает роль описания процессов взаимодействия атмосферы с морской поверхностью на мезомасштабах. Прежде всего, это касается полей и вертикальных профилей ветра, температуры и влажности в атмосфере, которые на временных масштабах до нескольких суток являются ведущими при взаимодействии двух сред.

Современные оперативные региональные модели атмосферы могут использовать высокое пространственное разрешение с адаптированными параметризациями физических процессов. Среди таких моделей следует отметить GME/COSMO [8, 9, 10], IFS/HIRLAM-HARMONIE [11], глобальную/региональную конфигурацию UKMO [12, 13], GEM/GEM-LAM [14, 15]. Результаты исследований в этом направлении для Черного моря с использованием модели WRF представлены в [16].

Целью данной работы является демонстрационный показ возможностей атмосферной модели Harmonie в воспроизведении мезомасштабных, до нескольких километров, особенностей циркуляции атмосферы в прибрежных мелководных районах со сложной береговой чертой, и акцентирование преимуществ модели перед другими аналогами. В частности, приведены результаты адаптации конвективно-разрешающей модели HARMONIE-AROME для прибрежных участков северо-западной акватории Черного моря для последующего использования полей атмосферных величин в приповерхностном слое в качестве граничных условий для численной гидродинамической модели морской среды.

2. ЧИСЛЕННАЯ КОНВЕКТИВНО-РАЗРЕШАЮЩАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРЫ HARMONIE-AROME

На сегодняшний день сформировалось тесное сотрудничество между европейскими метеорологическими институтами, работающими в об-

ласти численных прогнозов погоды (ЧПП), с целью разработки и поддержки систем численных краткосрочных прогнозов погоды для оперативного использования. С 2005 года основное внимание консорциума HIRLAM приковано к развитию и адаптации модели AROME для разрешающих конвекцию масштабов [17] и использования ее в общей системе ALADIN-HIRLAM. Система сценариев, которая выполняет усвоение данных, обработку наблюдений, генерацию климатических и краевых условий, пост-процессинг и оперативно управляет моделью AROME в странах консорциума HIRLAM, получила название HARMONIE (HIRLAM-ALADIN Research on Mesoscale Operational NWP in Europe). Вместе с тем, реализация и оптимизация AROME для условий как северных, так и для южных районов Европы привела к многочисленным изменениям и усовершенствованиям схем физических параметризаций модели. Это позволило уменьшить смещение в прогностических расчетах, улучшить физическое описание облаков, особенно смешанной фазы, и характеристик подстилающей поверхности. Детальное описание модели можно найти на официальном сайте консорциума HIRLAM (www.hirlam.org).

Наличие пакета управляющих программ (скриптов) модели HARMONIE-AROME позволяет использовать различные конфигурации полного комплекса расчетов: от выбора наблюдений всех типов по заданному региону из метеорологического архива MARS (Meteorological Archive and Retrieval System) ассимиляции данных, задания начальных и граничных условий с привлечением полей глобальной оперативной модели IFS, до собственно прогностических расчетов, пост-процессинга и визуализации результатов. Следует также отметить, что все расчеты выполняются на кластере суперкомпьютеров ЕЦСПП (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды), что обеспечивает их эффективность и оперативность.

Преимущества моделирующей системы HARMONIE-AROME перед другими существующими аналогами, в том числе, американским комплексом GFS/WRF, заключаются в следующем:

- глобальная модель ARPEGE/IFS и конвективно-разрешающая модель HARMONIE-AROME представляют собой единый комплекс на основе общего программного кода и передачи информации для начальных и граничных условий; это позволяет избежать дополнительной интерполяции полей и введения дополнительных ошибок уже на начальном этапе расчетов;

- моделирующая система принимает в обработку всю доступную информацию со всех сетей наблюдений в различных форматах для получения наиболее объективного анализа;

- моделирующая система имеет несколько различных типов ассимиляции данных и инициализации начальных условий, которые постоянно совершенствуются для использования в различных регионах и при различных условиях;

- гибридная вертикальная система координат считается наиболее совершенной для воспроизведения одновременно атмосферных процессов, как в пограничном слое, так и в свободной атмосфере;

- разрешение горизонтальной сетки может задаваться в зависимости от решаемых задач и увеличиваться вплоть до 1 км, что дает возможность воспроизводить в явном виде конвективные процессы и мезо-масштабные динамические процессы, в том числе, взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью;

- пакеты параметризаций физических процессов (радиации, горизонтальной и вертикальной диффузии, генерации ТКЭ (турбулентная кинетическая энергия), взаимодействия со сложной орографией и береговой чертой, конвекции) ЕЦСПП считаются на сегодняшний день наиболее физически правдоподобными для воспроизведения атмосферных процессов;

- пакеты пост-процессинга, встроенные в моделирующую систему, позволяющие в режиме реального времени расчетов (on-line) получать поля атмосферных величин на различных типах поверхностей и уровней в зависимости от решаемой задачи. Особое преимущество данной системы перед GFS/WRF в том, что можно получать поля и вертикальные профили в пограничном слое атмосферы с высоким разрешением по геометрической вертикальной шкале;

- пост-процессинг включает вывод заданных величин из списка более чем 250 переменных;

- сопряженность форматов вывода пост-процессинга (grib, netcdf) с пакетом визуализации metview для предоставления информации в графическом виде и возможностью получать оцифрованную информацию;

- возможность выполнять расчеты на HPC ECMWF (European Centre for Medium-Range Forecasting), что обеспечивает оперативность передачи информации и высокую скорость собственно модельных расчетов.

3. ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С МОДЕЛЬЮ HARMONIE-AROME НАД ПРИБРЕЖНЫМИ АКВАТОРИЯМИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Для проведения численных экспериментов с целью демонстрации возможностей модели HARMONIE-AROME была выбрана область над Черным морем размером 1000 x 900 км по долготе и широте, соответственно, с горизонтальным пространственным шагом расчетной сетки 1 км и шагом по времени 15 сек. Центр области размещался в точке с координатами 31.5° з.д. и 45.9° с.ш. Шаг по времени был уменьшен вдвое по сравнению с рекомендуемым для выбранного пространственного разрешения, чтобы гарантировать вычислительную устойчивость при воспроизведении сложных атмосферных процессов с большими градиентами метеорологических характеристик. Для проверки устойчивости расчетов была выбрана синоптическая ситуация 13 января 2018, когда над Черным морем проходил холодный фронт, обусловленный взаимодействием двух барических систем: низкого давления, протянувшейся от Кавказского региона через Малую Азию до Балкан, и обширной области высокого давления, простирающейся от Скандинавии до Северного Причерноморья. При этом, на метеостанции Одесса-порт были зафиксированы самые высокие за зимний период скорости ветра. Общая синоптическая ситуация над регионом по данным UKMO (United Kingdom Meteorological Office) www.metoffice.gov.uk представлена на рис. 1.

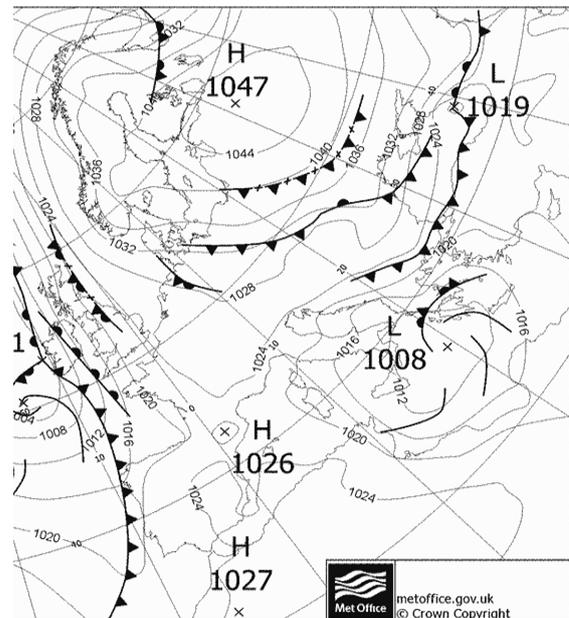


Рис. 1 - Синоптическая ситуация над Европой 13 января 2018 г.

На рис. 2 показано поле абсолютной скорости ветра на высоте 10 м над Черным морем на эту же дату с телескопизацией над северо-западным побережьем по результатам численного эксперимента с моделью высокого разрешения. Результаты моделирования показывают, что используемая конфигурация модели способна воспроизводить как возмущения в поле ветра над однородной и гладкой подстилающей поверхностью на региональном масштабе, так и мезомасштабные особенности динамики атмосферы в прибрежных районах. В первом случае, отчетливо прослеживается полоса ослабления ветра в восточном потоке с подветренной стороны Крымских гор, которая простирается на десятки километров в открытое море, при интенсификации потока по обе стороны от них. Далее по потоку прослеживаются мезомасштабные возмущения, обусловленные гидродинамической неустойчивостью атмосферного потока. Такая структура сохраняется в пределах всего пограничного слоя атмосферы (рис. 3).

Преимущество использования численных расчетов с использованием модели высокого разрешения еще более наглядно видно в прибрежных районах, где атмосферный поток взаимодействует с подстилающей поверхностью на границе раздела суша-море с учетом орографии, термических контрастов и других особенностей.

Например, над обширной акваторией Каркинитского залива скорость ветра изменяется в пределах от 7 до 12 м/с на расстоянии в несколько десятков километров (рис. 2).

Такая же изменчивость скорости ветра со скоростью 5 м/с наблюдается над значительно меньшей по размерам областью Днепробугского лимана. Кроме того, вдоль всей береговой линии, даже в районах с низменной орографией, таких как Северное Причерноморье, скорость ветра изменяется более, чем на 5 м/с на расстоянии в несколько километров, а возмущения в атмосферном потоке прослеживаются до высоты 500–600 м (рис. 4). На этом же разрезе к береговой линии в окрестности горловины Сухого лимана отчетливо прослеживается ось струйного потока мощностью около километра в верхней части пограничного слоя.

Наличие струйного течения над термически однородной морской поверхностью в слое 100–800 м (рис. 5) подтверждается на вертикальном профиле скорости ветра в точке Б рисунка 2а. При этом наблюдается однородное изменение температуры с высотой в пределах пограничного слоя, за исключением нижнего 200-метрового слоя у береговой черты. Здесь отмечается резкий перепад температуры (до 2°C) в приземном/приводном слое (рис. 6).

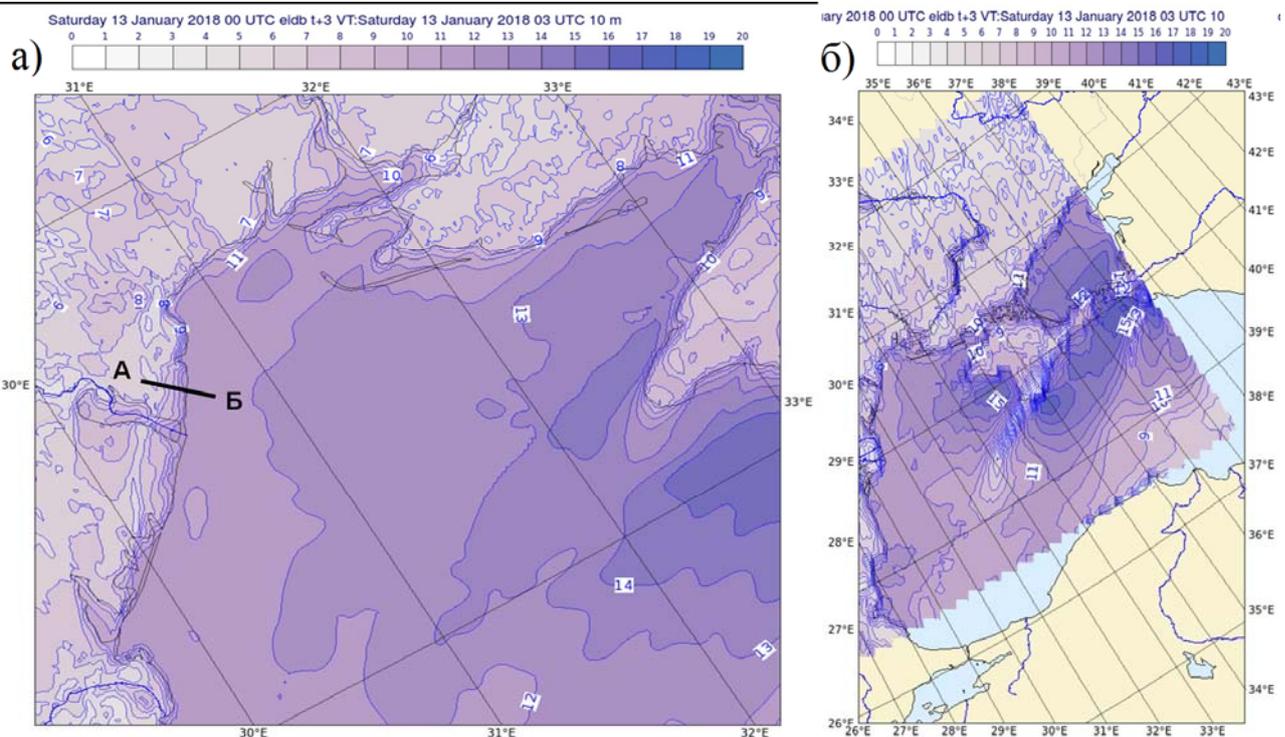


Рис. 2 - Поле ветра (модуль скорости, м/с) на уровне 10 м над Черным морем (а) с телескопизацией над его северо-западной частью (б) по результатам численного моделирования. АБ – линия разреза, вдоль которого проводились измерения вертикального профиля ветра

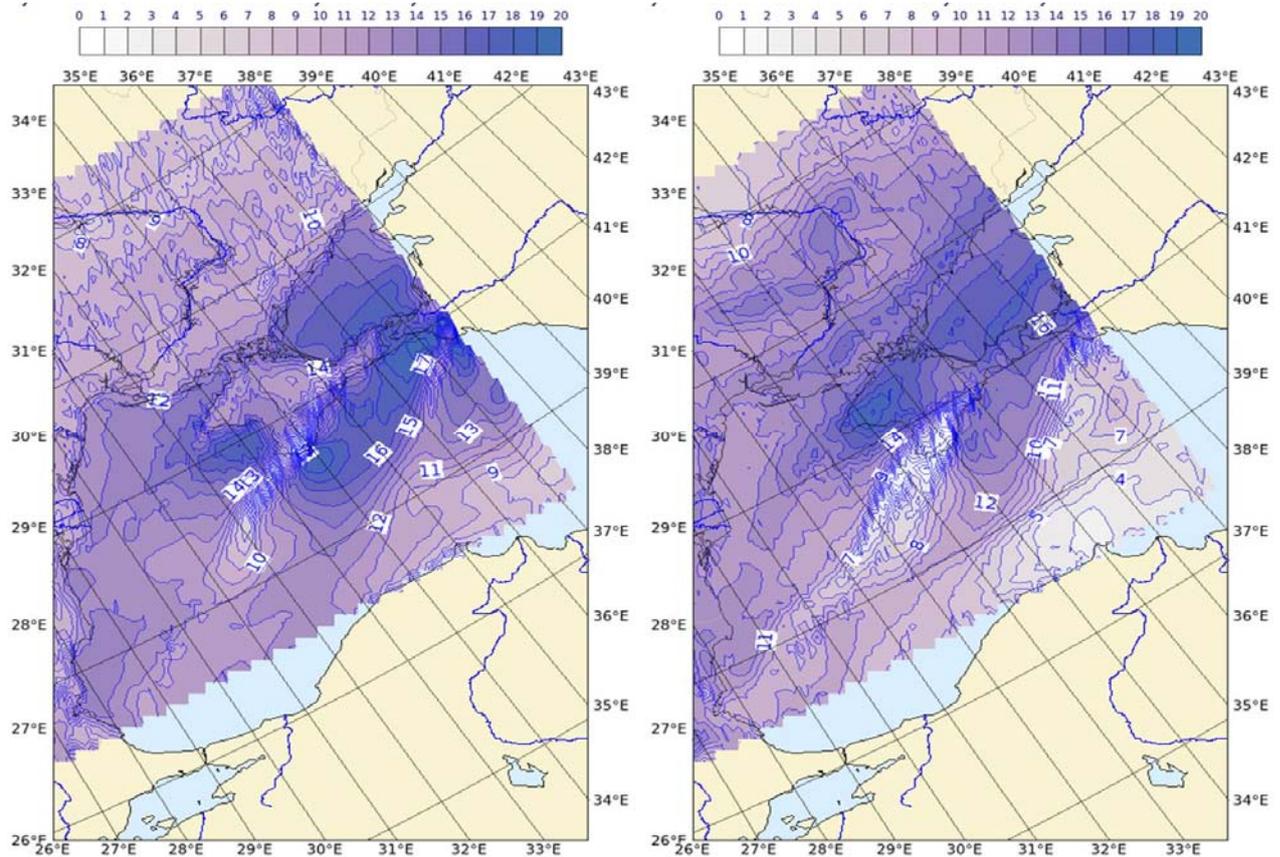


Рис. 3 - Поле ветра (модуль скорости, м/с) на высотах 100 и 1000 м над Черным морем

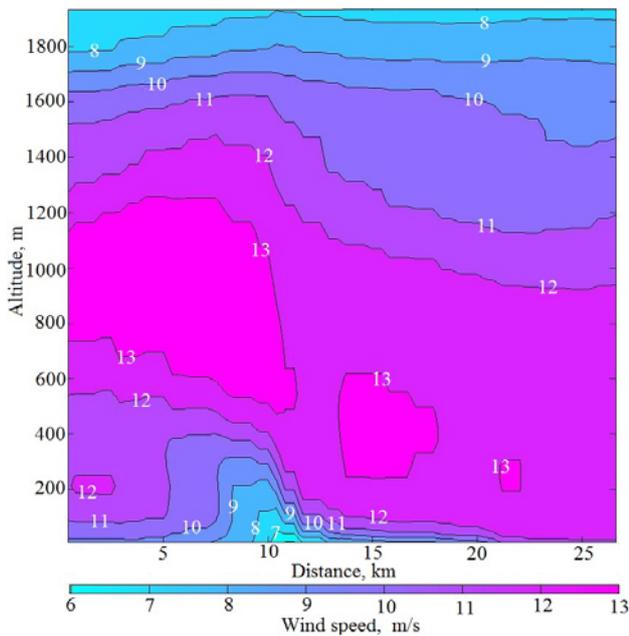


Рис. 4 - Вертикальный разрез скорости ветра (м/с) по линии АБ на рис.2

Очевидно, что, при такой сложной трехмерной структуре поля приводного ветра в областях со сложной конфигурацией береговой черты, воспроизведение локальной динамики вод с привлечением крупномасштабных полей метеорологических характеристик с грубым простран-

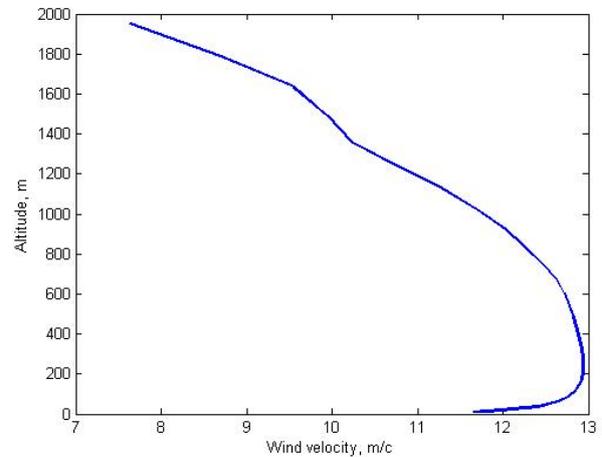


Рис. 5 - Профиль скорости ветра (м/с) в точке Б на рис.2

ственным разрешением, которые доступны на серверах оперативных прогностических центров для общего пользования, будет выполняться без учета особенностей местной атмосферной циркуляции, что влечет за собой значительную ошибку в расчетах гидрофизических полей. Более того, наличие мезомасштабной изменчивости атмосферных процессов лишает смысла проводить верификацию результатов численного моделирования по единичным буйковым наблюдениям с большой временной дискретностью. Для задач такого характера корректным можно

считать привлечение результатов специальных численных расчетов по атмосферной модели с пространственным и временным разрешением, близким к соответствующим параметрам модели морской среды.

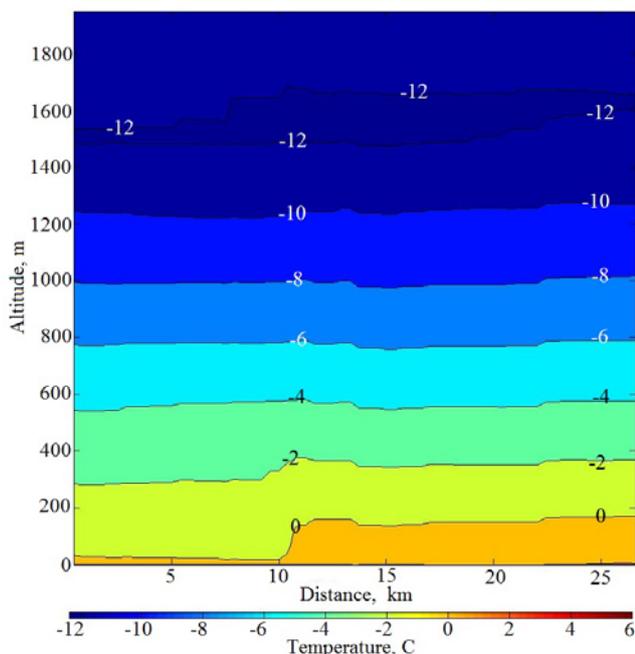


Рис. 6 - Вертикальный разрез температуры воздуха (°C) по линии АБ на рис.2

4. ВЫВОДЫ

Приведенные в статье характеристики моделирующей системы HARMONIE-AROME дают основания утверждать о преимуществах ее использования для воспроизведения условий на границе раздела «море-атмосфера» в задачах диагноза и прогноза состояния морской среды в прибрежных районах, по сравнению с другими существующими аналогами, в том числе, американским комплексом GFS/WRF.

Численные эксперименты по адаптации модели к прибрежным акваториям северо-западной части Черного моря показали возможность воспроизведения тонких особенностей трехмерной атмосферной циркуляции вдоль береговой черты, включая выделение струйного течения нижнего уровня, резкие термические градиенты на границе раздела подстилающих поверхностей различных типов и мезомасштабную изменчивость в поле приводного ветра в заливах. Последний фактор имеет особое значение для численного моделирования динамических процессов в морской среде, в том числе, вдольбереговых течений, транспорта наносов и распространения загрязняющих веществ, так как верхние граничные условия для гидродинамической мо-

дели задаются с высоким пространственным и временным разрешением, что уже на начальном этапе интегрирования модели позволяет учитывать мезомасштабные особенности полей ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросович А. И., Михайлова Э. Н., Шапиро Н. Б. Численная модель и расчет циркуляции вод северо-западной части Черного моря. *Морской гидрофизический журнал*. 1994. № 5. С. 28–42.
2. Алаев В. Г., Рябцев Ю. Н., Шапиро Н. Б. Адаптационный расчет скорости течений на шельфе с помощью квазиизопикнической модели. *Морской гидрофизический журнал*. 1999. № 4. С. 64–79.
3. Алаев В. Г. Исследование сезонной изменчивости гидродинамических полей в северо-западной части Черного моря на основе изопикнической модели. *Морской гидрофизический журнал*. 2000. № 6. С. 5–17.
4. Иванов В. А., Рябцев Ю. Н. Анализ течений на северо-западном шельфе Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2002. Вып. 1(16). С. 17–25.
5. Тучковенко Ю. С. Математическая модель формирования термохалинной структуры и циркуляции вод в лиманах, приустьевых и шельфовых областях северо-западной части Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2003. Вып. 9. С. 138–154.
6. Hess, K.W. (1989). *MECCA Programs documentation: Technical Report / NOAA - NESDIS 46*. Washington, D.C.
7. Тучковенко Ю. С. Гидродинамическая модель для расчета трехмерной циркуляции и термохалинной структуры вод северо-западной части Черного моря. *Метеорология, климатология та гідрологія*. 2002. № 45. С. 129–139.
8. Вельтищев Н.Ф., Жупанов В.Д. Эксперименты по усвоению радиолокационной отражаемости в модели WRF ARW. *Метеорология и гидрология*. 2012, № 3, С. 5-19.
9. Вильфанд Р. Б., Ривин Г. С., Розинкина И. А. Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU. *Метеорология и Гидрология*. 2010. № 1. С. 5–17.
10. Baldauf, M., Seifert, A., Furstner, J. et al. (2011). Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. *Monthly Weather Review*, 139(12), 3887-4905.
11. Baklanov, A., Tijm, S., Rontu, L. (2011). HIRLAM/HARMONIE-Atmospheric Chemical Transport Models Integration. In: Baklanov, A., Mahura, A., Sokhi, R. (Eds). *Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models*. Springer, pp. 215-228.
12. Braun, A., Milton, S., Cullen, M. et al. (2012). Unified modelling and prediction of weather and climate: A 25-year Journey. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93(12), 1865-1877.
13. Davies, T., Cullen, M.J.P., Malcolm, A.J. et al. (2005). A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 131, 1759-178.
14. Fillion, L., Tanguay, M., Lapalme, E. et al. (2010). The Canadian Meteorological Center Limited-Area Regional

- Data Assimilation and Forecasting System. *Weather and Forecasting*, 25(6), 1645–1669.
15. Yang, D., Ritchie, H., Desjardins, S. et al. (2010). High-Resolution GEM-LAM Application in Marine Fog Prediction: Evaluation and Diagnosis. *Weather and Forecasting*, 25(2), 727-748.
 16. Ефимов В. В., Барабанов В. С., Крупин А. В. Моделирование мезомасштабных особенностей атмосферной циркуляции в Крымском регионе Черного моря. *Мор. гидрофиз. журнал*. 2012. № 1. С. 64-74.
 17. Bengtsson, L. et al. (2017). The HARMONIE-AROME Model Configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP System. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1919-1935.
- REFERENCES**
1. Androsovich, A.I., Mikhailova, Je.N., Shapiro, N.B. (1994). [Numerical model and calculation of water circulation in the northwestern part of the Black Sea]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 5, 28–42. (in Russ)
 2. Alaev, V.G., Ryabtsev, Ju.N., Shapiro, N.B. (1999). [Adaptive calculation of the current velocity for shelf with the use of a quasi-isopic model]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 4, 64–79. (in Russ)
 3. Alaev, V.G. (2000). [Investigation of seasonal variability of hydrodynamic fields in the northwestern part of the Black Sea on the basis of the isopycnic model]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 6, 5–17. (in Russ)
 4. Ivanov, V.A., Ryabtsev, Ju.N. (2002). [Analysis of the currents on the northwestern shelf of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa [Ecological safety of coastal and the shelf zones and complex use of shelf resources]*, 16, 17-25. (in Russ)
 5. Tuchkovenko, Yu.S. (2003). [Mathematical model of thermohaline structure formation and water circulation in salt lakes, estuaries, near-estuaries and shelf areas of the northwestern part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa [Ecological safety of coastal and the shelf zones and complex use of shelf resources]*, 9, 138-154. (in Russ)
 6. Hess, K.W. (1989). *MECCA Programs documentation : Technical Report / NOAA - NESDIS 46*. Washington, D.C.
 7. Tuchkovenko, Yu.S. (2002). [Hydrodynamic model for calculation of three-dimensional circulation and thermohaline structure of waters in the north-western part of the Black Sea]. *Meteorologhiia, klimatologhiia ta hidrologhiia [Meteorology, climatology and hydrology]*, 45, 129-139. (in Russ)
 8. Vel'tishchev, N.F., Zhupanov, V.D. (2012). [Experiments on the radar reflectivity data assimilation in the WRF-ARW model]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*, 3, 5-19. (in Russ)
 9. Vil'fand, R.B., Rivin, G.S., Rozinkina, I.A. (2010). [Mesoscale weather short-range forecasting at the Hydrometcenter of Russia, on the example of COSMO-RU]. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and hydrology]*, 1, 5-17. (in Russ)
 10. Baldauf, M., Seifert, A., Furstner, J. et. al. (2011). Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. *Monthly Weather Review*, 139(12), 3887-4905.
 11. Baklanov, A., Tijm, S., Rontu, L. (2011). HIRLAM/HARMONIE-Atmospheric Chemical Transport Models Integration. In: Baklanov, A., Mahura, A., Sokhi, R. (Eds). *Integrated Systems of Meso-Meteorological and Chemical Transport Models*. Springer, pp. 215-228.
 12. Braun, A., Milton, S., Cullen, M. et al. (2012). Unified modelling and prediction of weather and climate: A 25-year Journey. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93(12), 1865-1877.
 13. Davies, T., Cullen, M.J.P., Malcolm, A.J. et al. (2005). A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 131, 1759-178.
 14. Fillion, L., Tanguay, M., Lapalme, E. et al. (2010). The Canadian Meteorological Center Limited-Area Regional Data Assimilation and Forecasting System. *Weather and Forecasting*, 25(6), 1645–1669.
 15. Yang, D., Ritchie, H., Desjardins, S. et al. (2010). High-Resolution GEM-LAM Application in Marine Fog Prediction: Evaluation and Diagnosis. *Weather and Forecasting*, 25(2), 727-748.
 16. Efimov, V.V., Barabanov V.S., Krupin A.V. (2012). [Modeling of mesoscale features of the atmospheric circulation in the Crimean region of the Black Sea]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal [Marine hydrophysical Journal]*, 1, 64–74. (in Russ)
 17. Bengtsson, L. et al. (2017). The HARMONIE-AROME Model Configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP System. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1919-1935.

ADVANTAGES OF USING THE HARMONIE ATMOSPHERIC MESOSCALE MODEL FOR SIMULATING WATER DYNAMICS IN OFFSHORE AREA

S.V. Ivanov, I.G. Ruban, Y.S. Tuchkovenko

Odessa State Environmental University, 15 Lvivska str., 65016, Odessa, Ukraine, science@odeku.edu.ua

The convection-permitting Harmonie model is considered as a modeling component of the atmosphere-sea system. The role of the atmospheric model in the system is to create upper boundary conditions for marine environment model with high spatial (1-2.5 km) and temporal (from one minute to one hour) separating capacity. The research offers description of major modules which govern the configuration, spatial-temporal parameters of the atmospheric model and the way they are implemented in the High Performance Computing Facilities System (the HPCFS) of the European Center for Medium-Range Forecasting (the ECMWF). The use of the HPCFS and direct connection to global output data of the Integrate Forecasting System (the IFS) allows online performance of numerous calculations. The research shows the results of a

numerical experiment for the north-western part of the Black Sea and neighbouring continental regions during severe weather conditions with strong wind speeds in January 2018. The high resolution modeling demonstrated high performance parameters of the model when reproducing mesoscale features of the atmospheric circulation. They are as follows: division of two lower-level jets in the north-western atmospheric flow along the coast line; mesoscale offshore patterns associated with thermal contrast and wind shear over different surface types along the coastal area; weaker circulations over regional bays on lee sides. The advantages of the Harmonie model comparing other modeling systems when determining the upper boundary conditions for modeling of the marine environment over offshore regions are listed. In particular, the model has direct access to the ECMWF archive and IFS operational global model output data; assimilation methods use all data available for observation; numerous parameterization schemes can be tuned for different climate zones and specific areas; post-processing provides more than two hundreds of physical, dynamical and chemical output variables at different types of levels, such as isobaric surfaces, model levels, geometric altitudes; output format list includes grib, netcdf and simple text which allows use of results both for their further direct introduction into the marine model and plotting fields, cross-sections and profiles in the metview visualization package.

Keywords: Harmonie atmospheric model; upper boundary conditions; offshore regions; mesoscale circulation patterns; severe weather conditions

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ АТМОСФЕРНОЇ МЕЗОМАСШТАБНОЇ МОДЕЛІ HARMONIE ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ ДИНАМІКИ ВОД У ПРИБЕРЕЖНИХ РАЙОНАХ МОРЯ

С. В. Иванов, І. Г. Рубан, Ю.С. Тучковенко

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, science@odeku.edu.ua

Конвективно-роздільна модель Harmonie розглядається як компонент моделювання у системі атмосфера-море. Роль атмосферної моделі в системі полягає у створенні верхніх граничних умов для моделі морського середовища з високою просторовою (1-2,5 км) і часовою (від хвилини до однієї години) роздільною здатністю. Представлено опис основних модулів, що регулюють конфігурацію, просторово-часові параметри атмосферної моделі та їх впровадження в систему високопродуктивних обчислювальних пристроїв (HPCFS) Європейського центру середньострокового прогнозування (ECMWF). Використання HPCFS та безпосереднє підключення до глобальних вихідних даних інтегральної системи прогнозування (IFS) дає змогу виконувати численні розрахунки в робочому режимі. Показані результати чисельного експерименту для північно-західної частини Чорного моря та сусідніх континентальних районів у суворих погодних умовах з сильними вітрами у січні 2018 року. Моделювання з високою роздільною здатністю продемонструвало добрі можливості моделі при відтворенні мезомасштабних особливостей атмосферної циркуляції. Серед них можна виділити такі: розділення двох струменів нижнього рівня в атмосферному потоці уздовж північно-західного узбережжя; мезомасштабні прибережні утворення, пов'язані з тепловим контрастом та зсувом вітру над різними типами поверхні в прибережній зоні; послаблення циркуляції вітру над регіональними затоками. Перераховані переваги моделі Harmonie у порівнянні з іншими моделюючими системами при визначенні верхніх граничних умов для моделювання морського середовища в прибережних регіонах. Зокрема, модель має прямий доступ до архіву ECMWF та операційній глобальній моделі IFS; асиміляційні методи використовують всі наявні для спостережень дані; численні схеми параметризації можуть бути налаштовані для різних кліматичних зон і окремих областей; пост-обробка забезпечує більше двох сотень фізичних, динамічних та хімічних вихідних змінних для різних типів рівнів, таких як ізобаричні поверхні, рівні моделі, геометричні висоти; список вихідних форматів включає типи даних у форматі grib, netcdf та простий текст, які дозволяють використовувати результати як для подальшого безпосереднього вводу їх у морську модель, так і для нанесення полів, розрізів та профілів у пакеті візуалізації metview.

Ключові слова: атмосферна модель HARMONIE; верхні граничні умови; прибережні акваторії; мезомасштабні особливості циркуляції; складні погодні умови

Подання до редакції : 19. 09. 2018

Надходження остаточної версії : 18. 10. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018