

УДК 532.543

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОДИНАМІКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГНОЗНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Р.В. Беженар, С.М. Ануліч

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

e-mail: romanbezhenar@gmail.com

Вступ

В умовах кліматичних змін відбувається глобальне підвищення температури повітря і води, що приводить до поступових змін в різних екосистемах. Крім підвищення температури, на розвиток екосистем впливає вміст органічних і мінеральних речовин, які потрапляють у водойми в результаті життєдіяльності людини. Це формує сприятливе середовище для інтенсивного розвитку мікроорганізмів та збільшення популяції рослин. В результаті вода втрачає питні та санітарні характеристики. В багатьох водоймах, з яких вода використовується для потреб людей, постійно проводяться вимірювання для контролю її характеристик. Моделювання гідротермодинамічних і біохімічних характеристик водойм є важливим як для моніторингу, так і для прогнозування стану водойми при можливій зміні відповідних умов в майбутньому.

В даній роботі представлений приклад застосування моделюючої системи екогідродинаміки ТРИТОКС з прогнозними метеорологічними даними до північно-західної частини Чорного моря. Оскільки температура навколишнього середовища є одним з основних параметрів для розвитку мікроорганізмів, а вітер може визначати перенос поживних речовин, необхідних для цього, то наявність прогнозних значень даних параметрів на кілька днів вперед дає можливість прогнозування стану якості води прибережних районів моря за допомогою моделі ТРИТОКС. З цією метою був розроблений механізм передачі метеорологічних даних з моделі прогнозу погоди WRF-Україна в моделюючу систему екогідродинаміки.

Моделююча система екогідродинаміки ТРИТОКС

Тривимірна чисельна моделююча система екогідродинаміки була створена на основі розробленої в ІПММС моделі ТРИТОКС. Вона включає компоненти, які описують термогідродинаміку водойми, перенос зважених у воді намулів та перенос і взаємоперетворення екодинамічних параметрів, зокрема розчиненого у воді кисню, мінеральних і органічних сполук азоту і фосфору, фітопланктону і придонної рослинності (макрофітів). Основні процеси, які описує моделююча система, зображені на рис. 1.

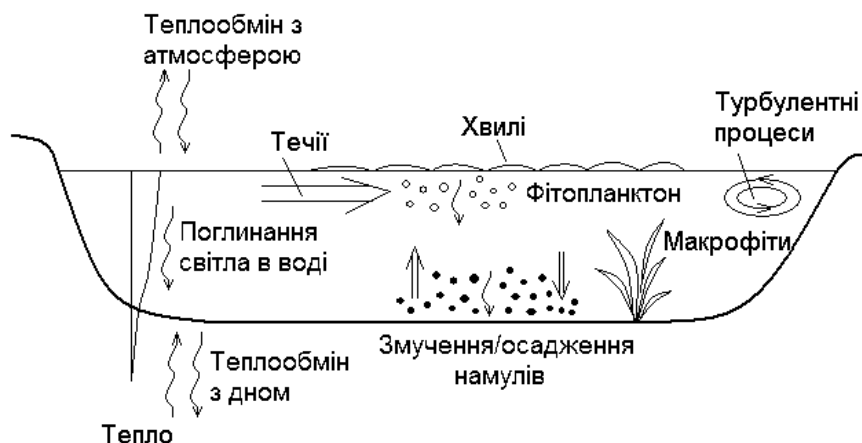


Рис. 1. Основні процеси, які описує моделююча система екогідродинаміки ТРИТОКС

Основною відмінністю даної моделюючої системи є наявність взаємозв'язків і зворотних впливів між компонентами системи. Зокрема течії через турбулентні процеси впливають на інтенсивність змучення намулів з дна. Концентрація зважених у воді намулів, як і концентрація фітопланктону, визначає величину коефіцієнта поглинання світла водою, який є важливим параметром при моделюванні росту макрофітів. З іншого боку макрофіти, що входять в модель екодинаміки, змінюють придонну шорсткість, а отже впливають на течії і на параметри турбулентності, що описуються моделлю циркуляції. Циркуляція впливає на екодинаміку, визначаючи інтенсивність переносу поживних речовин, яка залежить від швидкості течій і величин параметрів турбулентності. Опис моделюючої системи, параметризація зворотних зв'язків між компонентами системи, а також застосування до різних водних об'єктів приведені в роботах [1] і [2].

Модель прогнозу погоди WRF-Україна

В основі системи WRF-Україна покладено американську мезомасштабну тривимірну модель прогнозу погоди WRF [3], яку було адаптовано для території України. Модель WRF чисельно розв'язує повну систему рівнянь гідротермодинаміки атмосфери, що включає рівняння неперервності, збереження імпульсу, переносу вологи і енергії. Для користувачів модель пропонує бібліотеку різних параметризацій турбулентного перенесення тепла і маси в граничному шарі атмосфери, перенесення коротко- і довгохвильового випромінювання в атмосфері, а також підмоделі опису процесів утворення хмар і опадів.

Система WRF-Україна використовує для розрахунків область з центром в точці 51.33° північної широти і 25.89° західної довготи. Область має розмір 155 на 73 вузли з роздільною здатністю 27 км. Джерелом даних про рельєф місцевості є база даних Американської геологічної служби (USGS), яка містить значення висоти рельєфу над рівнем моря з горизонтальною роздільною здатністю 30 географічних секунд, що приблизно відповідає 1 км.

Тестування моделі проводилась на прикладі розрахунку послідовності 24 годинних прогнозів в області розміром 80x80 км навколо Рівненського аеропорту [4]. Також модель використовувалась у розрахунках прогнозу радіаційної обстановки під час пожежі в чорнобильській зоні відчуження [5].

Приклад застосування моделюючої системи до північно-західної частини Чорного моря

За допомогою моделі прогнозу погоди WRF-Україна були проведені розрахунки метеорологічних параметрів із завчасністю 48 годин. Всього на область північно-західної частини Чорного моря потрапляє близько 20 розрахункових вузлів моделі WRF-Україна. Отримані значення метеорологічних параметрів інтерполювались на розрахункову сітку моделюючої системи ТРИТОКС. Розрахунок термогідродинаміки і екодинаміки північно-західної частини Чорного моря з використанням прогнозних метеорологічних даних здійснювався для 8 місяців: березень-жовтень 2016 року. Область, яка була вибрана для моделювання, охоплює прибережні райони Одеської, Миколаївської і Херсонської областей, де знаходяться зони відпочинку (рис. 2). Інтенсивний розвиток фітопланктону чи іншої водної рослинності здатний погіршити умови відпочинку. Після відмирання даних організмів відбувається їхнє розкладання і окислення з використанням розчиненого у воді кисню. Використаний кисень частково компенсується з атмосфери, але при значній кількості відмерлих організмів виникають області з низькою концентрацією розчиненого у воді кисню, що погіршує умови проживання для всіх морських організмів, а іноді може привести до їхньої масової загибелі.

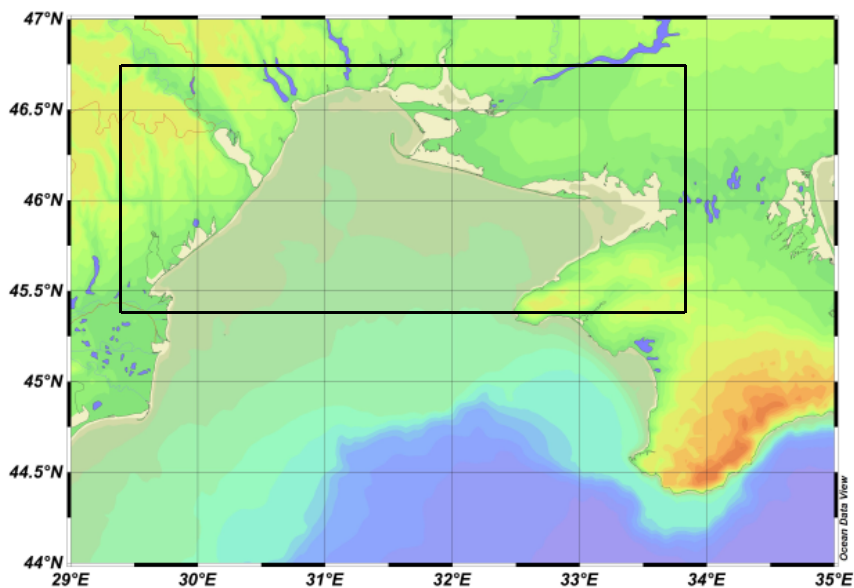


Рис. 2. Північно-західна частина Чорного моря. Область моделювання, обведена прямокутником

Для граничних умов на південній границі області (рис. 2) використовувалися дані рівня вільної поверхні, температури і солоності з даних, які перебувають у вільному доступі в Європейській системі моніторингу морського середовища Copernicus (<http://marine.copernicus.eu/>). Для опису потоку води з Дніпра використовувалися середньомісячні значення стоку. Для опису потоку параметрів екодинаміки (неорганічних і органічних сполук азоту та фосфору), використовувалися значення цих параметрів в Дніпро-Бузькому лимані. Роздільна здатність розрахункової сітки складала 3 км по горизонталі. По вертикалі було 20 σ -рівнів (в кожній точці товща води ділилася на 20 рівномірних проміжків).

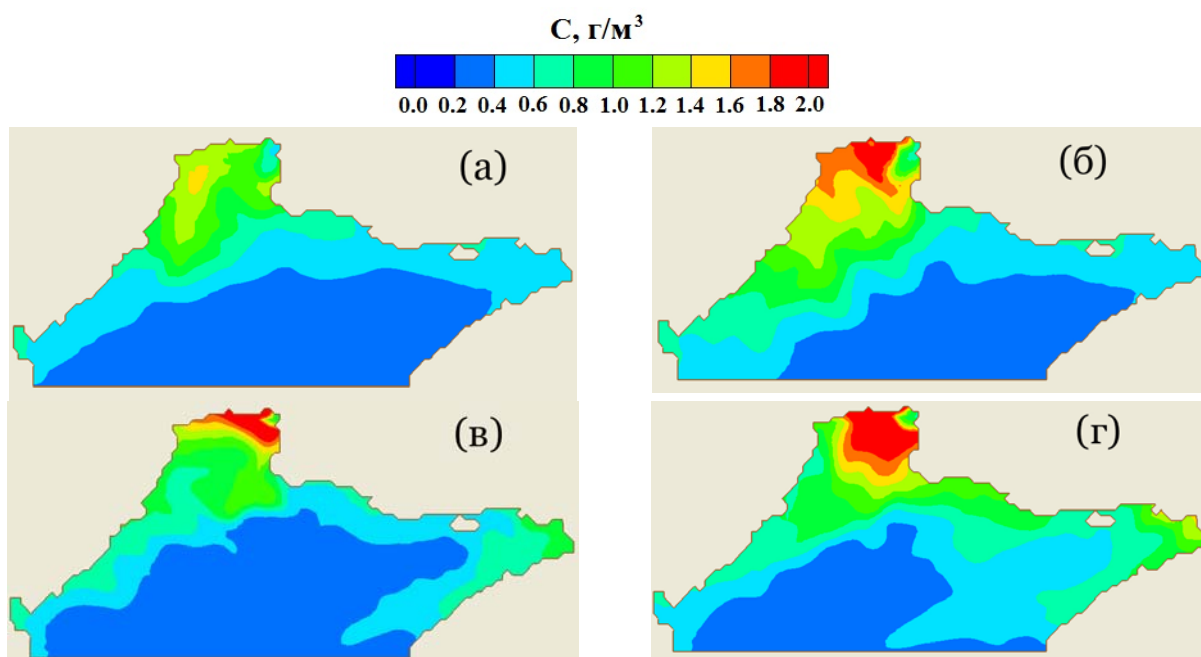


Рис. 3. Розрахована концентрація фітопланктону на поверхні води в північно-західній частині Чорного моря в квітні (а), травні (б), липні (в) і серпні (г) 2016 року

Результати розрахунків формування і розповсюдження фітопланктону в різні моменти часу зображені на рис. 3. Видно, що концентрація фітопланктону починає зростати в середині квітня і до середини травня досягає своїх максимальних значень. У липні спостерігається деяке зменшення кількості фітопланктону. Проте у серпні-жовтні знову відбувається зростання площі води, покритої фітопланктоном.

Отриманий сезонний цикл відповідає розвитку популяції фітопланктону в природному середовищі. Протягом зими відбувається накопичення поживних речовин у воді, але ріст фітопланктону не відбувається через низьку температуру. Проте весною, коли формуються сприятливі умови, відбувається інтенсивний ріст фітопланктону. До початку літа поживні речовини в поверхневому шарі води вичерпуються, а з придонних шарів вони не поступають, через стійку стратифікацію, яка перешкоджає перемішуванню. Це приводить до деякого зменшення кількості фітопланктону через сформований дефіцит поживних речовин. Восени, коли вода прогрівається на значну глибину, поживні речовини починають поступати з придонного шару, що спричиняє ріст фітопланктону, хоч і не такий інтенсивний, як весною. Описані процеси були відтворені моделюючою системою ТРИТОКС.

Висновки

Для сезонного моделювання екодинаміки водних об'єктів тривимірна моделююча система ТРИТОКС була поєднана з моделлю прогнозу погоди WRF-Україна. Приведений приклад моделювання екодинаміки північно-західної частини Чорного моря комплексом моделей термогідродинаміки та екодинаміки з використанням прогнозних метеорологічних даних. Результатом моделювання є розраховані поля органічних і неорганічних сполук азоту і фосфору, фітопланктону та розчиненого у воді кисню в різні моменти часу. Зокрема, отриманий сезонний цикл відповідає розвитку популяції фітопланктону в природному середовищі, що включає інтенсивний ріст фітопланктону весною за рахунок формування сприятливого середовища, деяке зменшення кількості фітопланктону влітку через дефіцит поживних речовин, та повторний ріст восени, за рахунок того, що поживні речовини починають поступати з придонного шару.

Список використаних джерел

1. Maderich V., Heling R., Bezhenar R., Brovchenko I., Jenner H.A., Koshebutsky V., Terletska K. (2008) Development and application of 3D numerical model THREETOX to the prediction of cooling water transport and mixing in the inland and coastal waters. *Hydrological Processes*, 22, 1000-1013.
2. Bezhenar R., Jung K.T., Maderich V., Kim K.O. (2016) 3D numerical model of ecohydrodynamics for shallow waters. *Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia)*. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 75, 820-824.
3. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda M.G., Huang X-Y., Wang W. and Powers J.G. (2008) A Description of the Advanced Research WRF Version 3, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 113 p.
4. Дидковская С.Н., Евдин Е.А., Халченков А.В., Ковалец И.В. (2013) Автоматизация расчета прогностических метеорологических полей для использования в системе ядерного аварийного реагирования JRODOS. *Системы підтримки прийняття рішень. Теорія і практика*. – С. 68 – 72.
5. Ковалец И.В., Романенко А.Н., Анулич С.Н., Евдин Е.А. (2015) Прогноз радиационной обстановки во время пожара в Чернобыльской зоне отчуждения с использованием системы JRODOS. *Системы підтримки прийняття рішень. Теорія і практика*. – С. 62 – 65.