

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
Інститут проблем математичних машин та систем
НАН України**

**ДРУГА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ**

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ
МОДС '2007**



Київ 2007

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАУК УКРАЇНИ
Інститут проблем математичних машин та систем
НАН України

ДРУГА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ

25-29 червня 2007 р., м. Київ

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
СИСТЕМ
МОДС '2007

Тези доповідей



Київ 2007

ЗМІСТ

СЕКЦИЯ 1 СУЧАСНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ В ЕКОЛОГІЇ 11

Ю.С. Тучковенко, О.А. Торгонская МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВТРОФИКАЦИИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ	12
Р.В. Беженар МОДЕЛЮВАННЯ РІЗНОМАСШТАБНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДОЙМАХ СКЛАДНОЇ ФОРМИ	16
А.Бойко, Р.Беженар, М.Железняк, И.Ковалец, Д.Трибушный, А.Примаченко, Н.Шляхтун, О.Удовенко ДЕМОНСТРАЦИОННАЯ ВЕРСИЯ «ДУНАЙ-ДЕМО» ОБНОВЛЕННОГО МОДУЛЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ РАДИОНУКЛИДОВ СИСТЕМЫ RODOS	18
Р.В. Беженар, І.О. Бровченко, В.І. Кошебуцький, В.С. Мадерич, А.А. Кушан, К.В. Терлецькі, Р. Хелінг, Х. Дженер ЗАСТОСУВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ ЧИСЕЛЬНОЇ МОДЕЛІ ТРИТОКС ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРЕНОСУ ТА ПЕРЕМІШУВАННЯ ГАРЯЧОЇ ВОДИ ПРИ ЇЇ ВИКИДАХ ДО ВОДОЙМИЩ	22
Р.И.Демченко, П.Дикий, М.И.Железняк НЕЛИНЕЙНО-ДИСПЕРСИОННАЯ МОДЕЛЬ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ С УЛУЧШЕННОЙ ДИСПЕРСИЕЙ	23
Р.И.Демченко, П.Дикий, М.И.Железняк, С.Л.Кивва, П.С.Коломиец МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА МОРФОДИНАМИКУ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЗАЩИТНОЙ ДАМБЫ КАНАЛА ДУНАЙ-ЧЕРНОЕ МОРЕ В УСТЬЕ РУКАВА БЫСТРЫЙ	26

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВТРОФИКАЦИИ
ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

Ю.С. Тучковенко, О.А. Торгонская

Одесский государственный экологический университет, Украина

В естественных условиях биотический круговорот веществ в водных экосистемах сбалансирован таким образом, что в системе водная среда – биота имеет место фазовое равновесие по биогенным веществам: интенсивность процесса первичного продуцирования органического вещества фитопланктоном, в ходе которого потребляются минеральные соединения азота и фосфора, в конечном счете регулируется скоростью их регенерации при биохимическом окислении метаболических выделений и отмерших остатков гидробионтов (косного органического вещества) гетеротрофными бактериями. Неконтролируемое поступление в водную среду значительного количества биогенных веществ антропогенного происхождения влечет за собой увеличение скорости первичного продуцирования органического вещества, которое не успевает усваиваться организмами более высоких трофических уровней и отмирая создает благоприятную основу для развития гетеротрофных бактерий. В результате, резко сокращается время оборота биогенных веществ в экосистеме, увеличивается потребление кислорода на биохимическое окисление органического вещества при участии бактерий.

Процесс повышения уровня трофности акватории (водоема), т.е. уровня новообразования органического вещества в продукционно-биологическом процессе называется эвтрофикацией. Следствием процесса эвтрофикации на экосистемном уровне являются: изменение химического режима акватории, возникновение дефицита кислорода (гипоксии) либо полное его исчезновение в придонных слоях воды, резкое ухудшение условий обитания для высших гидробионтов, нарушение сбалансированности продукционно-деструкционных процессов, устойчивости, трофической структуры и динамики функционирования экосистемы.

Внутри водной экосистемы имеется значимый внутренний источник минеральных соединений биогенных элементов. Таковым является их регенерация в процессе биохимического окисления органического вещества. Поэтому для адекватного описания в модели негативных эффектов эвтрофикации необходимо рассматривать баланс продукционно-деструкционных процессов в экосистеме, т.е. замкнутые биогеохимические циклы основных биогенных элементов, определяющих

первичную продукцию органического вещества в исследуемых участках акватории моря или водоемах.

Разработана численная нестационарная, в общем случае трехмерная, модель эвтрофикации морских и внутриконтинентальных водных объектов, состоящая из двух блоков - гидродинамического и химико-биологического. Первый из них представляет собой модифицированную гидротермодинамическую модель МЕССА – Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment (Hess, 1989) [1]. Модель реализована в σ - системе координат и позволяет воспроизводить пространственно-временную изменчивость уровня воды, термохалинной структуры вод, трехмерного поля течений и интенсивности турбулентного обмена на временных отрезках от нескольких суток до годового цикла в водоемах и акваториях со сложными морфологическими и гидрологическими характеристиками.

Химико-биологический блок модели представляет собой систему взаимообусловленных дифференциальных уравнений, которые описывают биогеохимические циклы биогенных элементов, продукцию и деструкцию органического вещества, трофические связи и динамику кислорода в локальной точке водной среды.

При сохранении общих принципов построения, математическая структура химико-биологического блока модели эвтрофикации вод конкретного водного объекта во многом зависит от его морфологических и режимных характеристик, специфики решаемых задач и полноты исходной информации об объекте, полученной в ходе экологического мониторинга. Разработан иерархический комплекс оригинальных по математической структуре блоков эвтрофикации, различающихся по числу переменных и уровню детализации взаимосвязей между биотическими и абиотическими компонентами водной экосистемы (модели). Каждый из представленных вариантов химико-биологического блока модели эвтрофикации позволил решить поставленную прикладную задачу для конкретного водного объекта и, в то же время, базировался на доступном (в финансовом и методическом отношении) объеме исходной информации.

Разработаны оригинальные схемы и методики калибровки параметров химико-биологического блока модели эвтрофикации вод, которые прошли успешную апробацию и показали свою эффективность при решении прикладных задач для морских акваторий и водоемов, относящихся к различным климатическим зонам, имеющим различные морфологические, гидрологические, гидрохимические и гидробиологические характеристики.

Методология использования модели для решения прикладных задач экологии моря разрабатывалась и апробировалась для двух, различных по климатическим условиям, районов: колумбийского участка шельфа Карибского моря (лагуны Сиенага де Теска, лимана Сиенага Гранде де Санта-Марта, бухты Картахена), а также водоемов и акваторий северо-западного Причерноморья (Одесского района северо-западной части Черного моря, Придунайских озер)[1, 2].

Наиболее простой вариант блока (1 -го уровня иерархии), разработанный для лагуны Сиенага де Теска, базируется на стандартном наборе определяемых гидрохимических характеристик (минеральные формы азота и фосфора, БПК, растворенный кислород) и содержит только одну биотическую переменную – биомассу фитопланктона, которая в первом приближении может быть оценена по концентрации хлорофилла «а». Скорости регенерации минеральных форм азота и фосфора полагаются равными и описываются кинетическим уравнением реакции биохимического окисления органического вещества 1-го порядка. Учитываются различия в стехиометрическом соотношении для косного (неживого) органического вещества естественного (автохтонного) и антропогенного происхождения.

В блоке 2-го уровня организации, разработанного для водоемов и акваторий северо-западного Причерноморья, циклы азота и фосфора на абиотическом уровне рассматриваются отдельно, что позволяет учесть возможные различия в скоростях минерализации органических форм фосфора и азота, а также в соотношении между азотом и фосфором в составе автохтонного и аллохтонного (в том числе, поступающего из антропогенных источников) органического вещества. Удельные скорости химико-биологических процессов записываются не как константы, а в виде функций от характеристик состояния морской среды. Косное органическое вещество, выраженное в единицах азота, фосфора и кислорода, разделено на взвешенную и растворенную части, первая из которых осаждается под действием силы тяжести.

В блоке 3-го уровня организации, разработанного для б.Картахена, в явном виде учтена роль бактерий в минерализации органического вещества, что позволяет более точно описать пространственно-временную изменчивость моделируемых характеристик. Предложена новая схема включения бактериопланктона в математическую структуру модели, учитывающая влияние плотности популяции бактерий на их смертность, различия в соотношениях между биогенными элементами в составе неживого органического вещества естественного и антропогенного происхождения.

Наиболее комплексный вариант химико-биологического блока модели эвтрофикации (4-го уровня иерархии), разработанный для лимана Сиенага Гранде де Санта-Марта, включает в себя в качестве переменных, помимо бактерий, зоопланктон и является упрощенным вариантом модели функционирования водной экосистемы. При включении зоопланктона в структуру блока эвтрофикации предполагается, что его кормовую базу составляют фитопланктон, бактериопланктон, детрит и часть организмов самого зоопланктона. Траты на обмен (дыхание) зоопланктона рассматриваются как процесс регенерации минеральных форм азота и фосфора, а продукты его жизнедеятельности – неусвоенные остатки пищи, включаются в пул неживого органического вещества.

Модель эвтрофикации с химико-биологическими блоками 1-го и 2-го уровней иерархии целесообразно использовать для гипертрофных и эвтрофных водных экосистем; 3-го уровня – для водных объектов и акваторий с высокой степенью сапробности вод и значительными пространственными неоднородностями концентрации косного органического вещества; 4-го уровня – для мезотрофных водных экосистем.

Предложенная модель использовалась как инструмент для прогнозирования экологических последствий, оценки целесообразности и эффективности различных управленческих решений, направленных на сохранение и улучшение качества вод указанных водных объектов.

Для каждого из исследуемых водных объектов, на основе результатов численных имитационных экспериментов с модификациями модели эвтрофикации, определены научно обоснованные стратегии реализации природоохранных мероприятий, направленных на улучшение качества их вод.

С помощью модели были решены следующие прикладные задачи экологии моря и гидроекологии [1]:

- определение относительных вкладов нормируемых и нерегулируемых источников в наблюдаемый уровень загрязнения морских акваторий с целью оценки степени управляемости качеством вод морской экосистемы;
- определение уровня и масштабов загрязнения морской среды локальными источниками загрязнения, роли отдельных локальных источников в формировании качества морской среды;
- разработка стратегии улучшения качества вод частично и (или) периодически полностью изолированных морских акваторий (водоемов) с учетом реальных возможностей: нормирования сбросов загрязняющих веществ береговыми антропогенными источниками; усиления проточности акватории и водообмена с открытой частью моря путем строительства различного рода гидротехнических сооружений;

- оцінка ефективності інженерних заходів, спрямованих на покращення якості води та зменшення заносимості морських водойм естуарного типу шляхом регулювання витрат, територіального та біогенного стоку річкових вод, а також кислородного режиму придонних вод глибоких, частково ізольованих морських акваторій;
- розробка рекомендацій по управлінню гідрологічним та гідохімічним режимами, екологічним станом епізодично ізольованих морських та внутріконтинентальних водойм шляхом регулювання прихідної та витхідної частин їх водного балансу.

Література

1. Іванов В.А., Тучковенко Ю.С. Прикладне математичне моделювання якості води шельфових морських екосистем. – Севастополь: МГІ НАН України. – 2006. – 368 с.
2. Гопченко Е. Д., Тучковенко Ю.С. Математична модель евтрофікації Придунайських озер // Гідробіологічний журнал. – Київ: НАН України, Ін-т гідробіології. – 2005. – Т. 41, № 1. – С. 92 - 105.

УДК 004.94 : 532.5

МОДЕЛЮВАННЯ РІЗНОМАСШТАБНИХ ПРОЦЕСІВ У ВОДОЙМАХ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Р.В. Беженар

Інститут проблем математических машин и систем НАН України

В багатьох проблемах гідродинаміки оточуючого середовища необхідно одночасно моделювання процесів різного масштабу, які протікають в областях складної форми. Наприклад, моделювання процесів теплового забруднення водойм охолоджувальними системами електростанцій та інших промислових об'єктів повинно включати моделювання процесів, як в ближній так і в дальній зонах по відношенню до джерела теплового забруднення. В ближній зоні надходження води з охолоджувальної системи формує плавучий струмінь, який взаємодіє з течіями у водоймі (річці, водосховищі або прибережній зоні моря). Таким чином, чим точніше змодельовані процеси в ближній зоні, тим менша помилка при моделюванні дальньої зони.

Для моделювання процесів циркуляції та переносу домішок була використана тривимірна модель турбулентних стратифікованих течій з вільною поверхнею THREE-TOX [1], в якій рівняння гідродинаміки в наближеннях Бусінеска та гідростатики були доповнені рівняннями