

К.А.Слепчук

Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОГО МЕТОДА ХУКА-ДЖИВСА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ПАРАМЕТРОВ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Описывается использование оптимизационного метода Хука-Джиса для калибровки параметров одномерного варианта модели качества вод *МЕССА* с целью осуществления прогноза динамики фитопланктона, органических фосфора и азота, аммонийного азота и фосфора фосфатов поверхностных вод акватории Севастопольской бухты. Данные, полученные в процессе вычислительного эксперимента с калибровкой и без нее, сопоставляются с натурными данными, осредненными за 2001 – 2005 гг. Сделан вывод об улучшении при калибровке модельного результата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *биогеохимическое моделирование, биогенные элементы, фитопланктон, методы оптимизации, метод Хука-Джиса.*

Влияние океанологических факторов на экологическое состояние прибрежных морских акваторий при решении проблем рационального природопользования остается актуальным на протяжении многих десятков лет.

Чтобы контролировать качество водной среды, необходимо использовать математические модели. Созданию математической модели, как правило, предшествует экологический мониторинг исследуемой экосистемы и целый ряд специализированных экспериментов для оценки интенсивности связей между компонентами экосистемы.

Для оценки состояния морской экосистемы требуются натурные наблюдения из различных областей знаний: гидрофизики, гидрогеологии, гидрохимии, гидробиологии, метеорологии, которые выполняются на основе различных методик с разной точностью и дискретностью. Не всегда эти натурные наблюдения выполнены в достаточном количестве в разных точках пространства. Применение математического моделирования позволяет не только восполнить пробелы в точках отсутствия натуральных данных, но и осуществить модельную оценку состояния экосистемы в условиях изменчивости ее компонентов.

Кроме того, математическое моделирование позволяет получить прогноз эволюции экосистемы при взаимном влиянии природно-климатических и антропогенных факторов.

Материалы и методы. В данной работе было проведено моделирование годовой динамики фитопланктона, органического фосфора, фосфора фосфатов, органического азота, аммонийного азота в акватории Севастопольской бухты с помощью модели качества вод *МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment)* [1]. Севастопольская бухта очень активно используется на протяжении более двух столетий в различных сферах народного хозяйства. Бухта является гаванью для военных и торговых судов. По берегам бухты расположена историческая часть города Севастополя, а также промышленные предприятия (судоремонтные и судо-

строительные, нефтебаза, ТЭЦ и др.). В бухте функционируют более 30 выпусков сточных вод – аварийных, временных и постоянно действующих, через которые поступает от 10 до 15 тыс. м³ сточных вод в сутки. Основной объем стоков сбрасывается без очистки [2]. Бухта используется для судоходства и в рекреационных целях.

В соответствии с принципами осреднения, модель может иметь различную пространственно-временную разрешающую способность. Калибровка и эксплуатация трехмерной прогностической модели водной экосистемы предъявляет высокие требования к вычислительным возможностям ЭВМ и требует значительных, зачастую нереальных затрат машинного времени и времени исследователя. Поэтому на начальном этапе используется одномерный (с разрешением по вертикальной координате) вариант, где все данные осреднены в одной точке при средней глубине водоема.

В связи с достаточно большими несоответствиями данных, рассчитанных по модели, и натуральных данных был применен оптимизационный метод Хука-Дживса [3]. Это метод прямого поиска минимума функционала, состоящий из последовательности шагов исследующего поиска вокруг базисной точки, за которой в случае успеха следует поиск по образцу. В уравнения блока эвтрофикации модели включены параметры (удельные скорости химико-биологических процессов) и коэффициенты в эмпирических уравнениях, описывающих изменчивость значений этих параметров в зависимости от характеристик среды и внешних факторов. Далее, варьируя эти параметры в рамках возможного диапазона их изменчивости, проводится попытка достижения максимального соответствия модельных результатов и данных наблюдений, используя минимизацию суммы квадратов отклонений данных, рассчитанных по модели, и натуральных данных.

Обсуждение результатов. На рис.1 представлена динамика температуры на поверхности и на дне Севастопольской бухты, где точками обозначены натурные данные, осредненные за 2001 – 2005 гг., а кривой – модельные. Видно, что гидрологический блок модели достаточно хорошо воспроизводит температуру.

На рис.2 представлена динамика фитопланктона, органического фосфора и азота, аммонийного азота и фосфора фосфатов. Кривая линия соответствует данным, рассчитанным по модели с учетом калибровки, пунктирная кривая соответствует данным, рассчитанным по модели без использования метода калибровки, а точки – натурным данным, осредненным за 2001 – 2005 гг.

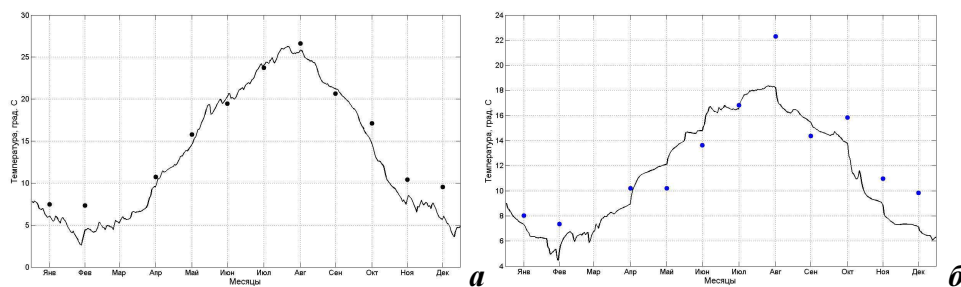
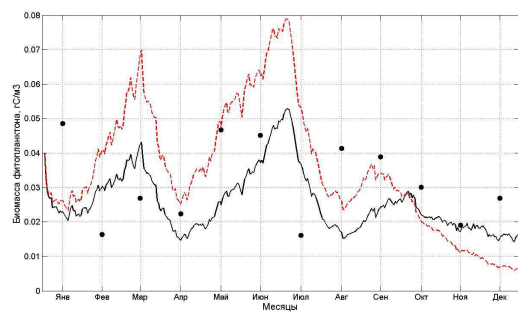
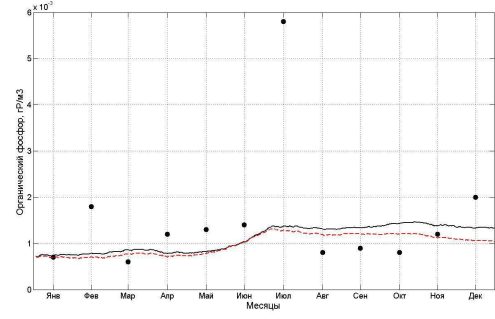


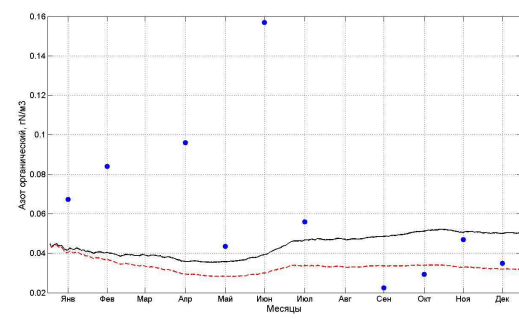
Рис. 1. Поверхностная температура (а) и температура на дне (б) Севастопольской бухты.



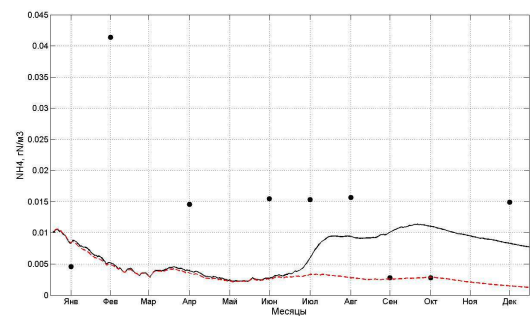
a



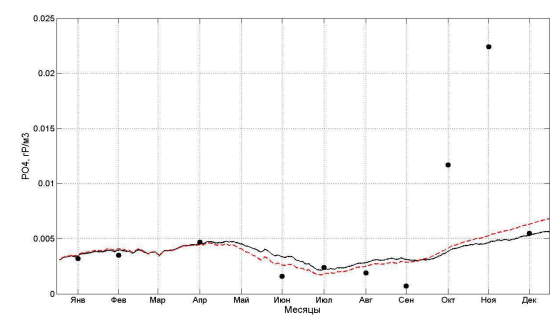
б



в



г



д

Р и с . 2 . Динамика фитопланктона (*a*), органического фосфора (*б*), органического азота (*в*), азота аммонийного (*г*), фосфора фосфатов (*д*) в Севастопольской бухте.

Выводы. Моделирование биогеохимических процессов, протекающих при участии веществ естественного и антропогенного происхождения, играет важную роль при оценке состояния морских экосистем. Из представленных в работе результатов видно, что использование метода оптимизации Хука-Дживса позволяет более точно отобразить реальную картину годовой динамики биомассы фитопланктона, а также небольшие улучшения в прогнозе годовой динамики органических азота и фосфора. Прогноз годовой динамики аммонийного азота лишь во второй половине года дает хорошие результаты. Однако использование метода Хука-Дживса почти не повлияло на прогноз годовой динамики фосфора фосфатов. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования методов оптимизации в биогеохимическом моделировании, но следует откорректировать весовые коэффициенты в сумме квадратов отклонений натуральных данных и данных, рассчитанных по модели, что может улучшить прогнозируемый результат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.А., Тучковенко Ю.С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 368 с.
2. Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Романов А.С., Игнатьева О.Г. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 90 с.
3. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ.– М.: Радио и связь, 1988.– 128 с.
4. Куфтаркова Е.А., Губанов В.И., Ковригина Н.П., Еремин И.Ю., Сеничева М.И. Экологическая оценка современного состояния вод в районе взаимодействия Севастопольской бухты с прилегающей частью моря // Морской экологический журнал.– 2006.– т.5, № 1.– С.72-90.

Материал поступил в редакцию 23.06.2013 г.

АНОТАЦІЯ Описується використання оптимізаційного методу Хука-Дживса в калібруванні параметрів одновимірного варіанта моделі якості вод *MECCA* з метою здійснення прогнозу динаміки фітопланктону, органічних фосфору та азоту, азоту амонію і фосфору фосфатів поверхневих вод акваторії Севастопольської бухти. Дані, отримані в процесі обчислювального експерименту з калібруванням і без нього, зіставляються з натурними даними, осередненими за 2001 – 2005 рр. Зроблено висновок про поліпшення модельного результату.

ABSTRACT The use of optimization method of Hooke-Jeeves in calibration of parameters of one-dimensional variant of water quality model *MECCA* for forecasting dynamics of phytoplankton, organic phosphorus and nitrogen, ammonium and phosphates of surface waters of the Sevastopol Bay area is described. Data obtained in the process of computing experiment with and without calibration is compared with in situ averaged data of 2001 – 2005. Conclusion about the improvement of a model result is drawn.