

ПРИМЕНЕНИЕ АВС-МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

И.П. Лазарчук

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: ingalm@mail333.com

В статье рассматривается метод построения карт параметров морской экосистемы по данным спутниковых наблюдений хлорофилла и температуры в верхнем слое акватории северо-западного шельфа черного моря. Съемка проводилась в феврале 2007 г. В качестве параметров экосистемы рассматриваются средние по верхнему слою моря значения концентраций фитопланктона, зоопланктона, кислорода и биоресурса.

Введение. В работах [1 – 3] можно найти примеры использования ABC-метода для построения временных сценариев процессов в интегральных моделях морских экосистем. Модульные уравнения ABC-метода связывали между собой физические скорости изменения интегральных параметров экосистемы со значениями этих параметров и внешними влияниями. Но ничто не мешает использовать этот метод для получения профилей пространственных распределений параметров морской экосистемы. Отличием ABC-модели, предназначенной для расчета пространственных распределений, является только зависимость ее переменных не от времени t , а от пространственной координаты l . В этом варианте ABC-модель отражает адаптивный баланс (согласованность) пространственных сценариев (профилей) моделируемых процессов между собой и с заданными профилями внешних влияний.

Построение упрощенной модели морской экосистемы для оценки пространственных распределений ее параметров. В качестве примера можно рассмотреть упрощенную модель морской экосистемы и построить оценки пространственных распределений биоресурса по данным о концентрации хло-

рофилла и поверхностной температуры моря.

Пусть $BR(l)$ – концентрация биоресурса вдоль направления (траектории) l на поверхности моря. ABC-модель морской экосистемы, используемая для оценки этого параметра, должна содержать в своем составе основные процессы, обеспечивающие существование биоресурса в поверхностном слое.

В качестве этих параметров экосистемы будем использовать средние по верхнему слою моря значения концентраций фитопланктона PP , зоопланктона ZP , кислорода OX и биоресурса BR , под которым понимается концентрация всех живых организмов, расположенных выше зоопланктона в пищевой цепи. В качестве внешнего воздействия на экосистему рассматривается температура верхнего слоя моря TW . Концептуальная модель экосистемы может быть представлена схемой причинно-следственных связей, изображенной на рис. 1.

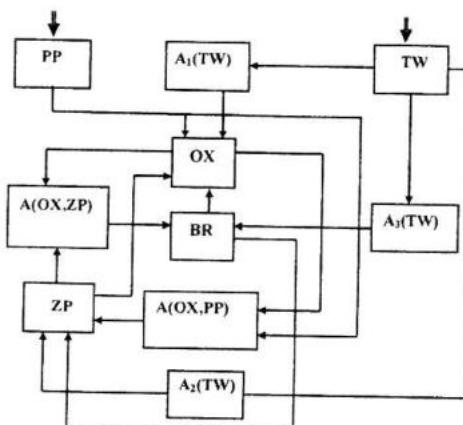


Рис. 1. Концептуальная модель для оценки пространственных распределений параметров экосистемы

Можно использовать наблюдения поля концентрации хлорофилла $CH(l)$ в правой части уравнения для фитопланктона, полагая, что они представляют собой конечный результат влияния на концентрацию фитопланктона всех не учитываемых в модели процессов. Кроме того, можно учесть влияние поверхностной температуры моря на состояние эко-

системы, поскольку эти данные обычно доступны для анализа. Для поверхностной концентрации хлорофилла и температуры использовались сезонные данные спутниковых измерения в Черном море, полученные с помощью сканирующего оптического спектрометра MODIS (Aqua). Данные второго уровня обработ-

ки получены из архива GSFC (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) и размещались на равномерной сетке с шагом 10 км программным комплексом МГИ НАНУ [4], соответствующих полей, построенных по данным дистанционного зондирования морской поверхности (рис. 2).

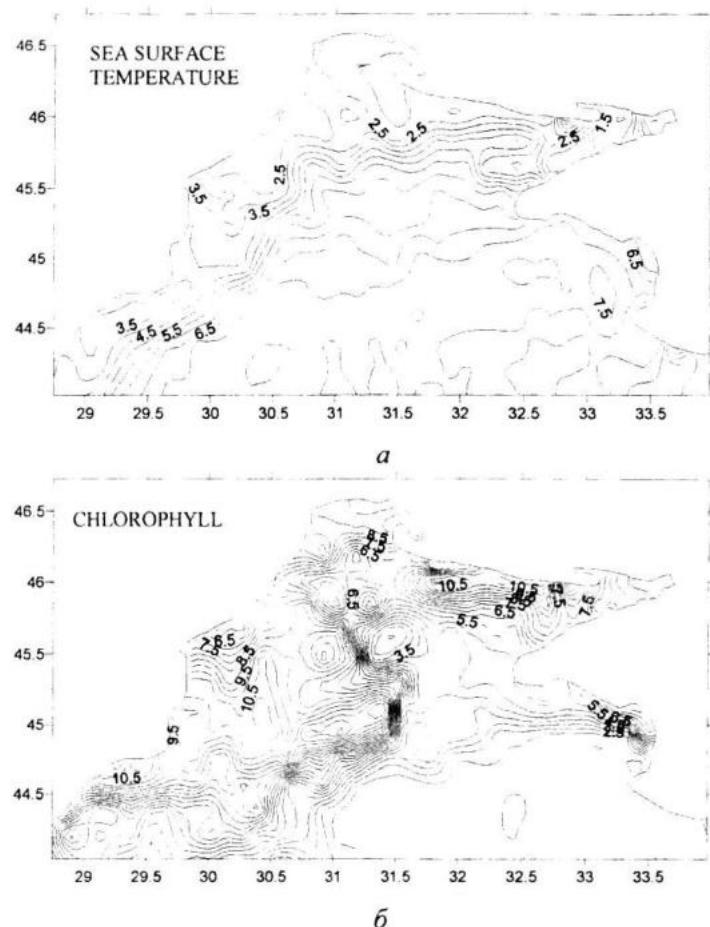


Рис. 2. Распределение поверхностной температуры (а) и концентрации хлорофилла (б) по наблюдениям в феврале 2007 г в СЗЧМ

Концептуальной модели (см. рис. 1) соответствует следующая система уравнений пространственной ABC-модели

вдоль направления l на морской поверхности

$$\begin{aligned} \frac{dPP}{dl} &= PP\{1 - 2[PP - a_{PP/CH}CH(l)]\}, \\ \frac{dOX}{dl} &= OX\{1 - 2[OX + a_{OX/BR}BR + a_{OX/ZP}ZP - a_{OX/PP}PP + a_{OX/TW}TW]\}, \\ \frac{dZP}{dl} &= ZP\{1 - 2[ZP + a_{ZP/BR}BR - A_{ZP}(PP, OX) - a_{ZP/TW}\exp[-\alpha_{ZP}(TW - TW_{ZP}^*)^2]]\}, \quad (1) \\ \frac{dBR}{dl} &= BR\{1 - 2[BR - A_{BR}(ZP, OX) - a_{BR/TW}\exp[-\alpha_{BR}(TW - TW_{BR}^*)^2]]\}, \end{aligned}$$

$$A_{ZP}(PP, OX) = a_{ZP/PP} PP(l) A_{ZP/PP}(l) + a_{ZP/OX} OX(l) A_{ZP/OX}(l),$$

$$a_{ZP/PP} PP(l) = IF[M_{ZP}(l) = PP(l); a_{ZP/PP} PP(l); 0],$$

$$a_{ZP/OX} OX(l) = IF[M_{ZP}(l) = OX(l); a_{ZP/OX} OX(l); 0],$$

$$A_{ZP/OX}(l) = IF[OX(l) < OX_c; 0; 1], \quad A_{ZP/PP}(l) = IF[PP(l) < PP_c; 0; 1],$$

$$M_{ZP} = \arg \min \{PP(l); OX(l)\}, \quad M_{BR} = \arg \min \{ZP(l); OX(l)\},$$

$$A_{BR}(ZP, OX) = a_{BR/ZP} ZP(l) A_{BR/ZP}(l) + a_{BR/OX} OX(l) A_{BR/OX}(l),$$

$$a_{BR/ZP} ZP(l) = IF[M_{BR}(l) = ZP(l); a_{BR/ZP} ZP(l); 0],$$

$$A_{BR/ZP}(l) = IF[ZP(l) < ZP_c; 0; 1], \quad A_{BR/OX}(l) = IF[OX(l) < OX_c; 0; 1],$$

$$a_{BR/OX} OX(l) = IF[M_{BR}(l) = OX(l); a_{BR/OX} OX(l); 0],$$

В модели установлены нижние предельно допустимые концентрации фитопланктона PP_c , зоопланктона ZP_c и кислорода OX_c . Если лимитирующий параметр в данной точке пространственно-го сценария опускается ниже предельно допустимого значения, агенты управления обращают его в нуль. Наиболее благоприятные для развития зоопланктона и биоресурса значения температуры верхнего слоя моря обозначены TW_{ZP}^* и TW_{BR}^* соответственно.

Проведение вычислительных экспериментов. Для удобства графического изображения результатов расчетов все моделируемые процессы, а также данные наблюдений были приведены к единой безразмерной шкале изменчивости [0,10].

В первой серии вычислительных экспериментов были построены профили пространственных распределений параметров экосистемы вдоль отдельных направлений. Были выполнены два варианта расчетов: без установления границ зон гомеостазиса для живых объектов экосистемы и с установленными границами. Примеры полученных зональных профилей этих параметров, рассчитанные на широте $45^{\circ} 47'$, показаны на рис. 3.

Результаты действия агентов лимитирования можно проследить по профилям, изображенными на рис. 3. Так, например, график концентрации зоопланктона на рис. 3, б отчетливо следует за

минимальным из двух ресурсных для него значений: фитопланктона или кислорода.

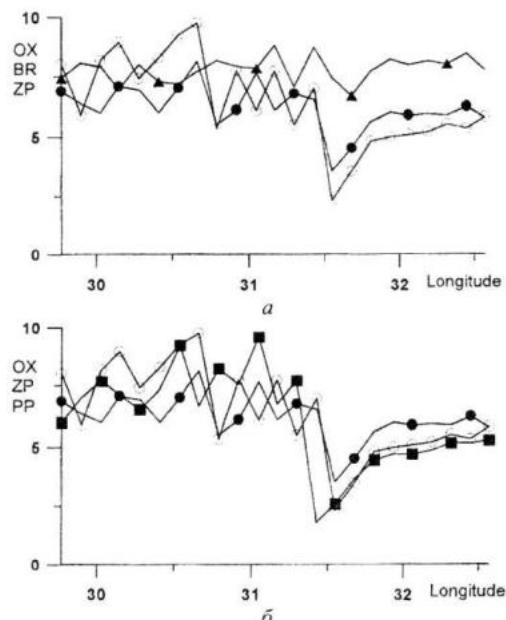


Рис. 3. Пространственные распределения параметров экосистемы на широте $45^{\circ} 47'$, рассчитанные по модели (1) с использованием данных наблюдений, приведенных на рис. 2, без учета границ зон гомеостазиса живых организмов:

а) $\circ - OX$; $\bullet - ZP$; $\blacktriangle - BR$;
б) $\circ - OX$; $\bullet - ZP$; $\blacksquare - PP$

Вторая серия экспериментов имела целью построение карт пространственных распределений параметров экосистемы по данным дистанционного зон-

дирования, изображенным на рис. 2. Модель экосистемы (1) была последовательно применена с этими данными наблюдений на всех широтных разрезах полей поверхностной температуры и

концентрации хлорофилла. Построенные карты пространственных распределений параметров экосистемы приведены на рис. 4, 5.

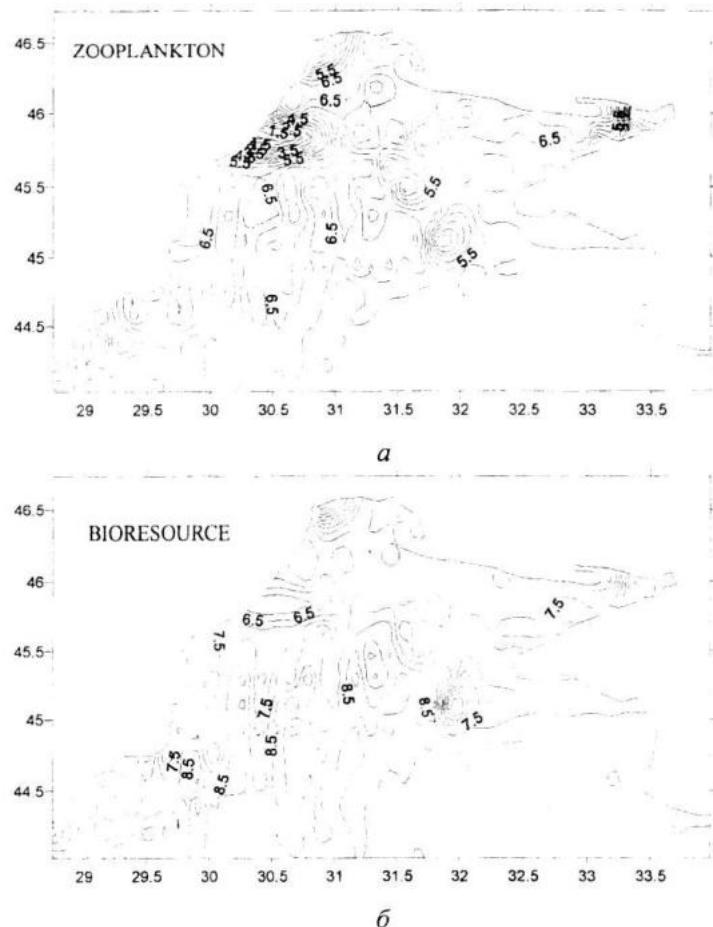


Рис. 4. Карты концентраций зоопланктона (а) и биоресурса (б), построенные методом адаптивного баланса влияний при помощи модели экосистемы (1) без учета границ зон гомеостазиса

Карта концентраций зоопланктона, сформированная под влиянием агента лимитирования этих концентраций по фитопланктону и кислороду, показана на рис. 4, а.

Влияние учета границ зон гомеостазиса демонстрируют карты зоопланктона и биоресурса, приведенные на рис. 5. По сравнению с результатами расчетов без использования этих границ (см. рис. 4 а и б) изменчивость полей существенно увеличилась. Таким образом, предложенный алгоритм получения оценок пространственных полей позволил произвести пересчет данных наблюдений поверхностной температуры и концен-

траций хлорофилла в иные не наблюдаемые параметры экосистемы.

Заключение. Вычислительные эксперименты подтвердили возможность непосредственного включения спутниковых данных в уравнения численных моделей морских экосистем, построенных *ABC*-методом. Пространственно-временная изменчивость полей морских экосистем является результатом стремления живых объектов экосистемы приспособиться к процессам в окружающей их морской среде. Поэтому поля параметров морских экосистем находятся в динамическом равновесии друг с другом и с внешними влияниями, приложенны-

ми к экосистеме. Этим объясняется возможность заменить в уравнениях *ABC*-модели скорости изменения параметров их пространственными производными вдоль выбранных направлений в поле. В силу быстрой сходимости итерационных алгоритмов решений уравнений *ABC*-

моделей морских экосистем подобные модели могут быть использованы при расчете ненаблюдаемых параметров экосистем путем усвоения данных дистанционных наблюдений вдоль отдельных направлений на морской поверхности.

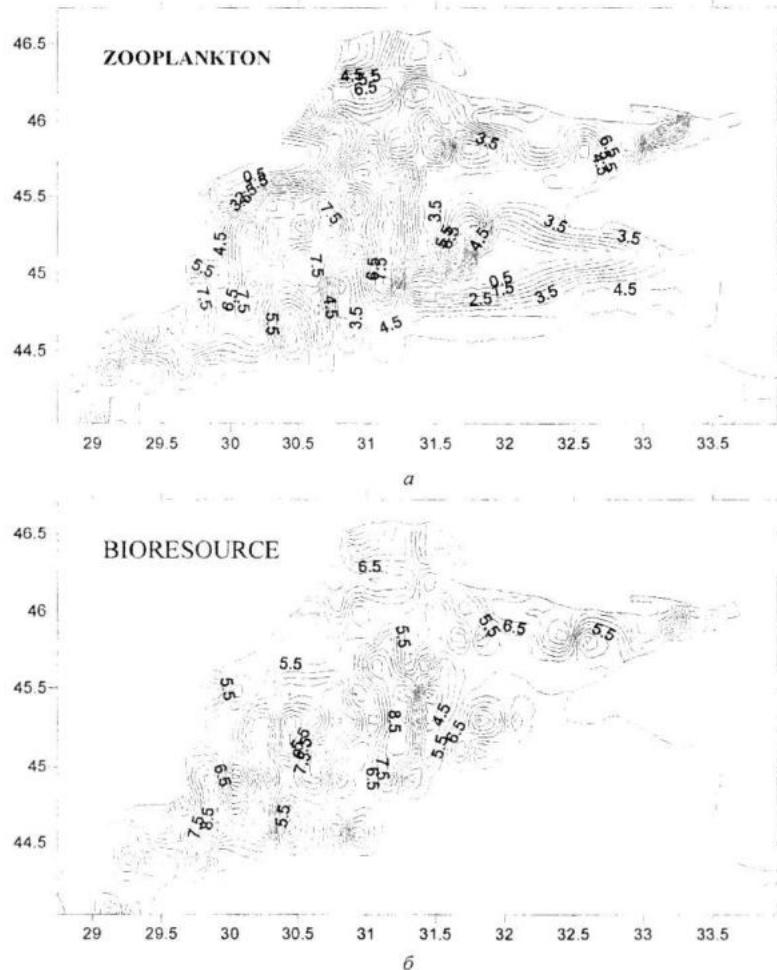


Рис. 5. Карты концентраций зоопланктона (*a*) и биоресурса (*b*), построенные методом адаптивного баланса влияний при помощи модели экосистемы (1) с учетом границ зон гомеостазиса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И. Системный менеджмент и *ABC*-технологии устойчивого развития. – Севастополь.: Изд. “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2000. – 225 с.
2. Иванов В.А., Игумнова Е.М., Латун В.С., Тимченко И.Е. Модели управления ресурсами прибрежной зоны моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ – Гидрофизика», – 2007. – 258 с.
3. Еремеев В.Н., Игумнова Е.М., Тимченко И.Е. Моделирование эколого-экономических систем. – Севастополь.: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», – 2004. – 320 с.
4. Пухтияр Л.Д., Станичный С.В. Тимченко И.Е. Оптимальная интерполяция данных дистанционного зондирования морской поверхности. Морской гидрофизический журнал, 2009, № 4 – С. 34 – 50.