

УДК 581.526.32:517.949.2(262.54)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ДИНАМИКИ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ
АЗОВСКОГО МОРЯ

А.Я.Алдакимова

(АзНИИРХ)

Ф.А.Сурков, В.Л.Шустова

(НИИМ и ПМ СКНЦ ВШ)

Фитопланктонные сообщества Азовского моря – единственные производители органического вещества, располагающиеся в начале трофической цепи биоценоза, во многом определяют состояние кормовой базы и, следовательно, жизнеспособности популяций промысловых рыб. Блок "фитопланктон" описывает динамику развития фитопланктонных организмов во всей модели экологической системы Азовского моря и является одним из блоков имитационной системы (ИС) "Азовское море", поэтому математический аппарат, использованный в данном блоке индуцируется математическим аппаратом и задачами модели всей экосистемы Азовского моря (выбранным шагом модели, последовательным моделированием процесса, работой других блоков и т.п.).

Среди абиотических факторов, определяющих течение продукционных процессов в Азовском море, основные – режимы биогенных веществ и температура. Режим биогенных веществ лимитирует синтез органического вещества, температура воды обуславливает сезонную периодичность, ускоряет или замедляет обмен веществ, скорость минерализации органического вещества.

В модели Азовское море разделено на семь районов и динамика биомасс различных видов фитопланктона рассматривается в каждом из этих районов. Поскольку видовой состав фитопланктона Азовского моря многообразен и изменяется по сезонам в зависимости от тех или иных условий внешней среды, в блоке фитопланктон рассматривается с детализацией по видам и подвидам. Поэтому моделирующий алгоритм состоит из двух этапов – на пер-

вом формируем вектор состояния, а на втором рассматриваем его динамику. Принцип формирования вектора состояния таков. Имеется множество $\{x_N\}$, состоящее из N видов фитопланктона. В блоке, ввиду ограниченности памяти машины, рассматривается лишь 20 видов, которые выбираются из элементов множества $\{x_N\}$ сравнением биомассы данного вида фитопланктона с его так называемой критической биомассой $M_{кр}$ — величиной, позволяющей оценить удельный вес биомассы данного вида в общей биомассе фитопланктона.

В начале работы блока "фитопланктон" в вектор состояния включаются те виды фитопланктона, начало сезонного развития которых соответствует данному моменту времени. Если в процессе счета биомасса какого-либо вида становится меньше $M_{кр}$, например, из-за того, что этот вид прекратил сезонное развитие, то нет необходимости рассматривать этот вид в следующий момент времени. Поэтому он исключается из набора x_1, x_2, \dots, x_{20} , а его место занимает вид, сезонное развитие которого началось.

Такой путь позволяет прогнозировать развитие фитопланктона и появление новых видов в Азовском море (например, в годы осолонения). Далее, при рассмотрении конкретного района, осуществляется выбор видов фитопланктона, доминирующих в данном районе, что определяется соленостью района; если соленость района не попадает в (S^1, S^2) — интервал солености, при которой развивается данный вид, то этот вид из рассмотрения в этом районе исключается.

Выбор интервала солености, при которой развивается каждый из видов фитопланктона, основан на результатах натуральных съемок в Азовском море.

Предположим, что вектор состояния $x = (x_1, x_2, \dots, x_{20})$, $x_1, x_2, \dots, x_{20} \in x_N$ сформировали и перейдем к рассмотрению его динамики. Взаимосвязи факторов, определяющих развитие фитопланктона, соответствуют схеме (рис. I). Развитие фитопланктона определяют температура воды, интенсивность солнечной радиации, приток биогенных элементов, ветер, соленость, количество растворенного кислорода /2,5/.

Величина биомассы фитопланктона изменяется под действием противоположно направленных процессов: новообразования биомассы в результате фотосинтеза, убыли биомассы в результате вые-

дания, трат на обмен и отмирания из-за неблагоприятных условий существования /1,2,4/.

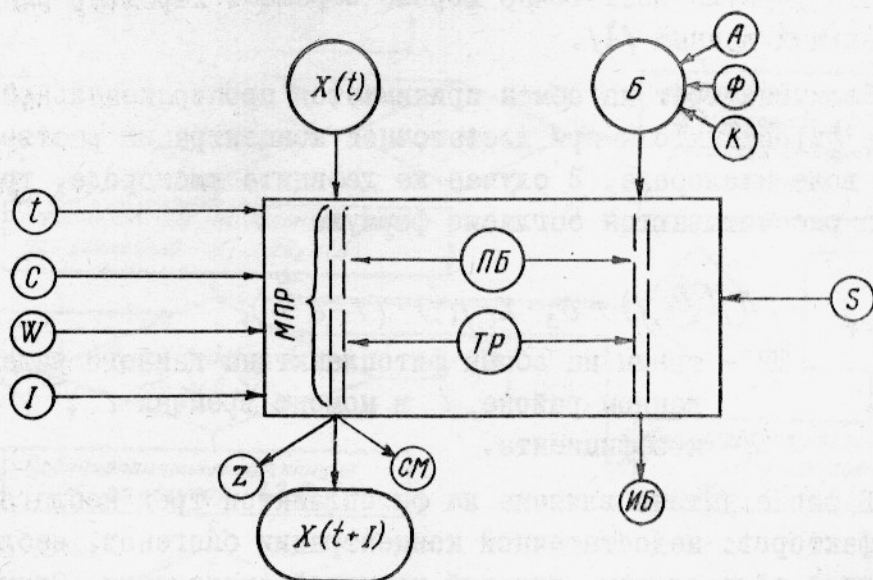


Рис. I. Схема взаимосвязи факторов, определяющих развитие фитопланктона. На схеме:
Входы системы: t - температура воды; C - интенсивность солнечной радиации; W - ветер; $x(t)$ - биомасса фитопланктона в момент времени t ;
 y - количество растворенного в воде кислорода;
 S - солёность; $Б$ - биогенные элементы (A - азот, $Ф$ - фосфор, $К$ - кремний);
 $ТР$ - траты на обмен; $ИБ$ - изменение биогенов, в результатах потребления их фитопланктоном.
Выходы системы: $x(t + \Delta t)$ - биомасса фитопланктона в момент времени $(t + \Delta t)$; Z - биомасса фитопланктона, которая может быть потреблена; $СМ$ - масса отмершего фитопланктона, которая пополнит собой мертвое органическое вещество; $ПБ$ - количество биогенов, потребленное фитопланктоном

В блоке предполагается, что интенсивность фотосинтеза изменяется в зависимости от энергии солнечной радиации в соответствии с формулой

$$МПР(i, j) = a_1 \cdot x_{i, j}(t) \cdot (1 - e^{-\frac{C}{a_2}}),$$

где $МПР(i, j)$ - прирост биомассы фитопланктона данного вида j в данном районе i за интервал времени Δt .

$x(t)$ - биомасса фитопланктона данного вида j в данном районе i ;

C - интенсивность солнечной радиации;
 a_1, a_2 - коэффициенты.

Эта формула достаточно хорошо отражает характер экспериментальных данных /1/.

Величина трат на обмен принимается пропорциональной биомассе фитопланктона при достаточной концентрации растворенного в воде кислорода. В случае же дефицита кислорода, траты на обмен рассчитываются согласно формуле

$$TP(i, j) = a_3 \cdot X_{i, j}(t) \cdot (1 - e^{-\frac{y}{a_4}}),$$

где TP - траты на обмен фитопланктона данного вида j в данном районе i в момент времени t ;
 a_3, a_4 - коэффициенты.

В блоке учтено влияние на фитопланктон трех неблагоприятных факторов: недостаточной концентрации биогенов, неблагоприятной температуры, сильной ветровой активности. Отмирание фитопланктона в каждом из этих случаев рассчитывается по формулам, аппроксимирующим имеющийся эмпирический материал.

Для того чтобы вычислить измененные концентрации биогенных элементов в воде, необходимо оценить их потребление фитопланктоном по соотношению между концентрацией этих элементов в воде и нормальной концентрацией биогенных элементов в веществе фитопланктона /4/. В результате этого потребления изменится как количество биогенов в биомассе j -го вида фитопланктона ($ИБ(i, j)$), так и его содержание в воде ($\Delta ВВ(i)$), что описывается следующими равенствами:

$$ИБ(i, j) = ПБ(i, j) - КБ(i, j) [TP(i, j) + СМ(i, j) + Z(i, j)],$$

$$\Delta ВВ(i) = ВВ(i) - ПБ(i, j),$$

где $ПБ(i, j)$ - потребление биогенов j -м видом фитопланктона в i -м районе;

$КБ(i, j)$ - концентрация биогенов в веществе j -го вида фитопланктона в i -м районе.

Биомасса фитопланктона в момент времени ($t + \Delta t$) рассчитывается согласно соотношению:

$$x_{i, j}(t + \Delta t) = x_{i, j}(t) + МПР_{i, j}(\Delta t) - СМ(i, j) - Z(i, j) - TP(i, j).$$

Моделирующий алгоритм блока "Фитопланктон" реализован в виде программы на ЭВМ, блок-схема которой приведена на рис.2.

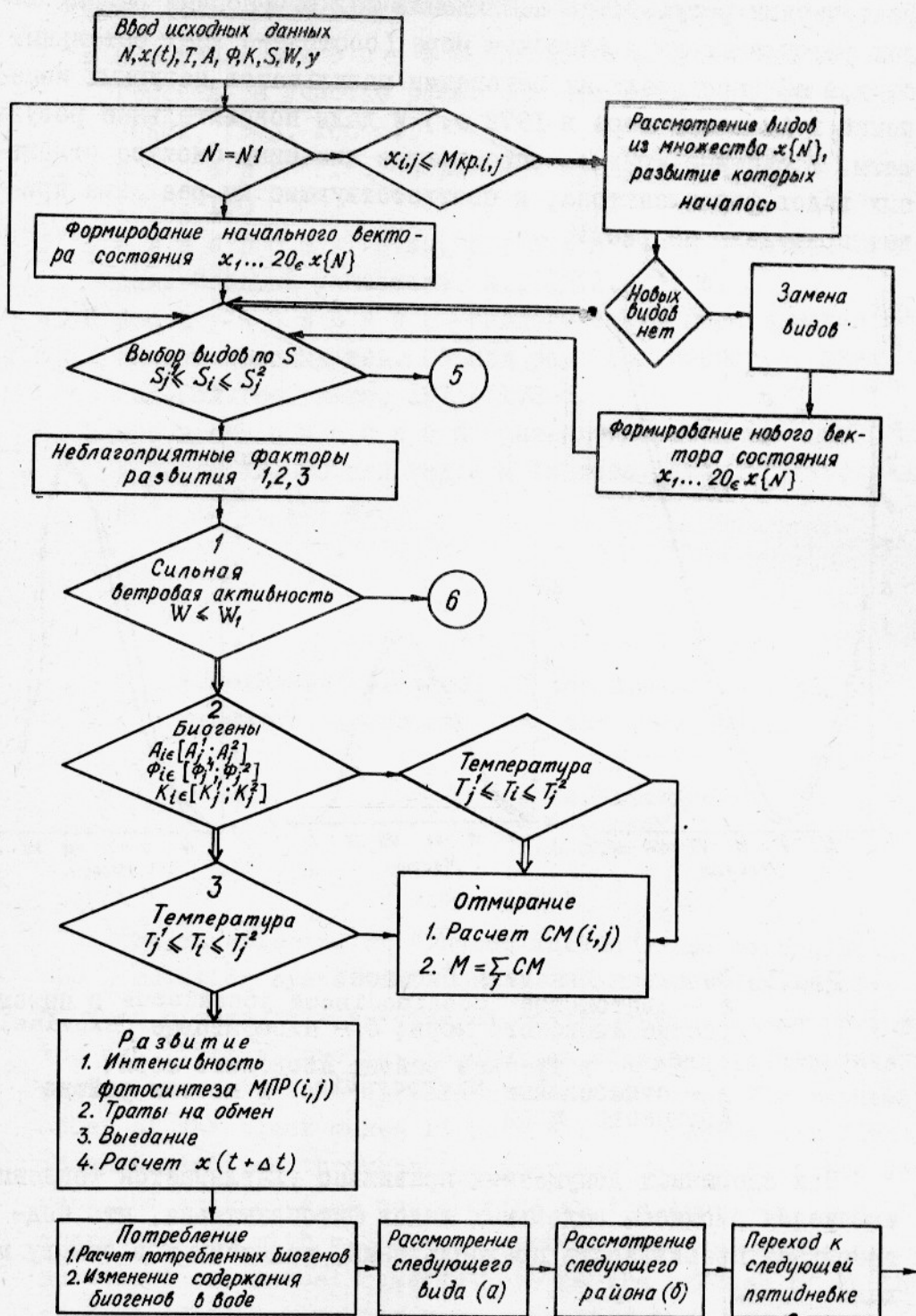


Рис.2. Блок-схема моделирующего алгоритма

Расчеты по программе, составленной для блока "Фитопланктон", производились с исходными данными, соответствующими фактическим результатам наблюдений над биомассами разных видов фитопланктона в Азовском море (состояние всех остальных блоков ИС определяли на основании результатов натурных измерений в Азовском море в 1972 г.) и дали положительные результаты. Расчетные кривые, описывающие динамику биомасс отдельных видов фитопланктона, и соответствующие им реальные кривые приведены на рис.3.

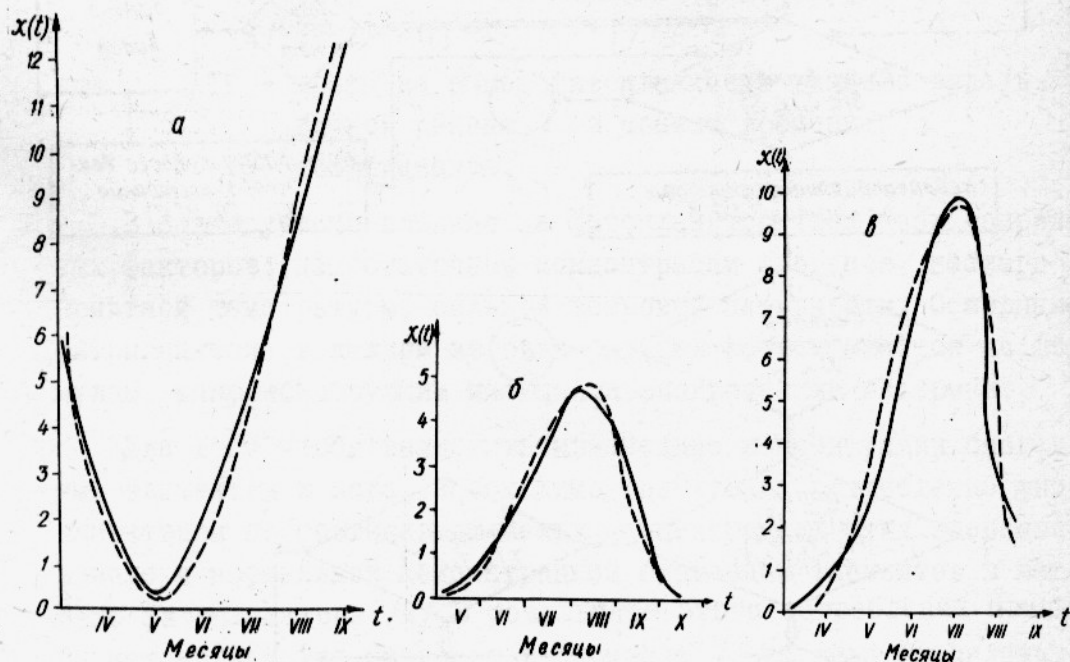


Рис.3. Сезонная динамика биомасс:
 а - диатомовые *Coscinodiscus jonesianus* в пятом районе Азовского моря; б - пиропитовые *Euxyiaella cordata* в третьем районе Азовского моря;
 в - синезеленые *Microcystis* в шестом районе Азовского моря

При сделанных допущениях правильно улавливается тенденция изменения биомассы отдельных видов фитопланктона, что подтверждает правильность предположений, положенных в основу модели.

Список использованной литературы

1. Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки. Сб. под ред. Г.Г.Винберга, Минск, 1973, 160 с.
2. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960, 130 с.
3. Голдербак М.М., Красавина Л.К. Водоросли. Сводный указатель. Л., 1971, 237 с.
4. Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Сб. под ред. Г.Г.Винберга. Минск, Изд-Бел.Гос.ун-та, 1973, 172 с.
5. Экологическая физиология морских планктонных водорослей. Сб. под ред. К.М.Хайлова. Киев, "Наукова думка", 1971, 157 с.

A mathematical model of the dynamics of phytoplankton biocenosis from the Azov Sea.

A.Ya. Aldakimova
F.A. Surkov
V.L. Shustova

S u m m a r y

The functioning of "Phytoplankton", the main block in the simulation system AZOV SEA is described. It computes the biomass of separate species of phytoplankton, dead phytoplankton and fluctuations in the content of biogenic elements in phytoplankton within certain periods of time. The mathematical model of the block makes it possible to observe all fluctuations in phytoplankton throughout a year and to forecast its development and emergence of new species in the Azov Sea, e.g. in years characterized with a higher salinity. The comparison of computations and actual observations on the biomass of various species of phytoplankton have supported the evidence that trends in fluctuations in the biomass are properly detected.