

УДК 591.524.1:594:595+1+3:517.949.2(262.54)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ БИОМАССЫ
ЗООПЛАНКТОНА И БЕНТОСАА.Б.Горстко, О.Г.Мордвинкина
(НИИМ и ПМ СКНЦ ВШ)М.Я.Некрасова, Е.И.Студеникина
(АзНИИРХ)

Динамика планктонной и бентической фауны Азовского моря описывается в блоках имитационной системы, называемых, соответственно, "Зоопланктон" и "Бентос". В связи с тем, что при их разработке использовались некоторые общие принципы, остановимся подробнее на рассмотрении одного из блоков, например, "Зоопланктон", указав для другого лишь существенные отличия (рис.1)

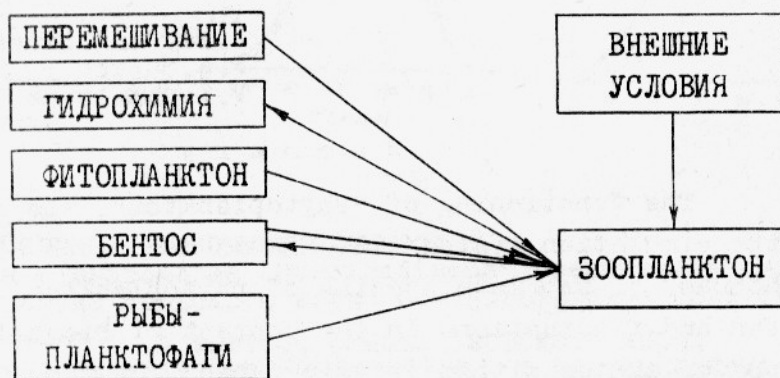


Рис.1. Связь между блоками "Зоопланктон" и "Бентос" с остальными частями ИС "Азовское море"

Поясним приведенные на рисунке связи. Блок "Перемешивание" дает информацию об изменении концентрации зоопланктона, обусловленном водообменом между районами моря. Между блоками "Зоопланктон" и "Гидрохимия" происходит обмен информацией о взвешенных органических частицах (корм для зоопланктона), с

одной стороны, и количеством отмершего зоопланктона, с другой. Сведения о кормовом фитопланктоне поступают из блока "Фитопланктон". Изменение биомассы зоопланктона, вызванное появлением или оседанием личинок бентосных организмов, учитывается взаимодействием с блоком "Бентос"; изменение, вызванное выеданием рыбами, - блоком "Рыбы - планктофаги".

Приведем вкратце сведения о биологических процессах в планктонных сообществах, использование которых позволило построить моделирующий алгоритм для блока "Зоопланктон".

Зоопланктон Азовского моря представлен морским, солоноватоводным реликтовым и пресноводными комплексами. В первом-пятом районах моря обитают преимущественно морские и частично солоноватоводные формы. Распространены веслоногие раки - *Calanipeda aquaedulcis*, *Acartia clausi*, *A. latisetosa*, *Centropages ponticus*. Среди коловраток доминируют *Synchaeta*, из клadoцер - *Podon polyphemoides*. В шестом, седьмом районах развиваются в основном пресноводные и солоноватоводные организмы: *Daphnia longispina*, *Bosmina longirostris*, *Brachionus angularis*, *Acartacyclops vernalis*, *Calanipeda aquae-dulcis* и др.

Сезонное развитие зоопланктона определяется периодичностью размножения жормовых для зоопланктона организмов, колебаниями термического режима и выеданием рыбами. Отмечаются два максимума биомассы - весенний и летний.

Ранневесенний планктон моря представлен в основном коловратками (76% общей массы) из рода *Synchaeta*. Позднее главную роль играют личинки баянуса (до 63% от общей массы). К этому времени относится и начало массового развития копепод (более 20% от общей биомассы). В Таганрогском заливе в этот период в массе развиваются копеподы из рода *Calanipeda* (50% от общей биомассы).

Летом в планктоне моря доминируют копеподы *A. clausi* *Centropages* (до 56% общей биомассы). В Таганрогском заливе летом доминирует клadoцеры, а также *Calanipeda* (соответственно 46 и 34% от общей биомассы).

К осени доля копепод в открытом море снижается до 26%, тогда как количество личинок баянуса и коловраток увеличивается. В заливе состав зоопланктона однороден: 80% составляет *Calanipeda*.

Зимой и в море, и в заливе количество видов невелико с четким доминированием веслоногих раков.

Уровень сезонных пиков и колебания среднегодовых значений биомассы зоопланктона обусловлены комплексом абиотических и биотических факторов.

Выживание большинства животных зависит в основном от пищевых отношений между ними. Основу рациона зоопланктона составляют водоросли и детрит. Из водорослей потребляются мелкие, округлой формы клетки размером до 100 мк. Весной и осенью недостаток мелких водорослей компенсируется детритом (70–80% веса пищевого комка). Летом, когда развитие мелких водорослей достигает максимума, они преобладают в рационе зоопланктона, но роль детрита по-прежнему велика. Потребление животного корма зоопланктоном незначительно и лишь у личинок баянуса и коловраток оно достигает порой 40% рациона.

При хороших условиях для развития зоопланктона биомасса его остается высокой, несмотря на выедание рыбами.

В зоопланктоне Азовского моря доминируют один-два вида животных, четко сменяющих друг друга по сезонам. Это обстоятельство позволило выделить в моделирующем алгоритме блока два этапа.

На первом в зависимости от внешних условий определяется биоценоз – некоторое подмножество из множества видов, характерных в последние годы для Азовского моря. На втором этапе для выбранного биоценоза в соответствии с состоянием других блоков рассчитывается изменение биомасс на соответствующем такте функционирования ИС. Блок-схема программы, реализующей этот алгоритм на ЭВМ, приведена на рис.2.

Перечислим использованные обозначения:

- N – номер пятidineвки; i – номер района;
- B_i – вектор биомасс выбранного биоценоза;
- B_{Fito}, B_{Dt} – векторы биомасс кормового фитопланктона и количество детрита;
- BB_i – биомассы личинок моллюсков;
- KM_i – коэффициент смертности;
- t_i – средняя температура воды i -го района;
- SOL_i – средняя соленость воды i -го района;
- Z – множество рассматриваемых видов зоопланктона;
- Z_i – виды, входящие в биоценоз;

- $K_{Bij}(t)$ - коэффициент размножения для i -го вида;
 $Q_j(t)$ - траты на энергетический обмен;
 R_{jmax}, R_j - максимальные и реальные рационы;
 P_j - прирост биомассы за счет питания;
 Δ_j - неиспользованная пища.

Вход: $N, B, BFit_0, BD, BB, t, sol$.

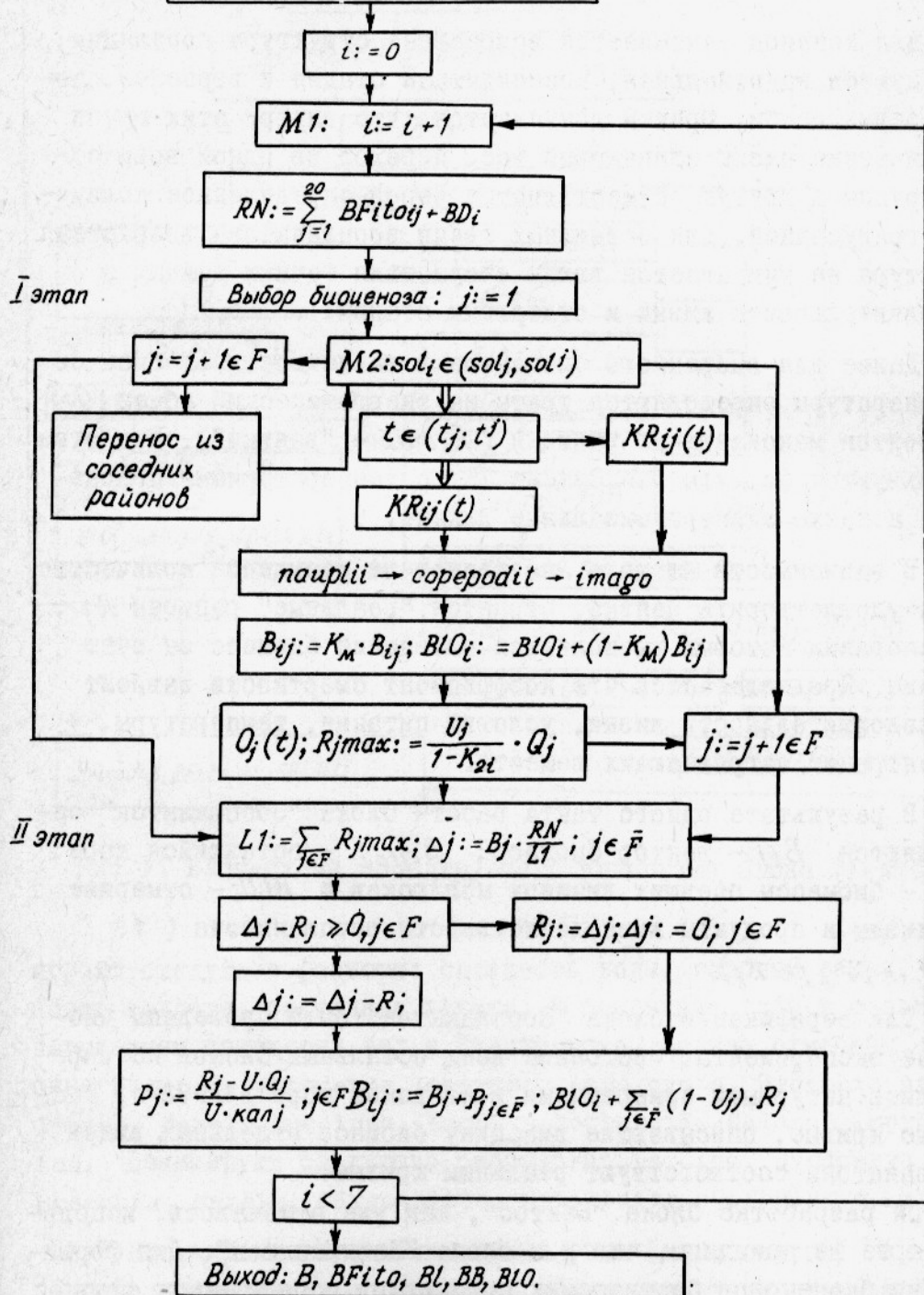


Рис.2. Блок-схема моделирующего алгоритма блока "Зоопланктон"

Основным фактором, обуславливающим присутствие того или иного вида в рассматриваемом районе, является соленость воды.

В зависимости от термических условий и от района выбирается коэффициент $KR_{ij}(t) \geq 0$, определяющий, какую прибавку биомассы даст взрослое поколение доминирующего вида за пятидневку.

Для копепод учитывается возрастная структура популяции; исследуются науплиальная, копеподитная стадия и взрослые, половозрелые особи, причем допускается, что внутри этих групп все животные имеют одинаковый вес. Переход из одной возрастной группы в другую осуществляется через определенное количество градусодней. Для остальных групп зоопланктона возрастная структура не учитывается ввиду отсутствия точных данных о продолжительности жизни и отдельных стадий.

Далее для выбранного биоценоза в зависимости от биомасс и температуры определяются траты на энергетический обмен $\{Q_j\}$ и строятся максимальные рационы (R_{jmax} - "заявки"). При этом используются формулы Л.М.Сущени /5/ с температурными поправками, а также экспериментальные данные.

В зависимости от того, позволяет ли имеющееся количество корма удовлетворить заявки, строятся "реальные" рационы R_j , на основании которых вычисляются изменения биомасс за счет питания. Предполагается что коэффициент смертности зависит от продолжительности жизни, условий питания, температуры, концентрации загрязняющих веществ.

В результате одного такта работы блока "Зоопланктон" определяются B_{ij} - вектор биомасс; $B_{Fito i}$ - оставшийся корм; $B_{B i}$ - биомассы осевших личинок моллюсков и $B_{LO i}$ - отмершие организмы и продукты жизнедеятельности зоопланктона ($i = 1, \dots, 7; j \in \tilde{z}_i$).

Для верификации блока "Зоопланктон" были проведены численные эксперименты. Состояние всех остальных блоков ИС определялись натурными измерениями в Азовском море в 1972 г. Расчетные кривые, описывающие динамику биомасс отдельных видов зоопланктона соответствуют реальным кривым.

При разработке блока "Бентос", как уже отмечалось, использованы те же принципы, что и в блоке "Зоопланктон". Для формирования биоценозов бентических организмов определяющую роль

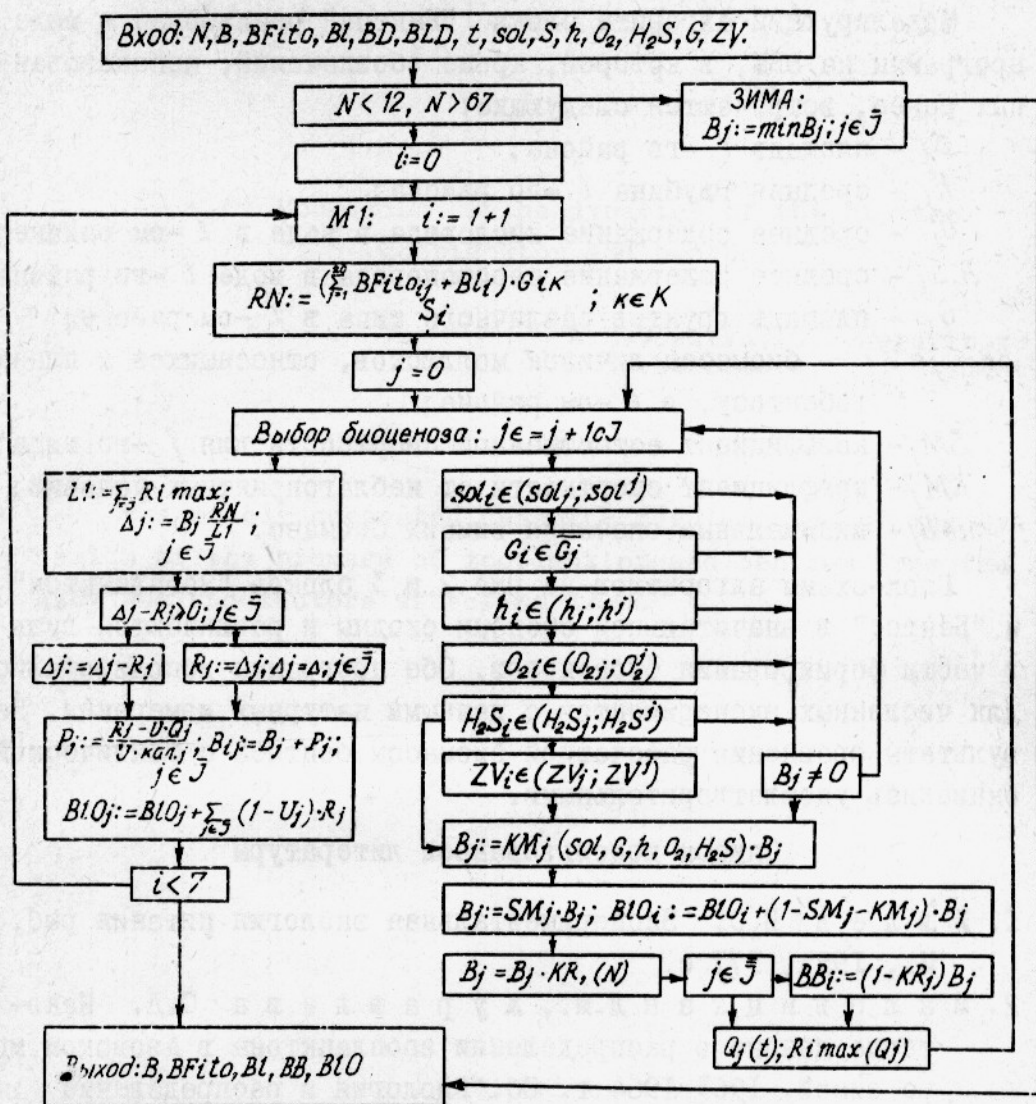


Рис.3. Блок-схема моделирующего алгоритма блока "Бентос"

играют следующие факторы: соленость воды, газовый режим, кормность водоема, состояние грунта. В последние годы в связи с повышением солености вод в Таганрогском заливе отмечены морские виды: *Cerastoderma lamarchi*, *Abra ovata*, *Hydrobia salinasi*, *Nereis succinea*, *Nephtys hombergii*, *Balanus improvisus*. Доминируют следующие биоценозы: *Cardium*, *Syndesmya*, *Hydrobia*, *Nereis*, *Olygochaeta*, *Mytiladter*, *Corbulomya* и др.

В отличие от короткоциклических форм (зоопланктон) внутригодовые сукцессии в сообществах донных животных в меньшей степени определяются факторами среды.

Моделирующий алгоритм блока "Бентос" реализован в виде программы на ЭВМ, в которой, кроме обозначений, использованных ранее, встречаются следующие:

- S_i - площадь i -го района;
- h_i - средняя глубина i -го района;
- O_{2i} - среднее содержание кислорода в воде в i -ом районе;
- H_2S_i - среднее содержание сероводорода в воде i -го района;
- G_i - площадь грунтов различного типа в i -ом районе;
- $BB_{ij}, j \in \tilde{z}_i$ - биомассы личинок моллюсков, относящихся к планктобентосу, в i -ом районе;
- SM_j - коэффициент естественной смертности для j -го вида;
- KM_j - коэффициент смертности от неблагоприятных условий;
- $min B_j$ - минимальные значения зимних биомасс.

Блок-схемы алгоритмов на рис.2 и 3 блоков "Зоопланктон" и "Бентос" в значительной степени сходны и различаются лишь в части формирования биоценозов. Обе программы использовались для численных экспериментов с данными натуральных измерений. Результаты сравнения расчетной биомассы бентоса с фактической оказались удовлетворительными.

Список использованной литературы

1. И в л е в В.С. Экспериментальная экология питания рыб. М., 1955, 377 с.
2. М а л о в и ц к а я Л.М., Ж у р а в л е в а С.Д. Некоторые данные о распределении зоопланктона в Азовском море зимой, 1963-1964 г. Сб. "Биология и распределение планктона южных морей". М., 1967, с.83-90.
3. Н е к р а с о в а М.Я. Зообентос Азовского моря после зарегулирования стока Дона. "Зоол.журн", 1972, т.1, вып.6, с.789-797.
4. Н е к р а с о в а М.Я. Продуктивность донной фауны Азовского моря и Таганрогского залива в период зарегулирования стока р.Дон. "Лимнология", 1968, т.3, ч.1, М., "Знание", с.117-120.
5. С у щ е н я Л.М. Интенсивность дыхания ракообразных. Киев, 1964, 256 с.

Modelling of the dynamics of the biomass
zooplankton and benthos

A.B.Gorstko, O.G.Mordvinova,
M.Ye.Nekrasova, E.I.Studenikina

S u m m a r y

The models suggested describe regularities of the dynamics of the biomass of zooplankton and benthos from the Azov Sea and factors affecting them.