

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 639.2.053.1:639.222.6 (262.5)

В.С. Латун

Влияние атмосферных процессов на длиннопериодные колебания биомассы хамсы

Анализируется влияние крупномасштабных атмосферных процессов на цикличность биомассы черноморской хамсы. Рассматривается механизм воздействия различных экологических факторов на ее урожайность. Сделан вывод, что четырех — шестилетняя цикличность биомассы хамсы вызвана связанной с Северо-Атлантическим колебанием цикличностью погодных условий и экологических процессов в бассейне Черного моря.

Хамса сегодня является основной промысловой рыбой Черного моря. К концу прошлого века ее годовой вылов превысил 250 тыс. т, что составило более 80% суммарной добычи рыбы [1]. Поэтому задача управления рыбным промыслом относится, прежде всего, к промыслу хамсы. Главными составляющими управления являются прогноз изменчивости биомассы хамсы и обоснование ее предельно допустимого вылова.

Прогноз биомассы и промысловых запасов хамсы должен учитывать как тренды, связанные с изменениями структуры биоценоза и характеристик среды обитания, так и основные периодические колебания — от годовой до многолетней цикличности. Годовой цикл хамсы неплохо изучен [2, 3], в многолетней изменчивости уловов и запаса основных промысловых рыб Черного моря авторы работы [4] ориентировочно выделили циклы 2 – 4, 5 – 7, и 10 – 14 лет.

К выводу, что в межгодовых изменениях биомассы хамсы может наблюдаться определенная периодичность, приводит следующее рассуждение. В нерестующей популяции хамсы урожайного года преобладают двухлетки и трехлетки, от года к году соотношение между возрастными группами колеблется в широких пределах [5, 6]. Если биомасса хамсы велика, но экологические условия конкретного года неблагоприятны для нереста, количество сеголеток будет относительно небольшим, а через два-три года соответственно изменится и популяция нерестующей хамсы. Но если условия нереста тогда будут благоприятными, то еще через два-три года и количество нерестующих рыб наиболее продуктивного возраста, и промысловые запасы хамсы снова увеличатся.

Если в колебаниях биомассы хамсы действительно наблюдается четырех — шестилетняя периодичность, ее первопричину нужно искать в изменчивости условий нереста, то есть в такой же цикличности экологических условий. Необходимо ответить на следующие три вопроса. 1. Существуют ли колеба-

© В.С. Латун, 2005

ния биомассы хамсы с периодом 4 – 6 лет? 2. Наблюдаются ли экологические возмущения такой периодичности? 3. Каков механизм влияния экологических условий на урожайность хамсы? Основное внимание уделено анализу условий северо-западной части Черного моря (СЗЧМ).

Для ответа на первый вопрос проанализированы данные о выловах хамсы с 1960 по 1985 годы. Годичные уловы тогда увеличились на порядок [7]. Причинами такого тренда были, вероятно, изменения структуры ихтиоценоза и развитие возможностей лова. Но в каждом конкретном году результативность промысла должна зависеть от биомассы хамсы, в относительных изменениях ежегодного вылова может содержаться информация о длиннопериодных колебаниях биомассы. И действительно, применение к указанному 26-летнему ряду математической процедуры выявления скрытых периодичностей показало существование колебаний с периодом 5 ± 1 год [8].

Для ответа на второй вопрос необходимо знать цикличность тех крупномасштабных атмосферных процессов, которые влияют на экосистему Черного моря. В поисках причин периодических изменений биомассы хамсы рассмотрим влияние Северо-Атлантического колебания (САК) на погодные условия Черноморского региона и океанологические характеристики морских вод.

Как известно, суть САК состоит в смещениях центров действия атмосферы (Азорский максимум и Исландский минимум) и изменениях перепада давления между ними, с чем связаны низкочастотные колебания характеристик атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе и соответствующие изменения интенсивности циклонической деятельности над акваторией Черного моря. Вызванные САК колебания количества атмосферных осадков в СЗЧМ являются репрезентативной характеристикой изменений увлажненности в бассейнах впадающих сюда рек. Естественно, что при этом наблюдаются и соответствующие аномалии поля облачности. Для нашего анализа существен факт, что характерная цикличность САК составляет 3 – 5 лет и в многолетней изменчивости погодных условий над Черным морем и в Европе преобладает соответствующая периодичность [9, 10].

В поисках ответа на третий вопрос будем исходить из сведений о том, что мощность годового класса хамсы определяется условиями ее развития на личиночной стадии, в частности — обеспеченностью кормом личинок в начале их жизни. В развитии предличинок хамсы существует непродолжительный — около 2,5 сут — критический период перехода от желточного питания к эффективному потреблению фитопланктона. Фитопланктон в это время является для предличинки лимитирующим ресурсом; личинка выживает, если концентрация клеток фитопланктона диаметром около 40 мкм превышает 20 кл./мл. Выжившие личинки хамсы растут и еще через трое суток, вступив в пределы размерных групп 4 – 10 мм, переходят на питание мелкими, малоподвижными формами зоопланктона. В этот период, который продолжается ~8 сут, личинки хамсы также чувствительны к нехватке корма [11 – 13]. Но зоопланктон (массовые виды копепод) является фитофагом, поэтому фитопланктон и непосредственно, и через кормовой зоопланктон выступает основным связующим звеном между экологическими условиями и урожайностью хамсы. Через характеристики фитопланктона в период смешанного питания личинок хамсы может происходить передача длиннопериодного сигнала от экзогенных факторов к мощности годового класса хамсы.

На межгодовую изменчивость фитопланктона атмосферные процессы влияют через следующие факторы: суммарную солнечную радиацию, температуру и соленость морской воды, содержание биогенов, динамику вод. Количество падающего на поверхность моря света зависит от характеристик облачности и прозрачности атмосферы. Температура воды определяется величиной теплового баланса, соленость — соотношением водного и солевого балансов. Поступление биогенов в фотический слой происходит с речными водами, при зимнем конвективном перемешивании и в процессе их регенерации. На динамику вод влияют ветер, речной сток и теплообмен через поверхность моря.

В общем случае невозможно ранжировать эти факторы по их влиянию на фитопланктон. Относительное влияние отдельного фактора зависит и от структуры фитоцена, и от комплекса гидрометеорологических условий. Например, в СЗЧМ соленость изменяется в широких пределах (5 – 18‰), но даже такую изменчивость можно не учитывать, поскольку к ней приспособлены развивающиеся здесь многочисленные виды эвригаллиных диатомей [14].

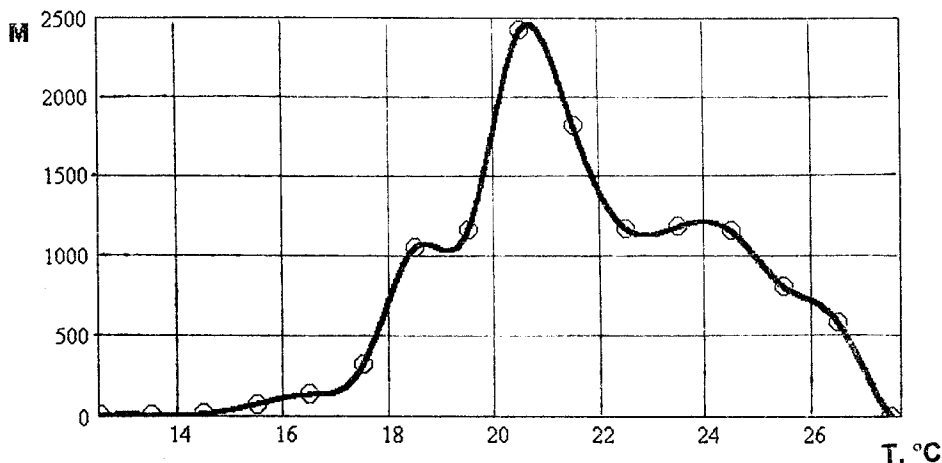
Более детального рассмотрения заслуживает влияние колебаний освещенности на фитопланктон. Известно, что вблизи северо-западных берегов США нескольких солнечных дней достаточно для бурного развития фитопланктона, а нескольких пасмурных — для прекращения этого развития [15]. Летом в СЗЧМ такие колебания облачности и освещенности не наблюдаются. Здесь с июня по август (время нереста хамсы) среднемесячная общая облачность уменьшается с 4,4 до 2,2 балла, нижняя — с 2,8 до 1,6 балла. В теплое время года случается около 20 гроз, продолжительность одной грозы — от полутора до двух с половиной часов [16].

Межгодовую изменчивость облачности в июне – августе можно соотнести с изменчивостью осадков в эти месяцы. В 1945 – 1985 гг. сумма летних осадков изменялась с периодичностью 3 – 6 лет, амплитуда колебаний достигала 50 % среднего значения. Существенно, что летом преобладают ливневые осадки из облаков вертикального развития.

Оценка влияния облачности на суммарную радиацию выполнена по известным эмпирическим формулам [17]. При облаках вертикального развития пятибалльная облачность ослабляет радиацию на 20%, десятибалльная — на 70 %.

Для оценки уровня фотосинтетически активной радиации (ФАР) в СЗЧМ использованы данные актинометрических измерений на метеостанции Одесса [16]. Принимая альбедо равным 0,07 и отношение ФАР к суммарной радиации равным 0,50, получаем для времени нереста хамсы среднее значение ФАР на поверхности моря равным 1,29 Дж/см²·мин. В это время года фотосинтез максимален при ФАР = (0,42 – 0,63) Дж/см²·мин, заметное угнетение фотосинтеза светом происходит при ФАР ≥ (0,67 – 0,84) Дж/см²·мин [18].

Икринки и личинки хамсы распространены по всей акватории моря, причем обитают преимущественно в слое 10 – 15 м [19]. В открытом море на глубине 10 м освещенность составляет 30 %, а на глубине 15 м — 25 % от ее значения на поверхности [14]. Следовательно, в этом слое ФАР = (0,32 – 0,43) Дж/см²·мин, что соответствует условиям максимального фотосинтеза. Межгодовые колебания освещенности, вызванные изменениями среднемесячной облачности на ±2 балла, не могут существенным образом повлиять на фотосинтез.

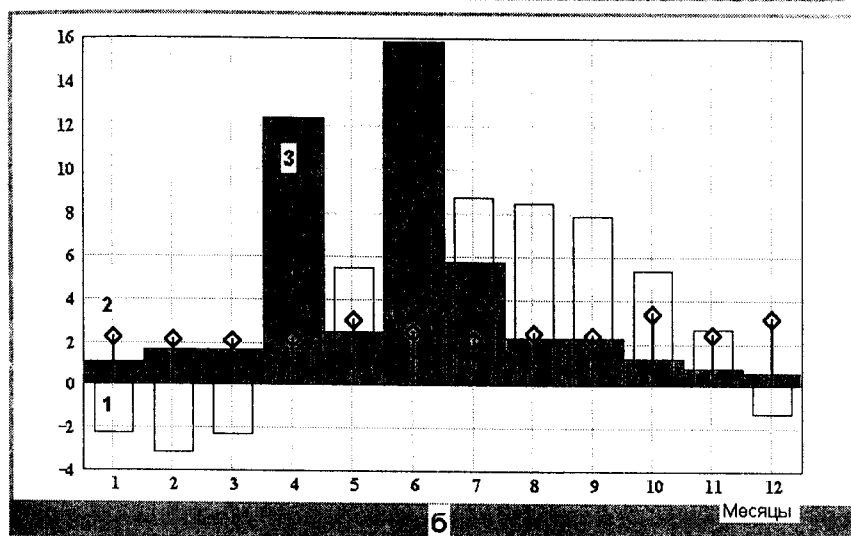
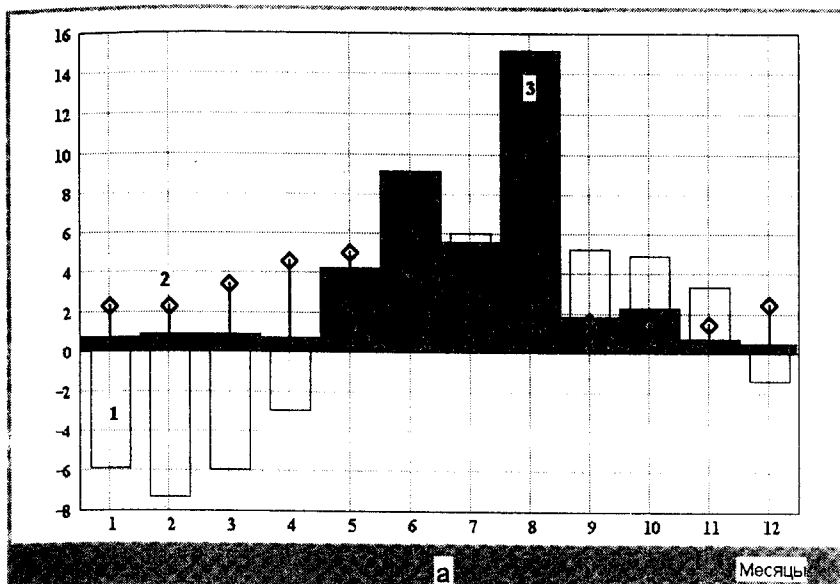


Р и с. 1. Зависимость удельной численности икринок хамсы (M) от температуры морской воды (T) по данным [19]

Почему теплолюбивая хамса выбирает для икрометания слой 10 – 15 м? Верхняя граница пикноклина находится на глубине ~20 м. От поверхности моря до этой глубины в середине лета концентрация биогенов возрастает незначительно, температура воды понижается от 23 – 25°C до 11 – 17°C. Биомасса фитопланктона имеет небольшой промежуточный максимум на глубине 10 м и минимум вблизи горизонта 20 м. Наиболее комфортные условия для икры и предличинок соответствуют температурному диапазону 19,8 – 22,0°C (рис. 1). В этом диапазоне температура воды на горизонте 10 м изменяется только в июле и сентябре [16]. Так что одной из причин большого влияния численности июльских сеголеток на мощность годового класса хамсы являются температурные условия.

В период нереста хамсы обеспеченность пищей предличинок подвержена большой пространственно-временной изменчивости. Например, в августе вдали от берега наблюдалось уменьшение концентрации фитопланктона от 22 кл./мл в приповерхностном слое до 6 кл./мл на горизонте 15 м. Далее с глубиной количество фитопланктона увеличивалось, его максимум 42 кл./мл находился в слое скачка плотности [14]. Такие условия являются критическими для предличинок хамсы.

В сезонном ходе численности фитопланктона часто присутствуют два максимума — весенний и летний. Весной, когда света уже достаточно и фотический слой обогащен биогенами вследствие зимнего конвективного перемешивания, начало цветения диатомового фитопланктона зависит от температуры воды. При интенсивном весеннем цветении (обычно в апреле) запас биогенов значительно сокращается. Пополнение этого запаса происходит при деструкции органического вещества и за счет поступления биогенов с речными водами. Влияние речного стока является преобладающим, особенно в СЗЧМ, где и среднегодовая биомасса фитопланктона коррелирует с годовым стоком рек. Летнее цветение наблюдается в июне – августе.



Р и с. 2. Годовой ход величин $0,01 \Theta_n^N$, МДж/м^2 (1), $0,1 R_n^N$, км^3 (2) и $0,01 P_n^N$, мг/м^3 (3) в 1962 (а) и 1972 (б) годах

Таким образом, в период нереста хамсы биомасса фитопланктона зависит в основном от концентрации биогенов. На межгодовую изменчивость летнего количества биогенов влияют зимние атмосферные процессы. Механизм этого влияния также заслуживает детального анализа.

Отправной точкой анализа послужили данные о том, что если предшествующей зимой число штормовых дней превышало климатическую норму, то в СЗЧМ апрельского максимума биомассы фитопланктона (P_4^N) не наблюдалось [20]. Увеличение числа зимних штормов является признаком усиления циклонической активности, а она изменяется с периодичностью САК. Зимняя конвекция в СЗЧМ проникает до дна, дополнительное перемешивание увели-

чивает запас биогенов. Если этот запас не расходуется в апреле, он сохраняется до более теплых дней.

Активизация циклонической деятельности приводит не только к усилению ветра, но и к увеличению осадков, а значит, и речного стока. По 62-летнему ряду годовых сумм осадков на акватории Черного моря (P_r^N) и стока рек (R^N) выявлена линейная связь между ними с коэффициентом корреляции 0,77: $P_r^N = 48,69 + 0,55 R^N$ (P_r^N и R^N измеряются в км³/год). Эта зависимость использована в работе.

Контактный теплообмен между морем и атмосферой прямо пропорционален скорости ветра, поэтому усиление ветра зимой приводит к дополнительному понижению температуры воды. Поскольку термическое состояние деятельного слоя моря в конкретном месяце зависит от значения теплового баланса в минувшем году (Q^{N-1}) и суммы значений теплового баланса за прошедшие месяцы текущего года (q_i^N), его можно оценить величиной Θ_n^N (в МДж/м²):

$$\Theta_n^N = Q^{N-1} + \sum_{i=1}^n q_i^N. \quad (1)$$

Для совместного анализа годового хода и межгодовой изменчивости теплового баланса, речного стока и биомассы фитопланктона в СЗЧМ использованы соответствующие среднемесячные данные за 1959 – 1974 гг. [16, 20]. Показательны 1962 год с характерными условиями штормовой зимы и 1972 год — с тихой зимой (рис. 2).

И в штормовые, и в спокойные зимы интегральные теплопотери максимальны в феврале, но в штормовую зиму они могут быть в два с лишним раза больше (например, $\Theta_2^{62} = -738$ МДж/м², $\Theta_2^{72} = -319$ МДж/м²). Увеличение биомассы фитопланктона начиналось при переходе величины Θ_n^N из области отрицательных значений в область значений положительных. Существенно, что вследствие этого весеннее цветение фитопланктона может быть разной интенсивности, происходить в разные месяцы или вообще отсутствовать.

В апреле 1962 г., после штормовой зимы, величина Θ_4^{62} была отрицательной (-299 МДж/м²) и ни весеннего цветения, ни какого-либо увеличения биомассы фитопланктона не произошло. В мае величина Θ_5^{62} достигла положительных значений и начался рост фитопланктона. Его первый максимум отмечен только в июне, когда воды СЗЧМ достаточно прогрелись. Суммарный запас накопленных зимой и принесенных речными водами биогенов не был исчерпан, о чем свидетельствует интенсивное цветение фитопланктона в августе. В марте – апреле 1972 г., после тихой зимы, величина Θ_n^{72} изменилась от -230 до $+170$ МДж/м², и в апреле наблюдалось бурное цветение фитопланктона. Соответствующим уменьшением концентрации биогенов вызван последовавший за цветением промежуточный минимум биомассы фитопланктона. Паводковые воды пришли в мае, за месяц биогены были разнесены по акватории СЗЧМ, и в июне наблюдался годовой максимум фитопланктона.

Располагая данными мониторинга величин P_n^N , Θ_n^N и R_n^N , можно в результате такого анализа уже в феврале – марте предвидеть особенности летнего цветения фитопланктона и оценить предстоящий урожай хамсы.

Роль динамики вод не ограничивается ее влиянием на фитопланктон через перенос биогенов и формированием термохалинной структуры фотического слоя. Волнение моря способно оказывать прямое воздействие на выживание икринок и личинок хамсы. Основная часть икринок хамсы и ставриды находится в тех приповерхностных слоях моря, куда проникают волновые движения воды. Известно, что при волнении моря более двух – трех баллов происходит массовая гибель икринок ставриды [11]. Логично предположить, что на икру хамсы волнение действует аналогичным образом. Кроме того, волнение может затруднить переход предличинок от желточного питания к активному потреблению фитопланктона, что снизит их выживаемость.

Волны вызываются ветром, на формирование численности сеголеток хамсы особенно влияют ветровые условия июля. Поскольку летом в СЗЧМ преобладают осадки ливневого характера, которые сопровождаются усилением ветра, по межгодовой изменчивости июльских осадков можно судить о соответствующей изменчивости сильных ветров. Так, в период с 1978 по 1985 год пределы межгодовых изменений количества июльских осадков необычно расширились, достигнув $\pm 83\%$ их средней величины. В этот период в СЗЧМ средняя продолжительность сильных ветров (> 10 м/с) в июле составляла 67 ч, максимальная — 117 ч [16]. Анализ 41-летнего ряда июльских осадков выявил их четырех — шестилетнюю цикличность.

Полученные результаты показали, что императивным фактором для фитопланктона во время нереста хамсы в СЗЧМ является концентрация биогенов. Летний запас биогенов фотического слоя формируется комплексом экологических процессов в предшествующие сезоны года и существенно пополняется поступлением биогенов с речными водами, особенно с их паводковой волной.

Выводы

1. В межгодовой изменчивости биомассы хамсы обнаружена четырех — шестилетняя цикличность. Показано, что такая цикличность соответствует особенностям репродукционного процесса хамсы.

2. Значительные колебания различных гидрометеорологических характеристик в бассейне Черного моря происходят с периодом 3 – 6 лет и вызваны вариациями САК.

3. Через фитопланктон, который является лимитирующим ресурсом для личинок хамсы на ранней стадии их развития, длиннопериодные колебания гидрометеорологических характеристик влияют на изменчивость биомассы хамсы.

4. Предложенный подход к анализу комплекса экологических процессов позволяет в конце зимы приближенно оценить интенсивность летнего цветения фитопланктона и предстоящий урожай хамсы.

5. Причиной четырех — шестилетней периодичности колебаний промысловых запасов хамсы является связанная с САК цикличность погодных условий и экологических процессов в бассейне Черного моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болтачев А.Р., Зуев Г.В., Гуцал Д.К.* Сравнительная характеристика прибрежного рыболовства Крыма в начале ХЧ и ЧЧЙ веков // Некоторые экологические проблемы западно-крымского региона и возможные пути их решения. — Евпатория: СИНЭКО, 2002. — С. 14 – 21.
2. *Шульман Г.Е.* Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. — М.: Пищевая промышленность, 1972. — 368 с.
3. *Шульман Г.Е.* Продуктивность рыб Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1989. — 187 с.
4. *Богданова А.К., Водяницкий В.А.* Цикличность в колебаниях факторов и уловов рыб Азовского и Черного морей // Биология моря. — 1972. — Вып. 27. — С. 3 – 19.
5. *Данилевский Н.Н., Майорова А.А.* Основные закономерности динамики численности планктонядных рыб Черного моря. Анчоус // Сырьевые ресурсы Черного моря. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — С. 25 – 73.
6. *Иванов Л.С., Костюченко В.А., Каутиш И.* Основные биологические особенности промысловых рыб. Закономерности роста // Основы биологической продуктивности Черного моря. — Киев: Наук. Думка, 1979. — С. 253 – 259.
7. *Овен Л.С., Гордина А.Д., Гиригосов В.Е. и др.* Современное состояние некоторых эксплуатируемых популяций рыб в Черном море // Изменчивость экосистемы Черного моря. Естественные и антропогенные факторы. — М.: Наука, 1991. — 349 с.
8. *Латун В.С.* Оценочная математическая модель системы планктон – рыба – рыбный промысел // Системы контроля окружающей среды. Доклады международного научно-технического семинара «СКОС-2002». — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2003. — С. 69 – 72.
9. *Сизов А.А., Новоселов А.А., Порхунова Л. Г.* О реакции атмосферы и верхнего слоя Черного моря на межгодовые вариации Северо-Атлантического колебания // Комплексные экологические исследования Черного моря. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. — С. 5 – 17.
10. *Сизов А.А.* Оценка возможности использования индекса североатлантического колебания для типизации поля атмосферных осадков на юго-западном побережье Крыма // Метеорология и гидрология. — 1998. — № 11. — С. 70 – 77.
11. *Костюченко В.А., Павловская Р.М.* Динамика численности промысловых рыб и факторы, определяющие урожайность поколений // Основы биологической продуктивности Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1979. — С. 279 – 291.
12. *Парсонс Т.П., Такахаши М., Харгрейв Б.* Биологическая океанография. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 432 с.
13. *Павловская Р.М.* О питании личинок черноморской хамсы // Тр. АзЧерНИРО. — 1964. — Вып. 23. — С. 115 – 118.
14. *Сорокин Ю.И.* Черное море: природа, ресурсы. — М.: Наука, 1982. — 216 с.
15. *Денмен К.Л., Платт Т.* Биологический прогноз в море // Моделирование и прогноз верхних слоев океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — С. 299 – 311.
16. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Черное море. Вып. 1.* Гидрометеорологические условия. — СПб.: Гидрометеиздат, 1991. — 429 с.
17. *Тимофеев Н.А.* Радиационный режим океанов. — Киев: Наук. думка, 1983. — 248 с.
18. *Финенко З.З.* Продукция фитопланктона. Действие света на фотосинтез фитопланктона в море // Основы биологической продуктивности Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1979. — С. 93 – 95.
19. *Дехник Т.В., Павловская Р.М.* Сезонные изменения видового состава, распределения и численности ихтиопланктона // Там же. — С. 268 – 272.
20. *Маштакова Г.П., Роухийнен М.И.* Сезонная динамика фитопланктона // Там же. — С. 85 – 88.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 04.06.03

ABSTRACT Influence of large-scale atmospheric processes on the anchovy biomass cyclicity is analyzed. The mechanism of the effect of various ecological factors on the anchovy productivity is considered. The drawn conclusion is that 4 – 6 year cyclicity of the anchovy biomass is caused by the NAO-induced periodicity of weather conditions and ecological processes in the Black Sea basin.