

В. А. БРЯНЦЕВ*, Ю. В. БРЯНЦЕВА**

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ФИТОПЛАНКТОНЕ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ЕСТЕСТВЕННЫМ И АНТРОПОГЕННЫМ ФАКТОРАМИ

Существенные изменения в фитопланктоне Черного моря, особенно в глубоководной восточной части, отмеченные с 70-х годов, обусловлены суммарным воздействием антропогенных и природных факторов. К первым относится изъятие и сезонное перераспределение речного стока, ко вторым – особенности атмосферной циркуляции. Возможно, под влиянием этого воздействия фитопланктон Черного моря перешел к качественно новому состоянию с низким уровнем видового разнообразия (по Шеннону).

Изменения в экосистеме Черного моря, отмеченные с 70-х годов, сопровождались ухудшением экологической обстановки, вплоть до катастрофических ситуаций на северо-западном шельфе. В открытой части моря изменения считались не столь явными, однако и здесь были отмечены признаки эвтрофикации, в результате чего резко возросла биомасса водорослей, главным образом диатомовых. Однако в середине 80-х годов наблюдался спад в развитии водорослей, который рассматривался [10, 11] как признаки стабилизации экосистемы Черного моря, наступившей, по мнению одних, вследствие снижения хозяйственной деятельности, по мнению других – в силу естественного колебательного процесса, присущего всем системам. Так, сопоставление многолетних изменений в планктоне Черного моря и других регионов Мирового океана дали основание Л.Н. Грузову предположить их общую природную (климатическую) причину [10].

Нами показано [3], что вклад естественной составляющей в многолетнюю динамику биомассы фитопланктона в Черном море весьма значительный и может достигать 56%. При этом мы не отвергали и антропогенную причину изменений. В результате была сформулирована следующая гипотеза: многолетние изменения в фитопланктоне Черного моря произошли в результате суммарного воздействия антропогенных и природных предпосылок. В связи с этим целью работы было проверить данную гипотезу.

Материал и методика. Антропогенное воздействие в виде отъема и сезонного перераспределения речного стока осуществляется через трансформацию солёностной и плотностной структуры в глубоководной части моря, и через загрязнение вод береговыми стоками – в прибрежной [4]. Величина безвозвратного водопотребления в бассейне (q) представляет собой разницу между естественным и фактическим пресным стоком (в км^3), значения которых взяты из [14]. В качестве индексов природных воздействий взято среднегодовое значение приземного атмосферного давления на акватории Черного моря A_{∞} (первый коэффициент разложения стандартного барического поля по полиномам Чебышева) и коэффициент A_{10} , отражающий юго-северный атмосферный перенос [5]. Рассчитано суммарное воздействие природного и антропогенного индексов в виде единого показателя (E) путем сложения значений A_{∞} и q , которое произведено после нормирования обоих рядов по амплитуде. Биотические показатели восточной прибрежной части, которая является глубоководной и ассоциируется с открытыми водами моря, были представлены средними (с февраля по август) значениями биомассы фитопланктона, взятым из [8], и значениями статистической энтропии, или меры разнообразия в сообществе, рассчитанной нами по формуле Шеннона. Полученные значения (H) осреднены по акватории и за год. Для выявления тенденций в многолетних изменениях различных характеристик использовали известный в метеорологии метод кумулятивных кривых (кривых накопленных аномалий) [9], который заключается в следующем: из фактических

величин ряда вычитают норму (среднегодовое значение), и полученные таким путем аномалии последовательно суммируют.

Результаты и обсуждение. Эффект безвозвратного водопотребления для Черного моря многими авторами отвергался на том основании, что отъем речных вод, достигающий лишь 15% среднегодового стока, существенно меньше его межгодовых различий. Однако следует учесть, что задержка весной паводковых вод приводит к значительному притоку средиземноморских вод из-за минимума осадков в этот период и испарения в бассейне, а речной сток и компенсирующий приток через Босфор становятся основными элементами водного баланса [8]. Тогда эффект медиеранизации может проявляться в увеличении солёности промежуточных слоев, подъеме основного пикноклина, усилении притока глубинных продуктивных вод в фотический слой [4].

Все вышеперечисленные параметры (за исключением A_{10} и Н) отображены на рис. 1а, тенденции в их изменениях представлены с помощью кумулятивных кривых (рис. 1б). Как видно, все исследованные параметры имели четко выраженные положительные тренды и сходные тенденции, выражающиеся в снижении значений к 70-м годам и их возрастании до середины 80-х годов. В результате корреляционного анализа были получены коэффициенты связей вышеперечисленных параметров (табл. 1).

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа исследованных параметров (обозначения в тексте)

Table 1. The results of correlative analysis of the parameters studied (see the text)

Параметры	A_{∞}	q	E
Фв	0,430 (0,032)*	0,518 (0,008)	0,583 (0,002)
Н	—	—	— 0,498 (0,035)

* - в скобках указан уровень значимости связи; "—" — уровень значимости $\geq 0,05$

Как видим, доверительные вероятности связей находятся в пределах 96-99,8 %. При этом, значение коэффициента корреляции связей биомассы фитопланктона увеличивается в последовательности: с природным параметром, с антропогенным и с объединенным суммарным показателем обоих воздействий. Связь с природным параметром может быть объяснена следующим образом: среднее давление стандартного поля в пределах акватории Черного моря связан с коэффициентом A_{10} обратной связью (— 0,404, при уровне значимости 0,02).

Таким образом, высокое атмосферное давление в пределах акватории Черного моря ассоциируется с преобладанием северного переноса, который, как и северо-восточный [1, 13.], способствует усилению циклонической циркуляции вод с характерными для Черного моря западным и восточным циклоническими вихрями, с подъемом в их центрах глубинных продуктивных вод. Кроме того, связанный с высоким давлением антициклонический тип погоды с преобладанием малооблачного неба также способствует развитию водорослей.

Зарегулирование стока рек и их сезонное перераспределение привели на северо-западном шельфе к изменению химического состава вод и, тем самым, состава биоты [7], выразившимся в снижении доли диатомовых и увеличении доли перидиниевых водорослей в фитоценозе этого района. Этот же фактор в открытой (глубоководной) части способствовал увеличению биомассы фитопланктона в результате подъема основного пикноклина и усилении притока глубинных продуктивных вод в фотический слой. Суммарное же влияние обоих факторов имеет наивысший показатель связи с указанной биомассой, что подтверждает, на наш взгляд, гипотезу о зависимости изменений в экосистеме Черного моря с 70-х годов от суммарного воздействия природных и антропогенных факторов. Последствия суперпозиции природного и антропогенного влияния отрицательно сказываются на величине разнообразия в фитопланктонном сообществе, что ведет к снижению качества экосистемы, к ее стрессовым изменениям [6]. Отсутствие данных по величине безвозвратного водопотребления после 1986 г. не позволяет нам

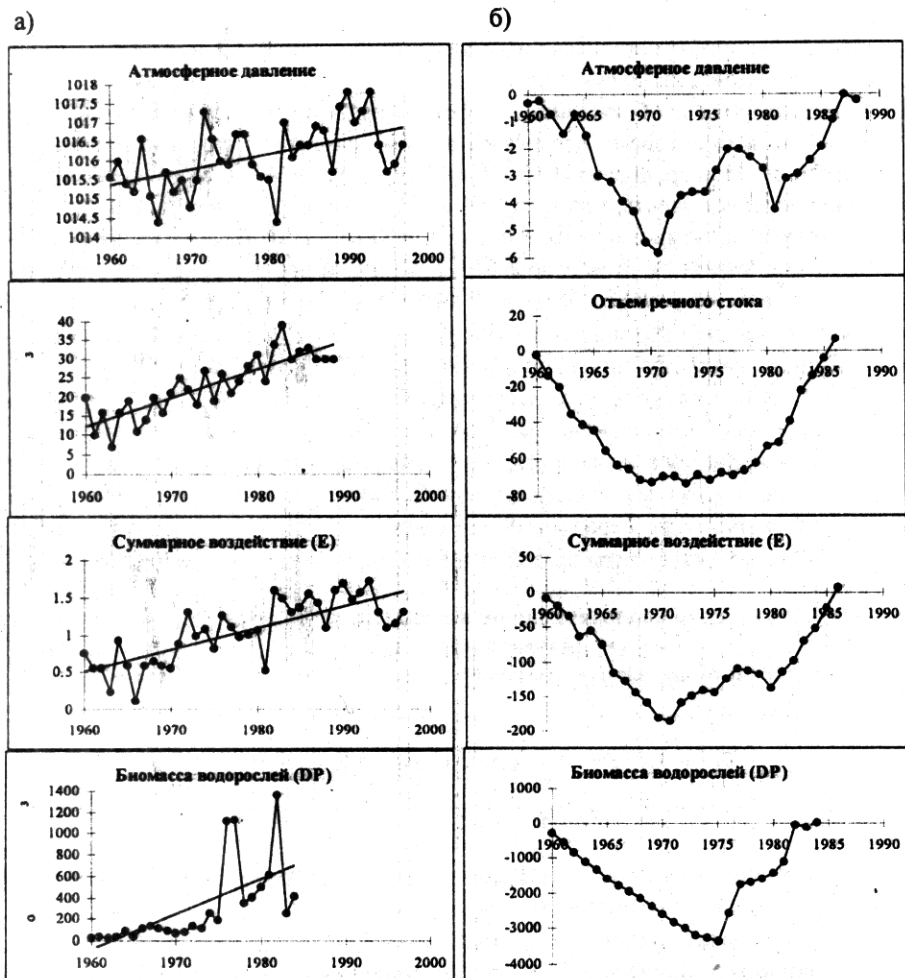


Рис. 1. Многолетняя динамика исследованных параметров: а) фактические значения (линией показан линейный тренд); б) кумулятивные кривые.
 Fig. 1. Long-term dynamics of the parameters studied: а) real meanings (linear trend is indicated by the line); б) cumulative curves.

проследить суммарное воздействие природного и антропогенного факторов на биомассу фитопланктона. Однако можно рассчитать условный индекс E по имеющимся значениям атмосферного давления (приняв q после 1986 г. постоянным), допуская, что безвозвратное водопотребление осталось на высоком уровне. Тогда получим следующие величины (табл.2). Несмотря на условность суммарного показателя воздействия на черноморскую экосистему, вычисленному после 1986 г. по предполагаемому уровню безвозвратного водопотребления, очевидно сохранение его высокого значения благодаря повышенному атмосферному давлению, особен

Таблица 2. Значения A_{∞} , q (после 1986 г. взят постоянным) и E в последние годы
 Table 2. Meanings of A_{∞} , q (after 1986 it is taken as a constant) and E last years

Годы	A_{∞}	q	E
1985	16,4	32	1,37
1986	16,9	33	1,55
1987	16,8	30	1,43
1988	15,7	30	1,10
1989	17,4	30	1,60
1990	17,8	30	1,69
1991	17,0	30	1,48
1992	17,3	30	1,57
1993	17,8	30	1,72
1994	16,4	30	1,31
1995	15,7	30	1,10
1996	15,9	30	1,16
1997	16,4	30	1,31

но с 1989 по 1993 гг. После 1989 г. данные по биомассе фитопланктона в восточной части отсутствуют, а в 1992–1993 гг. (по нашим данным) биомасса перидиниевых водорослей превысила среднюю многолетнюю (1964–1989 гг.) в 6 раз и стала сопоставимой с биомассой диатомовых (220,48 мг/м³ и 305,98 мг/м³ соответственно). При этом сезонная сукцессия фитопланктона в 1992–1993 гг. протекала на фоне постоянного преобладания по численности представителей золотистых водорослей (доминант первого порядка – *Coccolithus huxleyi*). В результате увеличения роли перидиниевых и золотистых водорослей произошло снижение среднего объема клетки сообщества, что, по мнению Ю.П.Зайцева, “отражает общую тенденцию реакции экосистемы на повышение трофности морской акватории” [14]. Возможно, под влиянием возрастающего суммарного воздействия антропогенных и природных факторов фитопланктон Черного моря перешел к качественно новому состоянию, с более низким уровнем видового разнообразия.

Выводы. 1. Антропогенное изъятие и сезонное перераспределение речного стока в Черном море, а также особенности атмосферной циркуляции в виде повышенной частоты северных и северо-восточных переносов с 1960 по 1986 гг. имели положительные тренды. 2. Предполагается, что увеличение эвтрофикации вод верхнего слоя глубоководной части Черного моря, снижение меры разнообразия фитоценоза, увеличение роли перидиниевых водорослей произошли вследствие суперпозиции указанных факторов.

1. Андрусович А.И., Михайлова Э.Н., Шапиро Н.В. Численная модель и расчеты циркуляции вод северо-западной части Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 1994. – N 5. – С.28–42
2. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. – Л., 1985. – 272 с.
3. Брянцева Ю.В., Брянец В.А., Ковальчук Л.А., Самышев Э.З. К вопросу о долгосрочных изменениях биомассы диатомовых и перидиниевых водорослей Черного моря в связи с атмосферными переносами. // Экология моря. – 1996. – N45. – С.13–18.
4. Брянец В.А. Антропогенная трансформация гидроструктуры и сероводородной зоны Черного моря // Диагноз состояния морской среды Азово-Черноморского бассейна. – МГИ НАН. – 1994. – С.61–68.
5. Брянец В.А. Атмосферная циркуляция как основа долгосрочных рыбопромысловых прогнозов (на примере региона Черного моря) // Пленарные доклады Всесоюз. конф. по промысловой океанологии. – Ленинград, 15–19 октября 1990 г. – М.: ВНИРО, 1990. – С. 173–180.
6. Брянец В.А. Информация в форме суммарных аномалий атмосферной циркуляции и её воздействие на экосистему Черного моря // Доповіді НАНУ. – 1996. – N 9. – С.163–168
7. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. – М., 1992. – 112 с.
8. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР // Под ред. Ф.И. Симонова, А.И. Рябинина, Д.Е. Гершановича. Т. IV. Черное море. Вып.2. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – 220 с.
9. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л., 1971. – 280 с.
10. Грузов Л.Н. Развитие гребневика-мнемипсиса в связи с состоянием планктонных сообществ Черного моря. // ІІ З'їзд гідроекологічного товариства України. Київ, 16-19 листопада 1993 р. – Київ. – 1994. – С.17.
11. Зайцев Ю.П. Частичная экологическая реабилитация современного Черного моря, возможные причины и следствия. // І З'їзд гідроекологічного товариства України. Київ, 16-19 листопада 1993 р. – Київ. – 1994. – С.23.
12. Зайцев Ю.П. Экологическое состояние шельфовой зоны Черного моря у побережья Украины (обзор). // Гидробиол. журн. – 1992. – 28, N4. – С.3–18.
13. Москаленко Л.В., Осадчий А.С., Титов В.Б. Вертикальная структура и пространственно-временная изменчивость гидрофизических полей в центрах квазистационарных круговоротов Черного моря // Океанология. – 1994. – 34, 3. – С.349–355.
14. Николенько А.В., Решетников В.И. Исследование многолетней изменчивости баланса пресных вод Черного моря // Водные ресурсы. – 1991. – 1. – С.20–28.

* ЮгНИРО, г. Керчь

** Институт биологии южных морей НАНУ,
г. Севастополь

Получено 11.06.99

LONG-TERM CHANGES OF PHYTOPLANKTON FROM THE DEEP-WATER PART OF THE BLACK SEA IN CONNECTION WITH NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS

Summary

Considerable changes in phytoplankton of the Black Sea, especially in its the deep-water eastern part, mentioned within 70 years, are stipulated by the summary influence of anthropogenic and natural factors. Withdrawal and seasonal redistribution of the river discharge belong to the first group, characters of atmospheric circulation belong to the second one. Possibly the Black Sea phytoplankton has been passed to a new qualitative condition with a low level of species diversity (according to Shannon) under this influence.

УДК 579:574.582(261)

А. П. ГОРДИЕНКО

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АТФ В ПИКО- И НАНОПЛАНТОНЕ ОТКРЫТЫХ ВОД ТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ

Приведены данные по суточной динамике АТФ пико- и нанопланктона в опытах *in situ* на дрейфовых станциях и в пробах, отобранных в открытых районах Атлантики, с применением нестандартных методов исследования. Даны количественные характеристики АТФ пикопланктона в слоях с минимальным и максимальным содержанием хлорофилла "а"; исследован характер суточных изменений АТФ пико- и нанопланктона на стандартных горизонтах в 100-метровом слое. Выявлены периодические колебания АТФ в пико- и нанопланктоне, имеющие внутрисуточный масштаб.

Пико- и нанопланктон представляют значительную часть биомассы в сообществе. Потребление биомассы хищниками и восполнение ее за счет высоких скоростей роста этих групп планктона приводят к формированию высокодинамичной и уравновешенной системы с эффективным круговоротом минеральных веществ.

Полученные нами данные [2,4] показали, что при экологическом мониторинге морских экосистем по содержанию АТФ обязательно необходимо учитывать динамику сообществ и, в первую очередь, их суточные ритмы.

Целью настоящей работы явилось изучение суточной динамики пико- и нанопланктона в открытых районах Атлантического океана.

Материал и методика. На дрейфовых станциях в различных по трофности районах Атлантического океана проводились измерения концентрации АТФ с использованием скляночного метода *in situ* и в пробах, отобранных в различающихся по трофности открытых районах Атлантического океана (20-й рейс НИС "Профессор Водяницкий" и 34-й рейс НИС "Академик Вернадский").

Пробы воды отбирали с горизонтов максимума и минимума хлорофилла "а" (предварительное флуорометрическое зондирование), пропускали через газ-с размером ячеек 80 мкм и немедленно фильтровали через нуклеопоровые фильтры с диаметром пор