

В.А.Брянцев*, Ю.В.Брянцева**

**Южный научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии, г.Керчь*

***Институт биологии южных морей НАН Украины, г.Севастополь*

ПРИЗНАКИ ВЛИЯНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ ЧЕРНОГО МОРЯ

С помощью анализа рядов гидрометеорологических и биотических характеристик экосистемы Черного моря и сопоставлении их временных отрезков методом нулевых гипотез удалось установить, что существенные изменения в ней, произошедшие в период с 1973 по 2006 гг., обусловлены наложением влияния потепления климата Земли на обычные автоколебательные изменения климата с 70-летним периодом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *экосистема, нулевые гипотезы, изменение климата, глобальное потепление.*

В процессе наших исследований были выявлены последовательные изменения некоторых биологических элементов черноморской экосистемы в период с 1960 по 2000 гг. При этом их значения в первую половину указанного срока (1960 – 1972 гг.) существенно отличались от второй половины, начиная с 1973 г. [1, 2]. Выявлены связи межгодовых колебаний гидрометеорологических и биотических характеристик с солнечной активностью (числа Вольфа) и со скоростью вращения Земли (условные значения от 0 до 1), отражающие климатические изменения планеты [3 – 5]. В последнем случае колебания некоторых из анализируемых рядов коррелировались с 70-летней периодичностью этой геофизической характеристики, установленной Н.С.Сидоренковым и П.И.Свиренко, где максимум приходился на середину 30-х гг., а минимум – на середину 70-х гг. прошлого столетия [6].

На фоне указанных изменений, которые прослеживаются на восходящем отрезке кривой климатических колебаний (с 1973 по 2006 гг.), сложно выявить влияния потепления климата Земли, тем более что само его проявление в атмосфере и гидросфере сложно и неоднозначно. В обобщающей работе Дж.Тернера и Дж.Оверланда [7], наряду с доказательствами влияния потепления климата под воздействием парникового газа, перечисляются ряд факторов влияния на атмосферу и гидросферу в обоих приполярных регионах, такие как: особенности орографии, распределение суши и моря, изменения альбеда морской поверхности, вулканические аэрозоли и размеры озоновой дыры над Антарктидой. В систему влияний добавляются взаимодействия ее элементов и обратные связи.

Естественно, что в случае Черного моря гидрометеорологические последствия потепления также искажаются за счет «локальности» региона и удаленности его от Атлантического океана. Тем не менее, и здесь обнаруживаются признаки влияния потепления климата. Они проявляются, в частности, в многолетних рядах наблюдений за температурой поверхностного

слоя вод, где средняя температура и дисперсия периода с 1973 по 1992-2006 годы значительно отличаются от значений ряда предшествующих лет. Таким образом, цель данной работы заключалась в выявлении значимых различий в биотических и абиотических характеристиках экосистемы Черного моря в условиях глобального потепления.

Материал и методика. К анализируемым рядам относятся наблюдения за температурой воды в портах Одесса (T_O , 1915 – 2006 гг.) и Батуми (T_B , 1925 – 1992 гг.), которые использованы нами как характерные для отражения океанографических особенностей акваторий северо-западного шельфа и восточной части Черного моря.

Показатели атмосферной циркуляции (среднее атмосферное давление A_{00} , атмосферные переносы) определялись для периода 1960 – 2006 гг. с помощью разложения приземного стандартного барического поля в пределах акватории моря в ряд по полиномам Чебышева по методике, данной в [8]. При анализе и сопоставлении рядов использовали первые пять коэффициентов, отражающие: среднее давление поля A_{00} и переносы: с юга на север A_{10} , с запада на восток A_{01} , с юга на север в западной половине поля и с севера на юг – в восточной A_{20} , с запад на восток в южной половине поля и с востока на запад – в северной A_{02} . Отрицательные значения этих коэффициентов отражают направления, противоположные указанным.

Гидробиологические данные включали: осредненные по району и за год значения средневзвешенной в слое (0 – 100 или 0 – придонный горизонт, в зависимости от глубины места) биомассы (мг/м^3) фитопланктона и зоопланктона (соответственно, Φ_v и Z_v – в восточной части Черного моря, $\Phi_{сз}$ и $Z_{сз}$ – на акватории его северо-западного шельфа), полученные во время сезонных стандартных съемок Южного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ЮгНИРО) в периоды с 1957 – 1960 по 1984 – 1989 гг. Эти данные опубликованы в справочном пособии [9]. Кроме того, нами рассчитаны значения средней биомассы для основных таксонов фитопланктона по районам – диатомовых и перидиниевых (соответственно, $D_{сз}$, $P_{сз}$ и D_v , P_v) и их соотношение ($D_{сз}/P_{сз}$ и D_v/P_v), анализ которых дан в работе [10] с дополнительным учетом из [11, 12].

Сопоставление рядов гидрометеорологических и гидробиологических характеристик выполняли корреляционным методом. Различия средних и дисперсий в рядах оценивали методом нулевых гипотез, соответственно, по критерию Стьюдента t и Фишера F [13, 14]. Граничным уровнем значимости принята величина 0,95.

Результаты и обсуждение. Сопоставляли все указанные характеристики для двух периодов: с 1973 по 1989 – 2006 гг., и предшествующего ему (начинающихся в различные годы с 1915 по 1960 гг. и заканчивающихся в 1972 г.). Различия в рядах перечисленных характеристик периода, по значениям средних и дисперсий, представлены в обобщающей табл.1. В ней помещены варианты сопоставлений, где нулевые гипотезы отвергались с уровнем значимости, не менее 0,95 по критерию Стьюдента t и (или) Фишера F .

Наиболее длительный ряд наблюдений температуры воды поверхностного слоя в порту Одесса (1915 – 2006 гг.) отражает особенности непосредственного влияния атмосферы на состояние вод северо-западного шельфа Чер-

Т а б л и ц а 1. Анализируемые ряды и значимые различия средних значений и дисперсий (условные обозначения в тексте).

№ п/п	хар-ки	ряды (периоды)	n	X	σ	№ сопост. рядов	T	F	уровень знач-ти t	уровень знач-ти F
1	T_O	1915 – 1934	20	11,0	0,71	1 – 2		2,31		> 0,95
2		1973 – 2006	34	11,0	1,08	2 – 3		2,40		> 0,95
3		1915 – 1972	58	11,1	0,70					
4		1915 – 2006	92	11,0	0,85					
5	T_B	1925 – 1972	47	16,8	0,61	5 – 6	3,75		> 0,999	
6		1973 – 1992	20	16,2	0,56					
7	A_{oo}	1960 – 1972	13	15,6	0,74	7 – 8	3,20		> 0,99	
8		1973 – 2004	32	16,4	0,72					
9	A_{02}	1960 – 1972	13	0,10	0,071	9 – 10	4,76		> 0,999	
10		1973 – 2006	34	– 0,06	0,116					
11	Φ_{c3}	1960 – 1972	13	603	212	11 – 12	2,64	7,29	> 0,95	> 0,99
12		1973 – 1988	12	1108	571					
13	Z_{c3}	1960 – 1972	13	142	60	13 – 14	5,13		> 0,999	
14		1973 – 1988	16	60	46					
15	Φ_B	1960 – 1972	13	82	39	15 – 16	4,00	112,68	> 0,999	> 0,999
16		1973 – 1984	12	562	414					
17	D_{c3}	1957 – 1972	16	498	185	17 – 18		8,49		> 0,99
18		1973 – 1989	16	810	539					
19	P_{c3}	1957 – 1972	16	76	49	19 – 20		4,77		> 0,99
20		1973 – 1989	16	134	107					
21	$\Sigma D_{c3} P_{c3}$	1957 – 1972	16	573	202	21 – 22	2,93	7,33	> 0,99	> 0,99

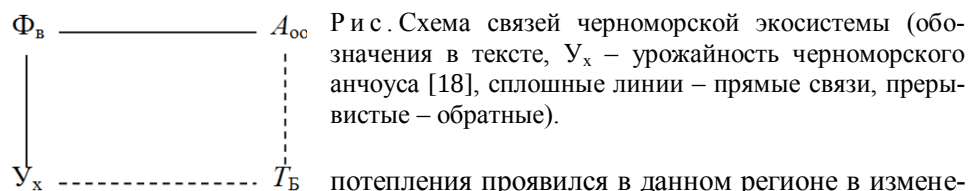
Продолжение Таблицы 1.

№ п/п	хар-ки	ряды (периоды)	n	X	σ	№ сопост. рядов	T	F	уровень знач-ти t	уровень знач-ти F
22		1973 – 1989	16	1014	547					
23	D_{c3}/P_{c3}	1957 – 1972	16	9,40	5,78					
24		1973 – 1989	16	5,58	5,03					
25	D_B	1964 – 1972	9	66	28	25 – 26	45,89	178,42	> 0,999	> 0,999
26		1973 – 1989	16	442	373					
27	P_B	1964 – 1972	9	21	10	27 – 28		5,86		> 0,99
28		1973 – 1989	16	42	23					
29	$\Sigma D_B P_B$	1960 – 1972	13	74	34	29 – 30	3,66	133	> 0,99	> 0,999
30		1973 – 1989	16	484	387					
31	D_B/P_B	1964 – 1972	9	3,9	2,6	31 – 32	2,42	10,09	> 0,95	> 0,999
32		1973 – 1989	16	11,1	8,3					

ного моря, а в порту Батуми – коррелировался со средним значением температуры поверхностного слоя вод или теплового фона всего моря [15].

Данные показывают (табл.1), что средние за год значения температуры периода 1973 – 2006 гг. не отличались от таковых для всей выборки и для других отрезков времени, однако дисперсия указанного периода значимо превосходила эту величину в остальных. Это превосходство над значениями периода 1915 – 1934 гг., как аналогичного восходящего отрезка кривой 70-летней периодичности климатических изменений, свидетельствует в пользу предположения, что исследуемый отрезок времени включает влияние не только обычных указанных автоколебательных климатических изменений, но и признаки потепления климата Земли. Увеличение межгодовой изменчивости в указанный период дополнительно иллюстрируется наличием в нём экстремумов в общем 90-летнем ряде – абсолютного минимума в 1985 г. (8,8 °C) и абсолютного максимума в 1999 г. (12,9 °C).

Различие анализируемого периода в «батумском» ряду выразились в значимом снижении теплового фона Черного моря (табл.1), то есть показало снижение его в эпоху потепления климата. В этот период имел место и абсолютный минимум 67-летнего ряда наблюдений (1987 г., 15,4 °C). Парадоксальность данного факта объясняется тем, что эффект



Р и с. Схема связей черноморской экосистемы (обозначения в тексте, Y_x – урожайность черноморского анчоуса [18], сплошные линии – прямые связи, прерывистые – обратные).

потепления проявился в данном регионе в изменении формы атмосферной циркуляции, подобно тому, как это показано в вышеупомянутой работе Дж.Тернера и Дж.Оверланда. Доказательство тому мы находим в результатах сравнения среднего давления A_{00} и типа атмосферной циркуляции A_{02} . Оба они показывают снижение повторяемости атмосферных переносов циклонического типа.

Ослабление и уменьшение повторяемости системы западных переносов в южной части моря и восточных – в северной, и преобладание переносов обратных направлений в отрицательной фазе системы обозначают, как показано в [16, 17], усиление прибрежного апвеллинга в южной и восточной частях моря и усиление циклонической циркуляции в двух основных черноморских круговоротах, следовательно, и притока в фотический слой глубинных продуктивных вод. Одновременно увеличение повторяемости циркуляции вод при западных переносах на северо-западном шельфе способствует аккумуляции здесь сбрасываемых речных вод, что определяет дополнительный приток биогенных солей. С этим связано значимое понижение температуры в анализируемом периоде батумского ряда и аномальное повышение биомассы фитопланктона в обоих районах.

В восточной части моря взаимодействие перечисленных характеристик представлены в виде непротиворечивой схемы (рис.).

Соответствующие коэффициенты корреляции приведены в табл.2.

Средняя биомасса зоопланктона существенно не изменилась (критерии t и F – не значимы). Таким образом, состояние экосистемы в этой части моря можно считать благополучной, с учетом увеличения урожайности черноморского анчоуса, имеющего в обозначенном времени наибольшую долю в вылове всех видов рыб.

В районе северо-западного шельфа изменения оказались значимыми – для фитопланктона по обоим критериям и для зоопланктона по средней биомассе. При этом значения биомассы фитопланктона увеличились более чем в два раза, а зоопланктона во столько же раз уменьшились. Мы предполагаем, что в более эвтрофном районе такая ситуация сложилась в результате увеличения доли не кормовых для зоопланктона видов микроводорослей во время их вспышки.

Проведенный дополнительный анализ динамики диатомовых и перидиниевых водорослей и соотношения их биомассы показал, что в восточной час-

Т а б л и ц а 2. Коэффициенты корреляции и уровни значимости связей некоторых элементов черноморской экосистемы (обозначения в тексте).

ряды	$\Phi_b - A_{00}$	$\Phi_b - Y_x$	$A_{00} - T_b$	$Y_x - T_b$
r	0,416 < 0,05	0,486 0,04	- 0,370 < 0,05	- 0,488 0,03

ти Черного моря, кроме общего увеличения обоих таксонов в анализируемом периоде по сравнению с предшествующим, произошло увеличение доли диатомовых водорослей, в результате чего отношения D_v/P_v возросло почти в три раза. Изменения оказались значимыми по обоим критериям. Большие величины критерия Фишера, при этом, следует рассматривать как условные (выход статистического распределения за пределы нормального), однако остается очевидным существенное увеличение средних и дисперсии. Примечательно, что увеличение биомассы диатомовых произошло почти в 7 раз, тогда как перидиниевых водорослей – только в два раза.

В пределах северо-западного шельфа указанное отношение изменилось не значимо, при этом в анализируемый период оно даже снизилось, поскольку здесь биомасса диатомовых и перидиниевых возросла почти одинаково. Изменение суммарной биомассы таксонов оказалось значимым по обоим критериям, но раздельно по таксонам – только по критерию Фишера. Можно констатировать, что экосистема северо-западного шельфа стала более продуктивной, но менее устойчивой по сравнению с восточной частью Черного моря.

Заключение. Черноморская экосистема в её абиотической части заметно изменилась в период 1973 – 2006 гг.: увеличилась межгодовая изменчивость температуры воды и снизилось её значение в открытой части моря под воздействием изменившейся системы атмосферной циркуляции, в частности, сокращенной повторяемости циклонической формы. Изменения в биотической части выразились в резком увеличении биомассы фитопланктона, особенно интенсивное в восточном глубоководном районе, в результате чего уменьшилась разница между районами моря. Если в первый период, в северо-западной части биомасса была выше, чем в восточном в 7 раз, то во второй период она различалась лишь в 2 раза. В акватории северо-западного шельфа снизилось качество экосистемы, поскольку аномальная вспышка фитопланктона сопровождалась снижением биомассы второго трофического уровня. Урожайность короткоциклового рыб, в частности, анчоуса, увеличилась. Её временное снижение в 1989 – 1991 гг. произошло по биотическим причинам – из-за вспышки вселенца гребневика мнемнопсиса [19].

При сопоставлении рядов, в первую очередь данных температуры воды при наблюдении в порту Одесса, которые ведутся с 1915 г., допустимо предположить, что значимые изменения экосистемы Черного моря произошли при наложении потепления климата Земли на период восходящей ветви в автоколебательных изменениях климата с 70-летним периодом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брянцев В.А.* Признаки изменений состояния экосистемы северо-западного шельфа Черного моря в связи с потеплением климата Земли // Рибне господарство України.– 2004.– № 5 (34).– С.49-51.
2. *Брянцев В.А.* Климатические изменения экосистемы Азово-Черноморского бассейна // Междунар. конф. «Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона». Керчь, 8.09 2009.– Керчь, 2010.– С.3-7.
3. *Брянцев В.А.* Стрессовая трансформация экосистемы Азовского моря и возможности восстановления его рыбопродуктивности // Рибне господарство України.– 2008.– № 4 (57).– С.3-7.

4. *Брянцев В.А., Крискевич Л.В.* Состояние черноморской экосистемы: эмпирическая оценка, возможности прогноза // 3 междунар. конф. «Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона». Керчь, 10-11.10 2007.– Керчь: ЮгНИРО, 2008.– С.83-89.
5. *Брянцев В.А.* Глобальные процессы, определяющие состояние экосистем Азово-Черноморского бассейна // 4 междунар. конф. «Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона». Керчь, 8-9.10 2008.– Керчь: ЮгНИРО, 2008.– С.3-7.
6. *Сидоренков Н.С., Свиренков П.И.* Многолетние изменения атмосферной циркуляции и колебания климата в первом естественном синоптическом регионе / Долгопериодная изменчивость условий атмосферной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования.– М.: 1989.– С.59-71.
7. *Turner J., Overland J.* Contrasting climate change in the two polar regions. // Journal compilation 2009 Blackwell Publishing ltd. - PP. 146 – 164.
8. *Кудрявая К.И., Серяков Е.И., Скрипунова Л.И.* Морские гидрологические прогнозы.– Л.: Гидрометеиздат, 1974.– 310 с.
9. *Справочное пособие «Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР / Под ред. Симонова Ф.И., Рябикина А.И., Гершановича Д.Е.»*– С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992.– т.6. Черное море, вып.2.– 220 с.
10. *Брянцева Ю.В., Брянцев 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.– вып.45.– С.13-18.
11. *Виноградова Л.А., Маштакова Г.П., Дерезюк Н.В.* Сукцессионные изменения в фитопланктоне северо-западной части Черного моря // Исследования экосистемы пелагиали Черного моря.– М.: ИОАН, 1986.– С.170-176.
12. *Маштакова Г.П., Самышев Э.З.* Структура планктонных сообществ в Черном море и её изменение в 1960 – 1983 гг. // Исследование экосистемы пелагиали Черного моря.– М.: ИОАН, 1986.– С.238-240.
13. *Брукс К., Карузерс Н.* Применение статистических методов в метеорологии.– Л.: Гидрометеиздат, 1963.– 416 с.
14. *Аксюткина З.М.* Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических рыбохозяйственных исследованиях.– М.: Пищевая промышленность, 1968.– 288 с.
15. *Брянцев В.А.* Возможности сезонного прогноза теплового фона Черного моря // Экспресс-информация ЦНИИТЭИРХ.– М., 1977.– вып.8.– С.1-5.
16. *Внешние предпосылки многолетних изменений черноморской экосистемы // Рыбное хозяйство Украины.*– 2001.– № 6 (17).– С.22-23.
17. *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.– т.34, № 3.– С.349-355.
18. *Шляхов В.А., Чащин А.К., Коркош Н.И.* Интенсивность промысла и динамика запаса черноморской хамсы / Биологические ресурсы Черного моря.– М.: ВНИРО, 1990.– С.93-102.
19. *Расс Т.С.* Рыбные ресурсы Черного моря и их изменения // Океанология.– 1992.– т.32, № 2.– С.293-301.

Материал поступил в редакцию 15.10.2010 г.