

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗООБЕНТОСА АЗОВСКОГО МОРЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© 2011 г. Ю. М. Гаргопа***, С. В. Сарвилина**

*Институт аридных зон Южного научного центра
Российской академии наук

344006 Ростов-на-Дону, просп. Чехова, 41

**Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра
Российской академии наук

183010 Мурманск, ул. Владимирская, 10

Поступила в редакцию 07.07.2010 г.

Рассмотрена связь многолетних изменений зообентоса Азовского моря с крупномасштабными колебаниями атмосферной циркуляции (типизация Г.Я. Вангенгейма) с середины XX до начала XXI вв. Установлено, что западная форма способствует уменьшению биомассы зообентоса Азовского моря, а восточная – росту. Влияние северного типа макропроцессов неоднозначно. Смена в середине 1980-х гг. восточной формы на западную определила распределение Азовского моря и понижение общей биомассы зообентоса, особенно моллюсков. Доминирование в дальнейшем западной формы будет способствовать сохранению современной структуры донных сообществ до конца первой четверти XXI в.

Ключевые слова: Азовское море, зообентос, влияние атмосферной циркуляции, гидрометеорологические условия, климатические изменения донных сообществ.

В работах [4–6, 11–14] авторами настоящего исследования было установлено, что развитие экосистемы Азовского моря в условиях хозяйственной деятельности в значительной мере обуславливается квазициклическими колебаниями атмосферной циркуляции (АЦ). Показано, что его рыбопродуктивность возрастает в периоды развития западной (W) формы АЦ (типизация Г.Я. Вангенгейма [1]) и, наоборот, уменьшается в периоды повышения повторяемости восточного (E) типа макропроцессов. Влияние северной (C) формы неоднозначно, с преобладанием положительного эффекта. Связано это с тем, что сток рек, пресный баланс и уровень Азовского моря в годы повышенной повторяемости форм W и C увеличиваются, а соленость уменьшается. Подобный характер гидрометеорологических процессов наблюдается в последние два десятилетия. Доминирование же процессов E типа особенно проявилось в 1970-х гг. и обуславливает противоположные, неблагоприятные для воспроизводства рыб гидрометеорологические условия (маловодность рек, осолонение Азовского моря).

Исследования последних лет свидетельствуют о том, что, несмотря на антропогенные воздействия, климатообразующие процессы остаются ключевым фактором формирования не только режима южных морей в целом и Азовского моря в частности [4–6, 11–14], но и их планктонных и особенно – донных сообществ. Зообентос – один из основных индикаторов

последствий не только хозяйственной деятельности, но и климатических изменений, современные и ожидаемые масштабы которых значительны. Поэтому оценка закономерностей и причин динамики зообентоса актуальна как в научном, так и практическом отношении.

Исследованиям связи изменений донных сообществ Азовского моря с изменениями других элементов экосистемы моря посвящено много работ [2, 7–10, 15–21]. Установлено, что к основным абиотическим факторам, влияющим прямо и косвенно на динамику зообентоса, относятся рельеф дна и характер донных отложений, речной сток, метеоэлементы, динамика и соленость вод, газовый режим и другое. Однако несмотря на фундаментальность и важность указанных работ, выполнены они преимущественно на качественном уровне. В первую очередь, это относится к оценке влияния речного стока и метеоэлементов, а также стратифицированности и солености вод и кислородного режима. К числу редких исключений можно отнести лишь работы [3, 4, 6, 9, 10], в которых исследован, главным образом, период до середины 1980-х гг. Связь многолетних изменений зообентоса с крупномасштабными колебаниями атмосферной циркуляции не изучались. Между тем, установление подобных связей и квазипериодичность климатообразующих процессов создают предпосылки для последующей оценки возможных климатообуслов-

ленных изменений биогеоценозов южных морей, а также разработки рекомендаций по сохранению Азовского, Каспийского и Черного морей как природных и хозяйственных объектов.

В связи с этим впервые на примере Азовского моря выполнена оценка связи многолетних изменений зообентоса с крупномасштабными колебаниями АЦ, а также гидрометеорологических и океанологических характеристик при зарегулированном речном стоке (после 1952 г., когда произошли изменения в антропогенном воздействии и, особенно, в климате).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на основе принципов системного и межсистемного анализов с применением методов математической статистики. Как и в предшествующих работах [4–6, 11–14], в качестве показателя АЦ атлантико-европейского сектора северного полушария принята типизация синоптических процессов по [1]. Использованы данные [7, 16–21] и фондовые материалы наблюдений за АЦ, стоком рек Q , морской средой и биотой, режимом термики и ветра, уровнем морей и другими характеристиками, выполненных сетью ГМС и учреждениями Госкомгидромета (Гидрометцентр РФ, Северо-Кавказский гидрометцентр, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Государственный океанографический институт и др.), Академии наук СССР и РАН (Институт водных проблем, Мурманский морской биологический институт, Южный научный центр), Госкомрыболовства РФ (Азово-Черноморский институт рыбного хозяйства и океанографии, Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства).

При анализе причин и оценке закономерностей многолетней изменчивости биомасс зообентоса Азовского моря рассматривались в основном период после зарегулирования стока р. Дон (1952–2005 гг.) и два подпериода (1952–1986, 1987–2005 гг.), характеризующиеся наличием непрерывных, качественно однородных и достаточно продолжительных рядов данных и различающиеся по степени и характеру влияния климатических и антропогенных факторов, а также по гидробиологическим условиям формирования донных сообществ (вселение черноморских и средиземноморских видов в Азовское море в 1970–1980-х гг., появление гребневика *Mnemiopsis leidyi* в конце 1980-х гг. и др.).

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗООБЕНТОС

Как и ранее в отношении запасов отдельных видов рыб Азовского моря [3–6, 12–14], выявлена неоднозначность характера и неодинаковая степень опосредованного влияния через основные факторы

среды (метеоэлементы, речной сток, температура, соленость и устойчивость вод, кислородный режим и другие) основных форм АЦ на различные виды и группы зообентоса.

Для периода (1952–1986 гг.) установлено, что в случае развития в рассматриваемый и предшествующие годы (1–5 лет) W и C типов макропроцессов общая среднегодовая биомасса зообентоса в Таганрогском зал. уменьшается ($r = -0.56...-0.70$). Наиболее выражен эффект снижения биомассы зообентоса в Таганрогском зал. ($r = -0.62...-0.71$) в случае развития в анализируемый и предшествующие 1–2 года комбинированной формы W + C.

Усиление повторяемости типа E в рассматриваемый и предшествующие 2–3 года, наоборот, способствует ее повышению ($r = 0.56...0.65$). Следует отметить, что отрицательный эффект воздействия на биомассу зообентоса Таганрогского зал. комбинированной формы W + C и положительный формы E проявляется уже в первый год (соответственно $r = -0.42...-0.47$ и $r = 0.41...0.50$). При этом наиболее существенно влияние макросиноптических процессов холодного времени года. Отклик зообентоса собственно Азовского моря на колебания АЦ статистически менее существенен. Тем не менее можно отметить слабо выраженную, но статистически значимую отрицательную корреляцию его биомассы с повторяемостью в рассматриваемый и предшествующие годы комбинированной формы W + C ($r = -0.32$) и положительную ($r = 0.33$) с формой E.

В современный период (1987–2005 гг.) развитие западной формы АЦ в рассматриваемый и предшествующие годы также способствует понижению общей биомассы зообентоса и биомассы моллюсков ($r = -0.39...-0.52$) в Азовском море, особенно в Таганрогском зал. Биомасса ракообразных, главным образом собственно моря, наоборот, несколько возрастает ($r = 0.35...0.47$). При увеличении повторяемости формы C, в отличие от предшествующего периода, происходит рост общей биомассы зообентоса Азовского моря, биомасс червей и моллюсков ($r = 0.38...0.51$). Влияние типа C макропроцессов в этот период статистически выражено менее определенно. Можно лишь отметить понижение биомассы ракообразных Азовского моря ($r = -0.46$) и биомассы червей в Таганрогском зал. ($r = -0.35...-0.46$).

Положительный эффект воздействия на биомассу зообентоса Азовского моря макропроцессов типа E и отрицательный формы типа W прослеживается и для всего периода после 1952 г. Но в силу определенной качественной неоднородности всего ряда данных реакция зообентоса на влияние указанных форм АЦ, хотя статистически и значима, но выражена для биомасс зообентоса Таганрогского зал. и собственно моря несколько слабее, чем в первый подпериод (соответственно $r = 0.47...0.52$ и $r = -0.28...-0.42$).

Таблица 1. Корреляция между биомассами основных видов моллюсков Таганрогского залива (1), собственно Азовского моря (2) и числом дней с формами АЦ за рассматриваемый i и предшествующие $i + \dots + i - n$ годы в временный период (1991–2005 гг.) (здесь и в табл. 2 критическое значение $r = 0.45$)

Основные виды моллюсков	Часть моря	Формы АЦ					
		W		E		C	
		r	годы	r	годы	r	годы
Общая биомасса	1	-0.59	$i + \dots + i - 3$	-0.27	$i + \dots + i - 2$	0.67	$i + \dots + i - 4$
	2	-0.53	$i + i - 1$	0.26	$i + i - 1$	0.46	$i + \dots + i - 2$
Двухстворчатые	2	-0.52	$i + i - 1$	0.32	$i + i - 1$	0.46	$i + \dots + i - 2$
	2	0.52	$i + \dots + i - 4$	-0.51	$i + \dots + i - 6$	-0.48	$i + \dots + i - 2$
Cerastoderma lamarcki	1	0.14	i	-0.64	$i + i - 1$	0.23	$i + \dots + i - 2$
	2	0.52	$i + \dots + i - 4$	-0.51	$i + \dots + i - 6$	-0.48	$i + \dots + i - 2$
Abra ovata	2	-0.49	$i + \dots + i - 5$	0.32	$i + \dots + i - 6$	0.46	$i + \dots + i - 4$
Mytilaster lineatus	2	0.58	$i + \dots + i - 3$	-0.50	$i + \dots + i - 4$	-0.55	$i + \dots + i - 2$
Mya arenaria	1	-0.60	$i + \dots + i - 3$	-0.20	$i + \dots + i - 2$	0.66	$i + \dots + i - 4$
	2	-0.70	$i + \dots + i - 5$	0.54	$i + \dots + i - 2$	-0.73	$i + \dots + i - 4$
Mytillus galloprovincialis	2	-0.90	$i + \dots + i - 9$	0.79	$i + \dots + i - 6$	0.74	$i + \dots + i - 2$
Cunearca cornea	2	-0.05	$i + i - 1$	-0.51	$i + \dots + i - 3$	-0.27	i
Брюхоногие	2	-0.24	$i + i - 1$	-0.47	$i + \dots + i - 2$	0.23	$i + i - 1$
Hypanis colorata	1	-0.46	$i + \dots + i - 3$	-0.46	$i + \dots + i - 3$	0.57	$i + \dots + i - 3$

Особый интерес вызывает неоднозначность и неодинаковая степень реакции на колебания АЦ основных видов моллюсков Азовского моря, биомасса которых в последние 15 лет (1991–2005 гг.) составляет 85% общей биомассы. Моллюски – один из основных объектов питания бентосоядных рыб, важное звено системы самоочищения Азовского моря, источник ракушечного материала при формировании донных отложений и кос.

Развитие в рассматриваемый год и предшествующие 1–9 лет формы W способствует уменьшению в собственно море суммарных биомасс всех моллюсков и двухстворчатых ($r = -0.49 \dots -0.53$), особенно ($r = -0.61 \dots -0.90$) аборигенного вида – абры (*Abra ovata*) и вселенца – мидии (*Mytillus galloprovincialis*). В то же время биомассы аборигенных видов митилястера и церастодермы (*Mytilaster lineatus* и *Cerastoderma lamarcki*) несколько возрастают ($r = 0.47 \dots 0.58$) (табл. 1, рис. 1).

В случае доминирования в рассматриваемый и предшествующие 2–4 года типа С макропроцессов общая биомасса всех моллюсков и биомасса двухстворчатых незначительно возрастают ($r = 0.41$). Особенно увеличиваются биомассы вселенцев – белой песчаной ракушки мии (*Mya arenaria*) и мидии ($r = 0.73 \dots 0.74$), в меньшей степени абры ($r = 0.43$). Биомассы же церастодермы и митилястера, наоборот, уменьшаются ($r = -0.48 \dots -0.55$) (табл. 1, рис. 1).

Развитие в рассматриваемый год и предшествующие 1–6 лет Е формы АЦ способствует некоторому повышению ($r = 0.32 \dots 0.45$) биомасс большин-

ства основных видов моллюсков (*Abra ovata*, *Mya arenaria*, *Cunearca cornea*) и особенно биомассы *Mytillus galloprovincialis* ($r = 0.73 \dots 0.79$). Биомассы *Cerastoderma lamarcki*, *Mytilaster lineatus* и брюхоногих моллюсков уменьшаются ($r = -0.41 \dots -0.51$) (табл. 1, рис. 1).

В Таганрогском зал. в условиях развития в рассматриваемый и три предшествующих года формы W общая биомасса моллюсков, как и в собственно море, понижается ($r = -0.33 \dots -0.59$), в том числе *Mya arenaria* ($r = -0.30 \dots -0.60$) и *Hypanis colorata* ($r = -0.40 \dots -0.41$). Слабая тенденция понижения общей биомассы моллюсков наблюдается здесь и в случае роста в рассматриваемый и предшествующие 1–3 года повторяемости макропроцессов типа Е. Но статистически она значима лишь для биомасс *Cerastoderma lamarcki* ($r = -0.40 \dots -0.64$) и в меньшей степени для биомассы *Hypanis colorata* ($r = -0.40$). Усиление частот появления в рассматриваемый и 2–4 предшествующих года С типа АЦ, наоборот, как и в собственно море, способствует росту общей биомассы моллюсков в Таганрогском зал. ($r = 0.48 \dots 0.67$), в том числе *Mya arenaria* ($r = 0.41 \dots 0.66$), *Hypanis colorata* ($r = 0.45 \dots 0.56$) (табл. 1).

ВЛИЯНИЕ НА ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Неоднозначность и разная степень отклика донных сообществ Азовского моря на усиление либо

уменьшение повторяемости той или иной формы АЦ обусловлена различиями в требованиях к абиотическим факторам отдельных групп и видов зообентоса.

Метеоэлементы. Потепление вод Азовского моря вызывает усиление плотностной стратификации вод, уменьшение концентраций кислорода в придонных слоях и в конечном счете некоторое понижение биомасс ракообразных, червей и моллюсков ($r = -0.33 \dots -0.62$). Особенно уменьшаются биомассы двустворчатых моллюсков ($r = -0.80$), в том числе церастодермы и абры ($r = -0.62 \dots -0.65$), в меньшей степени – мидии и мии, а также брюхоногих моллюсков ($r = -0.36 \dots -0.56$). Повышение ветровой активности, способствуя турбулентному перемешиванию и аэрации вод, вызывает рост биомасс червей и большинства моллюсков Азовского моря ($r = 0.47 \dots 0.53$).

Устойчивость вод и кислородный режим. Рост устойчивости E_0 вод (в рассматриваемый и предшествующие 1–2 года) способствует понижению общих биомасс зообентоса ($r = -0.37$), ракообразных ($r = -0.48$), моллюсков ($r = -0.45$), в том числе двухстворчатых ($r = -0.51$), главным образом абры ($r = -0.48$), мидии ($r = -0.50$) и, наоборот, увеличению биомассы церастодермы ($r = 0.39$). Повышение устойчивости вод в условиях современного роста первичного продуцирования органического вещества создает предпосылки для формирования летнего дефицита растворенного кислорода в придонных горизонтах ($r = 0.70$). Последствия увеличения размеров зон с придонным дефицитом кислорода F_{O_2} в рассматриваемый и предшествующие 1–3 года неблагоприятны для ракообразных ($r = -0.66$) и моллюсков ($r = -0.54$) собственно моря, особенно мидии ($r = -0.60$) и абры ($r = -0.55$). Реакция церастодермы для рассматриваемого периода статистически неопределенна (табл. 2).

Следует отметить, что корреляция между площадями гипоксии в Азовском море в летние месяцы первого подпериода (1963–1986 гг.) и среднегодовыми биомассами зообентоса собственно моря отрицательна, но статистически незначима ($r = -0.11$) и лишь приближается к таковой с величинами летней биомассы зообентоса в собственно море ($r = -0.28$). Так же отрицательна корреляция размеров зон с гипоксией летом в Таганрогском зал. с его среднегодовой биомассой зообентоса ($r = -0.27$) и статистически она значима лишь с величиной его летней биомассы зообентоса ($r = -0.40$).

Сток рек и соленость. Речной сток, как показатель климата, формирует во взаимодействии с солнечной радиацией, метеоэлементами и неорганическими компонентами географической среды абиотическую часть экосистем бассейнов южных морей, особенно Азовского моря. При этом оказывается прямое и опосредованное влияние на режим и биоту морских и континентальных экосистем, в том

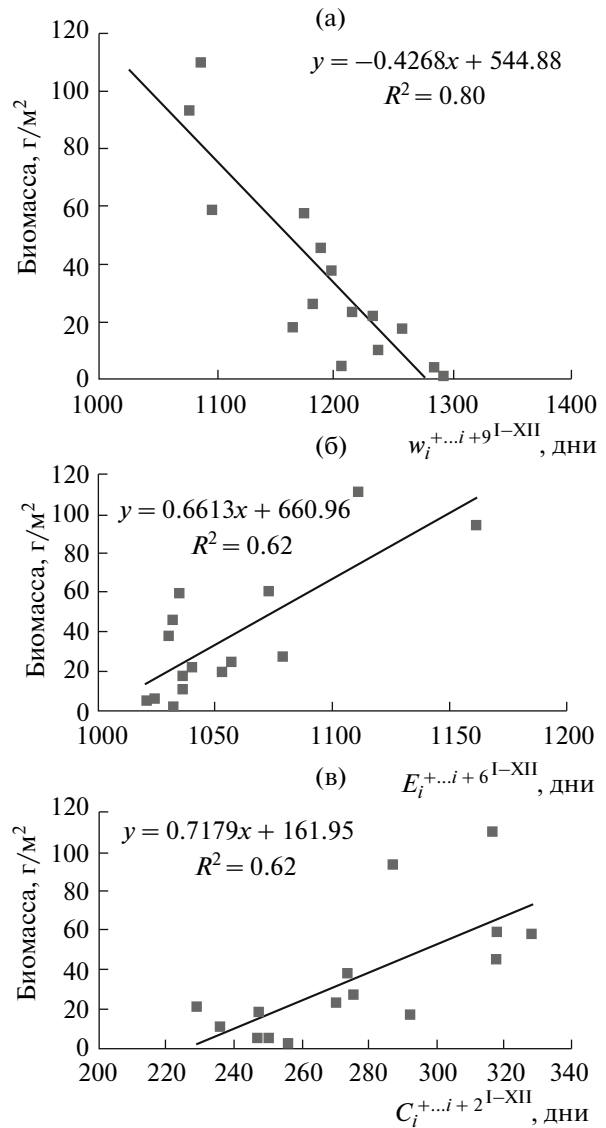


Рис. 1. Связь между среднегодовой биомассой *Mytilus galoprovincialis* в собственно Азовском море и суммой дней с макропроцессами типа W (а); E (б); C (в) за рассматриваемый (i) и предшествующие ($i + \dots + i - n$) годы в 1991–2005 гг.

числе на планктонные сообщества, донную фауну, воспроизводство запасов рыб. Пространственно-временные колебания жидкого, твердого, ионного стока, стока биогенных, органических веществ, гидрофизических характеристик влияют непосредственно и косвенно на аналогичную изменчивость важнейших для биоресурсов в целом и особенно – воспроизводства рыбных запасов зообентоса факторов среды обитания (уровень, течения, соленость, солевой состав, минерализация, мутность морских и континентальных вод, биогенные элементы, первичная продукция органического вещества, гранулометрический состав донных отложений, содер-

Таблица 2. Корреляция между биомассами основных видов моллюсков собственно Азовского моря и его гидролого-гидрохимическими характеристиками за рассматриваемый i и предшествующие $i + \dots - n$ годы в современный период (1991–2005 гг.)

Основные виды моллюсков	Гидролого-гидрохимические характеристики							
	сток рек		соленость вод		устойчивость вод		размеры зон с придонным дефицитом кислорода летом	
	r	годы	r	годы	r	годы	r	годы
Общая биомасса	-0.40	$i + \dots + i - 6$	0.39	$i + \dots + i - 2$	-0.46	$i + \dots + i - 2$	-0.54	$i + \dots + i - 2$
Двухстворчатые	-0.34	$i + \dots + i - 6$	0.38	$i + \dots + i - 2$	-0.52	$i + \dots + i - 2$	-0.58	$i + \dots + i - 2$
<i>Cerastoderma lamarcki</i>	0.19	$i + \dots + i - 5$	-0.56	$i + \dots + i - 3$	0.40	i	-0.05	i
<i>Abra ovata</i>	-0.39	$i + \dots + i - 5$	0.49	$i + \dots + i - 5$	-0.48	$i + \dots + i - 2$	-0.55	$i + \dots + i - 2$
<i>Mytilaster lineatus</i>	-0.35	$i + \dots + i - 2$	0.16	$i + \dots + i - 3$	-0.24	$i + i - 1$	-0.22	$i + \dots + i - 2$
<i>Mya arenaria</i>	0.52	$i + \dots + i - 2$	0.51	$i + \dots + i - 5$	-0.38	i	-0.34	$i + \dots + i - 3$
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	-0.83	$i + \dots + i - 8$	0.88	$i + \dots + i - 2$	-0.50	i	-0.60	$i + i - 1$
<i>Cunearca cornea</i>	0.52	$i + \dots + i - 7$	-0.48	$i + \dots + i - 4$	-0.15	i	-0.39	$i + \dots + i - 3$
Брюхоногие	-0.42	$i + \dots + i - 6$	0.35	$i + \dots + i - 4$	0.07	$i + i - 1$	-0.32	$i + \dots + i - 3$

жание органических веществ, кислородный режим и др.) [4–6, 11–14].

В целом физико-химические и гидробиологические характеристики Азовского моря формируются речным стоком во взаимодействии с температурой и ветром в основном за рассматриваемый год и 3–7 предшествующих ему лет. Решающий вклад в динамику запасов полупроходных и некоторых проходных рыб вносит речной сток за предшествующие 3–6 лет, а осетровых – водность рек в предшествующие 9–12 и более лет [3–6].

Относительное (по сравнению со средней величиной стока за 1987–2005 гг.) многоводье рек в рассматриваемый год и предшествующие 2–8 лет, обусловленное развитием W и C форм АЦ, вызывая понижение солености Азовского моря [4–6, 11–14], способствует уменьшению в собственно море биомассы моллюсков ($r = -0.40$), особенно мидии ($r = -0.63 \dots -0.88$), и наоборот – некоторому увеличению биомасс вселенцев: кунярки (*Cunearca cornea*) и мии (*Mya arenaria*) ($r = 0.52$). Последствия понижения в условиях развития формы E речного стока и повышения солености Азовского моря [4–6, 11–14] противоположны для указанных видов моллюсков (табл. 2).

В Таганрогском зал. в условиях многоводья несколько уменьшается биомасса *Cerastoderma lamarcki* ($r = -0.48$). В то же время в случае относительного многоводья в рассматриваемый год и предшествующие 5 лет биомассы ракообразных возрастают как в собственно море ($r = 0.57$), так и в Таганрогском зал. ($r = 0.46$). Возрастает и биомасса червей, но главным образом в Таганрогском зал. ($r = 0.50$). Следует отметить, что в первый из рассматриваемых подпериодов (1952–1986 гг.) отрицательное влияние на общую биомассу зообентоса стока рек анализи-

руемого года и предшествующих 5–7 лет выражено для Таганрогского зал. сильнее ($r = -0.86$), а для собственно моря – слабее ($r = -0.47$). Для всего же анализируемого периода (1952–2005 гг.) отрицательное влияние многоводья на общие биомассы Таганрогского зал. и собственно моря оценивается коэффициентами корреляции, равными соответственно -0.70 и -0.37 .

Биомасса зообентоса Азовского моря возрастает ($r = 0.40 \dots 0.80$) при повышении его солености в рассматриваемый и предшествующие годы (от 1 до 5 лет), вызванного развитием E типа макропроцессов [4–6, 11–14]. Особенно увеличивается биомасса мидии ($r = 0.72 \dots 0.88$). В то же время уменьшаются биомассы церастодермы и, в меньшей степени, кунярки ($r = -0.48 \dots -0.56$), а также биомассы червей и ракообразных ($r = -0.40 \dots -0.55$).

Влияние изменений солености на биомассы митиластера и брюхоногих моллюсков статистически не значимо. При этом у брюхоногих моллюсков оно положительно и приближается к статистически значимому ($r = 0.35$). Для *Mytilaster lineatus* влияние солености статистически менее определено. Для моллюсков Таганрогского зал. выявлена приближающаяся к статистически значимой положительная корреляция с соленостью вод залива в анализируемом году – биомассы мии ($r = 0.41$) и суммарной биомассы моллюсков ($r = 0.34$). В целом для 1952–2005 гг. корреляция общих биомасс зообентоса собственно моря и Таганрогского зал. с соленостью Азовского моря в рассматриваемый и предшествующий годы составляет соответственно $r = 0.31$ и 0.49 ; $r = 0.43$ и 0.53 ; в то время как для 1952–1986 гг. этот показатель для общей биомассы зообентоса Таганрогского зал. и солености Азовского моря составлял $r = 0.75 \dots 0.82$. Для биомассы зообентоса соб-

ственно Азовского моря корреляция в целом с соленостью в рассматриваемом году положительна, но статистически незначима и была таковой в предшествующем году (соответственно $r = 0.47$ и $r = 0.40$) [3–6].

Следует отметить исследования [9, 10] для первого подпериода по оценке влияния элементов гидрометеорологического режима на некоторые гидробионты и в том числе на биоценоз одного из вселенцев — мидии. До 1952 г. в Азовском море встречались лишь единичные экземпляры мидии, но уже в 1965 г. она образовала мидийный биоценоз площадью 3.3 тыс. км². В 1970-е гг., в период исключительного маловодья и максимального осолонения Азовского моря, вызванного необычайно высоким развитием макропроцессов типа Е на фоне ослабления W типа, он занимал площадь, равную 5–7 тыс. км² (или шестую–седьмую часть всей площади морского дна). Наиболее массовые скопления этого моллюска были сосредоточены в восточной, северной и юго-западной частях моря. Площадь биоценоза мидии и ее биомасса находилась в прямой зависимости от величины солености Азовского моря ($r = 0.75$), размеров зон с благоприятной для нее соленостью ($>11–12‰$ ($r = 0.77$)), температуры ($r = 0.59$), ветровой активности ($r = 0.76$) и в обратной — от стока рек ($r = -0.78$).

Средний возраст азовоморской мидии составляет 4–6 лет. Поэтому статистически связь между площадями мидийного биоценоза и первыми четырьмя факторами наиболее существенна, если указанные предикторы берутся за пять предшествующих лет. При оценке воздействия ветрового и температурного факторов на площадь биоценоза выявлено их особенно значимое влияние для весенне-летнего и летнего периодов. В то же время отрицательная корреляция между размерами биоценоза мидии и речным стоком максимальна, если объем стока используется за десять предшествующих лет. Полученные результаты позволили, используя в качестве предикторов указанные факторы, вывести уравнения регрессии, описывающие зависимость от них площади биоценоза мидии в 1965–1984 гг. [9, 10].

Подобные статистические модели были получены для общих биомасс не только зообентоса, но и планктонных сообществ на основе материалов за 1952–1986 гг. [3, 4, 6]. В условиях распреснения, обусловленного развитием W и C типов макропроцессов, последствия для зообентоса Азовского моря в значительной мере противоположны приведенным для условий осолонения. Происходит понижение общей биомассы моллюсков, в том числе абры, мии и особенно мидии, и некоторый рост биомассы церастодермы.

СОПРЯЖЕННОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ, ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И БИОМАССЫ ДОННЫХ СООБЩЕСТВ

В целом, в условиях развития W формы АЦ биомассы зообентоса Азовского моря уменьшаются, а в случае доминирования Е — возрастают. Влияние макропроцессов типа С неоднозначно. При этом, как и для большинства элементов водного баланса, уровня и солености вод южных морей, влияние АЦ рассматриваемого года на зообентос Азовского моря статистически не во всех случаях выглядит значимым и становится таковым при учете повторяемости ее форм (а также других гидрометеорологических и океанографических факторов) в предшествующие 1–2, 3–4 и даже 6–7 и более лет.

В периоды исключительного развития Е формы, когда сток рек резко понижается, а приток черноморских вод возрастает и Азовское море осолоняется, биомасса зообентоса увеличивается за счет освоения его менее ценными в кормовом отношении, более крупными видами азовских и черноморских моллюсков. В 1970-х гг. в период максимального осолонения Азовского моря (до 14‰) биомасса зообентоса достигала в среднем 350–500 г/м². В то же время запасы кормового зообентоса, основу которых составляют *Cerastoderma lamarcki*, *Abra ovata*, *Hupanis colorata* и брюхоногие моллюски, сократились по сравнению с таковыми в 1956–1968 гг. на 20%, а относительно естественного периода — на 80%. В условиях роста в последние 15–20 лет частот появления макропроцессов W и в меньшей степени C типов, определивших повышение водности рек, распреснение Азовского моря (до 9.5–10‰, т.е. до значений 70–80-летней давности) [3–6, 11–14] и уменьшение размеров моллюсков, биомасса зообентоса понизилась в 1.5–2.0 раза. При этом кормовая фракция составляет 35–65% общей биомассы зообентоса, что в среднем на 40% ниже аналогичного показателя естественного периода. Однако снижение биомассы зообентоса в значительной мере компенсируется увеличением ценных в кормовом отношении биомасс червей (полихет и олигохет), ракообразных и фораминифер. Поэтому общие кормовые ресурсы для рыб в энергетическом эквиваленте не снижаются [18, 20, 21]. Таким образом, в условиях развития формы W абиотические и биотические условия благоприятны для формирования запасов бентосоядных рыб. К этому следует добавить, что анализ питания донных рыб и оценка использования ими кормовых ресурсов показывают, что от годовой продукции бентоса рыбы используют не более 6–11%. Это свидетельствует о том, что трофические ресурсы в современный период не лимитируют восстановление запасов рыб-бентофагов Азовского моря [18, 20, 21].

В зарегулированных условиях (1952–2005 гг.) для годовых частот появления макропроцессов типа W характерен тренд роста (на 44 сут, или в 1.6 раз), превышающий среднеквадратическое отклонение σ в 1.5 раза, а для E и C форм АЦ наоборот, менее выраженные тенденции уменьшения (соответственно на 29 и 15 сут, или на 15 и 16%), составляющие соответственно 0.8 и 0.7 σ .

На фоне приведенных линейных трендов и тенденций в многолетних колебаниях форм АЦ для типа W выделяются периоды пониженных значений с конца 1950-х–начала 1960-х гг. до середины первой половины 1980-х гг. и повышенных в – дальнейшем. Для макропроцессов типа E крупномасштабная изменчивость в целом носит противоположный характер. Квазипериодичность в изменениях частот появления формы C выражена слабее. Тем не менее, выделяется период преимущественно повышенных величин в ее повторяемости с начала 1950-х до начала 1970-х гг., затем – период ослабления интенсивности до конца 1980-х гг., роста в дальнейшем до начала второй половины 1990-х и понижения в последующие годы (рис. 2). В то же время в зимний период последних 15–18 лет частотам появления C типа АЦ свойственна положительная аномальность. В целом повторяемость в зимнее время макропроцессов W и C с начала второй половины XX-го – к началу XXI вв. возросла соответственно в 2 и 1.5 раза, а частота появления формы E, напротив, более чем вдвое понизилась.

Наблюдается некоторое потепление вод Азовского моря, более выраженное (порядка 0.1°C/год) для летних месяцев последних 10–15 лет (главным образом с 1998 г.), а также понижение (на 1.3–1.7 м/с) ветровой активности (особенно с 1988 г.), связанное в значительной мере с процессами глобального потепления и сменой макроциркуляционных эпох (замена E типа макропроцессов на W) [4–6, 11–14].

В многолетних колебаниях суммарного стока рек Дона и Кубани тренд отсутствует. Однако в последние десятилетия происходит повышение водности рек бассейна Азовского моря (главным образом р. Кубани), особенно в холодное время года. В 2000–2006 гг. суммарный приток речных вод в Азовское море составлял в среднем ~38 км³/год, что соответствует его значениям до зарегулирования р. Дона (1952 г.). Несмотря на вызванное антициклональным характером погоды маловодье 2007–2009 гг. (28–30 км³/год), уступавшее стоку предшествующего периода и естественной норме примерно на треть, Азовское море остается в распресненном состоянии (10.6‰). Тренды в многолетних (1952–2008 гг.) колебаниях солености Азовского моря и Таганрогского зал. отрицательны (–1.9‰, или 2.0 σ , и –1.3‰, или 0.9 σ соответственно). В отличие от водного стока, сток взвешенных наносов сокращается до 3 млн. т/год, или в 4–5 раз, что связано, глав-

ным образом, с антропогенными факторами (зарегулированием стока, перекрытием русел гидротехническими сооружениями). В этих условиях на фоне роста скоростей ветров западных направлений и понижения скоростей восточных румбов, подъема уровня в Азовском море получили развитие абразионные процессы, а также, видимо, произошло некоторое ослабление циклонического круговорота его вод, что способствует заилению донных осадков.

Между многолетними колебаниями стока рек Дона и Кубани синхронность отсутствует ($r = 0.07$), а между аналогичными изменениями солености собственно моря и Таганрогского зал. степень согласованности умеренная ($r = 0.60$). Устойчивость водных масс, первичная продукция органического вещества в Азовском море по причинам в основном климатического характера, изложенным в [4–6, 11–14], в современный период (с 1987 г.) возросли в ~1.5 раза по сравнению с предшествующим. В той же мере за последние 15–20 лет увеличились и площади зон с дефицитом кислорода в придонных слоях моря. В Таганрогском зал. явления гипоксии, особенно с середины 1990-х гг., наблюдаются реже, чем собственно в Азовском море [18, 20, 21].

Поэтому в колебаниях биомассы зообентоса собственно в Азовском море прослеживается тренд некоторого уменьшения (на 71 г/м², или 0.9 σ), а в изменениях биомассы зообентоса Таганрогского зал. выраженные тенденции отсутствуют. Между изменчивостью биомасс зообентоса в Таганрогском зал. и собственно Азовского моря синхронность выражена слабо ($r = 0.34$), что объясняется различиями условий среды и структуры донных сообществ. Так, в современных условиях в собственно море продолжает доминировать наиболее ценный в кормовом отношении аборигенный моллюск *Cerastoderma lamarcki*, хотя его доля и снизилась по сравнению с 1977–1988 гг. вдвое, а в Таганрогском зал. – менее ценный в кормовом отношении вселенец *Mya arenaria*, доля которого, однако, в XXI в. резко снизилась (втрое), а удельный вес церастодермы с 1998 г., наоборот, возрос в 1.5 раза.

На фоне приведенных тенденций в многолетних колебаниях общей биомассы зообентоса Азовского моря выделяются периоды преимущественно низких и высоких (по сравнению со средней величиной за 1952–2005 гг.) ее значений продолжительностью от 3–5, 7–8 до 12–15 лет (рис. 2).

При этом в изменениях биомассы зообентоса Таганрогского зал. установлены три периода с отрицательной аномальностью значений продолжительностью от 6–8 до 15 лет (1954–1968, 1979–1986, 2000–2005 гг.), которые в определенной мере согласуются (особенно в первый и третий периоды) с отрицательным многоводьем и распресненностью Азовского моря, и два – с положительной длительностью 9–10 лет (1969–1978 и 1987–1995 гг.), пер-

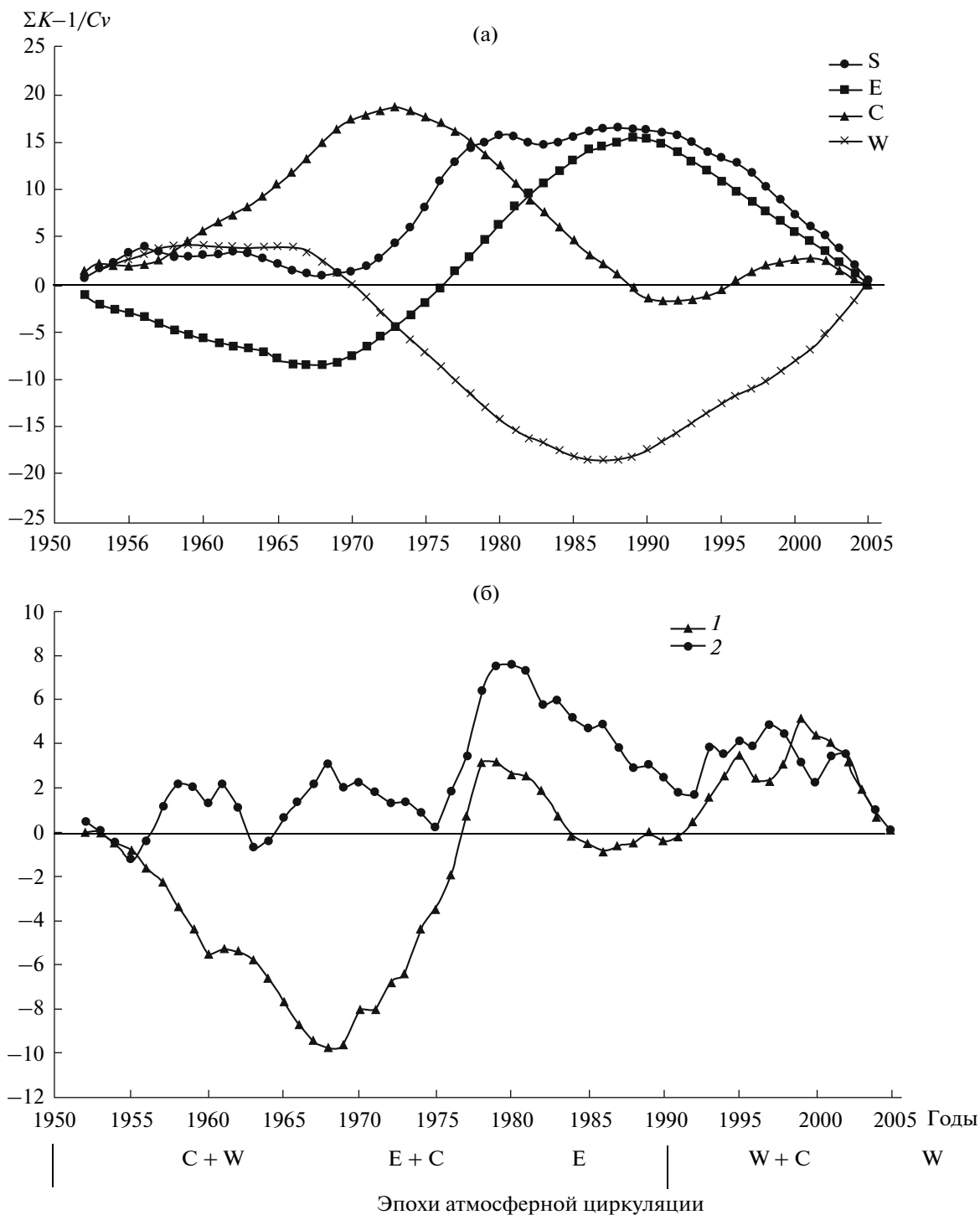


Рис. 2. Нормированные разностные интегральные кривые модульных коэффициентов. а – повторяемость за рассматриваемый и пять предшествующих лет E, W и C форм атмосферной циркуляции; среднегодовая солёность Азовского моря S; б – среднегодовые биомассы зообентоса в Таганрогском зал. 1 и собственно в Азовском море 2. K – модульный коэффициент, равный отношению повторяемости форм атмосферной циркуляции, величин солёности и биомасс зообентоса в конкретном году к их среднемноголетним величинам; $\Sigma(K-1)$ – алгебраическая сумма отклонений от нормы; Cv – коэффициент вариации.

вый из которых отличается резко выраженной маловодностью рек и осолонением Азовского моря. В собственно море квазипериодичность в изменении

биомасс зообентоса выражена слабее. К периодам с ее преимущественно пониженными значениями продолжительностью от 3, 7–8 до 12 лет можно

отнести 1953–1955, 1969–1975, 1981–1992, 1998–2005 гг., а с повышенными длительностью 4–5 лет – 1956–1959, 1964–1968, 1976–1980, 1993–1997 гг. (рис. 2).

ВЫВОДЫ

В условиях развития W формы АЦ биомасса зообентоса Азовского моря уменьшается, а в случае доминирования E формы – возрастает. Влияние C типа макропроцессов неоднозначно. Биомасса зообентоса Азовского моря определяется не только характером АЦ и параметрами среды рассматриваемого года, но и аналогичными показателями предшествующих лет.

В современный период смены E типа макропроцессов на W, распреснения моря, роста температуры и устойчивости вод, первичного продуцирования органического вещества, ухудшения кислородного режима для общей биомассы зообентоса Азовского моря, особенно моллюсков, характерна, как и в целом для всего периода после зарегулирования стока рек, тенденция понижения.

В многолетних колебаниях биомассы зообентоса Азовского моря просматривается квазипериодичность продолжительностью от 3–7 до 10–15 лет.

Доминирование и в дальнейшем W формы атмосферной циркуляции, следствие которой – распресненность Азовского моря, дает основания предположить, что сформировавшаяся в последние 10–15 лет структура его донных сообществ сохранится по крайней мере до конца первой четверти XXI в.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вангенгейм Г.Я. К вопросу о типизации и схематизации синоптических процессов // Метеорология и гидрология. 1938. № 3. С. 38–58.
2. Воробьев В.П. Бентос Азовского моря // Тр. АзЧерНИРО. 1949. Вып. 13. 195 с.
3. Гаргона Ю.М. Влияние элементов гидрометеорологического режима бассейна Азовского моря на биопродуктивность его экосистемы // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1990. Вып. 316. С. 23–27.
4. Гаргона Ю.М. Изменения стока рек бассейна Азовского моря и океанографических условий формирования его биопродуктивности под влиянием климатических и антропогенных факторов // Закономерности океанографических и биологических процессов в Азовском море. Апатиты: Изд-во Кольск. НЦ РАН, 2000. С. 5–81.
5. Гаргона Ю.М. Современное распреснение Азовского моря и его связь с многолетними колебаниями атмосферной циркуляции // Вод. ресурсы. 2002. Т. 29. № 6. С. 747–754.
6. Гаргона Ю.М. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря. Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Мурманск: Мурманский морской биол. ин-т Кольск. НЦ РАН. 2003. 47 с.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР / Под ред. Гоптарева Н.П. СПб.: Гидрометеоздат, 1991. Т. 5. 236 с.
8. Закутский В.П., Алдакимова А.Я., Толоконникова Л.И. и др. Изменения планктона и бентоса Азовского моря в условиях антропогенного воздействия // Гидробиол. журн. 1978. Т. 14. Вып. 1. С. 28–34.
9. Закутский В.П., Гаргона Ю.М., Куропаткин А.П. и др. Влияние элементов гидрометеорологического режима на некоторые гидробионты // III Съезд советских океанологов. Секция биология океана. Тез. докл. Л.: Гидрометеоздат, 1987. Ч. 1. С. 14–16.
10. Закутский В.П., Куропаткин А.П., Гаргона Ю.М., Шишкин В.М. Влияние абиотических факторов на концентрацию мидий и медузы в Азовском море // IV Всесоюз. конф. по промысловым беспозвоночным. Тез. докл. Севастополь, 1986. Ч. II. С. 221–222.
11. Кукса В.И., Гаргона Ю.М. Современная оценка гидрологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 4. С. 489–497.
12. Матишов Г.Г., Гаргона Ю.М. Сопряженность многолетних колебаний гидрометеорологических условий и биопродуктивности Азовского моря // Докл. РАН. 2003. Т. 388. № 1. С. 113–115.
13. Матишов Г.Г., Гаргона Ю.М. Современные особенности гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря // Докл. РАН. 2003. Т. 389. № 4. С. 535–537.
14. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Гаргона Ю.М. Климатогенные изменения экосистем южных морей в условиях антропогенных воздействий // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 3. С. 26–34.
15. Матишов Г.Г., Шохин И.В., Набоженко М.В., Польшин В.В. Многолетние изменения донных сообществ Азовского моря в связи с характером осадконакопления и гидрологическим режимом // Океанология. 2008. Т. 48. № 3. С. 390–400.
16. Некрасова М.Я. Зообентос Азовского моря после зарегулирования стока Дона // Зоологический журн. 1972. Т. 51. № 6. С. 789–797.
17. Некрасова М.Я. Изменения бентоса Азовского моря под влиянием осолонения // Зоологический журн. 1977. Т. 56. № 7. С. 983–989.
18. Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. Сб. науч. тр. (2004–2005 гг.) Ростов-на-Дону: Медиа-Пресс, 2006. 596 с.
19. Старк И.Н. Годовая и сезонная динамика бентоса в Азовском море // Тр. АзНИИРХ. 1960. Т. 1. Вып. 1. С. 167–229.
20. Студеникина Е.И. Современная концепция формирования биологических ресурсов Азовского моря (на примере автотрофов и первичных гетеротрофов). Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Краснодар: Кубанский гос. аграрный ун-т, 2007. 39 с.
21. Фроленко Л.Н. Зообентос Азовского моря в условиях антропогенных воздействий. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Краснодар: Кубанский гос. аграрный ун-т, 2000. 24 с.