

СОПРЯЖЕННОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ С КОЛЕБАНИЯМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Гаргопа Ю.М.

**(Азовский филиал Мурманского морского биологического института, Южный
научный центр Российской академии наук)**

Несмотря на антропогенные воздействия для гидрометеорологических условий Азовского, Черного и Каспийского морей свойственна сопряженность в их климатообусловленных изменениях. Смена знаков аномалий в крупномасштабных колебаниях режима южных морей связана со сменой тёплых и холодных фаз ЭНЮК, а также макроциркуляционных эпох в 1950-1960-х гг. (тип W на E) и в 1970-1980-х гг. (тип E на W). Современные аномалии (потепление вод, ветровая депрессия, рост пресных балансов и уровней, распреснение и др.) обусловлены развитием в последние 15-17 лет в зимнее время западной (W) и северной (C) форм атмосферной циркуляции и депрессией восточной (E) при годовой повторяемости всех форм на уровне нормы, а также развитием явления Эль-Ниньо.

Общей чертой южных морей России является повышенная зависимость изменчивости, в том числе крупномасштабной, характеристик их режимов от квазициклических колебаний климатообразующих процессов и стока рек (Q). На решающую их роль указывал основоположник промысловой океанологии Н.М. Книпович (Книпович, 1938), отмечал Г.К. Ижевский (Ижевский, 1961, 1964) – один из авторов нового для нее положения о наличии системы взаимосвязанных процессов в гидросфере, атмосфере, биосфере. Игнорирование этой особенности привело к ошибочным выводам в 1970-х гг. XX в. о неизбежности дальнейшего падения уровня Каспия, повышения солености Азовского моря и углубления негативных явлений в Черном под воздействием антропогенного сокращения стока рек. Поэтому необходимость анализа, выявления физической сущности, закономерностей, периодичности и сопряженности процессов, происходящих в системе атмосфера – гидросфера – биосфера применительно к южным морям, актуальна. Решение этой задачи создает предпосылки для долгосрочного прогноза состояния Азовского, Черного и Каспийского морей, сохранения их как природных и хозяйственных объектов. Причем наибольший интерес в этом отношении представляет период с начала 1950-х гг. XX в., отличающийся ростом антропогенных воздействий на сток рек и резкими изменениями климата, особенно в последние десятилетия.

Материалы и методика анализа.

В качестве показателей атмосферной циркуляции (АЦ) в северном полушарии принята типизация синоптических процессов, разработанная Г.Я. Вангенгеймом в 1930-х гг. XX в. (Вангенгейм, 1938) и развитая в дальнейшем А.А. Гирсом, К.В. Кондратовичем (Гирс, 1971, 1974; Гирс, Кондратович, 1978) и другими исследователями для атлантико-европейского сектора северного полушария. Ими выделены три основные формы АЦ: западная (W), восточная (E), северная (C). Материалы о повторяемости форм АЦ за 1891-1972 гг. взяты из монографий А.А. Гирса (Гирс, 1971, 1974), за последующие годы любезно предоставлены нам А.Е. Антоновым (ГосНИОРХ) и К.В. Кондратовичем (РГГМУ). Для южного полушария взят индекс SOI, наиболее хорошо отражающий характер и степень развития явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Материалы по значениям указанного показателя любезно предоставлены нам Н.С. Сидоренковым (Гидрометцентр) (Сидоренков, 2002). Используются опубликованные и фондовые материалы наблюдений за стоком рек, элементами водного баланса и океанографическими характеристиками, термическим, ветровым и уровненным режимами сетью ГМС и учреждений Госкомгидромета (ГОИН, СО ГОИН, СК УГМС и др.), учреждений Академии наук СССР и РАН, Госкомрыболовства РФ (АзЧерНИРО, АзНИИРХ, КаспНИРХ) (Гаргопа, 2000; Кукса, Гаргопа, 2004; Матишов и др., 2003; Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991; 1992; 1996; Каспийское море ..., 1986; Катунин и др., 2002). Кроме системного и межсистемного подходов применялись методы математической статистики, в первую очередь корреляционный и регрессионный анализы, нормированные разностные интегральные кривые модульных коэффициентов, оценка линейных трендов и т.д.

Влияние речного стока и атмосферной циркуляции на абиотические и биотические элементы.

Реакция уровня (H) и солёности (S) – интегральных характеристик состояния южных морей, а также других абиотических и биотических параметров на колебания Q и АЦ по степени и характеру отличаются. Объясняется это, главным образом, тем, что Азовское и Черное моря имеют связь, хотя и опосредованную, с Мировым океаном, а Каспийское нет. Следует отметить и различное географическое положение морей, их водосборов, морфологические и морфометрические особенности, разное соотношение между объемами вод морей и величинами Q, наконец, различия в характере и степени антропогенных воздействий, что обуславливает характерные черты, происходящих в них океанографических и биологических процессов.

Тем не менее, несмотря на прогрессирующий рост антропогенных воздействий, общей чертой южных морей и в последние 50-60 лет остается решающее влияние на их режим квазициклических колебаний Q и АЦ (Гаргопа, 2001-2003; Матишов и др., 2003; Матишов, Гаргопа, 2003).

При этом наиболее существенна на колебания Q и АЦ реакция самого маленького на планете моря – Азовского.

Пространственно-временная структура изменчивости его океанологических полей и биопродуктивности формируется под влиянием многолетних изменений Q (особенно половодного) за периоды продолжительностью от синоптических и сезонных масштабов (уровень, поля течений, термохалинная структура и устойчивость вод, кислородный режим) до периодов, включающих рассматриваемый год, а также от 2-7 (соленость, биогенные вещества, первичная продукция, планктонные и донные сообщества, запасы полупроходных и некоторых проходных рыб) до 9-12 и более (запасы осетровых) предшествующих лет (Гаргопа, 2000-2003; Матишов и др., 2003; Матишов, Гаргопа, 2003).

Соленость (S) Азовского (S^A) и Черного ($S^Ч$) морей (0-200 метров), Северного Каспия ($S^{C.K.}$) является результатом воздействия суммарного Q за рассматриваемый год и 3-7 предшествующих. При этом реакция S на Q максимальна для Азовского моря ($r = -0.90...-0.97$). Несколько меньше ($r = -0.74...-0.76$) она у S Северного Каспия и поверхностного слоя Черного моря. Процесс формирования здесь термохалинной структуры вод более сложен и находится под влиянием осенне-зимнего конвективного перемешивания, горизонтальной циркуляции вод и вертикальной адвекции более соленых и холодных нижележащих слоев. В то же время, корреляция S поверхностных вод северо-западной части Черного моря, опресняемой стоком рек Дунай, Днепр, Днестр, Буг (80 % общего Q), статистически значима уже с годовым объемом суммарного Q . Для поверхностного слоя коэффициент корреляции составляет -0.53 ; на глубине 20 м -0.49 ; 30 м -0.42 ; максимум ($r = -0.78$) приходится на глубину 10 м. На глубине же 50 м корреляционная связь переходит из отрицательной в положительную, но статистически незначимую ($r = 0.08$) (табл. 1).

Уровень южных морей возрастает в многоводные годы и понижается в маловодные. В частности, оценка, выполненная для Н Каспия (ГМС Баку) в 1952-2001 гг., показала положительную и статистически значимую корреляцию с годовым Q Волги ($r = 0.32$) и максимальную с ее суммарной водностью за рассматриваемый и 3-5 предшествующих года ($r = 0.74...0.80$) (см. табл. 1).

Влияние атмосферных процессов на гидрометеорологические и океанографические условия формирования и динамику популяций рыб южных морей противоречиво и неоднозначно.

Таблица 1.

Параметры линейных уравнений, аппроксимирующих зависимость солености Азовского (S_i^A), Черного ($S_i^Ч$) морей, уровня Каспия (H_i^K) и солености Северного Каспия ($S_i^{СК}$) в рассматриваемом году (i) от соответственно суммарного стока (Q) рек Дона и Кубани ($Q^{Д+К}$), Дуная, Днепра ($Q^Д$) и др., Волги ($Q^В$) за анализируемый и предшествующие ($i+...+i-n$) годы

S, ‰	Q, км ³			A	B	R	Z	Sy	Sy/δy
	Река	пери- од	годы						
1960-1986 гг.									
S_i^A	$Q^{Д+К}$	X-IX	$i+...+i-5$	17.51	-0.028227	-0.96	8.3	0.16	0.19
S_i^A	$Q^{Д+К}$	VI-V	$i+...+i-5$	17.31	-0.032741	-0.96	8.3	0.15	0.19
1987-2001 гг.									
S_i^A	$Q^{Д+К}$	X-IX	$i+...+i-5$	17.67	-0.033820	-0.88	4.8	0.25	0.48
S_i^A	$Q^{Д+К}$	VI-V	$i+...+i-5$	17.72	-0.034245	-0.89	4.9	0.24	0.46
1952-1985 гг.									
$S_i^Ч$	$Q^Д$	I-XII	$i+...+i-7$	21.41	-0.0006	-0.74	7.0	0.09 77	0.67
1952-2001 гг.									
$S_i^{СК}$	$Q^В$	I-XII	$i+...+i-4$	15.98	-0.006341	-0.76	7.7	0.59	0.65
H_i^K	$Q^В$	I-XII	$i+...+i-5$	-34.21	0.004205	0.80	7.8	0.39	0.60
1987-2001 гг.									
$S_i^{СК}$	$Q^В$	I-XII	$i+...+i-1$	11.29	-0.007475	-0.73	3.6	0.44	0.70
H_i^K	$Q^В$	I-XII	$i+...+i-7$	-35.36	0.003849	0.78	4.0	0.23	0.63

В частности, рыбопродуктивность Азовского моря возрастает в периоды развития западной формы АЦ ($r = 0.32...0.72$), в годы повышения повторяемости восточной – уменьшается ($r = -0.20...-0.58$). Влияние северного типа менее определено. При этом у запасов и уловов проходных и полупроходных рыб корреляция наиболее существенна с числом дней с различными формами АЦ за 2-6, 9-12 и более предшествующих лет (Гаргопа, 2000-2003; Матишов и др., 2003; Матишов, Гаргопа, 2003).

Исследования, выполненные нами ранее (Гаргопа, 2000-2003; Матишов и др., 2003; Матишов, Гаргопа, 2003), показали, что Q и пресный баланс (N) Азовского моря в годы роста частот появления форм W и C увеличиваются, а в периоды усиления повторяемости типа E уменьшаются. Соленость соответственно понижается ($r = -0.73$) и возрастает ($r = 0.74$). Наиболее важен характер АЦ холодного времени года. При этом изменение знаков аномалий форм АЦ опережают последующие соответствующие изменения знаков аномалий элементов N и S на периоды от 1-2 до 2-5 лет. Современное распределение Азовского моря до 10-11‰ вызвано, главным образом, развитием в холодное время года последних 10-15 лет формы W и в меньшей степени C. Необходимо отметить статистически значимую корреляцию S с повторяемостью форм W, C, E и W+C в рассматриваемый год составляющую соответственно -0.44; -0.45; 0.61 и -0.61 (табл. 2; рис. 1а).

В отличие от S Азовского моря, S Черного моря возрастает при развитии в целом за год выше нормы формы C АЦ ($r = 0.75...0.85$) а также, хоть и в меньшей степени W ($r=0.62...0.75$), в случаях же доминирования E она понижается ($r = -0.80...-0.85$). Характер АЦ холодного периода также важен, но статистически, особенно для C, менее значим (соответственно $r = 0.61; 0.65$ и -0.82). Максимум корреляции приходится на суммарную частоту проявления форм АЦ за рассматриваемый и 3-7 предшествующих лет. Определенное влияние на S Черного моря оказывает, видимо, характер предшествующих 8-10 лет для формы C и 8-20 лет для имеющих долгопериодные составляющие макропроцессов W и E. Это подтверждается увеличением приведенных выше коэффициентов корреляции до 0.90; 0.89 и -0.93 соответственно. Вклад в изменение S Черного моря АЦ рассматриваемого года наиболее существенен для форм E и C ($r = -0.44; 0.49$), для W он статистически не значим. Указанные связи объясняются тем, что Q (главным образом Дуная) в Черное море и его N возрастают в годы увеличения повторяемости формы E ($r = 0.45...0.59$), а в периоды доминирования типов C и W уменьшаются (см. табл. 2; рис. 1б).

При росте повторяемости формы E приток соленых вод из Мраморного моря через Босфор в Черное уменьшается ($r = -0.40$), а сток менее соленых черноморских возрастает ($r = 0.43$). Поступление в Черное море мраморноморских вод возрастает в случае увеличения повторяемости форм W ($r = 0.41$) и C ($r = 0.44$). Одновременно уменьшается отток черноморских вод в Мраморное море ($r = -0.42; -0.55$). Положительная корреляция ($r = 0.61$) установлена между притоком черноморской воды в Азовское море и числом дней с формой C. По данным (Лаппо, Рева, 1997) N Черного моря в годы увеличения повторяемости формы E имеет тенденции к росту, а в периоды развития W и C – к понижению. Для N Азовского моря тенденции противоположны.

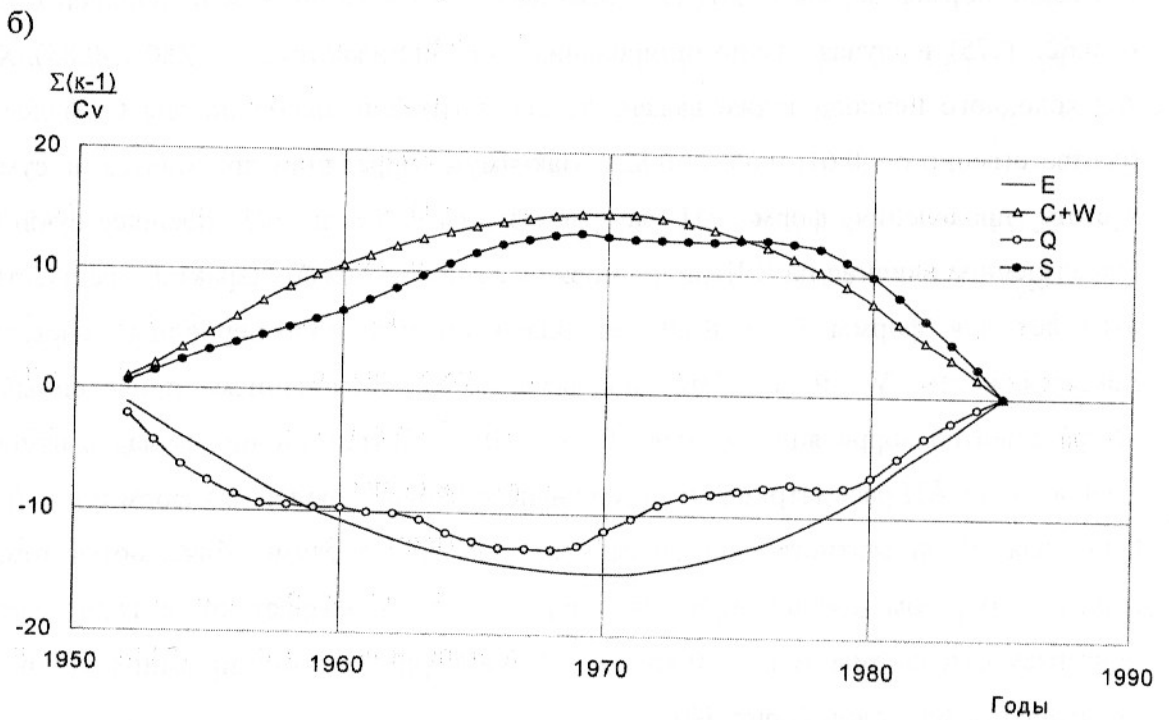
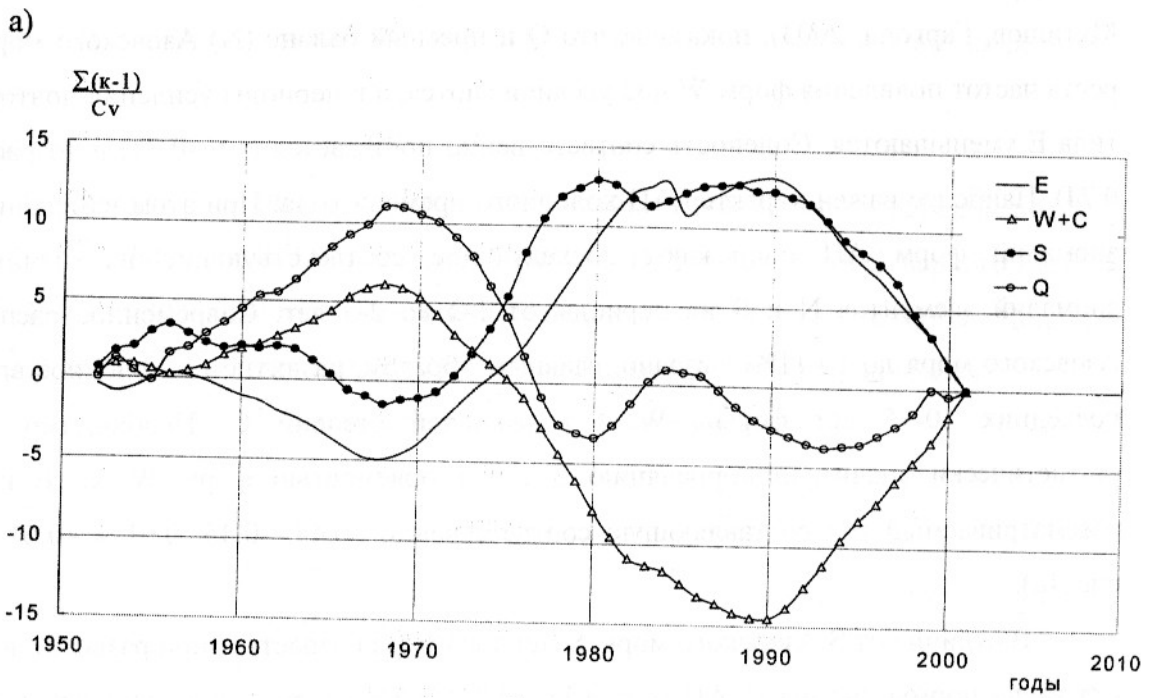


Рис.1 Нормированные разностные интегральные кривые модульных коэффициентов: а – среднегодовая соленость Азовского моря (S); суммарная за рассматриваемый и пять предшествующих лет величина стока рек (Q); повторяемость в холодное время рассматриваемого года и пять предшествующих лет восточной (E) и комбинированной (W+C) форм атмосферной циркуляции; б – среднегодовая соленость поверхностного слоя Черного моря (S); суммарная за рассматриваемый и семь предшествующих лет величина стока рек (Q); повторяемость форм атмосферной циркуляции (E,W+C) за рассматриваемый и 15 предшествующих лет.

Таблица 2.

Параметры линейных уравнений, аппроксимирующих зависимость S, ‰ южных морей и Н Каспия от суммарного числа дней с различными формами АЦ за год и холодный период рассматриваемого года i и предшествующих лет ($i+\dots+i-n$)

Тип АЦ	период	Годы	Хар-ка, море	A	B	R	Z	Sy	Sy/δy
1952-2001 гг.									
W	IX-III	$i+\dots+i-5$	S_i^A	14.32	-0.0071	-0.67	5.5	0.60	0.75
E	IX-III	$i+\dots+i-3$	S_i^A	8.17	0.0089	0.78	7.2	0.50	0.63
C	IX-III	$i+\dots+i-2$	S_i^A	13.53	-0.0127	-0.48	3.6	0.70	0.87
W+	IX-III	$i+\dots+i-2$	S_i^A	15.32	-0.0106	-0.77	7.0	0.51	0.64
C	IX-III	$i+\dots+i-2$	S_i^A	15.32	-0.0106	-0.77	7.0	0.51	0.64
W	IX-III	$i+\dots+i-5$	H_i^K	-55.38	0.070154	0.80	7.4	0.39	0.60
E	IX-III	$i+\dots+i-2$	H_i^K	-2.34	-0.067386	-0.73	6.5	0.44	0.68
W	IX-III	$i+\dots+i-3$	S_i^{CK}	11.19	-0.011727	-0.71	6.4	0.64	0.70
E	IX-III	$i+\dots+i-2$	S_i^{CK}	5.03	0.010837	0.68	5.7	0.67	0.74
1987-2001 гг.									
W	IX-III	$i+\dots+i-5$	S_i^A	14.15	-0.0069	-0.58	2.5	0.42	0.81
E	IX-III	$i+\dots+i-5$	S_i^A	7.87	0.0061	0.85	4.3	0.27	0.52
C	IX-III	$i+\dots+i-3$	S_i^A	13.60	-0.0129	-0.87	4.7	0.26	0.50
W+	IX-III	$i+\dots+i-5$	S_i^A	15.47	-0.0058	-0.82	4.1	0.30	0.57
C	IX-III	$i+\dots+i-5$	S_i^A	15.47	-0.0058	-0.82	4.1	0.30	0.57
W	IX-III	$i+\dots+i-7$	H_i^K	-30.68	0.005811	0.93	6.0	0.14	0.37
E	I-XII	$i+\dots+i-2$	H_i^K	-22.86	-0.009048	-0.89	5.8	0.17	0.46
C	I-XII	$i+\dots+i-5$	H_i^K	-29.46	0.004453	0.78	4.0	0.23	0.63
W	IX-III	$i+\dots+i-2$	S_i^{CK}	12.65	-0.021784	-0.88	5.7	0.31	0.47
1952-1985 гг.									
W	I-XII	$i+\dots+i-13$	S_i^H	19.11	0.000529	0.80	7.0	0.087	0.60
E	I-XII	$i+\dots+i-13$	S_i^H	18.90	-0.000362	-0.88	8.5	0.069	0.47
C	I-XII	$i+\dots+i-10$	S_i^H	18.60	0.001137	0.90	8.7	0.063	0.43
W+	I-XII	$i+\dots+i-15$	S_i^H	18.73	0.000346	0.90	8.8	0.063	0.43
C	I-XII	$i+\dots+i-15$	S_i^H	18.73	0.000346	0.90	8.8	0.063	0.43

Влияние типа С на H и S^A аналогично отклику Азовского моря, но выражено слабее и лишь в комбинациях с формой W ($W+C$) ощутимо ($r = 0.64...0.71$; $r = -0.69...-0.71$). Эффект воздействия типа E противоположен ($r = -0.61...-0.72$; $r = 0.67...0.68$). Как и у Азовского моря, реакция H Каспийского моря и S его северной части статистически значимо с годовой повторяемостью либо за холодный период форм W ($r = 0.58$ и $r = -0.57$), E ($r = -0.50$ и $r = 0.55$) и $W+C$ ($r = 0.51$ и $r = -0.69$). Также как и у Азовского моря изменения знаков аномалий различных типов макропроцессов опережают последующие изменения знаков аномалий в колебаниях H Каспия и S его северной части на периоды от 1-2 до 3-5 лет (см. табл. 2; рис. 2). Положительное и неоднозначное в различные периоды лет влияние форм W и C , отрицательное типа E на H Каспия отмечалось в основном на качественном уровне и ранее (Гирс, 1971; Кондратович, 1974; Сидоренков, Швейкина, 1996).

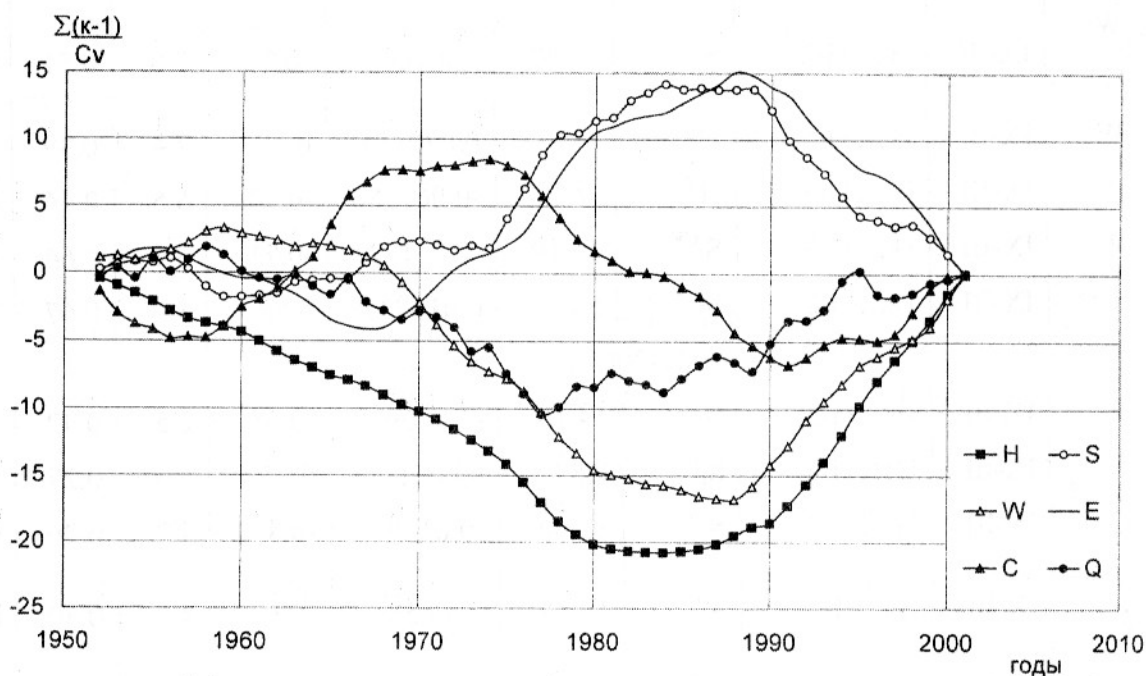


Рис. 2 Нормированные разностные интегральные кривые модульных коэффициентов: среднегодовой уровень Каспийского моря (H); среднегодовая соленость Северного Каспия (S); годовой сток р. Волги (Q); повторяемость в холодное время рассматриваемого года и трех предшествующих лет западной (W), восточной (E), северной (C) форм атмосферной циркуляции.

Следует отметить, что приведенное выше подтверждает правильность вывода сделанного нами ранее о том, что увеличению адвекции соленых вод из Черного моря в Азовское, видимо, способствует развитие форм E и C (Гаргопа, 2000). Основывалось это на том, что при этих типах макропроцессов на широте Гибралтарского пролива наблюдаются сильные западные и северо-западные ветры, вызывающие нагон вод из

Атлантики в Средиземное море, а затем, вероятно, и в Черное (Гирс, 1971). При форме W ситуация противоположна. В этой связи следует отметить, что на распресняющее для Азовского моря влияние типа W ($r = -0.45$) обращалось внимание в 1970-х гг. и других исследователей (Современная и будущая солёность ..., 1980).

Реакция N Каспия и S северной его части на типы макропроцессов схожи с откликом подобных характеристик Азовского. Но есть и отличия. Водность реки Волги возрастает при усилении частот появления формы W ($r = 0.39...0.52$) и понижается ($r = -0.38...-0.53$) в случае доминирования типа E+S. В годы развития формы W N Каспия повышается ($r = 0.72...0.80$), а S его северной части понижается. ($r = -0.69...-0.71$).

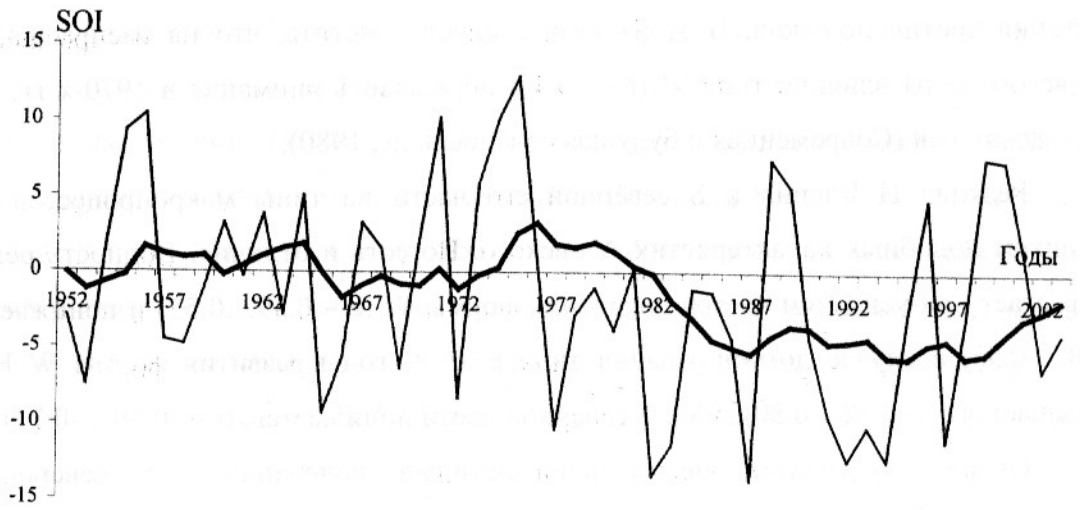
Оценка же связей между многолетними колебаниями S северной части Каспийского моря и характера АЦ выполнена впервые.

Следует добавить, что для большинства элементов водного баланса Азовского и Черного морей (в определенной степени и Каспия) влияние АЦ рассматриваемого года выглядит статистически не значимым и становится таковым при учете повторяемости ее форм в предшествующие 1-2, 3-4 и даже 6-7 лет.

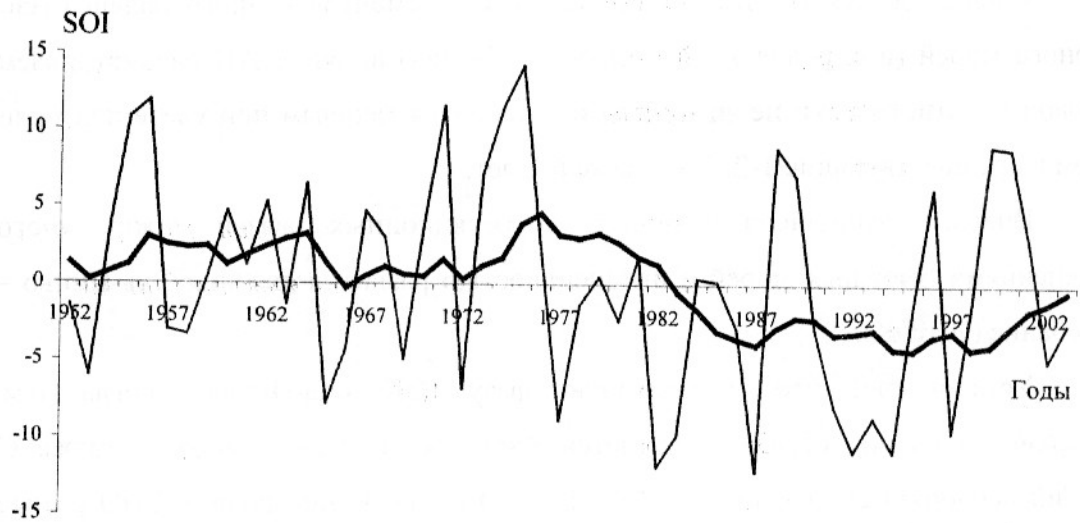
Впервые выполнена и оценка корреляционных связей между многолетними изменениями S южных морей и интенсивностью развития явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК).

Установлено, что в холодную фазу ЮК (Ла-Нинья), когда температура поверхности океана (ТПО) понижается Азовское и Черное моря, а также Северный Каспий осолоняются, а в тёплую (Эль-Ниньо) в случае повышения ТПО распресняются (соответственно $r = 0.44...0.64$; $r = 0.46...0.64$; $r = 0.47...0.58$). Причём максимален эффект воздействия (через возмущение циркуляции атмосферы в атлантико-европейском секторе, элементы водного баланса и др.) на солёность вод южных морей характера и степени развития ЮК в анализируемые и предшествующие 3-7 и более лет. Корреляция Южного колебания в рассматриваемый год с солёностью Азовского и Черного морей близка к статистически значимой ($r = 0.25...0.27$), а с солёностью Северного Каспия существенно ей уступает. Сток же Волги и, особенно, уровень Каспия понижаются, если рассматриваемый и предшествующие годы ЮК характеризуются повышенными величинами SOI (т. е. холодная фаза ЮК – Ла-Нинья) и, наоборот, повышаются в случаях понижения указанного показателя и развития тёплой фазы ЮК – явления Эль-Ниньо (соответственно $r = -0.31...-0.36$ и $r = -0.70...-0.86$). При этом корреляция стока Волги и уровня Каспия с величиной индекса SOI анализируемого года близка к статистически значимой (соответственно $r = -0.24$ и $r = -0.29$) (рис. 3).

a)



б)



в)

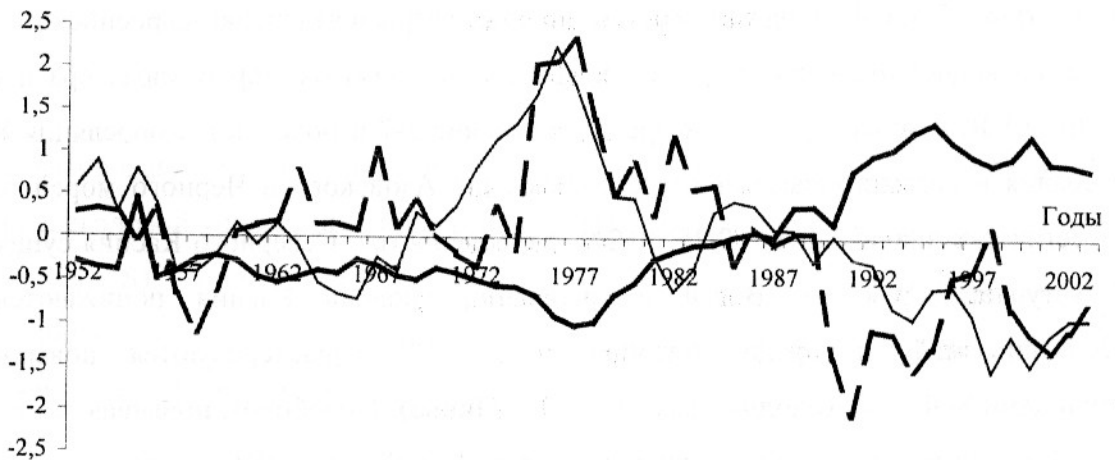


Рис. 3 Среднегодовые (—), средние за рассматриваемый и 9 предшествующих лет (—) величины (а) и аномалии (б) индекса SOI, среднегодовые аномалии уровня Каспия (—), солёности его северной части (---) и Азовского моря (—) (в) в 1952-2003 гг.

Сопряженность многолетних колебаний АЦ, элементов водного баланса и океанографических характеристик.

Для годовой повторяемости процессов типа W с конца XIX и до начала XXI вв. характерен отрицательный тренд (80 дней или 50 %), а для E - положительный (86 дней или 80%). В многолетних колебаниях частот появления формы C прослеживается слабая тенденция к уменьшению (12 дней или 12%). Устойчивый переход в отрицательную по сравнению с нормой зону годовых, а также весенних, осенних, зимних частот появления процессов W произошел в начале 1950-х годов и продолжался до второй половины 1980-х (особенно с 1967 по 1978 гг.). Примерно в то же время, что и для W, но, наоборот, в положительную зону осуществлялся переход аналогичных показателей формы E (особенно устойчивый с середины 1960-х до начала 1990-х гг.). Для современного периода (последние 15-17 лет) свойственна необычная, ранее не наблюдавшаяся близость к норме годовых повторяемостей всех трех форм АЦ, снижение variability (особенно W и E) при аномальном развитии в холодное и, особенно, зимнее время года макропроцессов W, в меньшей степени C и резком уменьшении частоты появления E.

Крупномасштабным колебаниям АЦ, метеозлементов, Q, N, других составляющих водных балансов, океанографических и биологических параметров южных морей свойственна квазициклическая, неустойчивая по продолжительности и величинам аномальностей периодичность, в том числе долговременная (от 2-3 до 15-20 и 80-90 лет) и определенная сопряженность между ними.

Описанные в предшествующем разделе различия и схожесть в реакциях параметров режимов южных морей на типы макропроцессов и не идентичность их квазициклической изменчивости, определяют степень сопряженности и тенденции в многолетних колебаниях климатообразующих процессов, элементов водного баланса, H, S, и других океанографических характеристик Азовского, Черного и Каспийского морей.

Макропроцессы типов W и E, либо W+C, имеющие в своей структуре изменчивости долгопериодные составляющие, генерируют в многолетних колебаниях Q, H и S Азовского, Черного и Каспийского морей наиболее длительные и непрерывные (от 10-12 до 13-18 лет) периоды с отрицательными и положительными аномальностями, а C-подобные периоды меньшей продолжительности (от 6-7 до 11 лет) (см. рис. 1-2).

В естественный период (1923-1951 гг.) между изменениями Q, N, S Азовского и Черного морей наблюдалась удовлетворительная синхронность ($r = 0.57; 0.58; 0.48$). В условиях антропогенных преобразований Q (1952-1985 гг.) степень синхронности между Q, N понизилась ($r = 0.34; 0.44$), а между S оказалась статистически не значимой. В многолетних колебаниях S Черного моря выделяются два периода (18 и 16 лет) с непрерывной положительной (1952-1969 гг.) и отрицательной (1952-1985 гг.)

аномальностями, которые соответствуют также двум периодам в изменениях Q продолжительностью по 17 лет (1952-1968 и 1969-1985 гг.), но с противоположными аномальностями. В свою очередь периодичность в многолетних колебаниях Q и S хорошо сопряжена с периодичностью в изменениях годовой повторяемости форм АЦ. Для Азовского моря продолжительность периодов с S пониженной по сравнению с нормой для 1952-2003 гг. (11.5%) составляет 3 (1981-1983), 6 (1963-1968) и 16-17 лет (с 1988-1989 по 2003 гг.), а с повышенной 3-4 (с 1984 по 1986-1987 гг.), 12 (1969-1980 гг.).

Статистически значимая связь межгодовых колебаний стока Волги с аналогичными изменениями водности рек Дон и Кубань отсутствует (соответственно $r = 0.13$ и $r = -0.17$). Межгодовые изменения (1952-2001 гг.) H Каспия, S его северной части и S Азовского моря преимущественно асинхронны ($r = -0.69...-0.73$), а последних двух параметров относительно синхронны ($r = 0.61$). В многолетних колебаниях S Северного Каспия и Азовского моря прослеживается синфазность с длиной одновременных и непрерывных периодов осолонения от трех (1952-1954) до 6 (1975-1980) и опреснения от 7 (1956-1980) до 14 (1990-2003) лет. В аналогичных изменениях H Каспия и S его северной части продолжительность непрерывных асинфазных периодов достигает 10-14 лет (1960-1969, 1975-1985, 1990-2003 гг.), а синфазных лишь 2-3 года. Анализ многолетних колебаний H Каспия и S Азовского моря позволил выделить непрерывные периоды с асинфазностью продолжительностью от 5 (1952-1956) до 12-15 (1969-1980, 1989-2003) лет. Длительность же синфазных периодов составляет от 3-4 (1981-1983, 1985-1988) до 5-6 (1957-1961, 1963-1968) лет (см. табл. 2; рис. 1а, 2).

Со второй половины 1970-х гг. XX в. для южных морей характерно повышение уровней, вызванное климатообусловленным ростом пресных балансов, а для Азово-Черноморского бассейна и эвстатическим подъемом уровня Мирового океана вследствие глобального потепления.

При этом уровень Черного моря, как и Азовского, с 1875 по 1935 гг. имел тенденцию к понижению (2.1 см), а в период с 1935 по 1980-1985 гг. отмечена тенденция к его повышению (5.8 см). Практически во всех пунктах северной части побережья Черного моря наблюдается общий тренд повышения H , составляющий по различным оценкам примерно 11-12 см. (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991; 1992; 1996; Лаппо, Рева, 1997). Для Азовского моря также характерно подобное повышение уровня, причем с заметным ускорением в последние 40-45 лет (4-11 см в Таганрогском заливе до 14-20 см в Ясенском и Темрюкском заливах) (Михайлов и др., 2001, 2002). По данным (Лаппо, Рева, 1997) анализа долгопериодной изменчивости H Каспийского, а также Черного морей, у которого многолетние колебания H в целом сходны с изменениями уровня Азовского, периоды продолжительностью менее 19 лет в значительной степени согласованы и

связаны с климатическими условиями на континенте. Колебания же H большего периода в значительной мере индивидуальны, что вызвано влиянием водообмена Азово-Черноморского бассейна через систему средиземных морей с Атлантическим океаном.

С начала регулярных наблюдений (с 1890 г.) до начала XX в. H Каспия (ГМС Баку) сохранял положение в среднем около -25.8 м абс. (период развития формы $W+C$). С 1900 по 1929 гг. (эпоха W) изменения H были незначительными и происходили около средней отметки -26.2 м абс. Затем последовало резкое снижение H . С 1930 по 1941 гг. оно составило 1.8 м, и было связано с крупномасштабными климатическими изменениями (эпоха E). В последующие годы снижение H Каспия происходило более медленно, а в 1960-е годы наблюдалась его некоторая стабилизация около отметки -28.4 м абс. В первой половине 1970-х годов произошло понижение H Каспия до экстремально низкой за последние 150 лет отметки -29.0 м абс. в 1977 г. В эти годы преобладала форма C (1940-1948), либо E (с 1949) в сочетании в отдельные периоды с C . Повторяемость формы W особенно пониженной была в 1968-1978, а наиболее высокая повторяемость E в 1966-1986 гг. Общее снижение уровня с 1900 по 1977 гг. составило 3 м (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1991; 1992; 1996; Каспийское море..., 1986; Катунин и др. ..., 2002). С 1978 по 1995 г H повысился на 2.5 м (до -26.54 м абс.), а в последние 8 лет понизился на $0.5-0.6$ м, оставаясь, как и в Азово-Черноморском бассейне, на высоких отметках ($-26.69...-27.09$ м абс.). Причем это произошло, несмотря на то, что форма W стала доминировать в холодный период года лишь в последние 15-17 лет (с 1987 г.). Подъем H Каспия с 1978 г., как и рост Q Волги, и начало распреснения его северной части, а также Азовского моря, вызвано тем, что по данным (Кондратович, 1994; Сидоренков, Швейкина, 1996) с 1977 по 1986 гг. развивалась одна из установленных Г.Я. Вангейгеймом (1938) разновидностей формы E , при которой над акваториями Азовского, Черного и Каспийского морей зимой происходит локализация средиземноморских циклонов, преобладает облачная погода, выпадает повышенное количество AO , испарение уменьшается, а Q увеличивается.

Достаточно выраженные до второй половины 1970-х – середины 1980-х гг. положительные тренды в многолетних колебаниях S Азовского моря (1.1 ; 0.6%) и Северного Каспия (1.4 ; 1.1%) с максимумами осолонения соответственно в 1976 (13.8%) и 1977 (10.4%) гг. для последних 50 лет одинаковы по абсолютным величинам, но сменились с положительных на отрицательные (-1.1%). При этом время наступления наибольшего распреснения Азовского моря (до $10-11\%$) и Северного Каспия (до $6-8\%$) близки (соответственно с 1993 и 1990 гг.). Тренд в многолетних колебаниях S Черного моря до середины 1980-х гг. XX в. соизмерим по абсолютной величине с трендом, установленным для S Азовского моря в этот период (0.6%), но в силу намного большей инерционности водной массы и определенной противоположности их реакций на

различные типы АЦ отрицателен (-0.5‰). В работе (Гидрология и гидрохимия ..., 1992) отмечалось распреснение прибрежных районов северо-западной части Черного моря (на -0.6...-1.7‰) и Крыма (на -0.2...0.4), что связано, главным образом, с климатообусловленным ростом стока Дуная. Максимум отрицательного тренда (-3.7‰) установлен для Каркинитского залива (Хорлы). Вызвано это не только климатическими, но и антропогенными факторами (сбросы вод Северо-Крымского канала в верховья залива). Распреснение Черного моря, начавшееся с середины 1960-х гг. XX в., продолжалось, по крайней мере, до начала второй половины 1990-х гг., с вероятной стабилизацией и проявлением слабой тенденции к несущественному повышению S в дальнейшем. В частности, по данным (Матишов и др., 2003) среднегодовая S в районе Сочи – Анапа за период с 1986 по 1996 гг. понизилась на 0.4‰.

Изложенное выше объясняется, главным образом, развитием в последние 15 лет форм W, E, C в годовом отношении на уровне нормы при резко выраженном росте в холодный период повторяемости типов W, C и ослаблением E.

Анализ среднегодовых значений индекса Южного колебания SOI за 1950-2003 гг. показывает, что периоды Эль-Ниньо или тёплые фазы ЭНЮК ($SOI \leq 0$) наблюдались в более чем 59% случаев. Длительность группировок составляла от 2-3 (1951-1953, 1957-1959, 1965-1966, 1997-1998, 2002-2003 гг.) до 4-6 (1977-1980, 1982-1987, 1990-1995 гг.) лет. При этом, на период с начала распреснения Азовского моря (с 1977) приходится почти три четверти лет с тёплыми фазами ЭНЮК. Из них наиболее выраженным и продолжительным в годовом отношении явление Эль-Ниньо было в последние 11-12 лет (с 1993 г.), когда Азовское море вступило в современный период распреснения до 10-11%. Для начального периода распреснения также характерно интенсивное проявление тёплой фазы ЭНЮК, следствием которого стало, впервые после 1966 г., понижение солёности Азовского моря до 10.9 ‰ (1982 г.). Развитие Эль-Ниньо сопровождалось ростом с 1987 г. в холодный период повторяемости западной формы АЦ в атлантико-европейском секторе северного полушария, водности рек (особенно Кубани) и рядом других аномалий режима Азовского моря. Лишь в отдельные годы (1981, 1988-1989, 1996, 1999-2001) наблюдалось явление Ла-Ниньо (холодная фаза), продолжительность которого не превышала 4-х лет. В целом, с 1967 до 1976 гг. включительно наблюдался почти десятилетний период холодной фазы, прерванной в 1969 и 1972 гг. умеренно выраженным явлением Эль-Ниньо. К концу этого периода в условиях развития в атлантико-европейском секторе северного полушария макропроцессов типа E солёность Азовского моря достигла экстремального для всего периода наблюдений значения (14 ‰) (см. рис 3).

В многолетних колебаниях температуры воздуха в бассейнах южных морей с конца XIX до начала XXI в. тренды положительны, соизмеримы со среднеквадратическими

отклонениями и величинами, характерными в целом для умеренных широт северного полушария. Однако, они пока не выходят за пределы естественной изменчивости, составляя для года около 1°C , холодного и теплого периодов $1.5...1.8^{\circ}\text{C}$, зимы – 2.5°C . В то же время, в многолетних (со второй половины 1920-х по 2000 гг.) колебаниях температуры поверхностного слоя, даже мелководного Азовского моря четко выраженных признаков глобального потепления не обнаружено. Можно отметить потепление прибрежных вод, наиболее выраженное для летних месяцев последних 15-17 лет (особенно 1998-2002 гг.) при относительно более частых «холодных» зимах (по сравнению с нормой для последних 50-60 лет) в последние 14-18 лет (особенно 1984-1999 и 2000 гг.). Для осредненных по Азовскому морю многолетних (с 1909-1922 по 2000 гг.) значений среднегодовых и среднесезонных скоростей ветра установлены отрицательные линейные тренды, составляющие 1.3-1.7 м/с. Причем, особенно существенное уменьшение скоростей ветра наблюдается с 1988 г. Наиболее выражена ветровая депрессия для зим последних 15-16 лет. Подробный характер снижения ветровой активности отмечается также на Черном и Каспийском морях (Гидрометеорология и гидрохимия ..., 1992, 1996). Для южных морей до 1950-х гг. XX в. было характерно повышение слоя испарения, а затем его снижение примерно с той же интенсивностью. В многолетних колебаниях АО установлена тенденция их увеличения (Гаргопа, 2000, 2001, 2003). Подобные тенденции сохраняются и в последние 15-17 лет. Положительный тренд характерен и речному стоку, особенно зимнему (Гаргопа, 2000, 2001; Матишов и др., 2003).

Резко выраженная ветровая депрессия, потепление вод и смена характера климатообразующих процессов способствовали повышению стока рек, распреснению Азовского моря и Северного Каспия, уменьшению степени турбулентного перемешивания, росту вертикальной устойчивости вод и первичного продуцирования, ухудшению кислородного режима (Гаргопа, 2000-2002; Гидрометеорология и гидрохимия ..., 1991, 1992, 1996; Катунин и др., 2002; Матишов и др., 2003; Семёнов, Александрова, 2000).

Характер атмосферных процессов последних 15-17 лет позволяет предполагать сохранение и в дальнейшем (по крайней мере, в холодное время ближайшего десятилетия) положительной аномальности формы W, N, Q, H и S южных морей, вероятно, окажутся близкими к современным значениям. Можно предположить, что в ближайшие 15-20 лет даже в случае продолжения глобального потепления вероятное повышение среднегодовой температуры прибрежных и поверхностных вод Азовского, Черного и Каспийского морей вряд ли составит более $0.5-0.6^{\circ}\text{C}$ по сравнению с концом XIX в. и $0.2-0.3^{\circ}\text{C}$ по отношению к концу XX в.

Выводы.

1. Несмотря на рост антропогенных воздействий, ключевыми факторами развития экосистем южных морей остаются климатообразующие процессы (особенно в последние 15-17 лет) и сток рек (главным образом половодный).

2. Для южных морей (особенно в последние 15-17 лет) характерна определенная сопряженность в климатообусловленных изменениях гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности.

3. Устойчивая смена знаков аномалий в многолетних колебаниях характеристик гидрометеорологических режимов южных морей, а также параметров их океанографических полей связаны со сменой тёплых и холодных фаз ЭНЮК, а также характера макроциркуляционных эпох в 1950-1960-х гг. (типа W на E) и в 1970-1980-х гг. (типа E на W).

4. Современное распределение южных морей, высокое стояние их уровней и аномальность других параметров гидрометеорологического режима и океанографических полей (увеличение пресных балансов, ветровая депрессия, потепление вод, рост устойчивости вод и зон с гипоксией, первичного продуцирования органического вещества и др.) вызваны развитием явления Эль-Ниньо, а также в холодное (особенно зимнее) время года западного (W) и северного (C) типов макропроцессов и резким ослаблением восточного (E), при годовой частоте их появления близкой к норме.

5. В условиях предполагаемого развития макропроцессов типа W современные особенности гидрометеорологического режима и океанографических полей Азовского, Каспийского и Черного морей, вероятно, сохранятся и в большей части первой четверти XXI в.

Литература.

- Вангенгейм Г.Я. К вопросу о типизации и схематизации синоптических процессов// Метеорология и гидрология. 1938. № 3 С. 38-58.
- Гаргопа Ю.М. Изменение 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 КНЦ РАН, 2000. С. 10-81.
- Гаргопа Ю.М. Закономерности многолетней динамики океанографических процессов и компонентов биоты Азовского моря.// Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 44-71.
- Гаргопа Ю.М. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д.г.н. Мурманск. 2003. 47 с.
- Гаргопа Ю.М. Современное распределение Азовского моря и его связь с многолетними колебаниями атмосферной циркуляции. //Вод. Ресурсы. 2002 Т. 29. № 6. С. 747-754.

- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР СПб.: Гидрометеиздат 1991 Т. 4. вып. 1. 430 с.; Т. 5. 237 с.; 1992. Т.6. вып. 1. 360 с.; 1996 Т. 6. вып. 2. 324 с.
- Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 230 с.
- Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 488 с.
- Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 344 с.
- Ижевский Г.К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Гидрометеиздат, 1961. 216 с.
- Ижевский Г.К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводство промысловых рыб. М.: Гидрометеиздат, 1964. 166 с.
- Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. М.: Наука, 1986. 261 с.
- Катунин Д.Н. и др. Основные особенности гидроло-гидрохимического режима Северного Каспия // Матер. междунар. конф., посвящ. 105-летию КаспНИРХ. Астрахань. Изд-во КаспНИРХ, 2002. С. 141-148.
- Книпович Н.М. Гидрология морей и солоноватых вод (в применении к промысловому делу). М., Л.: Пищепромиздат, 1938. 510с
- Кондратович К.В. Антропогенные, геофизические и космические факторы изменения циркуляционных эпох и уровня Каспия // Вод. ресурсы. 1994. Т.21. № 6. С. 623-630.
- Кукса В.И., Гаргопа Ю.М. Современная оценка гидрологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря. // Водные ресурсы. 2004. Т.31 № 4. С. 489-497.
- Лаппо С.С., Рева Ю.А. Сравнительный анализ долгопериодной изменчивости уровня Черного и Каспийского морей.// Метеорология и гидрология. 1997. № 12. С. 63-75.
- Матишов Г.Г., Абраменко М.И., Гаргопа Ю.М., Буфетова М.В. Новейшие экологические феномены в Азовском море (вторая половина 20 века). Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2003 Т. 5. 441 с.
- Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М. Сопряженность климатообусловленных изменений гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности южных морей России. Тез. докл. Всемирной конференции по изменению климата. 4.2. Москва, Россия, 2003. 29 сентября – 3 октября. 247 с.
- Михайлов В.Н., Повалишникова Е.С., Зудилина С.В., Тугунцев Л.А. Многолетние изменения уровней воды в восточной части Азовского моря и на устьевом участке Дона. // Вод. Ресурсы. 2001. Т. 28. № 6. С. 645-654.
- Михайлов В.Н., Повалишникова Е.С., Иванов А.А. Многолетние изменения уровней воды в дельте реки Кубани. // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 2. С. 133-140.
- Николенко А.В. О долгопериодных изменениях уровня Каспийского моря. // Вод. ресурсы. 1997. Т. 24. № 3. С. 261-265.
- Семенов А.Д., Александрова З.В. Биологическое загрязнение и его роль в эвтрофировании Азовского моря. // Вопр. рыболовства. 2000. Т. 1. № 2-3. 4.11. С. 115-117.
- Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Наука, Физматлит. 2002. 384 с.
- Сидоренков Н.С., Швейкина В.И. Изменение климатического режима бассейна Волги и Каспийского моря за последние столетия.// Вод. ресурсы. 1996. Т. 23. № 4. С. 401-406.
- Современная и будущая соленость Азовского моря и методы ее расчета. Гидрометеорология. Серия Океанология. Обзорная информация. Обнинск. 1980. вып. 1. 34 с.