

УДК 551.464.5.062 (262.54)

ИЗМЕНЕНИЕ СОЛЕННОСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ

© 2013 г. А. П. Куропаткин, С. В. Жукова, В. М. Шишкин, Д. С. Бурлачко,
В. Г. Карманов, Л. А. Лутынская, И. Ф. Фоменко, Т. И. Подмарева

Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,

Ростов-на-Дону, 344002

E-mail: svezhu51@gmail.com

Поступила в редакцию 14.10.2013 г.

Рассмотрены особенности изменения солёности и динамика опреснённых зон Азовского моря за период 1960–2012 гг.

Ключевые слова: солёность, опреснение, осолонение, стабилизация, опреснённые зоны, изогалина.

ВВЕДЕНИЕ

Географическое положение и относительно небольшие размеры Азовского моря обуславливают чрезвычайно высокую пространственно-временную изменчивость основных абиотических факторов экосистемы моря и в первую очередь – изменение солёности. Учитывая эвригалинность обитателей моря, солёность является одним из важнейших показателей условий их существования.

По материалам исследователей ФГУП «АзНИИРХ» (Бронфман и др., 1979а, б; Аведикова и др., 1991; Куропаткин, 2007), благоприятными для выживания молоди большинства проходных и полупроходных видов рыб являются зоны с солёностью менее 7‰, а для взрослых особей – не выше 11‰. Пространственное расширение зон с солёностью выше 12‰ на акватории Азовского моря приводит к таким негативным последствиям, как возрастание масштабов проникновения различных черноморских мирантов: микроводорослей, зоопланктона, бентосных животных, рыб и пр. (Закутский и др., 1988). Результаты исследований последних лет (Куропаткин, 2001; Куропаткин и др., 2009) указывают на негативное влияние размеров зон с солёностью менее 9‰ и на популяцию акклиматизанта Азовского моря – пиленгаса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Экспедиционные исследования Азовского моря, производимые ФГУП «АзНИИРХ» с 1960 г. по стандартной сетке, включающей 34 станции (рис. 1), позволили сформировать репрезентативные ряды наблюдений за солёностью по сезонам: весна (апрель), лето (июль, август), осень (октябрь). С 2003 г. летние экспедиционные исследования сокращены и производятся один раз – в июле-августе.

По материалам имеющихся рядов наблюдений, скомпонованных по станциям и районам, были произведены расчеты средневзвешенной солёности Азовского моря и определены площади зон с различной солёностью. Среднесезонные и среднегодовые значения солёности для всего моря, собственно моря и Таганрогского залива рассчитывались средневзвешенным методом (в качестве веса принята доля каждого из районов моря в общем объеме моря). Под среднегодовой солёностью в данном контексте понимается средневзвешенное значение солёности, определенное по данным сезонных экспедиций.

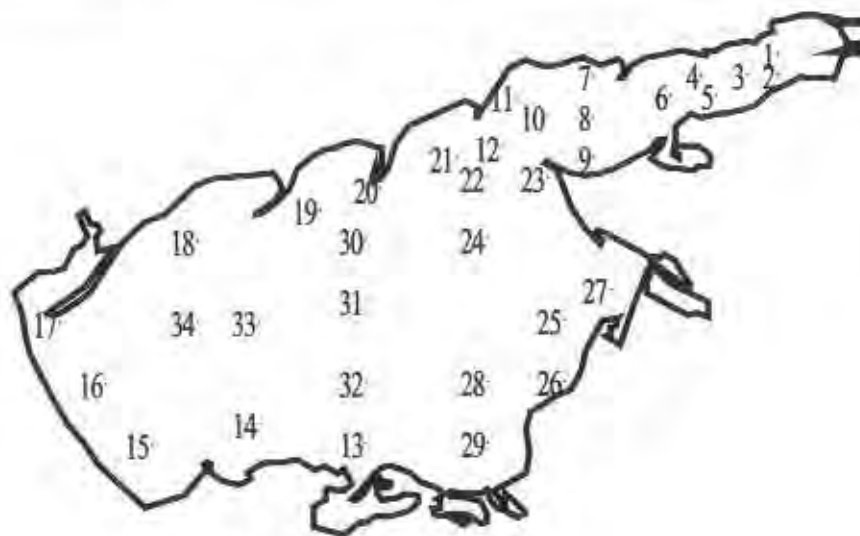


Рис.1. Схема расположения стандартных станций Азовского моря (Таганрогский залив – станции 1–12, собственно море – ст. 13–34, все море – ст. 1–34).

Fig. 1. Scheme of standard stations (1–34) in the Azov Sea (Stations 1–12 and stations 13–34 are, respectively, in the Taganrog Bay and in the sea proper).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения среднегодовых значений солёности за период 1960–2012 гг. происходили в диапазоне от 9,29‰ в 2006 г. до 13,76‰ – в 1976 г. (рис.2). Среднее значение солёности за этот период составляло 11,28 ‰, коэффициент вариации – 0,06.

Анализ изменения солёности Азовского моря позволил выделить несколько периодов с разнонаправленными тенденциями процессов осолонения, опреснения или стабилизации (табл.1). Наибольшими темпами повышения солёности (0,405‰ в год, или 0,04‰ в месяц) характеризуется современный период 2006–2012 гг.

В апреле 2013 г. солёность всего Азовского моря достигла 12,19‰, собственно моря – 12,42‰. К октябрю она возросла соответственно до 12,54 и 12,89‰. Среднегодовая солёность Азовского моря в 2013 г. составляла уже 12,30‰.

Основным фактором, определяющим формирование режима солёности Азовского моря, является материковый сток (его объем и внутригодовое распределение). Солёность Таганрогского залива и юго-восточных прибрежных районов находится под существенным влиянием стока рек Дон и Кубань, а южный предпроливный район испытывает значительное воздействие черноморских вод.

Повышение годовых объемов материкового стока способствовало снижению солёности Азовского моря или стабилизации ее значений, а в условиях снижения материкового стока отмечался рост солёности (табл.1). Это обстоятельство подтверждается и выраженной асинхронностью колебаний среднегодовых значений солёности и стока (рис.2).

Вопросы влияния материкового стока на формирование режима солёности Азовского моря достаточно хорошо изучены целым рядом исследователей, среди

Таблица 1. Типизация периодов изменения солености Азовского моря, 1960–2012 гг.
Table 1. Standartization of periods when the Azov Sea salinity changed, 1960–2012

Тип режима	Период	Коэффициент тренда	Сток, км ³	Соленость, ‰	
				средняя за период	из конец периода
Стабилизация	1960–1968	-0,081	36,3	11,23	11,12
Осолонение	1968–1976	0,299	27,8	12,36	13,76
Распреснение	1976–1982	-0,474	37,4	12,28	10,90
Осолонение	1982–1985	0,381	29,6	11,46	11,95
Распреснение	1985–1998	-0,124	34,1	11,15	9,98
Стабилизация	1998–2003	0,068	34,2	10,27	10,26
Распреснение	2003–2006	-0,318	40,5	9,72	9,29
Осолонение	2006–2012	0,405	29,6	10,64	11,67

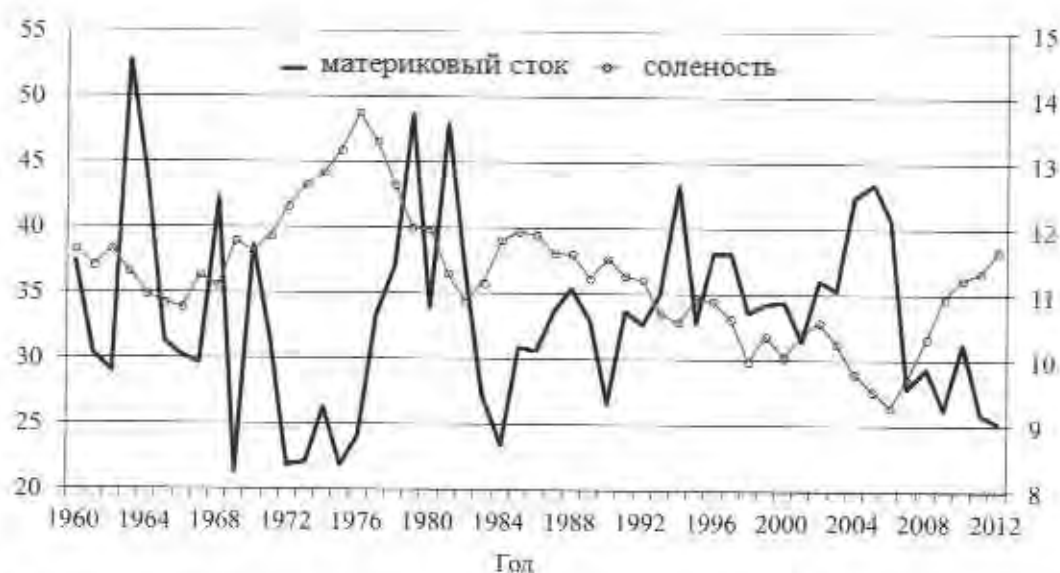


Рис. 2. Изменение среднегодовой солености (по оси ординат справа, ‰) и годового материкового стока (по оси ординат слева, км³) Азовского моря за период 1960–2012 гг.

Fig. 2. Changes in the average annual salinity (the right axis of ordinates, ‰), and total annual continental runoff (the left axis of ordinates, km³) of the Azov Sea over the period 1960–2012.

которых А. М. Бронфман, М. К. Спичак, В. Г. Дубинина, Ю. М. Гаргопа, А. П. Куропаткин и др. В их работах подчеркивается, что в различные периоды времени соленость вод Азовского моря зависит от факторов не только природного, но и антропогенного происхождения. Помимо этого следует учитывать, что объемы всего Азовского моря (323 км³) и собственно Азовского моря (297,6 км³) соответственно в 10 и 9 раз превышают суммарную величину годового материкового стока, т.е. соотношение объема вод моря к речному стоку в наибольшей степени зависит от цикличности формирования материкового стока.

Проведенные нами исследования зависимости солёности Азовского моря от речного стока позволили уточнить уравнения аппроксимации солёности. Проведены исследования двух периодов: 1922–2012 гг. (весь период наблюдения), а также последний укрупнённый период распреснения и стабилизации (1985–2006 гг.) (табл. 2). Судя по значениям коэффициентов корреляции, наиболее тесная зависимость солёности Азовского моря (Y) от материкового стока (X) получена при введении в уравнение суммарного значения годового стока за 5–7 предшествующих лет – для периода 1922–2012 гг. и за 6–7 лет – для периода 1985–2006 гг.

Для изучения структуры пространственного распределения солёности Азовского моря по характерным периодам была произведена статистическая обработка экспедиционных материалов. Данные визуализации пространственного распределения солёности представлены на рис. 3, 4. Основной особенностью структуры поля солёности в период наибольшего распреснения Азовского моря (апрель 2006 г.) стало отсутствие на акватории зон с солёностью выше 10‰. При этом восточная часть Таганрогского залива характеризовалась солёностью от 0 до 4‰, а границу между заливом и собственно морем разделяла изогалина 8,5‰ (рис. 3, а). В распределении солёности, осреднённой за период 1960–2012 гг., отмечалось равномерное повышение значений в направлении с востока на юг моря. В пространстве акватории собственно моря располагались изогалинии солёности от 10‰ в восточной части до 12‰ – в предпроливном районе. Изменение солёности в Таганрогском заливе происходило в диапазоне от 2 до 10‰ (рис. 3, б).

В период максимального осолонения моря (октябрь 1976 г.) наибольший ареал солёности собственно моря определялся значениями 13–14‰, а в районе Керченского пролива отмечались очаги солёности выше 15‰, являющиеся следствием адвекции черноморских вод через Керченский пролив (рис. 3, в). Следует отметить, что активизация процессов водообмена через Керченский пролив обычно происходит при ветрах, направленных вдоль его оси, и в первую очередь – при сильных и продолжительных северо-восточных ветрах. В таких ситуациях наблюдаются вынос поверхностных, относительно менее солёных вод в Чёрное море и компенсационные затопки более солёных черноморских вод в придонные горизонты Азовского моря.

В периоды, характеризующиеся снижением солёности (распреснения), всю акваторию моря занимают воды с солёностью менее 12,0‰. Отличие в структуре

Таблица 2. Статистические модели прогноза солёности в зависимости от материкового стока
Table 2. Statistic forecasting models of the salinity depending on the continental runoff

Число лет суммирования годового стока	Период, гг.			
	1985–2006		1922–2012	
	Уравнение	Коэффициент корреляции	Уравнение	Коэффициент корреляции
4	$Y = -0,05X + 17,20$	-0,77	$Y = -0,03X + 15,71$	-0,77
5	$Y = -0,04X + 18,26$	-0,84	$Y = -0,03X + 16,49$	-0,81
6	$Y = -0,04X + 19,26$	-0,87	$Y = -0,03X + 16,89$	-0,81
7	$Y = -0,04X + 20,15$	-0,87	$Y = -0,02X + 17,22$	-0,81
8	$Y = -0,03X + 19,92$	-0,83	$Y = -0,03X + 19,92$	-0,76

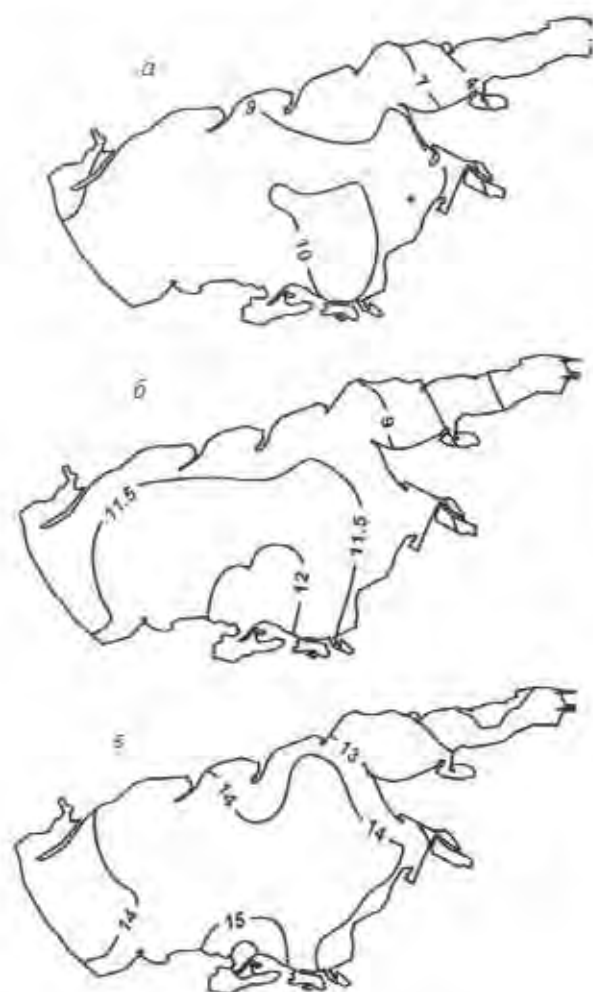


Рис. 3. Пространственное распределение солености: *а* – период максимального распреснения (апрель 2006 г.), *б* – среднеемноголетнее (1960–2012 гг.), *в* – период максимального осолонения (октябрь 1976 г.).

Fig. 3. Spatial distribution of salinity: *a* – the peak of the maximum freshening (April 2006), *b* – long-term average annual data (1960–2012), *v* – the period of maximum salinity (October 1976).

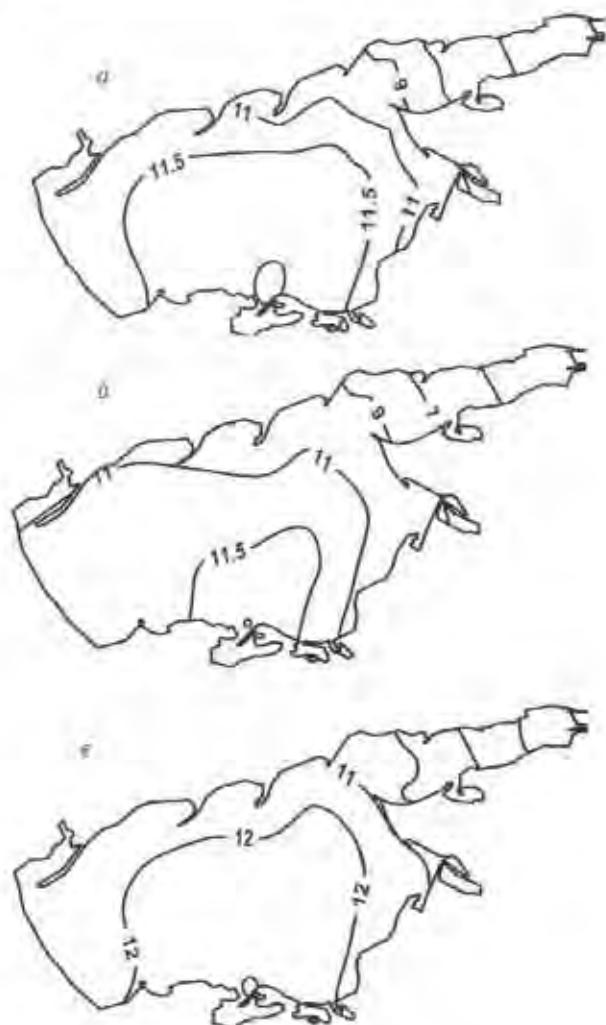


Рис. 4. Структура распределения солености при различных типах гидрологического режима: *а* – период распреснения, *б* – стабильный гидрологический режим, *в* – период осолонения.

Fig. 4. Structure of spatial distribution of salinity by the following periods: *a* – the period of freshening, *б* – stable hydrological regime, *в* – the period of salinity increase.

вод при стабильном режиме солености заключается лишь в некотором сужении площади зоны, оконтуренной изогалиной 11,5‰ (рис. 4, *а, б*). Примечательно, что достаточно часто в периоды распреснения и стабилизации вследствие снижения солености юго-восточной части собственно моря до уровня значений западной части Таганрогского залива происходит своеобразное воссоединение ареалов обитания молоди Азово-Донского и Азово-Кубанского рыбопромысловых районов. Этот исключительно благоприятный факт способствует оптимизации условий нагула

молоди, а в конечном счете – росту рыбопродуктивности моря. В отдельных случаях в периоды распреснения и стабилизации наиболее соленые воды локализуются в южной и центральной частях собственно моря и концентрируются в линзах, «оторванных» от Керченского пролива.

В фазы повышения солености (осоления) зоны, характеризующиеся наименьшими показателями, как правило, располагаются вблизи источников поступления речных вод (восточная часть Таганрогского залива и небольшие участки аванделты Кубани). Остальная акватория собственно моря характеризуется соленостью 11,5–12,0‰ (рис. 4, в).

Наибольшее значение в формировании структуры полей солености имеет объем годового стока р. Дон. При обычном соотношении годового стока донских и кубанских вод (соответственно 65 и 35% от объема материкового стока) структура полей солености практически не отличается от среднесноголетнего распределения (Куропаткин, 2003). В отличие от р. Дон Кубань не образует столь развитого эстуария, и разрядка ее стока приводит к более быстрому опресняющему эффекту водных масс юго-восточной части собственно моря. Участвовавшее в последние годы возрастание доли годового стока р. Кубань (>50% от объема материкового стока) сопровождается вытеснением наиболее соленых вод в западную часть моря и расширением опресненных зон на северо-востоке моря.

Исключительно важным фактором, определяющим условия среды обитания гидробионтов Азовского моря, являются размеры и положение зон с различной соленостью. Методы расчета и оценки площадей опресненных зон Азовского моря детализированы в опубликованных ранее работах (Шишкин, 2004; Куропаткин и др., 2009). Проведенные исследования динамики опресненных зон Азовского моря за многолетний период (1960–2012 гг.) свидетельствуют об их существенной изменчивости (табл. 3).

Площадь зоны с наиболее благоприятной для молоди рыб соленостью <7‰ в среднем за последние 53 года составила 2,8 тыс. км². Минимальное значение этого арсала, составившего всего 0,7 тыс. км², отмечено в 1975 г., а наибольшей площади эта зона достигала в 2007 г. (4,65 тыс. км²). Средняя величина зоны с соленостью <9‰ составляла 4,33 тыс. км². Экстремальные показатели этого арсала солености определялись значениями 1,42 (1975 г.) и 8,84 тыс. км² (2006 г.). Наибольшим колебаниям подвержены размеры зоны с соленостью до 11‰: от 2,7 в 1975 г. до 37,8 тыс. км² – в 2004–2007 гг. Изменения площадей зон с соленостью >12‰ обычно находятся в противофазе с размерами зон более низкой солености (табл. 3).

Наиболее благоприятными для функционирования биоценозов Азовского моря являются периоды стабильного режима. В этих условиях частично сохраняются опресненные зоны вдоль северо-западного и восточного побережья.

Современные особенности формирования режима солености Азовского моря, происходящие на фоне процессов потепления климата и снижения объемов материкового стока, выражаются повышением вариабельности пространственно-временной структуры солености. При сохранении отмечаемой в последние годы тенденции климатообусловленного и антропогенного снижения водности р. Дон и активизации водообмена с Черным морем можно ожидать усиления процессов осолонения моря и расширения зоны с соленостью выше 12‰, что приведет к ухудшению гидроэкологического режима Азовского моря в целом. Наряду с этим

Таблица 3. Соленость районов Азовского моря (А – все море, Б – собственно море, В – Таганрогский залив) и площади зон с различной соленостью за период 1960–2012 гг., тыс. км²

Table 3. Salinity of the Azov Sea (А – the whole sea body, Б – the sea proper, В – the Taganrog Bay), and the areas with different salinity over the period 1960–2012, thousand km²

Год	Район Азовского моря			Диапазон солености, ‰						
	А	Б	В	0–4	0–7	0–9	0–11	0–12	0–13	0–16
1960	11.67	11.99	8.04	1.05	1.94	4.09	6.12	25.76	37.63	37.80
1961	11.42	11.67	8.50	1.10	1.93	3.44	6.78	33.08	37.80	
1962	11.67	11.98	8.05	1.05	2.06	3.09	6.63	21.82	37.06	37.80
1963	11.33	11.82	5.54	2.36	3.77	4.86	9.19	24.59	37.49	37.80
1964	10.98	11.45	5.39	2.39	3.84	5.44	13.01	33.12	37.54	37.80
1965	10.85	11.20	6.85	1.76	3.00	4.46	14.22	37.54	37.80	
1966	10.79	11.08	7.44	1.21	2.55	3.74	20.83	36.61	37.80	
1967	11.28	11.52	8.53	1.04	1.91	2.80	8.15	36.74	37.80	
1968	11.12	11.54	6.29	1.78	3.49	5.19	11.41	31.10	37.73	37.80
1969	11.80	12.02	9.22	0.89	1.77	2.78	8.28	18.28	36.29	37.80
1970	11.64	11.99	7.57	1.37	2.42	3.81	6.00	17.87	37.67	37.80
1971	11.88	12.17	8.56	0.94	1.78	2.89	6.62	14.55	37.00	37.80
1972	12.33	12.59	9.37	0.50	1.48	2.67	4.23	10.15	32.34	37.80
1973	12.67	12.91	9.81	0.55	1.39	2.50	3.97	5.58	25.39	37.80
1974	12.85	13.13	9.53	0.71	1.27	2.35	4.30	5.65	18.92	37.72
1975	13.19	13.37	11.20	0.37	0.70	1.42	2.70	3.54	12.18	37.74
1976	13.76	14.04	10.51	0.59	1.10	2.07	3.09	3.87	6.02	37.76
1977	13.32	13.75	8.30	1.28	2.19	3.00	4.48	5.27	9.38	37.80
1978	12.66	13.17	6.79	1.99	3.28	4.58	5.97	8.09	16.77	37.80
1979	12.00	12.46	6.68	1.67	3.12	4.35	5.83	12.26	32.24	37.80
1980	11.98	12.34	7.70	1.35	2.49	3.73	5.98	11.48	36.44	37.80
1981	11.31	11.72	6.47	1.65	3.45	4.86	7.65	31.25	37.20	37.80
1982	10.90	11.25	6.80	1.12	3.10	4.46	13.08	37.57	37.80	
1983	11.16	11.53	6.91	1.36	3.29	5.44	13.09	32.59	37.74	37.80
1984	11.82	12.02	9.59	0.67	1.33	2.32	5.62	21.94	37.22	37.80
1985	11.95	12.38	6.97	1.39	3.03	4.42	6.20	12.31	34.79	37.80
1986	11.90	12.24	7.99	1.45	2.04	3.27	6.55	15.46	36.13	37.80
1987	11.62	11.93	8.02	1.16	2.31	3.51	8.41	24.57	37.80	
1988	11.61	11.91	8.18	0.99	1.99	3.65	8.01	23.46	37.80	
1989	11.24	11.65	6.58	1.57	3.18	4.72	9.70	29.67	37.14	37.80
1990	11.54	11.86	7.85	1.08	2.09	3.62	7.12	25.16	37.80	
1991	11.28	11.67	6.82	1.68	3.20	4.92	7.87	32.20	37.80	
1992	11.22	11.51	7.75	0.92	2.50	3.58	9.25	37.80		
1993	10.71	11.12	5.96	1.76	3.60	5.44	18.65	37.80		
1994	10.58	10.99	5.81	2.24	3.77	5.19	21.93	37.80		
1995	10.94	11.21	7.79	1.17	2.76	4.02	14.46	37.80		
1996	11.90	11.20	7.41	0.93	2.75	4.44	15.52	37.53	37.80	
1997	10.63	11.02	6.06	1.81	3.27	5.12	18.43	37.80		
1998	9.98	10.26	6.77	1.53	3.36	5.04	37.69	37.80		
1999	10.37	10.67	6.89	1.74	2.56	5.17	34.00	37.80		
2000	10.05	10.42	5.69	1.76	4.41	6.83	34.46	37.80		
2001	10.40	10.75	6.28	1.61	3.86	5.63	29.65	37.35	37.80	
2002	10.58	10.86	7.34	1.12	3.01	5.09	26.27	37.32	37.80	
2003	10.26	10.67	5.49	2.44	4.17	6.22	32.70	36.30	37.40	37.80
2004	9.80	10.13	5.94	1.80	4.77	5.52	37.80			
2005	9.53	9.89	5.36	2.06	5.12	6.29	37.80			
2006	9.29	9.64	5.26	2.13	4.40	8.84	37.80			
2007	9.70	10.03	5.91	1.54	4.65	6.02	37.80			
2008	10.34	10.66	6.56	1.79	3.14	5.32	32.00	36.90	37.80	
2009	10.96	11.25	7.56	1.17	3.61	4.31	15.80	37.10	37.80	
2010	11.24	11.47	8.52	0.64	1.62	3.54	6.85	36.85	37.80	
2011	11.35	11.61	8.36	1.09	1.84	3.12	8.28	36.60	37.80	
2012	11.67	11.96	8.30	0.81	1.88	3.27	5.51	22.80	37.70	

крайне негативным фактором, лимитирующим не только формирование благоприятного режима солёности, но и возможность естественного воспроизводства, является отсутствие на Дону с 1994 г. весенних попусков, соответствующих требованиям рыбного хозяйства (Жукова и др., 2009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аведикова Т. М., Баландина Л. Г., Воловик С. П. и др. Влияние океанографических факторов на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Л.: Гидрометеониздат, 1991. С. 209–215.

Бронфман А. М., Воловик С. П., Козлитина С. В. и др. Статистическая структура океанологических и биологических параметров экосистемы Азовского моря. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1979а. 160 с.

Бронфман А. М., Дубинина В. Г., Макарова Г. Д. Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. М.: Пищ. пром-сть, 1979б. 103 с.

Жукова С. В., Сыроватка Н. И., Беляев А. Г. и др. Дельта Дона: эволюция в условиях антропогенной трансформации стока. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2009. 184 с.

Закутский В. П., Куропаткин А. П., Гаргона Ю. М. Перспективная оценка численности и биомассы медузы в Азовском море по уровню осолонения // Гидробиол. журн. 1988. Т. 24. С. 18–22.

Куропаткин А. П. Ретроспективные изменения и прогноз пространственной структуры поля солёности Азовского моря // Среда, биота и моделирование экологических процессов в Азовском море. Апатиты: КолНЦ РАН, 2001. С. 72–79.

Куропаткин А. П. Исследования изменений пространственно-временной структуры полей солёности в Азовском море // Матер. междунар. науч. конф. «Режим и гидробиологические ресурсы Азово-Черноморского бассейна: Проблемы устойчивого развития рыбного хозяйства». Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2003. С. 92–103.

Куропаткин А. П. Особенности гидрологического режима и рыбопродуктивность Азовского моря // Проблемы современной гидрометеорологии и геоэкологии. Ростов-на-Дону: РГГМУ, 2007. С. 89–92.

Куропаткин А. П., Жукова С. В., Шишкин В. М. и др. Влияние условий среды обитания на развитие популяции пиленгаса в Азовском море // Генетические и вероятностные методы в гидрологии. Проблемы развития и взаимосвязи. М.: ИВЛ РАН; ОдесГЭИ, 2009. С. 233–240.

Шишкин В. М. Эколого-рыбохозяйственное значение зон смешения речных и морских вод Азовского моря: Автореф. ... дис. канд. биол. наук, Ростов-на-Дону: АзНИИРХ, 2004. 30 с.

CHANGES IN SALINITY OF THE AZOV SEA

© 2013 y. A. P. Kuropatkin, S. V. Zhukova, V. M. Shishkin, D. S. Burlachko, V. G. Karmanov, L. A. Lutynskaya, I. F. Fomenko, T. I. Podmareva

Azov Fisheries Research Institute, Rostov-on-Don, 344002

Some specific features of changes in salinity and dynamics of freshened waters of the Azov Sea have been considered over the period 1960–2012.

Keywords: salinity, freshening, salinity increase, stabilization, freshened zone, isohaline.