



УДК 551.46

## О ВОЗМОЖНОСТЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛЕННОСТИ ВОД АЗОВСКОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

© 2018 Е. О. Спиридонова<sup>1</sup>, Б. Н. Панов<sup>2</sup>, С. В. Жукова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Керченский государственный морской технологический университет, Керчь 298300, Россия

<sup>2</sup>Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Керченский филиал, Керчь 298300, Россия

<sup>3</sup>Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Ростов-на-Дону 344002, Россия  
 E-mail: [helena.spyrydonova@gmail.com](mailto:helena.spyrydonova@gmail.com)

**Аннотация.** Рассмотрены результаты множественного регрессионного анализа рядов средней солености Азовского моря (без Таганрогского залива) и показателей приземной атмосферной циркуляции в Азово-Черноморском регионе за период с 1960 по 2016 г. Показано, что незначительную роль в изменении солености играют зональные атмосферные переносы синхронно и с упреждением на год. Более значимое влияние оказывают атмосферные процессы, показателем которых является среднее атмосферное давление с упреждением в 6–15 лет. Однако после 1990 г. более эффективным фактором становятся зональные переносы, происходящие на 10–12 лет раньше рассматриваемого периода с эффектом воздействия на соленость обратным эффекту, выявленному в случае синхронного влияния. Получены статистически значимые регрессионные уравнения, позволяющие прогнозировать соленость Азовского моря с заблаговременностью 6–10 лет.

**Ключевые слова:** Азовское море, соленость, атмосферная циркуляция, прогноз

## ON THE POSSIBILITY OF LONG-TERM FORECAST OF THE AZOV SEA WATER SALINITY, USING REGIONAL ATMOSPHERIC CIRCULATION INDICES

E. O. Spiridonova<sup>1</sup>, B. N. Panov<sup>2</sup>, S. V. Zhukova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kerch State Maritime Technological University, Kerch 298300, Russia

<sup>2</sup>Azov Sea Research Fisheries Institute, Kerch Branch, Kerch 298300, Russia

<sup>3</sup>Azov Sea Research Fisheries Institute, Rostov-on-Don 344002, Russia  
 E-mail: [helena.spyrydonova@gmail.com](mailto:helena.spyrydonova@gmail.com)

**Abstract.** The results of multiple regression analysis of the series of the Azov Sea average salinity (excluding the Taganrog Bay) and indices of surface atmospheric circulation in the Azov and Black Seas Region for the

period from 1960 to 2016 are considered. It is shown that a small role in the change of salinity is played by zonal atmospheric transfer synchronously and for a year ahead. More significant influence is exerted by atmospheric processes, the indicator of which is the average atmospheric pressure with prediction of 6–15 years. However, since 1990, zonal transfers, occurring 10–12 years before the period under consideration with the effect on salinity, opposite to the one identified in the case of synchronous influence, become a more effective factor. Statistically significant regression equations are obtained, which allows to predict the Azov Sea salinity with a forecast interval of 6–10 years.

**Keywords:** Azov Sea, water salinity, atmospheric circulation, forecast

## ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия, после периода уменьшения среднегодовых значений солености до аномально низкой величины в 2006 г., начался ее устойчивый рост, затянувшийся до настоящего времени. В Азовском море вновь, как и в 70-е гг. прошлого века, складывается напряженная ситуация с рыбными ресурсами, что повышает актуальность исследований возможных причин (как природных, так и антропогенных) усиления упомянутых негативных процессов.

В ряде работ [1–3] приводятся результаты исследования связей многолетних изменений солености Азовского моря, стока р. Дон, величины осадков и испарения для региона Азовского моря с индексами атмосферной циркуляции Вангенгейма-Гирса, индексами североатлантической осцилляции и давлением в центре Сибирского антициклона. Достоверные связи были получены для сглаженных рядов показателей, а также при сдвиге индексов атмосферной циркуляции на 1–2 года.

Поэтому основной целью данной работы является определение возможностей долгосрочного прогнозирования солености вод Азовского моря с использованием показателей региональной атмосферной циркуляции.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для расчета средних годовых значений солености вод Азовского моря ( $S_a$ ) использованы материалы 22 весенних, летних и осенних океанографических съемок, выполненных ЮгНИРО с 1992 по 2000 г., и 49 съемок, выполненных ФГБНУ «АзНИИРХ» с 2001 по 2016 г. Средняя соленость моря определялась без Таганрогского залива по методике, рекомендованной в [4]. Полученными значениями был дополнен многолетний ряд среднегодовой солености с 1960 г., взятый из [5].

Для анализа приземной атмосферной циркуляции использован банк ежедневных данных (с 1960

по 2016 г.) о приземном атмосферном давлении над Азово-Черноморским регионом по 16-точечной сетке [6].

В качестве показателей атмосферной циркуляции использовались три первых коэффициента ( $A_{00}$ ,  $A_{01}$ ,  $A_{10}$ ) разложения поля приземного атмосферного давления в ряды по полиномам Чебышева, где  $A_{00}$  характеризует среднее атмосферное давление,  $A_{01}$  — вклад зональных переносов,  $A_{10}$  — вклад меридиональных переносов воздуха [7].

В результате был сформирован массив четырех переменных ( $S_a$ ,  $A_{00}$ ,  $A_{01}$ ,  $A_{10}$ ) — среднегодовых значений с 1960 по 2016 г. (57 значений).

Учитывая долговременные тенденции изменений средней солености Азовского моря и показателей атмосферной циркуляции, было принято решение: для оценки зависимости солености моря ( $S_a$  —  $Y$ ) от каждого из показателей атмосферной циркуляции ( $X$  —  $A_{00}$ ,  $A_{01}$ ,  $A_{10}$ ) использовать множественный линейный регрессионный анализ, в котором предикторами (факторами) служили бы ряды значений показателей с различными величинами упреждающего сдвига. Кроме того, для учета более коротких трендов массив значений был разделен на две части: до 1989 г. (30 значений) и после (27 значений), которые соответствуют предыдущему и текущему климатическим периодам.

Корреляционные испытания полного ряда (57 значений) проводились трижды — для группировок факторов со сдвигами 0–5 ( $X_{-1}$ – $X_{-5}$ ), 6–10 ( $X_{-6}$ – $X_{-10}$ ) и 11–15 ( $X_{-11}$ – $X_{-15}$ ) лет. Для коротких рядов аналогичные испытания проводились для первых двух группировок сдвигов (0–5 и 6–10 лет). Предикторы со значимыми парными коэффициентами корреляции объединялись в одну модель множественной регрессии с факторами одного из показателей атмосферной циркуляции.

За достоверные принимались статистически значимые связи с уровнем значимости  $\alpha \leq 0,05$  по таблице Стьюдента. Статистическая значимость урав-

нения регрессии проверялась с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Из модели исключались статистически значимые факторы, имеющие низкие ( $\leq 0,01$ ) коэффициенты раздельной детерминации. В анализе полученных результатов использовались только статистически значимые связи и регрессионные уравнения.

При расчете оценок множественной регрессии контролировались значения парных коэффициентов корреляции межфакторных связей, которые никогда не превышали значимых коэффициентов искомых связей X–Y. Межфакторные связи также не достигали критического уровня детерминации (коэффициент корреляции — 0,7).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры статистически значимых моделей (уравнений множественной линейной регрессии) прогнозирования солёности вод Азовского моря, а также некоторые результаты прогнозирования представлены в таблице.

Из полученных результатов следует, что на отрезке времени с 1960 по 2016 г., незначительную роль в изменении солёности вод Азовского моря играют зональные атмосферные переносы синхронно и с упреждением на год (Модель II).

Более значимое влияние оказывали атмосферные процессы, показателем которых является среднее атмосферное давление с упреждением в 6–15 лет (Модель I и Модель III).

В текущем климатическом периоде в атмосферной циркуляции Азово-Черноморского региона более эффективным фактором (кроме изменений среднего атмосферного давления), определяющим изменения солёности в Азовском море, становятся зональные переносы (Модель IV). При этом эффектом воздействия, обратным эффекту, выявленному Моделью II в случае синхронного влияния на солёность. К росту солёности приводит усиление западных атмосферных переносов, происходящих на 10–12 лет раньше рассматриваемого периода.

Несмотря на то, что расчетные значения солёности для отдельных лет значительно отличаются от фактических (около 1 ‰), долговременные тенденции расчетными значениями Модели IV отражены верно, что может быть использовано в долгосрочном прогнозировании.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показывают, что существует возможность долгосрочного прогнози-

рования средней годовой солёности Азовского моря (без Таганрогского залива) с использованием показателей атмосферной циркуляции над Азово-Черноморским бассейном с заблаговременностью до 6–10 лет. Однако наиболее эффективные факторы, характеризующие влияние атмосферной циркуляции на изменения солёности вод, могут изменяться во времени. Это обуславливает необходимость совместного целевого мониторинга солёности и показателей атмосферной циркуляции.

Наиболее эффективная прогностическая модель для последнего климатического периода (Модель IV) позволяет предположить, что устойчивое уменьшение солёности Азовского моря начнется с 2020 г., а к 2026 г. снизится до 10,0 ‰.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Изд-во Росгидромет, 2008. Т. 2. С. 154–159.
2. Гаргопа Ю.М. Изменения водного баланса, солёности и биоресурсов Азовского моря под влиянием атмосферной циркуляции // XI Всерос. конф. по промышленной океанологии : тезисы докл. (г. Калининград, 14–18 сентября 1999 г.). М.: Изд-во ВНИРО, 1999. С. 71–72.
3. Дроздов В.В. Особенности многолетней динамики экосистемы Азовского моря под влиянием климатических и антропогенных факторов // Ученые записки РГГМУ. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2010. № 15. С. 155–176.
4. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Азовское море / Под ред. Б.Х. Глуховского. Л.: Гидрометеоиздат, 1996. Т. 3. 217 с.
5. Куропаткин А.П., Шишкин В.М. Солёность Азовского моря и возможные пути ее изменения // Рациональное использование и охрана природных ресурсов бассейнов Черного и Азовского морей. Ростов-н/Д.: Изд-во РГУ, 1988. С. 16–20.
6. Брянцев В.А. Методические рекомендации по гидрометеорологическому прогнозированию для основных объектов промысла в Черном море. Керчь: Изд-во АзЧерНИРО, 1987. 41 с.
7. Кудрявая, К.И., Серяхов Е.И., Скриптунова Л.И. Морские гидрологические прогнозы. Л.: Гидрометиздат, 1974. 310 с.

## REFERENCES

1. Otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Assessment report of the Federal Service for

Параметры статистически значимых моделей (уравнений множественной линейной регрессии) прогнозирования солености Азовского моря (Y)э  
 Parameters of statistically significant models (multiple linear regression equations) for prediction of the Azov Sea salinity (Y)e

№ модели No. of model	Предиктор (Xn) Predictor (Xn)	Упреждающий сдвиг (n лет) Prediction shift (n years)	Длина ряда Series length	Коэф. парной коррел. (Rn) Pair correlation coefficient (Rn)	Коэф. множ. коррел. (Rn) Multiple correlation coefficient (Rn)	Коэф. раздельн. детерминации предикторов (d) Coefficient of individual determination of predictors (d)	Коэф. детерм. Модели (D) Coefficient of determination for the model (D)	Регрессионное уравнение модели Прогноз Regression equation of the model Forecast					
								2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Для периода 1960–2016 гг. (57 значений) / For the period 1960–2016 (57 values)</b>													
I	<b>A<sub>00-6</sub></b>	<b>6</b>	42	<b>-0,42</b>	0,83	<b>0,150</b>	0,689	$Y_0 = 45,05 - 0,48A_{00-6} - 0,27A_{00-7} - 0,26A_{00-9} - 0,13A_{00-12} - 0,20A_{00-13} - 0,25A_{00-14} - 0,48A_{00-15}$					
	A <sub>00-7</sub>	7		-0,37		0,069							
	<b>A<sub>00-9</sub></b>	<b>9</b>		<b>-0,40</b>		<b>0,073</b>							
	A <sub>00-12</sub>	12		-0,35		0,034							
	A <sub>00-13</sub>	13		-0,35		0,053							
	<b>A<sub>00-14</sub></b>	<b>14</b>		<b>-0,44</b>		<b>0,083</b>							
A <sub>00-15</sub>	15	-0,47	0,017	11,36	11,42	12,53	11,55	11,49	12,14				
II	A <sub>01-0</sub>	0	56	-0,32	0,42	0,085	0,173	$Y_0 = 11,04 - 1,26A_{01-0} - 1,29A_{01-1}$					
	A <sub>01-1</sub>	1		-0,33		0,088		-	-	-	-	-	-
<b>Для периода 1960–1989 гг. (30 значений) / For the period 1960–1989 (30 values)</b>													
III	A <sub>00-9</sub>	9	20	-0,49	0,68	0,16	0,458	$Y_0 = 26,25 - 0,35A_{00-9} - 0,52A_{00-10}$					
	<b>A<sub>00-10</sub></b>	<b>10</b>		<b>-0,60</b>		<b>0,29</b>		-	-	-	-	-	-
<b>Для периода 1990–2016 гг. (27 значений) / For the period 1990–2016 (27 values)</b>													
IV	A <sub>01-10</sub>	10	15	0,50	0,85	0,19	0,727	$Y_0 = 13,23 + 2,63A_{01-10} + 3,53A_{01-11} + 2,92A_{01-12}$					
	A <sub>01-11</sub>	11		0,49		0,28							
	<b>A<sub>01-12</sub></b>	<b>12</b>		<b>0,54</b>		<b>0,25</b>							

Жирным шрифтом выделены наиболее значимые в моделях связи.

The most significant links in the models are put in bold.

- Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Russia on climate change and its consequences in the Russian Federation]. Moscow: Roshydromet Publ., 2008, vol. 2, pp. 154–159. (In Russian).
2. Gargopa Yu.M. Izmeneniya vodnogo balansa, solenosti i bior esur sov Azovskogo morya pod vliyan iem atmosfernoy tsirkulyatsii [Changes in water balance, salinity and bioresources of the Sea of Azov under the influence of atmospheric circulation]. In: *XI Vserossiyskaya konferentsiya po promyslovy okeanologii (Kaliningrad, 14–18 sentyabrya 1999 g.): Tezisy dokladov [The XI All-Russian Conference on Fisheries Oceanology (Kaliningrad, 14–18 September, 1999). Scientific conference abstracts]*. Moscow: VNIRO Publ., 1999, pp. 71–72. (In Russian).
  3. Drozdov V.V. Osobennosti mnogoletney dinamiki ekosistemy Azovskogo mor ya pod vliyan iem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [Features of long-term dynamics of an ecosystem of Sea of Azov under the influence of climatic and anthropogenous factors]. In: *Uchenye zapiski RGGMU [Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University]*. Saint Petersburg: RSHU Publ., 2010, no. 15, pp. 155–176. (In Russian).
  4. Gidrometeorologicheskie usloviya shel'fovoy zony morey SSSR. Azovskoe more [Hydrometeorological conditions of the shelf zone of the seas of USSR. The Sea of Azov]. Leningrad: Gidr ometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1996, Vol. 3, 217 p. (In Russian).
  5. Kuropatkin A.P., Shishkin V.M. Solenost' Azovskogo morya i vozmozhnye puti ee izmeneniya [Salinity of the Sea of Azov and possible ways of its changing]. In: *Ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov basseynov Chernogo i Azovskogo morey [Rational exploitation and conservation of natural resources of the Azov and Black Sea Basins]*. Rostov-on-Don: RSU Publ., 1988, pp. 16–20. (In Russian).
  6. Bryantsev V.A. Metodicheskie rekomendatsii po gidrometeorologicheskomu prognozirovaniyu dlya osnovnykh ob"ektov pr omysla v Cher nom more [Recommended practice on hydrometeorologic forecast for main fishing targets in the Black Sea]. Kerch: AzCherNIRO Publ., 1987, 41 p. (In Russian).
  7. Kudryavaya K.I., Seryakhov E.I., Skriptunova L.I. Mor skie gidr ologich eskie pr ognozy [Mar in e hydrological forecasts]. Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1974, 310 p. (In Russian).

Поступила 26.09.2018

Принята к печати 03.12.18