

Среда обитания  
водных биологических ресурсов  
Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 551.464.621.(262.54)

**Прогноз вероятности предзаморных  
и заморных ситуаций в Азовском море**

*А.Т. Кочергин<sup>1</sup>, Л.В. Крискевич<sup>1</sup>, Ю.В. Косенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Керченский филиал Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (ФГБНУ «АзНИИРХ»), г. Керчь

<sup>2</sup> Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (ФГБНУ «АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону  
E-mail: kochkerch@mail.ru

Основываясь на результатах летних океанографических съёмок в Азовском море в 1989–2016 гг. рассчитаны площади с различными диапазонами вертикальной термохалинной устойчивости, придонной температуры и придонного содержания кислорода. Далее для каждого летнего периода были определены условные вероятности предзаморной и заморной ситуации, представляющие собой сумму произведений площади каждого диапазона этих параметров на условные коэффициенты, соответствующие (по экспертной оценке авторов) степени приближённости к предзаморным или заморным состояниям среды. Значимая (на уровне более 99% доверительной вероятности) корреляция среднегодовых значений солнечной активности (чисел Вольфа) и условной вероятности предзаморных и заморных явлений по температурным и термохалинным параметрам позволила определиться с прогнозом этой вероятности с годичной заблаговременностью. Ориентировочный прогноз условной вероятности предзаморных и заморных явлений на 2019–2020 гг. показал её превышение среднесноголетнего уровня в эти годы примерно в полтора раза.

**Ключевые слова:** устойчивость, температура, кислород, предзаморная и заморная ситуации, вероятность, прогноз.

**ВВЕДЕНИЕ**

На основе сведений о наблюдавшихся в летние периоды 1988–2016 гг. заморных явлениях в заливах северного и южного побережий собственно Азовского моря (за исключением Таганрогского залива) можно отметить изменчивость периодичности и интенсивности их проявления. Так, до 1999 г. существовала квазидвухлетняя цикличность заморов с возрастанием интенсивности в нечётные годы и снижением либо отсутствием в чётные [Боровская

и др., 2005]. В этот период максимальный зафиксированный ущерб рыбным запасам в результате заморов, достигший 1260 т., наблюдался в 1991 г. Начиная с 2000 г. масштабы гибели гидробионтов снизились, не превышая 299 т. до 2008 г. и 56 т. после. Следует отметить почти ежегодные заморные явления до 2013 г. различной интенсивности и резкое снижение их проявления после.

Снижение ущерба от заморов в летние периоды в последнее десятилетие было связано,

очевидно, с перестройкой гидрологических параметров экосистемы, в частности с относительно резким однонаправленным увеличением солёности и уменьшением устойчивости, т. е. возрастанием однородности вод как в собственно Азовском море в целом, так и в его районах [Кочергин и др., 2018].

Как отмечалось ранее [Кочергин, Крискевич, 2010], в западной половине Азовского моря обширные зоны с придонной температурой более  $25^{\circ}\text{C}$ , потенциально ведущие к возникновению заморных ситуаций, наблюдались в годы, близкие к экстремумам солнечной активности, а повышенные величины гибели рыбы в годы максимума этой активности.

В предыдущем исследовании [Кочергин, Брянцев, 2008] на основе данных по условиям среды, полученных в океанографических съёмках ЮгНИРО в западной половине Азовского моря в летний период 1992–2006 гг. была найдена долгопериодная межгодовая прогностическая связь между солнечной активностью (числами Вольфа) и формализованной оценкой площади моря с определёнными значениями придонной температуры и придонного содержания кислорода, характеризующими

вероятность приближённости к предзаморной и заморной ситуациям.

В настоящей работе продолжено это исследование для всей акватории собственно Азовского моря для расширенного ряда летних периодов (1989–2016 гг.) с дополнительной оценкой влияния площади моря с определёнными значениями вертикальной термохалинной устойчивости на вероятность возникновения предзаморных и заморных ситуаций.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Использовался массив данных по температуре, солёности и содержанию кислорода, полученный в покрывающих всю акваторию собственно Азовского моря экспедиционных съёмках АзНИИРХ в летний (июль–август) период 1989–2016 гг. На основе этого массива рассчитана вертикальная термохалинная устойчивость. Схема станций представлена на рис. 1.

В качестве океанографических критериев вероятности возникновения предзаморных и заморных ситуаций приняты вертикальная термохалинная устойчивость, а также придонные значения температуры и содержания

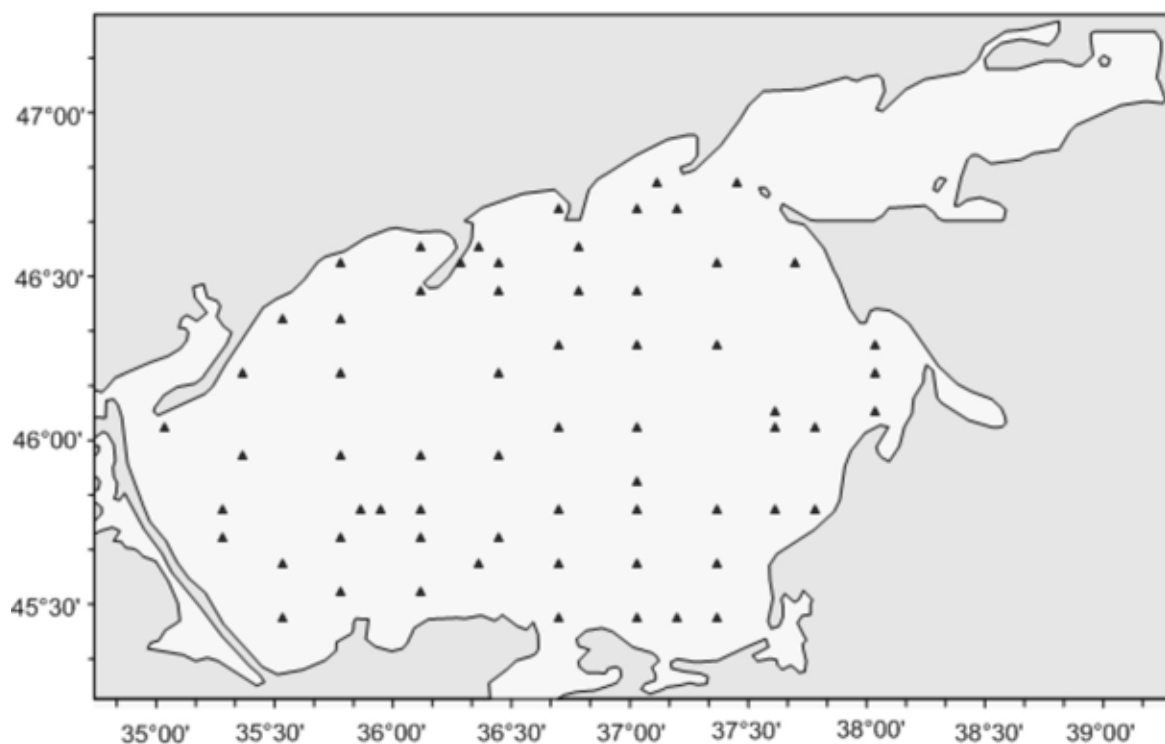


Рис. 1. Схема станций

кислорода на акватории собственно Азовского моря.

Для каждого летнего сезона в период 1989–2016 гг. по десятибалльной шкале (вся акватория собственно моря — 10 баллов) оценивалась площадь, занятая водами с определёнными значениями этих критериев ( $S_{E_0}$  —

вертикальной термохалинной устойчивости,  $S_{T_w}$  — придонной температуры,  $SO_2$  — придонного содержания кислорода). Результаты приведены в табл. 1–3.

Площадь вод (в баллах) с определённым диапазоном значений вертикальной термохалинной устойчивости, придонной температуры

**Таблица. 1.** Площадь (в баллах), занятая водами с определёнными значениями вертикальной термохалинной устойчивости ( $S_{E_0}$ )

| $E_0$ , тыс. усл.ед | <0  | 0–5 | 6–10 | 11–15 | 16–20 | 21–25 | 26–30 | 31–35 | 36–40 | 41–45 | 46–50 | >50 |
|---------------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 1989                | 0,0 | 1,9 | 2,8  | 1,9   | 1,9   | 0,5   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1990                | 0,0 | 8,8 | 0,9  | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1991                | 0,2 | 7,0 | 2,6  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1992                | 0,1 | 8,9 | 1,2  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1993                | 0,0 | 9,4 | 0,6  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1994                | 0,0 | 7,7 | 1,1  | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,2 |
| 1995                | 2,3 | 7,2 | 0,4  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1996                | 0,3 | 6,2 | 1,3  | 0,7   | 0,7   | 0,3   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1997                | 0,0 | 7,8 | 1,5  | 0,3   | 0,3   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1998                | 1,4 | 6,8 | 0,7  | 0,3   | 0,3   | 0,2   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 1999                | 0,4 | 5,3 | 3,4  | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2000                | 0,3 | 7,6 | 1,4  | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2001                | 1,0 | 8,7 | 0,2  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2002                | 0,0 | 6,0 | 2,1  | 0,6   | 0,6   | 0,4   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2003                | 0,4 | 6,9 | 1,5  | 0,4   | 0,4   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2004                | 0,0 | 8,4 | 1,2  | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2005                | 0,0 | 7,1 | 1,1  | 0,7   | 0,7   | 0,3   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2006                | 0,0 | 3,2 | 6,1  | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2007                | 0,7 | 9,0 | 0,4  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2008                | 0,0 | 6,0 | 2,7  | 0,3   | 0,3   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2009                | 0,1 | 5,7 | 2,2  | 0,4   | 0,4   | 0,3   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,2   | 0,0   | 0,0 |
| 2010                | 0,0 | 0,6 | 8,7  | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2011                | 0,8 | 8,9 | 0,3  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2012                | 1,4 | 7,5 | 0,9  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2013                | 0,0 | 6,5 | 2,8  | 0,2   | 0,2   | 0,1   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2014                | 0,3 | 9,7 | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2015                | 0,5 | 9,5 | 0,0  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |
| 2016                | 1,4 | 8,2 | 0,2  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0 |

Примечание: вся площадь собственно Азовского моря — 10 баллов,  $E_0$  — вертикальная термохалинная устойчивость



**Таблица 2.** Площадь (в баллах), занятая водами с определёнными значениями придонной температуры ( $S_{T^w}$ )

| $T^w$ | <23,5 | 23,5-24,0 | 24,1-24,5 | 24,6–25,0 | 25,1-25,5 | 25,6-26,0 | 26,1-26,5 | 26,6-27,0 | 27,1-27,5 | >27,5 |
|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 1989  | 8,1   | 1,5       | 0,3       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1990  | 3,0   | 4,2       | 2,9       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1991  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1992  | 10,0  | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1993  | 10,0  | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1994  | 10,0  | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1995  | 0,0   | 0,0       | 0,9       | 4,4       | 4,4       | 0,3       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1996  | 1,6   | 0,6       | 0,4       | 0,4       | 0,5       | 0,8       | 1,7       | 2,2       | 1,1       | 0,8   |
| 1997  | 0,5   | 0,6       | 2,9       | 4,7       | 1,2       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1998  | 3,7   | 3,0       | 2,0       | 0,8       | 0,4       | 0,1       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 1999  | 2,7   | 0,6       | 0,4       | 0,4       | 0,6       | 2,5       | 2,7       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2000  | 6,7   | 2,1       | 0,8       | 0,3       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2001  | 6,8   | 2,5       | 0,6       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2002  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,2       | 1,6       | 3,7       | 3,2       | 1,3       | 0,0       | 0,0   |
| 2003  | 6,8   | 1,5       | 1,7       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2004  | 8,4   | 1,2       | 0,3       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2005  | 0,0   | 0,1       | 0,7       | 3,2       | 3,1       | 2,6       | 0,2       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2006  | 0,0   | 0,2       | 2,7       | 3,5       | 1,4       | 1,6       | 0,5       | 0,1       | 0,0       | 0,0   |
| 2007  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 3,5       | 6,3       | 0,2       | 0,0       | 0,0   |
| 2008  | 0,0   | 0,3       | 0,7       | 1,9       | 4,8       | 1,6       | 0,6       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2009  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 2,8       | 5,5       | 0,5       | 1,2       | 0,0       | 0,0   |
| 2010  | 0,0   | 0,0       | 0,1       | 0,1       | 0,1       | 0,2       | 3,3       | 5,4       | 0,8       | 0,1   |
| 2011  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,4       | 3,1       | 6,3       | 0,2       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2012  | 0,0   | 0,2       | 0,3       | 0,3       | 0,5       | 2,1       | 5,3       | 1,4       | 0,0       | 0,0   |
| 2013  | 2,0   | 1,0       | 1,5       | 1,3       | 1,5       | 1,9       | 0,7       | 0,1       | 0,0       | 0,0   |
| 2014  | 0,0   | 0,0       | 0,7       | 1,7       | 4,7       | 2,8       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2015  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,5       | 7,8       | 1,6       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0   |
| 2016  | 0,0   | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 1,9       | 4,7       | 1,6       | 0,8       | 1,1       | 0,0   |

Примечание: вся площадь собственно Азовского моря — 10 баллов,  $T^w$  — придонная температура.

**Таблица 3.** Площадь (в баллах), занятая водами с определёнными значениями придонного содержания кислорода ( $SO_2$ )

| $O_2$ , мл/л | >5  | 4,6–5,0 | 4,5–4,1 | 3,6–4,0 | 3,1–3,5 | 2,6–3,0 | 2,1–2,5 | 1,6–2,0 | 1–1,5 | <1  |
|--------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|
| 1989         | 2,5 | 1,7     | 1,0     | 0,8     | 0,7     | 0,7     | 0,9     | 1,0     | 0,4   | 0,1 |
| 1990         | 0,0 | 0,0     | 0,1     | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,8     | 0,9     | 1,3   | 6,0 |
| 1991         | 0,0 | 0,1     | 0,4     | 0,3     | 0,4     | 0,4     | 0,6     | 0,8     | 1,1   | 5,8 |
| 1992         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,1     | 0,8     | 1,9   | 7,1 |
| 1993         | 0,0 | 0,0     | 0,2     | 0,5     | 1,1     | 1,1     | 0,9     | 1,5     | 2,5   | 2,3 |
| 1994         | 0,1 | 0,1     | 0,4     | 1,2     | 1,1     | 1,1     | 1,5     | 1,8     | 1,4   | 1,4 |
| 1995         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,5   | 9,4 |

| $O_2$ , мл/л | >5  | 4,6–5,0 | 4,5–4,1 | 3,6–4,0 | 3,1–3,5 | 2,6–3,0 | 2,1–2,5 | 1,6–2,0 | 1–1,5 | <1  |
|--------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|
| 1996         | 1,5 | 0,4     | 0,2     | 0,4     | 0,5     | 0,5     | 1,2     | 1,4     | 1,1   | 2,7 |
| 1997         | 0,1 | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 0,1     | 1,8     | 0,9     | 1,8   | 4,9 |
| 1998         | 0,1 | 0,1     | 0,3     | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,8     | 1,3     | 2,4   | 4,2 |
| 1999         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,3     | 0,8     | 0,8     | 1,7     | 1,6     | 2,0   | 1,9 |
| 2000         | 0,1 | 0,2     | 0,3     | 0,4     | 0,6     | 0,6     | 0,8     | 1,2     | 3,6   | 2,0 |
| 2001         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,1     | 0,5   | 9,4 |
| 2002         | 1,2 | 0,6     | 0,5     | 1,0     | 1,1     | 1,1     | 0,6     | 0,9     | 1,4   | 1,6 |
| 2003         | 0,0 | 0,5     | 0,7     | 0,6     | 0,9     | 0,9     | 0,6     | 0,7     | 2,5   | 3,1 |
| 2004         | 0,0 | 0,1     | 0,3     | 0,4     | 0,6     | 0,6     | 0,7     | 1,6     | 1,9   | 3,8 |
| 2005         | 0,9 | 0,5     | 0,6     | 1,0     | 0,8     | 0,8     | 1,2     | 0,9     | 0,9   | 2,2 |
| 2006         | 0,2 | 0,6     | 1,0     | 0,9     | 0,6     | 0,6     | 0,9     | 1,2     | 1,6   | 2,1 |
| 2007         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,3     | 2,0     | 2,6   | 5,2 |
| 2008         | 0,8 | 1,5     | 1,5     | 2,1     | 1,3     | 1,3     | 0,6     | 0,3     | 0,2   | 0,6 |
| 2009         | 0,2 | 0,3     | 0,7     | 1,3     | 1,2     | 1,2     | 1,1     | 1,3     | 1,8   | 1,1 |
| 2010         | 0,1 | 0,1     | 0,7     | 0,9     | 0,8     | 0,8     | 1,5     | 2,3     | 1,5   | 1,2 |
| 2011         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,3     | 1,3     | 4,1   | 4,0 |
| 2012         | 0,0 | 0,1     | 0,1     | 0,5     | 1,0     | 1,0     | 1,5     | 4,6     | 1,1   | 0,4 |
| 2013         | 2,7 | 0,7     | 0,6     | 0,6     | 0,7     | 0,7     | 0,6     | 1,3     | 1,6   | 0,5 |
| 2014         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,1     | 7,2   | 2,8 |
| 2015         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 0,0     | 1,3     | 6,5   | 2,1 |
| 2016         | 0,0 | 0,0     | 0,0     | 0,1     | 0,9     | 0,9     | 1,8     | 2,4     | 2,7   | 0,7 |

Примечание: вся площадь собственно Азовского моря — 10 баллов,  $O_2$  — содержание кислорода.

или придонного содержания кислорода умножалась на условный коэффициент ( $K_{E_o}$  — устойчивости,  $K_{T_w}$  — температуры,  $K_{O_2}$  — содержания кислорода), величина которого характеризует (на экспертном уровне авторов) степень приближённости предзаморных и заморных ситуаций. Эти коэффициенты приводятся ниже в табл. 4.

Условная вероятность приближённости предзаморных и заморных ситуаций ( $V$ ) по каждому из трёх рассматриваемых параметров для каждого летнего периода определена как сумма произведений площади каждого диапазона вертикальной термохалинной устойчивости, придонной температуры и придонного содержания кислорода на условный коэффици-

**Таблица 4.** Условные коэффициенты степени приближённости предзаморных и заморных ситуаций, соответствующие определённым диапазонам вертикальной термохалинной устойчивости ( $K_{E_o}$ ), температуры ( $K_{T_w}$ ) и содержания кислорода ( $K_{O_2}$ )

| К-ты ( $K_{E_o}$ ,<br>$K_{T_w}$ , $K_{O_2}$ ) | 0     | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9     | 10      | 12      | 16    | 20 |
|-----------------------------------------------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------|---------|---------|-------|----|
| $E_o$ , тыс.<br>усл. ед.                      | <0    | 0–5           | 6–10          | 11–15         | 16–20         | 21–25         | 26–30         | 31–35         | 36–40         | 41–45 | 46–50   | >50     |       |    |
| $T_w$                                         | <23,5 | 23,5–<br>24,0 | 24,1–<br>24,5 | 24,6–<br>25,0 | 25,1–<br>25,5 | 25,6–<br>26,0 | 26,1–<br>26,5 | 26,6–<br>27,0 | 27,1–<br>27,5 | >27,5 |         |         |       |    |
| $O_2$ , мл/л                                  | >5    | 4,6–5,0       | 4,5–4,1       |               | 3,6–<br>4,0   |               | 3,1–3,5       |               | 2,6–3,0       |       | 2,1–2,5 | 1,6–2,0 | 1–1,5 | <1 |

ент (табл. 4), соответствующий степени приближённости к предзаморным и заморным ситуациям данного диапазона:

$$V_{Fo} = \sum_1^{10} (K_{Fo} S_{Fo}); \quad (1)$$

$$V_{Tw} = \sum_1^{10} (K_{Tw} S_{Tw}); \quad (2)$$

$$V_{O_2} = \sum_1^{10} (K_{O_2} S_{O_2}), \quad (3)$$

где  $V_{Fo}$ ,  $V_{Tw}$ ,  $V_{O_2}$  — условная вероятность приближённости предзаморных и заморных

ситуаций соответственно по вертикальной термохалинной устойчивости, придонной температуре и придонному содержанию кислорода.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты расчётов условной вероятности приближённости предзаморных и заморных ситуаций для летних периодов 1989–2016 гг. по представленным выше формулам (1–3) как отдельно для каждого параметра, так и для суммы нескольких из них даны в табл. 5.

Возможности прогноза с годичной и более заблаговременностью условной вероятности предзаморных и заморных ситуаций выявились при её корреляции с легко экстраполируемым на год и более гелиофизическим по-

**Таблица 5.** Условные вероятности приближённости предзаморных и заморных ситуаций

|      | $V_{Tw}$     | $V_{Fo}$     | $V_{O_2}$     | $V_{Fo} + V_{Tw} + V_{O_2}$ | $V_{Fo} + V_{Tw}$ | $V_{Fo} + V_{O_2}$ | $V_{Tw} + V_{O_2}$ |
|------|--------------|--------------|---------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 1989 | <b>2,12</b>  | <b>4,24</b>  | <b>115,15</b> | <b>121,51</b>               | <b>6,36</b>       | <b>119,39</b>      | <b>117,27</b>      |
| 1990 | <b>0</b>     | <b>9,92</b>  | <b>14,15</b>  | <b>24,07</b>                | <b>9,92</b>       | <b>24,07</b>       | <b>14,15</b>       |
| 1991 | <b>0</b>     | <b>0</b>     | <b>20,83</b>  | <b>20,83</b>                | <b>0</b>          | <b>20,83</b>       | <b>20,83</b>       |
| 1992 | 0            | 0            | 4,33          | 4,33                        | 0                 | 4,33               | 4,33               |
| 1993 | 0            | 0            | 31,61         | 31,62                       | 0                 | 31,61              | 31,61              |
| 1994 | 0            | 0            | 48,10         | 48,10                       | 0                 | 48,10              | 48,10              |
| 1995 | 34,17        | 68,34        | 0,51          | 103,02                      | 102,51            | 68,85              | 34,68              |
| 1996 | 49,98        | 99,96        | 59,16         | 209,10                      | 149,94            | 159,12             | 109,14             |
| 1997 | 25,48        | 50,96        | 17,34         | 93,78                       | 76,44             | 68,30              | 42,82              |
| 1998 | <b>11,49</b> | <b>22,98</b> | <b>21,47</b>  | <b>55,94</b>                | <b>34,47</b>      | <b>44,45</b>       | <b>32,96</b>       |
| 1999 | <b>33,74</b> | <b>67,48</b> | <b>30,66</b>  | <b>131,88</b>               | <b>101,22</b>     | <b>98,14</b>       | <b>64,40</b>       |
| 2000 | <b>4,61</b>  | <b>9,22</b>  | <b>30,92</b>  | <b>44,75</b>                | <b>13,83</b>      | <b>40,14</b>       | <b>35,53</b>       |
| 2001 | 3,68         | 7,36         | 0,76          | 11,80                       | 11,04             | 8,12               | 4,44               |
| 2002 | 53,62        | 107,24       | 71,08         | 231,94                      | 160,86            | 178,32             | 124,7              |
| 2003 | 4,96         | 9,92         | 40,04         | 54,92                       | 14,86             | 49,96              | 45,00              |
| 2004 | 1,88         | 3,76         | 25,70         | 31,34                       | 5,64              | 29,46              | 27,58              |
| 2005 | 37,83        | 75,66        | 61,70         | 175,19                      | 113,49            | 137,36             | 99,53              |
| 2006 | 33,04        | 66,08        | 52,16         | 151,28                      | 99,12             | 118,24             | 85,20              |
| 2007 | <b>56,55</b> | <b>113,1</b> | <b>7,62</b>   | <b>177,27</b>               | <b>169,65</b>     | <b>120,72</b>      | <b>64,17</b>       |
| 2008 | <b>38,42</b> | <b>76,84</b> | <b>99,13</b>  | <b>214,39</b>               | <b>115,26</b>     | <b>175,97</b>      | <b>137,55</b>      |
| 2009 | 49,91        | 99,82        | 54,66         | 204,39                      | 149,73            | 154,48             | 104,57             |
| 2010 | 66,19        | 132,38       | 45,33         | 243,90                      | 198,57            | 177,71             | 111,52             |
| 2011 | 46,22        | 92,44        | 8,78          | 147,44                      | 138,66            | 101,22             | 55,00              |
| 2012 | 55,16        | 110,32       | 36,9          | 202,38                      | 165,48            | 147,22             | 92,06              |
| 2013 | 28,38        | 56,76        | 94,81         | 179,95                      | 85,14             | 151,57             | 123,19             |

|      | $V_{T^w}$ | $V_{Eo}$ | $V_{O2}$ | $V_{Eo} + V_{T^w} + V_{O2}$ | $V_{Eo} + V_{T^w}$ | $V_{Eo} + V_{O2}$ | $V_{T^w} + V_{O2}$ |
|------|-----------|----------|----------|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 2014 | 39,27     | 78,54    | 7,3      | 125,113                     | 117,81             | 85,84             | 46,57              |
| 2015 | 40,62     | 81,24    | 9,05     | 130,91                      | 121,86             | 90,29             | 49,67              |
| 2016 | 54,66     | 109,32   | 31,44    | 195,42                      | 163,98             | 140,76            | 86,10              |

Примечание: жирным шрифтом обозначены годы с величиной гибели рыбы более средней за наблюдаемый период лет.

**Таблица 6.** Результаты корреляции вероятности предзаморных и заморных ситуаций с солнечной активностью — числами Вольфа (W)

| Предиктант (Y)              | Предиктор (X) | Коэффициент корреляции (R) | Доверительная вероятность | Уравнение регрессии     |
|-----------------------------|---------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| $V_{Eo}$                    | W             | 0,556                      | >99%                      | $Y = -0,369W + 88,471$  |
| $V_{T^w}$                   | W             | 0,563                      | >99%                      | $Y = -0,189W + 44,453$  |
| $V_{O2}$                    | W             | 0,028                      | <95%                      | $Y = -0,013W + 38,294$  |
| $V_{Eo} + V_{T^w} + V_{O2}$ | W             | 0,499                      | >99%                      | $Y = -0,571W + 171,219$ |
| $V_{Eo} + V_{T^w}$          | W             | 0,558                      | >99%                      | $Y = -0,558W + 132,923$ |
| $V_{Eo} + V_{O2}$           | W             | 0,452                      | 95%                       | $Y = -0,382W + 126,765$ |
| $V_{T^w} + V_{O2}$          | W             | 0,339                      | <95%                      | $Y = -0,202W + 82,717$  |

казателем, таким как среднегодовой уровень солнечной активности — числа Вольфа (W), взятые на сайте Silso [Silso, 2018]. Результаты корреляции даны в табл. 6.

Как показали результаты расчётов наиболее значимая, на уровне более 99% доверительной вероятности корреляция выявилась между солнечной активностью и  $V_{Eo}$ ,  $V_{T^w}$ , суммой  $V_{Eo}$  и  $V_{T^w}$ , а также суммой  $V_{Eo}$ ,  $V_{T^w}$  и  $V_{O2}$  (за счёт первых двух характеристик).

Понятна зависимость вероятности возникновения и интенсивности заморных процессов от термического и плотностного среднемесячного состояния толщи вод. Температура и солёность в мезомасштабном (до месяца) измерении имеют в летний период относительно небольшой диапазон изменчивости, поэтому их среднемесячные значения в определённой степени отражают термохалинное состояние среды и в короткие внутримесячные периоды предзаморных и заморных явлений. Этого нельзя сказать о динамично меняющемся в течение суток и даже часов содержании кислорода, среднемесячные значения которого могут быть далеки от фактического состояния газовой среды в предзаморные и заморные периоды.

Приводимые уравнения регрессии позволяют по достаточно легко экстраполируемой на год и более солнечной активности прогнозировать уровень вероятности предзаморных и заморных процессов в летние периоды в Азовском море с годичной заблаговременностью.

На основе полученных уравнений регрессии значимых связей и прогноза среднегодовых значений чисел Вольфа для 2019–2020 гг. [Чекмарев, Игнатов, 2015] были рассчитаны и представлены условные вероятности предзаморных и заморных явлений в летние периоды в эти годы (табл. 7).

**Таблица 7.** Прогноз условной вероятности предзаморных и заморных явлений в Азовском море на летний период 2019–2020 гг.

| Год  | W    | $V_{Eo}$ | $V_{T^w}$ | $V_{(Eo+T^w)}$ |
|------|------|----------|-----------|----------------|
| 2019 | 7,9  | 85,56    | 42,96     | 128,51         |
| 2020 | 15,0 | 82,94    | 41,62     | 124,55         |

Как предполагается, условная вероятность предзаморных и заморных явлений по показателям температуры и вертикальной термохалинной устойчивости, а также по их суммарному воздействию в летний пери-

од 2019–2020 гг. (табл. 7) будет достаточно высокой — примерно в полтора (в 1,49–1,56) раза выше среднемноголетней за период 1989–2016 гг. Это предопределяет и высокую вероятность заморных явлений в ближайшие два летних сезона при условии отсутствия повышенной ветровой активности в эти летние периоды.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для летнего периода 1989–2016 гг. рассчитаны условные вероятности предзаморной и заморной ситуации, представляющие собой сумму произведений площади каждого диапазона вертикальной термохалинной устойчивости, придонной температуры и придонного содержания кислорода на условный коэффициент, соответствующий по экспертной оценке авторов степени приближённости к предзаморным и заморным ситуациям данного диапазона.

Были рассмотрены возможности прогноза (с заблаговременностью год и более) условной вероятности предзаморной и заморной ситуации на основе её корреляции с достаточно легко экстраполируемой на годы вперёд среднегодовой солнечной активностью (числами Вольфа).

Значимая на уровне более 99% доверительной вероятности корреляция среднегодовых значений солнечной активности и условной вероятности предзаморных и заморных явлений по температурным и термохалинным параметрам в летний период позволила по полученным уравнениям регрессии давать прогноз этой вероятности с заблаговременностью год и более.

Ориентировочный прогноз условной вероятности предзаморных и заморных явлений в летний период 2019–2020 гг. показал превышение её среднемноголетнего уровня примерно в полтора раза при условии отсутствия повышенной ветровой активности в эти периоды.

### ЛИТЕРАТУРА

- Боровская Р.В., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Лексикова Л.А. 2005. Связь придонной гипоксии и заморов рыбы в прибрежной части Азовского моря // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: МГИ НАНУ. № 5. С. 320–328.
- Кочергин А.Т., Брянцев В.А. 2008. Оценка вероятности возникновения предзаморных и заморных ситуаций // Мат. III Межд. конф. «Современные проблемы экологии Азово-Черноморского региона». Керчь: ЮгНИРО. С. 98–101.
- Кочергин А.Т., Жукова С.В., Малыгин Е.Ю. 2018. Межгодовая изменчивость солёности и вертикальной термохалинной устойчивости в различных районах Азовского моря в летний период 1992–2016 гг. // Системы контроля окружающей среды. Вып. 11(31). С. 63–68.
- Кочергин А.Т., Крискевич Л.В. 2010. Океанографический мониторинг заморов в Азовском море // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: НАНУ МГИ. Вып. 14. С. 222–224.
- Чекмарев А.А., Игнатов А.В. 2015. Апробация программного пакета «Стохастическое моделирование» на примере разработки моделей для прогнозирования годового числа Вольфа // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. № 1. С. 5–13.
- Silso. World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number. Accessible via: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>. 20.10.2018.

Поступила в редакцию 15.11.2018 г.  
Принята после рецензии 20.11.2018 г.

Aquatic biological resources  
Diagnosis and forecasting of habitat conditions of hydrobio

**Forecast of probability of fish pre-suffocation and  
suffocation events in the Sea of Azov**

*A.T. Kochergin<sup>1</sup>, L.V. Kriskevich<sup>1</sup>, Yu.V. Kosenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Kerch Branch of Azov Sea Research Fisheries Institute (FSBSI «AsNIIRKH»), Kerch

<sup>2</sup>Azov Sea Research Fisheries Institute (FSBSI «AsNIIRKH»), Rostov-on-Don

In the previous study, based on the data on environmental conditions, which had been collected during YugNIRO's oceanographic surveys in the western half of the Sea of Azov in the summer seasons of 1992–2006, the long-term inter-annual prognostic relationship between solar activity and certain values of near-bottom temperature and oxygen content, characterizing the possibility of an incoming pre-suffocation and suffocation event, was found out. As a follow-up to that research, the areas with various ranges of vertical thermohaline stability, near-bottom temperature and oxygen content have been calculated for the entire sea (excluding the Taganrog Bay), based on the results of the summer oceanographic surveys, carried out by AzNIIRKH in 1989–2016. For each summer season, conditional probabilities of pre-suffocation and suffocation events have been determined; they were calculated as a sum of products of areas of each parameter's ranges by the conditional coefficients, which corresponded, according to the authors' expert evaluation, to the degree of proximity of environmental conditions that could induce a fish pre-suffocation and suffocation event. Significant (with the confidence level of more than 99%) correlation of average annual values of solar activity (the Wolf number) and conditional probability of fish pre-suffocation and suffocation event by temperature and thermohaline parameters made it possible to predict this probability with one-year forecast interval. According to a provisional forecast, conditional probability of pre-suffocation and suffocation events for the summer seasons of 2019–2020 exceeds average multi-annual level by around 1.5 times.

**Keywords:** stability, temperature, oxygen, pre-suffocation and suffocation events, probability, forecast.

**REFERENCES**

- Borovskaya R.V., Panov B.N., Spiridonova E.O., Leksikova L.A.* 2005. Svyaz' pridonnoj gipoksii i zamorov ryby v pribrezhnoj chasti Azovskogo morya // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol': MGI NANU. № 5. S. 320–328.
- Kochergin A.T., Bryancev V.A.* 2008. Ocenka veroyatnosti vozniknoveniya predzamornyh i zamornyh situacij // Materialy III Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennyye problemy ehkologii Azovo-CHernomorskogo regiona». Kerch': YUgNIRO. S. 98–101.
- Kochergin A.T., Zhukova S.V., Malygin E. YU.* 2018. Mezhhodovaya izmenchivost' solenosti i vertikal'noj termohalinnoj ustojchivosti v razlichnyh rajonah Azovskogo morya v letnij period 1992–2016 gg. // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Vyp. 11(31). S. 63–68.
- Kochergin A.T., Kriskevich L.V.* 2010. Okeanograficheskij monitoring zamorov v Azovskom more // Sb. nauchn.

- trudov — Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol': NANU MGI. Vyp. 14. S. 222–224.
- Chekmarev A.A., Ignatov A.V.* 2015. Aprobaciya programnogo paketa «Stohasticheskoe modelirovanie» na primere razrabotki modelej dlya prognozirovaniya godovogo chisla Vol'fa // Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geohkologiya. № 1. S. 5–13.
- Silso.* World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number. Accessible via: <http://www.sidc.be/silso/datafiles>. 20.10.2018.

#### TABLE CAPTIONS

- Table 1.** Area (in score points), covered with the waters with certain values of vertical thermohaline stability —  $S_{E_0}$ .
- Table 2.** Area (in score points), covered with the waters with certain values of near-bottom temperature —  $S_{T_w}$ .
- Table 3.** Area (in score points), covered with the waters with certain values of near-bottom oxygen content —  $SO_2$ .
- Table 4.** Conditional coefficients of the degree of proximity of pre-suffocation and suffocation events, which correspond to certain ranges of vertical thermohaline stability ( $K_{E_0}$ ), temperature ( $K_{T_w}$ ) and oxygen content ( $KO_2$ ).
- Table 5.** Conditional probabilities of proximity of pre-suffocation and suffocation events.
- Table 6.** Results of correlation between the probability of pre-suffocation and suffocation events and solar activity — the Wolf numbers (W).
- Table 7.** Forecast of the conditional probability of pre-suffocation and suffocation events in the Sea of Azov in the summer seasons of 2019–2020.

#### FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** Layout of the stations