

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

УДК 551.506.2:551.464.621 (262.54)

**Изменчивость гидрометеорологической
ситуации при заморных явлениях в летний
период 2010–2018 гг. в Азовском море**

А. Т. Кочергин

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Керчь
E-mail: kochkerch@mail.ru

В летние сезоны 2010–2018 гг. проанализированы гидрометеорологические ситуации во время произошедших заморов и при их отсутствии в Белосарайском, Обиточном и Казантипском заливах. Рассмотрены как фоновые среднемесячные значения температуры воздуха и воды, скорости ветра, так и их среднесуточные значения до, во время и после заморного явления. Показано более определённое влияние на развитие заморов фоновых характеристик температуры воды и скорости ветра, непосредственно влияющих на развитие заморов, по сравнению с косвенным влиянием температуры воздуха. В большинстве случаев гидрометеорологическая ситуация, приводившая к замору, развивалась по классическому сценарию с ростом температуры воздуха, воды и ослаблением ветра. В северных заливах — Белосарайском и Обиточном — заморы наблюдались в первую половину летнего сезона, в южном — Казантипском — во вторую. После 2012 г. в Белосарайском заливе, в связи со значительным уменьшением вертикальной термохалинной устойчивости и соответствующим возрастанием однородности вод, существенных заморов не отмечалось при различных температурных и ветровых ситуациях. Спутниковые снимки температуры поверхности моря подтвердили типичный ход развития заморной ситуации с ростом температуры в предзаморный период, сохранением её высоких значений в южных заливах и охлаждением в северных после замора.

Ключевые слова: температура воды, температура воздуха, скорость ветра, заморы, заливы Азовского моря.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-116-127

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих исследованиях летних заморных явлений в Азовском море в 1988–2016 гг. основной акцент делался на изучение межгодовой изменчивости ситуационного мезомасштабного состояния морской среды [Боровская и др., 2005] или фоновых средне-

годовых, среднемесячных гидрометеорологических и гидрохимических характеристик [Кочергин, Крискевич, 2010; Александрова, Баскакова, 2013; Кочергин и др., 2018].

Зоны гипоксии в Азовском море в летний период чаще формируются в районе центральной котловины, перемещаясь те-

чениями в основном в северном направлении, поэтому и заморные явления чаще фиксируются в заливах северного побережья моря [Боровская и др., 2005; Бронфман, Хлебников, 1985], особенно на побережье Бердянской косы Белосарайского залива, где соединяются пресные и морские воды и возникают высокие градиенты плотности водных слоёв [Федосов, Виноградова, 1955]. До 2001 г. заморные процессы при наличии обширных зон повышенной температуры воды проявлялись в основном в северных заливах и глубоководной части моря, позже — и в заливах южного побережья Крыма [Боровская и др., 2005].

Главной причиной возникновения дефицита кислорода является активное окисление значительного количества органического вещества при повышенной вертикальной устойчивости водных масс [Александрова, Баскакова, 2013]. Основная причина снижения интенсивности заморных явлений в последнее десятилетие (с 2009 г.) — длительное уменьшение вертикальной устойчивости и стратификации вод, приведшее к улучшению аэрации водной толщи [Кочергин, 2018].

Большая часть исследований заморных процессов проведена на основе данных о характеристиках среды в периоды экспедиций, чаще не совпадавших по времени с датами заморов, а характеризующих лишь фон их проявления. Данные экспедиционных и спутниковых наблюдений по температуре воды, а также данные о содержании кислорода в зонах гипоксии и прилегающих водах (в некоторые годы) анализировались в периоды заморов с 1988 по 2001 гг. [Боровская и др., 2005].

В настоящей работе в основных заморных районах северного и южного побережий Азовского моря (Белосарайский, Обиточный и Казантипский заливы) проанализированы как фоновые среднемесячные гидрометеорологические характеристики (температура воздуха и поверхности воды, скорость приземного ветра) в летний период 2010–2018 гг., так и детализирующие развитие заморных явлений среднесуточные их

значения в дни замора, в пятидневные периоды до и после его проявления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Материалами для анализа послужили данные по температуре воздуха и поверхности воды, скорости приземного ветра в 2010–2018 гг. — среднемесячные для летних месяцев и среднесуточные в периоды замора, в пятидневные периоды до и после его фиксации. Гидрометусловия Бердянской косы Белосарайского залива характеризовались по данным Бердянска, Обиточного залива (с. Степановка и Игоревка) — по средним данным Бердянска и Геническа, Казантипского залива и с. Курортного (бухта Морской пехоты) — по данным с. Мысовое. Расположение районов показано на рис. 3–5, 7, 9–10 соответственно.

Источники данных сайты [ООО «Расписание погоды» ..., 2019] и [Республиканский центр ... 2019].

Данные о сроках заморов и величине гибели рыбы в результате их проявления предоставлены Азовской госрыбохраной (г. Бердянск).

Анализировалась также характерная температура поверхности воды Азовского моря в один из дней в период замора, до и после него по спутниковым снимкам, представленным на Морском портале Морского гидрофизического института (МГИ).

Методика исследований — пространственно-временной анализ рядов данных и карт распределения гидрометеорологических характеристик.

РАЙОН БЕРДЯНСКОЙ КОСЫ БЕЛОСАРАЙСКОГО ЗАЛИВА

Трёхдневный замор в июле 2010 г. в среднемесечном плане отличался от июльских гидрометситуаций других лет (2011–2018 гг.) максимальными температурами воздуха (26,7 °C) и воды (26,5 °C) при скорости ветра (3,3 м/с), близкой к минимальной (3,0 м/с) (рис. 1а). Таким образом, температурный и ветровой месячный фон предрасполагал к возникновению замора в данный период.

Предзаморный пятидневный период (30.06–04.07.2010 г.) сопровождался ро-

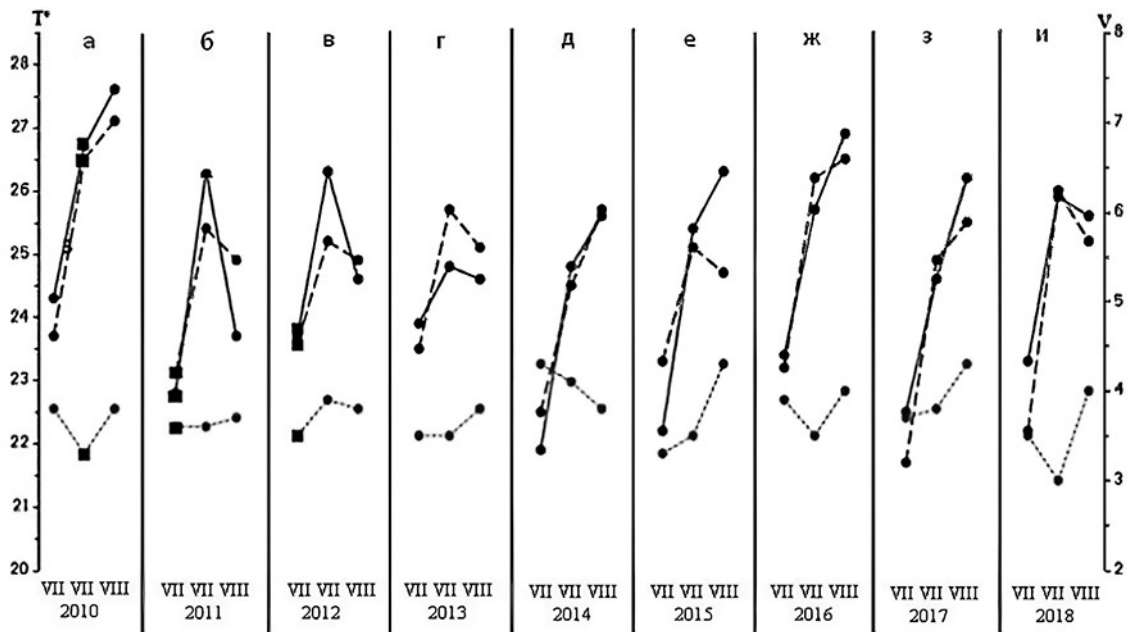


Рис. 1. Среднемесячные значения температуры ($T^{\circ}\text{C}$) воздуха и воды, скорости ветра (V) для летних месяцев 2010–2018 гг. в Бердянске
Сплошная линия — температура воздуха, пунктирная — температура воды, точечная — скорость ветра в м/с, тёмные квадраты — месяцы проявления заморов

стом среднесуточных температуры воз- 27,8 $^{\circ}\text{C}$), снижением скорости ветра (от 3,5 до духа (от 24,3 до 26,7 $^{\circ}\text{C}$) и воды (от 26,7 до 1,9–2,4 м/с) (рис. 2 а). В трёхдневный замор

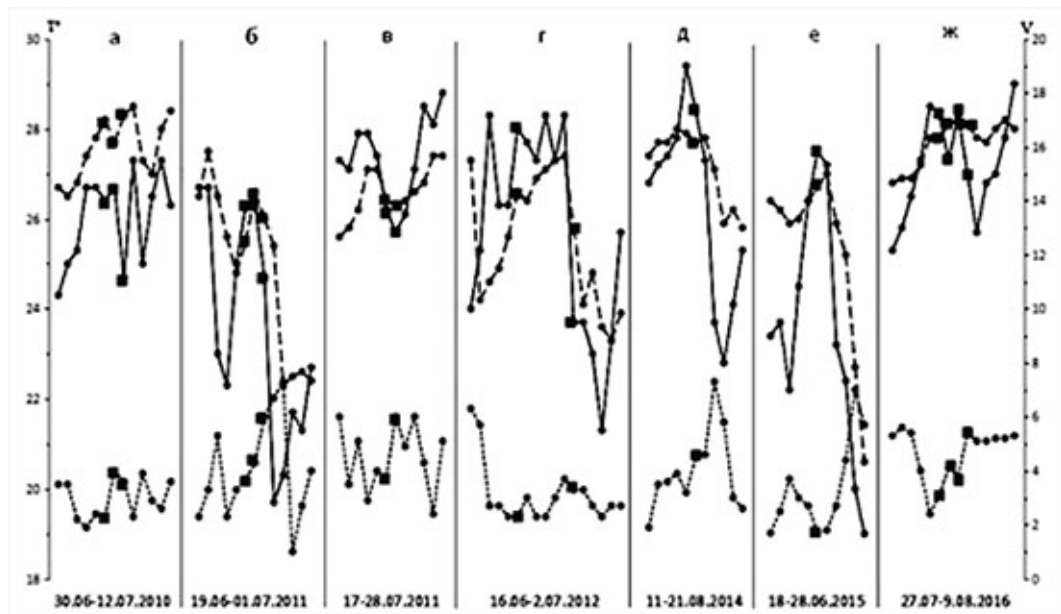


Рис. 2. Среднесуточные значения температуры ($T^{\circ}\text{C}$) воздуха и воды, скорости ветра (V) в предзаморные (5 дней), послезаморные (5 дней) и заморные дни в летние месяцы 2010–2016 гг.

Сплошная линия — температура воздуха, пунктирная — температура воды, точечная — скорость ветра в м/с, тёмные кружки и квадраты — соответственно, значения во внезаморные и заморные дни

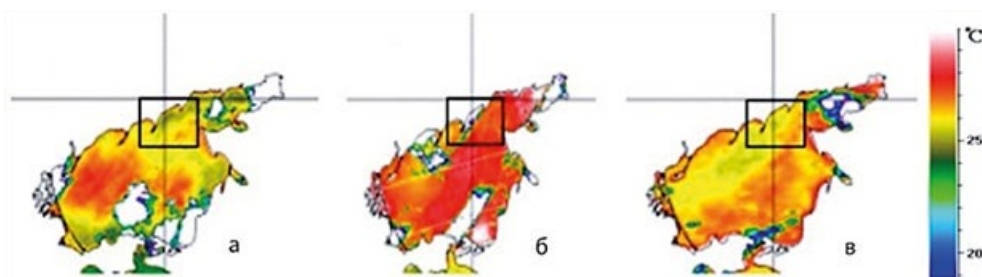


Рис. 3. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:

а — 03.07.2010 г.; б — 05.07.2010 г.; в — 10.07.2010 г.

Прямоугольником выделен район Бердянской косы, Белосарайского залива и прилегающих вод

(05.07–07.07.2010 г.) сохранялись высокие температуры воздуха (24,7–26,7 °C) и воды (27,7–28,3 °C), но скорость ветра во второй половине периода возросла до 3,6–4,0 м/с, что, очевидно, и привело к прекращению явления и незначительной гибели рыбы — около 8 т.

В постзаморный пятидневный период (08.07–12.07.2010 г.) среднесуточные температуры воздуха (25,0–27,3 °C) и воды (27,0–28,4 °C) оставались высокими, скорость ветра — переменной интенсивности (2,3–3,9 м/с).

По данным спутниковых наблюдений температура поверхности моря в районе залива повышалась от 25,0 °C в предзаморный период (03.07.2010 г.) до 27,0–27,5 °C в заморный (05.07.2010 г.) с некоторым её снижением до 25,5–26,0 °C после (10.07.2010 г.) (рис. 3). Наиболее значительный прогрев (до 28,0–29,0 °C) в период замора наблюдался южнее Белосарайского залива в районе центральной котловины, откуда, вероятно, и произошла адвекция вод с гипоксией в залив. В послезаморный период, даже после охлаждения вод в заливе, южнее в глубоководной части моря сохранялась более высокая температура поверхности моря.

Трёхдневный замор в июне 2011 г. Среднемесячные значения температуры воздуха (22,8 °C), воды (23,1 °C) и скорости ветра (3,6 м/с) (рис. 1 б) были на среднем уровне для данного месяца наблюдаемого периода лет (2010–2018 гг.), что не очень располагало к развитию заморных процессов.

За день до замора четырёхдневное (19.06–22.06.2011 г.) снижение температуры воздуха (с 26,7 до 22,3 °C) сменилось её ростом

(до 26,3 °C) в трёхдневный период его проявления (24.06–26.06.2011 г.) (рис. 2б). Аналогично и снижение температуры воды (от 26,5–27,5 до 24,8 °C) сменилось последующим ростом (до 25,5–26,6 °C) в заморные дни. В послезаморный период (27.06–01.07.2011 г.) температура воздуха и воды снизилась, соответственно, до 19,7–22,7 и 22,3–25,4 °C. В предзаморный период ветер был лёгкий и слабый (скорость 2,3–5,3 м/с), во время замора возрос от слабого до умеренного (от 3,7 до 6,0 м/с), в последующие 2 дня усиление умеренного ветра (до 6,7–7,0 м/с) наряду с охлаждением вод привело к прекращению заморной ситуации.

Аналогично ситуации в июле 2010 г. температура поверхности моря в заливе по данным спутниковых наблюдений в рассматриваемый июнь 2011 г. повышалась от 24–25 °C в предзаморный период (22.06.2011 г.) до 25,5–26,0 °C в заморный (24.06.2011 г.) с заметным её снижением до 22,5–23,5 °C после (29.06.2011 г.) (рис. 4). Значительный прогрев поверхностных вод (до 27,0–28,0 °C) в период замора наблюдался южнее Белосарайского залива в центральном и восточном районах моря, откуда и поступали, вероятнее всего, воды с придонной гипоксией.

Гибель рыбы в период замора составила около 28 т.

Повторяющиеся однодневные заморы в июне 2012 г. Среднемесячные июньские характеристики: температура воздуха (23,7 °C) была выше средней (23,1 °C) для данного месяца в наблюдаемый период лет (2010–2018 гг.), температура воды (23,6 °C) — почти на максимуме (23,7 °C), скорость ветра

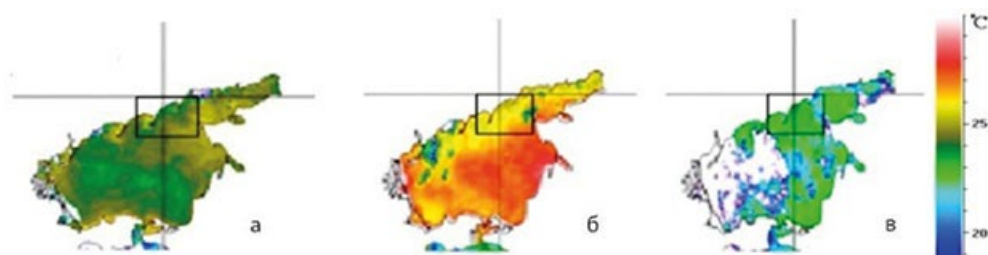


Рис. 4. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:

а — 22.06.2011 г.; б — 24.06.2011 г.; в — 29.06.2011 г.

Прямоугольником выделен район Бердянской косы, Белосарайского залива и прилегающих вод

(3,5 м/с) — ниже средней (3,7 м/с) (рис. 1 в). Таким образом, рассматриваемые фоновые гидрометусловия в данном месяце располагали к возникновению замора.

В среднесуточном плане кратковременный однодневный замор (21.06.2012 г.) возник, вероятно, в результате роста температуры воздуха, воды и уменьшения скорости ветра от начала пятидневного предзаморного периода до дня замора (соответственно, от 24,0 °C, 24,2 °C и 6,3 м/с до 28,0 °C, 26,6 °C и 2,3 м/с) (рис. 2 г). Сохранение высоких температур воздуха (27,3–28,3 °C) и воды (26,4–27,4 °C) и относительно низких скоростей ветра (2,3–3,7 м/с) в течение последующей после замора пятидневки (22.06–26.06.2012 г.) привело к повторному однодневному замору (27.06.2012 г.). Окончание замора характеризовалось охлаждением в послезаморные 4 дня температуры воздуха (до 21,3 °C) и воды (до 23,3 °C) при сохранении относительно низких скоростей ветра (2,3–3,3 м/с).

В течение длительного периода наблюдений (16.06–02.07.2012 г.) по данным дистанционного спутникового зондирова-

ния поверхностной температуры воды сохранялась общая тенденция её роста от 24,0 до 25,5 °C в предзаморный период (18.06.2019 г.), сохранения высоких значений — 26,5–27,0 °C в дни заморов и между ними (21.06–27.06.2019 г.) и охлаждения вод до 23,5–24,5 °C после (1.07.2019 г.) (рис. 5).

Масса погибшей рыбы в периоды замора — около 29 т.

После 2012 г. существенных заморов в районе не отмечалось при различных температурных и ветровых ситуациях, очевидно, в результате уменьшения в несколько раз вертикальной термохалинной устойчивости и значительного возрастания однородности вод [Кочергин и др., 2018].

РАЙОН ОБИТОЧНОГО ЗАЛИВА

Однодневный замор в июне 2015 г. В районе Обиточного залива возле сел Степановка и Игоревка замор фиксировался в июне 2015 г. Среднемесячные величины температуры воздуха (22,2 °C) и скорости ветра (3,1 м/с) в данный месяц находились на низком уровне — ниже среднеиюньского для всего

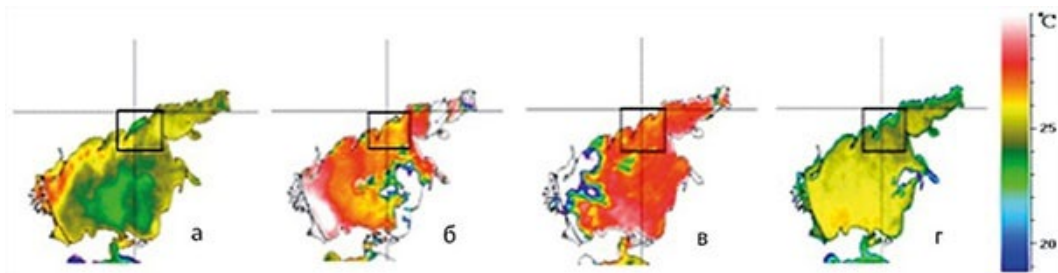


Рис. 5. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:

а — 18.06.2012 г.; б — 21.06.2012 г.; в — 26.06.2012 г.; г — 01.07.2012 г.

Прямоугольником выделен район Бердянской косы, Белосарайского залива и прилегающих вод

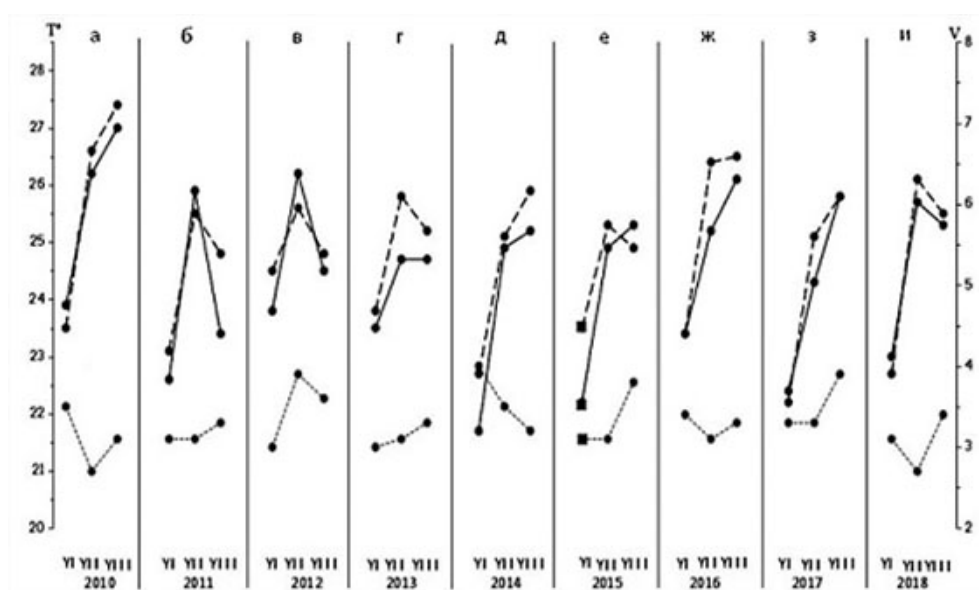


Рис. 6. Среднемесячные значения температуры (T °C) воздуха и воды, скорости ветра (V) для летних месяцев 2010–2018 гг. в районе Обиточного залива
Сплошная линия — температура воздуха, пунктирная — температура воды, точечная — скорость ветра в м/с, тёмные квадраты — месяцы проявления заморов

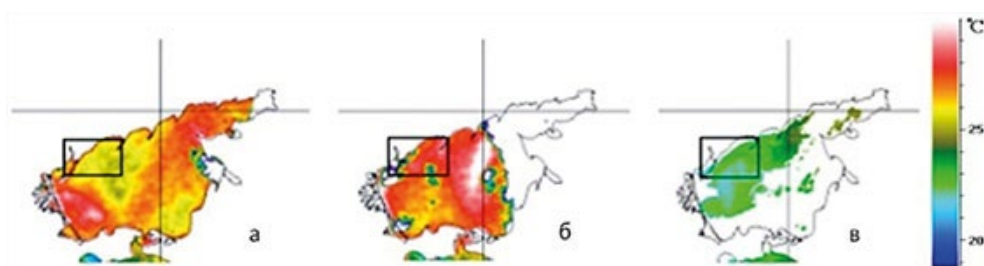


Рис. 7. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:
а — 21.06.2015 г.; б — 23.06.2015 г.; в — 30.06.2015 г.
Прямоугольником выделен район Обиточного залива и прилегающих вод

периода наблюдений (2010–2018 гг.) на $0,4$ °C и $0,2$ м/с, соответственно. Температура воды ($23,5$ °C) была выше на $0,3$ °C (рис. 6е). Т.е. температура воды и скорость ветра как факторы данного июньского гидрометеорологического фона располагали к проявлению замора, а температура воздуха — нет.

Однодневный замор 23 июня 2015 г. имел классическую схему развития гидрометеорологической ситуации: за три дня до и в день явления происходил рост температуры воздуха от $22,2$ до $27,5$ °C и воды от $25,9$ до $26,7$ °C, уменьшение скорости ветра от $3,7$ до $1,7$ м/с (рис. 2е). В послезаморную пятидневку наблюдалось значительное охлаждение воздуха до 19 °C и воды до $20,6$ °C, увеличение скорости ветра до $7,0$ м/с.

Аналогично данным натурных наблюдений температура воды поверхности моря по спутниковым снимкам возрастала от $26,0$ °C в предзаморный период (21.06.2015 г.) до $27,0$ °C в день замора. В последующие после замора дни произошло значительное понижение температуры до $22,0$ °C (30.06.2015 г.) (рис. 7).

Кратковременность замора предопределила и небольшой рыбный ущерб — около 9 т.

РАЙОН СЕВЕРНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА

Двухдневный замор в июле 2011 г. между с. Нижне-Заморское и Золотое (Казантипский залив). Среднемесячные зна-

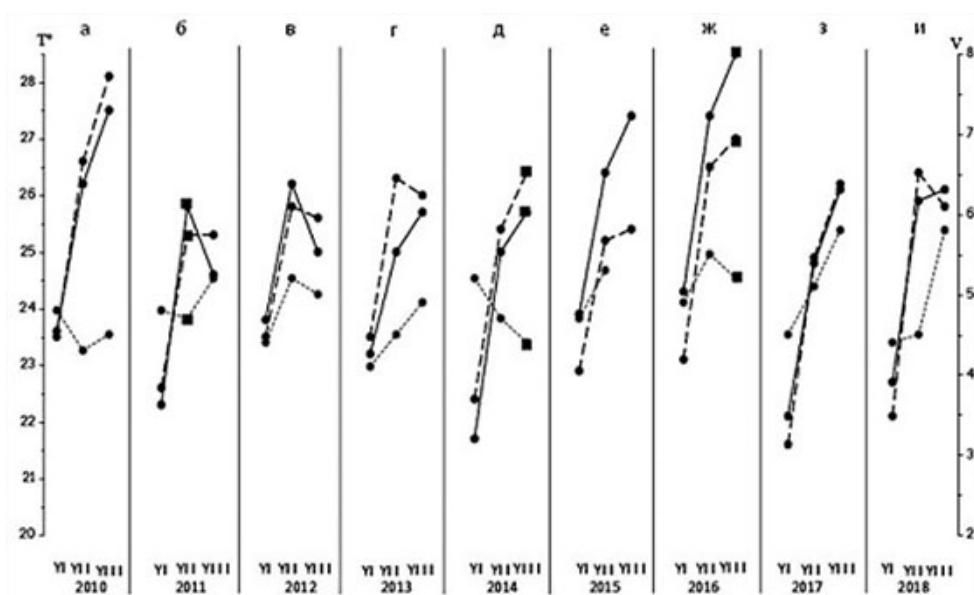


Рис. 8. Среднемесячные значения температуры (T °C) воздуха и воды, скорости ветра (V) для летних месяцев 2010–2018 гг. в с. Мысовом Казантипского залива

Сплошная линия — температура воздуха, пунктирная — температура воды, точечная — скорость ветра в м/с, тёмные квадраты — месяцы проявления заморов

чения температуры воздуха ($25,8$ °C), воды ($25,3$ °C) и скорости ветра ($4,7$ м/с) (рис. 8б) были ниже среднеиюльских для данного периода лет (2010–2018 гг.), что по температурному фону не располагало к развитию заморных процессов, в отличие от ветровой активности.

В пятидневки до (17.07–21.07.2011 г.) и после (24.07–28.07.2011 г.) замора, а также в течение 2-х дней (22.07–23.07.2011 г.) его проявления показатели температуры воздуха ($25,7$ – $28,8$ °C) и воды ($25,6$ – $27,4$ °C) находились на относительно высоком уровне при переменном характере изменчивости и положительном тренде за весь период наблюдений (рис. 2в).

Ветер наблюдался переменной интенсивности ($2,4$ – $6,0$ м/с), скорость ветра в предзаморные и заморные дни не опускалась ниже $3,5$ м/с (во 2-й день замора даже увеличилась до 6 м/с), что наряду с относительно невысоким среднемесячным тепловым фоном (температура воды и воздуха) привело к незначительной гибели рыб — около 2 т.

Дистанционное спутниковое определение температуры поверхности воды в июле 2011 г. также показало тенденцию роста температуры поверхности воды от $25,5$ °C в предзаморный период (17.06.2011 г.) до $27,0$ °C в заморный (23.06.2011 г.) и до $27,5$ °C после (28.06.2011 г.) (рис. 9).

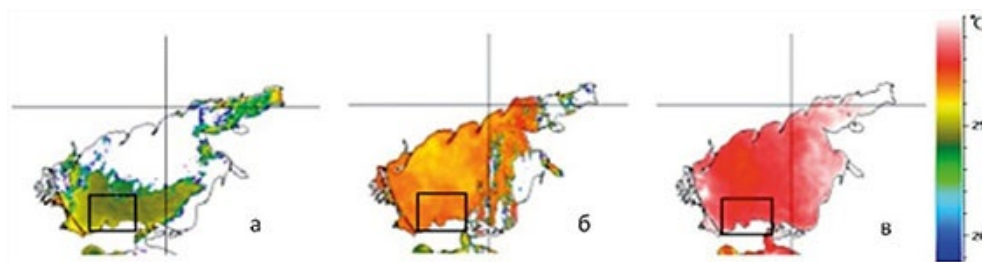


Рис. 9. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:

а — 17.07.2011 г.; б — 23.07.2011 г.; в — 28.07.2011 г.

Прямоугольником выделен район Казантипского залива и прилегающих вод

Замор в августе 2014 г. у с. Курортное (бухта Морской пехоты) характеризовался среднемесячными значениями температуры воздуха (25,7 °C) и скорости ветра (4,4 м/с) ниже, соответственно, на 0,6 °C и 0,2 м/с, а температуры воды (26,4 °C) на 0,2 °C выше среднемесячных значений для данного периода лет (2010–2018 гг.) (рис. 8д). Таким образом, среднемесячная температура воды и ветровая ситуация как фон предрасполагали к замору в этом месяце, длившемуся 1 сутки и нанёсшему ущерб придонным рыбам в размере около 30 т.

Замор 16.08.2014 г. произошёл после пятидневного увеличения температуры воздуха (с 26,8 до 27,8–29,4 °C) и воды (с 27,4 до 27,7–28,0 °C), скорость ветра в эти дни сохранялась на невысоком уровне (1,9–3,9 м/с) (рис. 2д). В пятидневный послезаморный период наблюдался обратный процесс — снижение температуры воздуха (до 22,8 °C) и воды (до 25,8 °C), усиление ветра (до 5,8–7,3 м/с) и окончание замора.

По спутниковым снимкам поверхностной температуры воды отмечались её высокие значения (27,5–28,0 °C) как в предзаморный период (12.08.2014 г.), так и в день замора (16.08.2014 г.) (рис. 10). Прекращение заморной ситуации характеризовалось охлаждением воды (до 25,5–26,0 °C), см. снимок от 20.08.2014 г. (рис. 10в).

Замор в августе 2016 г. в прибрежной акватории между г. Щелкино (мыс Казантип) и с. Золотое (Казантипский залив). Среднемесячная температура в этом месяце достигала максимальных значений для воздуха (28,5 °C) и повышенных для воды (27,0 °C)

(рис. 8 ж), что выше среднеавгустовской температуры в рассматриваемый период лет (2010–2018 гг.), соответственно, на 2,2 и 0,8 °C. Среднемесячная скорость ветра (5,2 м/с) была также выше средней на 0,5 м/с. Температурный месячный фон в августе 2016 г. способствовал развитию замора, ветровая ситуация — нет.

В пятидневный предзаморный период (27.07–31.07.2016 г.) шло повышение температуры воздуха (с 25,3 до 28,5 °C) и воды (с 26,8 до 27,8 °C), снижение скорости ветра (с 5,3–5,6 до 2,4 м/с). В четырёхдневный замор (01.08–4.08.2016 г.), как и в последующие пять дней (05.08–9.08.2016 г.) температура воздуха и воды оставалась на высоком уровне — 25,7–29,0 °C и 27,7–28,2 °C, соответственно (рис. 2 ж). Скорость ветра, остававшаяся в первые три дня замора в пределах 3,1–4,1 м/с, в последний его день и в последующие пять дней возросла до 5,1–5,4 м/с, что, очевидно, и привело к прекращению замора.

Данные спутникового зондирования температуры поверхности моря подтвердили тенденцию её роста в наблюдаемый период от 26,5 °C в предзаморный период (27.07.2016 г.) до 28,0 °C в заморный (03.08.2016 г.) и послезаморный (08.08.2016 г.) (рис. 11).

Четырёхдневная длительность замора, высокая температура воды и воздуха в августе 2016 г. обусловили повышенную, относительно других рассмотренных случаев, величину гибели рыбы — до 40 т.

Как видно из сроков заморных явлений в летние сезоны 2010–2016 гг., в северных заливах они проходили в первую половину

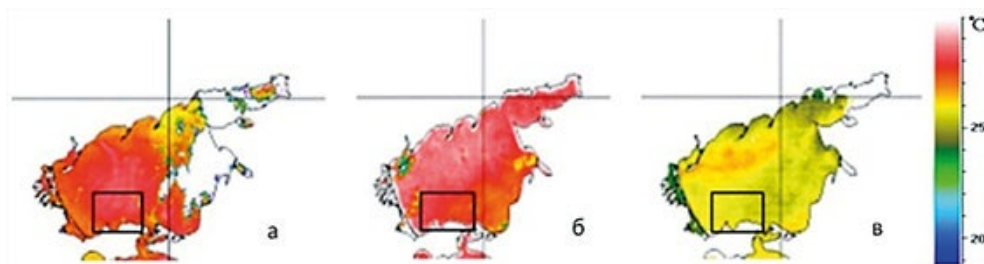


Рис. 10. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:

а — 12.08.2014 г.; б — 16.08.2014 г.; в — 20.08.2014 г.

Прямоугольником выделен район Казантипского залива, бухты Морской пехоты и прилегающих вод

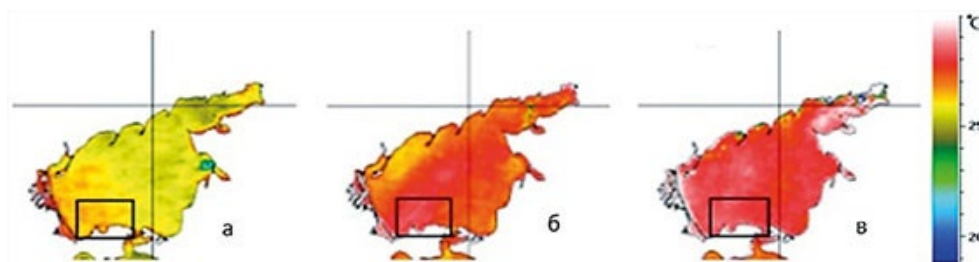


Рис. 11. Температура поверхности моря по снимкам ИСЗ:

а — 27.07.2016 г.; б — 03.08.2016 г.; в — 08.08.2016 г.

Прямоугольником выделен район Казантипского залива и прилегающих вод

сезона (июнь — начало июля), когда здесь значительна адвекция распреснённых паводком вод Таганрогского залива и, естественно, повышена стратификация водной толщи. В южных заливах заморные явления наблюдались во второй половине лета при высокой температуре воды и окислении большого количества органики в придонных слоях. Аналогичная ситуация была характерна и для более раннего периода, с 2002 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из рассмотренных девяти случаев развития гидрометеорологической ситуации в летние месяцы 2010–2018 гг. на северном и южном побережьях Азовского моря среднемесячный фон температуры воздуха располагал к возникновению замора в трёх случаях, температуры воды и скорости ветра — в пяти случаях, что естественно, поскольку влияние на стратификацию и возникновение придонной гипоксии первого параметра косвенное, а двух последних — непосредственное.

В пяти случаях наблюдалась классическая картина развития заморной ситуации с ростом температуры воздуха и воды, ослаблением ветра в предзаморный период.

В июле 2011 г. в Казантипском заливе слабый замор развился при нерасполагающем температурном фоне, переменном характере изменчивости гидрометеорологических характеристик и усилении ветра в период замора, что отразилось на минимальном за весь период наблюдений рыбном ущербе.

Заморы летних сезонов 2010–2016 гг. в северных заливах проходили в первой половине летнего сезона (июнь — начало июля),

когда здесь значительны адвекция распреснённых паводком вод Таганрогского залива и стратификация, в южных — во второй половине при высокой температуре воды и окислении большого количества органики в придонных слоях.

В Белосарайском заливе после 2012 г. существенных заморов не отмечалось при различных температурных и ветровых ситуациях. Очевидно, это произошло в результате уменьшения в несколько раз вертикальной термохалинной устойчивости и значительного возрастания однородности вод.

Спутниковые снимки температуры поверхности моря подтвердили типичный ход развития заморной ситуации с ростом температуры в предзаморный период, сохранением её высоких значений в южных заливах или охлаждением в северных после замора.

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова З.В., Баскакова Т.Е. 2013. Гипоксия и её некоторые экологические последствия в Азовском море // Вопросы рыболовства. Т. 14. № 4 (56). С. 599–616.
- 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. С. 320–328.
- Бронфман А.М., Хлебников Е.П. 1985. Азовское море. Основы реконструкции. Л.: Гидрометиздат. С. 107–123.
- Кочергин А.Т. 2018. Влияние межгодовой изменчивости характеристик на гибель гидробионтов при заморных явлениях в Белосарайском заливе Азовского моря в летний период 1989–2016 гг. // Системы контроля окружающей среды. Вып. 14(34). С. 133–137.
- Кочергин А.Т., Жукова С.В., Малыгин Е.Ю. 2018. Межгодовая изменчивость солености и верти-

- кальной 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. Вып. 14. С. 222–224.
- Кочергин А.Т., Крискевич Л.В., Боровская Р.В. 2015. Гидрометеорологические условия и их влияние на возникновение заморных явлений в Азовском море в летний период // Труды ЮгНИРО. Т. 53. С. 29–33.
- ООО «Расписание погоды» Санкт-Петербург — информация о фактической погоде с сервера данных международного обмена от NOAA — США. Доступно через: <https://rp5.ru>. 20.03.2019.
- Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды — «БелГидромет». Доступно через: <https://pogoda.by/gidro>. 20.03.2019.
- Федосов М.В., Виноградова Е.Г. 1955. Гидрологические и гидрохимические режимы, первичная кормность Азовского моря и прогноз их изменчивости // Труды ВНИРО. Т. 31. Вып. 1. С. 9–34.

Поступила в редакцию 08.04.2019 г.
Принята после рецензии 06.05.2019 г.

Habitat of aquatic biological resources

Diagnosis and forecasting
of habitat conditions of hydrobionts**Variability of hydrometeorological situation during fish kill
events in the summer seasons of 2010–2018 in the Sea of Azov**

A. T. Kochergin

Kerch Department of the Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Kerch, Russia

Hydrometeorological situations during the fish kill events that took place in the Belosaray, Obotochny and Kazantip Bays in the summer seasons of 2010–2018 have been analyzed. Average monthly background water and air temperatures and wind velocity are considered, as well as their average daily values before, during and after a fish kill event. It is shown that background characteristics of water temperature and wind velocity influenced the development of a fish kill event more directly and definitely than air temperature, which influence was only indirect. In the majority of cases, hydrometeorological situation, leading to fish kill event, developed according to the typical pattern with increasing air and water temperature and decreasing wind activity. In the northern bays, the Belosaray and Obotochny Bays, fish kill events were recorded during the first half of summer season, and in the southern bay, the Kazantip Bay, they occurred in the second half of it. Since 2012, due to significant decrease in vertical thermohaline stability and increase in water homogeneity, no significant fish kill events were recorded under various temperature and wind conditions. Satellite imaging of sea surface temperature confirmed typical course of fish kill event development: the temperature increased in the pre-event period and then, after the event, stayed high in the southern bays and decreased in the northern ones.

Keywords: air and water temperature, wind velocity, fish kill events, bays of the Sea of Azov.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-116-127

REFERENCES

- Aleksandrova Z. V., Baskakova T. E. 2013. Gipoksiya i ee nekotorye ehkologicheskie posledstviya v Azovskom more [Hypoxia and its ecological consequences in the Sea of Azov] // Voprosy rybolovstva. T. 14. № 4 (56). S. 599–616.
- Borovskaya R. V., Panov B. N., Spiridonova E. O., Leksikova L. A. 2005. Svyaz' pridonnoj gipoksii i zamorov ryby v pribrezhnoj chasti Azovskogo morya [Relation of near-bottom hypoxia to the fish kill events in the coastal part of the Sea of Azov] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Sevastopol: MGI NANU. S. 320–328.
- Bronfman A. M., Hlebnikov E. P. 1985. Azovskoe more. Osnovy rekonstrukcii [The Sea of Azov: Basis for Reconstruction]. L.: Gidrometizdat. S. 107–123.
- Kochergin A. T. 2018. Vliyanie mezhgodovoy izmenchivosti harakteristik na gibel' gidrobiontov pri zamornyh yavleniyah v Belosarajskom zalive Azovskogo morya v letnij period 1989–2016 gg. [The influence of the inter-annual variability of hydrometeorological parameters on the death of hydrobionts during fish kill events in the Belosaray Bay of the Sea of Azov in the summer seasons of 1989–2016] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Vyp. 14 (34). S. 133–137.
- Kochergin A. T., Zhukova S. V., Malygin E. Yu. 2018. Mezhdodovaya izmenchivost' solenosti i vertikal'noj termohalinnoj ustojchivosti v v razlichnyh rajonah Azovskogo morya v letnij period 1992–2016 gg. [Inter-annual variability of salinity and vertical thermohaline stability in the different areas of the Sea of Azov in summer season of 1992–2016] // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. Vyp. 1 (31). S. 63–68.
- Kochergin A. T., Kriskevich L. V. 2010. Okeanograficheskij monitoring zamorov v Azovskom more [Oceanographic monitoring of fish kill events in the

- Sea of Azov] // *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*. Vyp.14. S. 222–224.
- Kochergin A. T., Kriskevich L. V., Borovskaya R. V. 2015. *Gidrometeorologicheskie usloviya i ih vliyanie na vozniknovenie zamornyh yavlenij v Azovskom more v letnij period* [Hydrometeorological conditions and their impact on the occurrence probability of fish kill phenomena in the Azov Sea during the summer season of 2013] // *Trudy YugNIRO*. T. 53. S. 29–33.
- ООО «*Raspisanie pogody*» Sankt-Peterburg — informaciya o fakticheskoj pogode s servera dannyh mezhdunarodnogo obmena ot NOAA — SSHA. Accessible via: <https://rp5.ru/>; 20.03.2019.
- Respublikanskij centr po gidrometeorologii, kontrolyu radioaktivnogo zagryazneniya i monitoringu okruzhayushchej sredy — «BelGidromet». Accessible via: <https://pogoda.by/gidro/>; 20.03.2019.
- Fedosov M. V., Vinogradova E. G. 1955. *Gidrologicheskie i gidrohimicheskie rezhimy, pervichnaya kormnost' Azovskogo morya i prognoz ih izmenchivosti* [Hydrological and hydrochemical regimes, primary food capacity of the Sea of Azov, and the forecast of their variability] // *Trudy VNIRO*. T. 31. Vyp. 1. S. 9–34.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** Average monthly air and water temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and wind velocity (V) values for the summer months of 2010–2018 in Berdyansk (full line — air temperature, dash line — water temperature, dot line — wind velocity in m/s, dark squares — months of fish kill event occurrence)
- Fig. 2.** Average daily values of air and water temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and wind velocity (V) in the pre-fish kill event (5 days), post-event (5 days) and fish kill events days in the summer months of 2010–2016 (full line — air temperature, dash line — water temperature, dot line — wind velocity in m/s, dark circles and squares — respectively, values in non-event and event days)
- Fig. 3.** Sea surface temperature, based on ESV images: 03.07.2010 — a, 05.07.2010 — b, 20.07.2010 — c (rectangular box marks the area of the Berdyansk Spit, the Belosaray Bay and adjacent waters)
- Fig. 4.** Sea surface temperature, based on ESV images: 22.06.2011 — a, 24.06.2011 — b, 29.06.2011 — c (rectangular box marks the area of the Berdyansk Spit, the Belosaray Bay and adjacent waters)
- Fig. 5.** Sea surface temperature, based on ESV images: 18.06.2012 — a, 21.06.2012 — b, 26.06.2012 — c, 01.07.2012 — e (rectangular box marks the area of the Berdyansk Spit, the Belosaray Bay and adjacent waters)
- Fig. 6.** Average monthly air and water temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and wind velocity (V) values for the summer months of 2010–2018 in the Obitochny Bay area (full line — air temperature, dash line — water temperature, dot line — wind velocity in m/s, dark squares — months of fish kill event occurrence)
- Fig. 7.** Sea surface temperature, based on ESV images: 21.06.2015 — a, 23.06.2015 — b, 30.06.2015 — c (rectangular box marks the area of the Obitochny Bay and adjacent waters)
- Fig. 8.** Average monthly air and water temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and wind velocity (V) values for the summer months of 2010–2018 in Mysovoe (Cap) village in the Kazantip Bay area (full line — air temperature, dash line — water temperature, dot line — wind velocity in m/s, dark squares — months of fish kill event occurrence)
- Fig. 9.** Sea surface temperature, based on ESV images: 17.07.2011 — a, 23.07.2011 — b, 28.07.2011 — c (rectangular box marks the area of the Kazantip Bay and adjacent waters)
- Fig. 10.** Sea surface temperature, based on ESV images: 12.08.2014 — a, 16.08.2014 — b, 20.08.2014 — c (rectangular box marks the area of the Kazantip Bay, the Morskoy Pekhoty (Naval Infantry) Bay and adjacent waters)
- Fig. 11.** Sea surface temperature, based on ESV images: 27.07.2016 — a, 03.08.2016 — b, 08.08.2016 — c (rectangular box marks the area of the Kazantip Bay and adjacent waters)