

УДК 639.4(262.5)

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ
СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ
МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ В РАЙОНЕ СЕВАСТОПОЛЯ**

Троценко О. А., Субботин А. А., Еремин И. Ю.

*ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН»,
г. Севастополь, Российская Федерация
E-mail: oleg_tr59@mail.ru*

По данным ежемесячных наблюдений с 2000 по 2018 гг. изучены особенности межгодовой и сезонной изменчивости термохалинной структуры вод в районе расположения мидийно-устричной фермы в прибрежной зоне Севастополя. Установлено, что диапазоны измеренных значений температуры и солености, как основных лимитирующих факторов среды, не выходят за пределы толерантности при выращивании двустворчатых моллюсков.

Ключевые слова: термохалинная структура, верхний квазиоднородный слой, сезонный термоклин, двустворчатые моллюски.

ВВЕДЕНИЕ

При организации промышленной марикультуры двустворчатых моллюсков, в первую очередь, необходимо учитывать физико-географические особенности акватории, предполагаемые для размещения марихозяйств. С другой стороны, выбор объекта культивирования должен базироваться на целом комплексе знаний об абиотических и биотических характеристиках среды, а также о степени их толерантности к региональной изменчивости экологических факторов.

Коммерческая целесообразность предполагает получение максимального объема качественной продукции с минимальными производственными потерями за естественный цикл культивирования. При этом определяющим показателем эффективности выращивания моллюсков становится динамика их размерно-весовых характеристик до достижения ими «товарных» размеров. На практике именно скорость ростовых процессов на фоне изменяющихся характеристик среды является превалирующей при выборе района и объекта культивирования.

Среди множества факторов, в различной степени влияющих на процесс роста моллюсков, необходимо выделить основные (лимитирующие), границы диапазонов колебаний которых в конкретных естественных условиях могут приближаться или превышать пределы толерантности [1]. Для прибрежной зоны Крыма было установлено, что с учетом наибольших диапазонов пространственной, межгодовой и сезонной изменчивости, основными лимитирующими факторами для мидий и устриц являются температурный режим и солёность морской воды [2, 3, 4].

Многообразие особенностей биологии культивируемых моллюсков при различных температурных условиях среды анализируется в работах [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Температура воды оказывает существенное влияние на весь жизненный цикл моллюсков, включая этапы размножения, развития и скорости роста. В значительной степени температура влияет на обмен веществ моллюсков и

интенсивность их питания. В частности, если при высоких температурах преобладают углеводный и белковый типы обмена, то при низких происходит усиление жирового обмена. Дыхательная активность моллюсков также зависит от температуры - с понижением или аномально высоким повышением температуры их активность падает вплоть до летального исхода.

Соленость является другим важным фактором, определяющим жизнедеятельность двустворчатых моллюсков. Солевой состав вод влияет на интенсивность энергетического обмена у моллюсков, на их рост и выживаемость. Основным механизмом воздействия солёности является осмотическое давление. Двустворчатые моллюски не обладают способностями его регулировать. Поэтому осмотическое давление их крови близко к давлению морской воды. Отклонение солёности от нормы (тем более, резкий перепад солёности в результате смены водных масс) приводит к нарушению осмотического давления с внешней средой, к угнетению дыхания и, как следствие, к гибели моллюсков [3, 5]. Толерантность к понижению солёности может различаться на разных стадиях жизненного цикла. Ранние стадии развития (икра и личинки) более чувствительны к понижению солёности, чем взрослые особи.

В отличие от других районов Крыма, где марикультура двустворчатых моллюсков получила развитие ещё в 70-х – 80-х гг. прошлого столетия (Судакско-Карадагское взморье, б.Ласпи, Каламитский залив и др.), прибрежная зона Севастополя длительное время не воспринималась перспективной для такого рода хозяйственной деятельности. Основными причинами этого являлись закрытость района, активное прибрежное судоходство, высокая антропогенная нагрузка со стороны загрязнённых в различной степени бухт и рекреационная деятельность в местах массового отдыха. Лишь с середины 90-х годов, в связи с тенденцией улучшения качества прибрежных вод, возник интерес к использованию Севастопольского взморья для развития морских биотехнологий и, прежде всего, марикультуры [8]. При этом фермы по выращиванию моллюсков стали рассматриваться не только как предприятия для получения ценной пищевой продукции и сырья для фармакологии. Тезис - «улучшение качества среды в процессе производства продукции» стал ключевым при массовом выращивании моллюсков-фильтраторов и их использовании в процессе биомелиорации среды [3].

Основная цель данной работы – дать характеристику многолетней и внутригодовой изменчивости температуры и солёности на акватории мидийно-устричной фермы в прибрежной зоне Севастополя, а также оценить соответствие измеренных значений пределам толерантности для выращиваемых моллюсков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2000 г. в районе внешнего рейда Севастополя (между Севастопольской и Карантинной бухтами) было создано экспериментальное мидийное хозяйство. Первоначально ферма имела площадь около 1,5 га и располагалась над глубинами от 10 до 16 м. Выращивание мидий *M. galloprovincialis* осуществлялось подвесным методом в толще вод до 6-8 м. В настоящее время площадь фермы составляет около

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ...

5 га, а количество объектов культивирования увеличилось за счёт устриц *S. gigas*. Процесс культивирования поддерживается за счёт использования возможностей устричного питомника по получению и выращиванию спата [4].

Гидрологические исследования в районе фермы начались ещё в 90-е гг. прошлого века, однако регулярные ежемесячные съёмки стали проводиться здесь с 2000 г. За период с 2000 по 2018 гг. было выполнено около 130 съёмок, приуроченных, как правило, к середине каждого календарного месяца. Гидрофизические параметры измерялись с помощью STD-зонда «Катран-04» от поверхности до дна. Первоначальные исследования охватывали обширную акваторию взморья с целью выявить антропогенную составляющую гидрохимического режима прибрежных вод. А с 2011 г. количество станций варьировало в зависимости от сезона с обязательным выполнением работ на ст. 7 (контрольная станция) и 8 («ферма») с глубинами 42 и 16 м соответственно (рис. 1)



Рис. 1. Расположение станций наблюдений на взморье Севастополя (ст. 8 – мидийно-устричная ферма, ст. 7 – контрольная).

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В качестве основных характеристик термохалинной структуры вод на акватории фермы выбраны температура и солёность на поверхности и горизонтах 5, 10 и 15 м, толщина верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), глубина залегания слоя максимальных вертикальных градиентов температуры – ядра сезонного термоклина (СТ). Эти параметры в значительной степени определяют гидрологический режим в рабочем слое фермы, в котором располагаются мидийные коллектора или садки с устрицами. При рассмотрении динамики ВКС и ядра СТ использовались данные по ст. 7, позволяющие объективно рассмотреть особенности изменчивости вертикальной стратификации.

В табл.1 представлены среднемноголетние за период наблюдений на ферме значения ежемесячных температур на поверхности моря (T_0), их экстремумы и годы регистрации этих значений. Для сравнения приводятся среднемноголетние данные

по изменчивости T_0 в прибрежной зоне Севастополя за предшествующий период [9].

Таблица 1.

Среднегодовое значения температуры и экстремумы в поверхностном слое за разные периоды наблюдений

Месяц	Температура °С					
	Взморье*	Сред.	Max	Год	Min	Год
Январь	7,64	8,61	10,00	2016	7,09	2009
Февраль	6,81	7,67	9,24	2012	6,00	2006
Март	7,40	8,42	9,80	2016	7,40	2011, 12
Апрель	12,33	10,47	12,60	2018	8,66	2002
Май	15,01	15,88	20,20	2018	12,71	2005
Июнь	18,96	21,81	24,45	2010	19,01	2001
Июль	21,68	24,62	26,60	2002	21,87	2015
Август	23,34	25,37	28,96	2010	22,60	2002
Сентябрь	20,12	22,16	25,40	2017	15,70	2006
Октябрь	16,68	18,25	20,20	2018	16,50	2013
Ноябрь	11,76	14,06	16,62	2008	11,15	2011
Декабрь	10,43	10,77	12,43	2006	8,34	2004

*Севастопольское взморье 1926-2000 гг

Биологические ритмы (или сезоны) двусторчатых моллюсков в значительной степени определяются параметрами гидрологических сезонов – временными интервалами с относительно стабильными значениями температуры морской воды и временными градиентами, как правило, менее 3°С/мес. и временными интервалами со значительными перепадами температуры более 3°С/мес. По данным табл.1 для района расположения фермы к первым относятся основные гидрологические сезоны: летний – с максимальным прогревом верхнего слоя моря (июнь-август) и зимний – с минимальными для годового цикла значениями температуры (январь-март). Ко вторым – переходные: весенний (апрель-май) и осенний (сентябрь-декабрь) гидрологические сезоны. Следует отметить, что в отдельные годы временные диапазоны сезонов варьируют, как в сторону уменьшения, так и увеличения. К примеру, в 2008, 2013 и 2017 гг. летний гидрологический сезон продолжался с июня по сентябрь включительно, а в 2018 г. он начался в середине мая и закончился в конце сентября.

Ход внутригодовой изменчивости температуры воды на выделенных горизонтах для ст. 8 представлен на рис. 2. В период с января по март во всей толще вод отмечаются минимальные среднегодовое значения температуры – около 8°С. При этом экстремальные значения находятся в диапазоне 6-10°С. Наиболее низкое зарегистрированное значение поверхностной температуры 6,0°С наблюдалось в феврале 2006 г., а наименьшая межгодовая изменчивость экстремумов менее 3°С характерна для марта.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ...

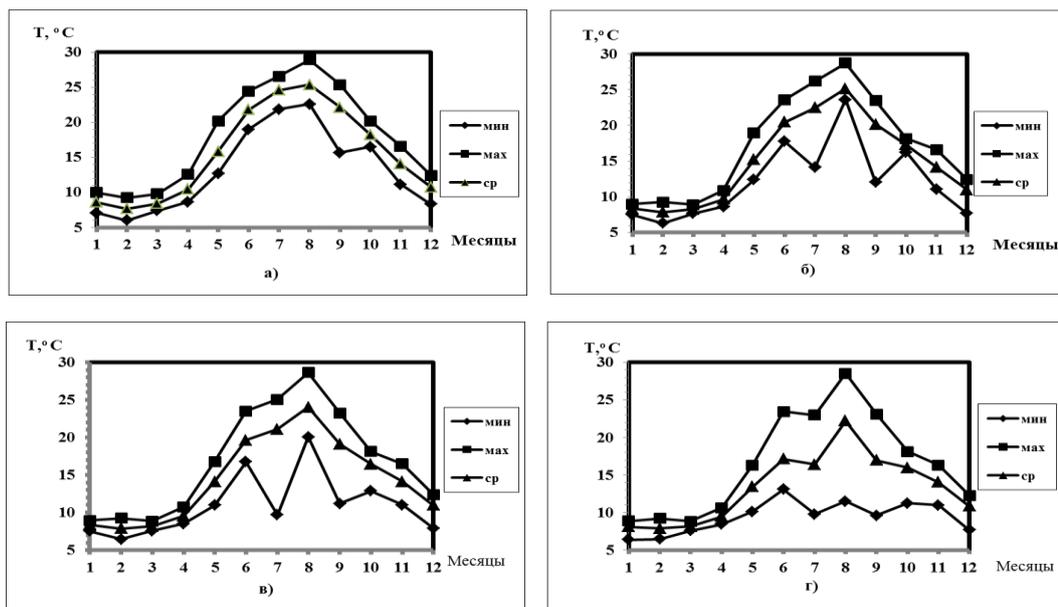


Рис. 2. Изменчивость температуры на горизонтах: а) 0 м, б) 5 м, в) 10 м, г) 15 м.

Активный прогрев вод на акватории фермы начинается в апреле с 10-11°C и продолжается до июня, когда T_0 повышается до 21-22°C, а максимальные значения превышают 24°C. Наиболее высокие среднемесячные и экстремальные значения наблюдаются в августе от поверхности моря до горизонта 10 м., достигая 26-29°C. Максимальное измеренное значение температуры отмечено в августе 2010 г., характеризующимся, как год с экстремальным прогревом поверхностных вод за весь период наблюдений [10].

В сентябре отмечается резкое падение температуры во всей толще вод. Это связано как с изменением знака теплоотдачи на поверхности моря, так и с усилением ветроволнового перемешивания. Процесс интенсивного выхолаживания продолжается до декабря, когда значения среднесезонной температуры во всем слое вод на ферме выравниваются и приближаются к 10°C. Одновременно, уменьшается диапазон изменчивости экстремальных значений температур.

Общий ход повышения температуры в летний период нарушается в июле, охватывая горизонты от 5 до 15 м. Подобная ситуация характерна для проявления «скрытого» апвеллинга и наблюдалась в июле 2003 г., когда СТ приподнимался к поверхности, деформировался, но не выходил на поверхность. На рис. 2 б, в, г апвеллинг проявился в уменьшении абсолютных минимальных значений температуры на 5-8°C. На фоне выхолаживания верхнего слоя моря проявление апвеллинга, зарегистрированного в сентябре 2006 г. отличается от июльского 2003 г. тем, что он охватил все горизонты от поверхности до дна и привёл к понижению минимальных температур на 5-10°C.

Вертикальная термохалинная структура типична для прибрежных районов моря, не подверженных значительному влиянию речного стока [11]. В апреле

начинается активный прогрев верхнего слоя моря, а в мае уже образуется ВКС летнего типа с толщиной до 3-5 м (рис. 3а). Межгодовые отличия в сроках начала и интенсивности прогрева поверхности моря приводят к варьированию толщины ВКС от 0 до 16 м.

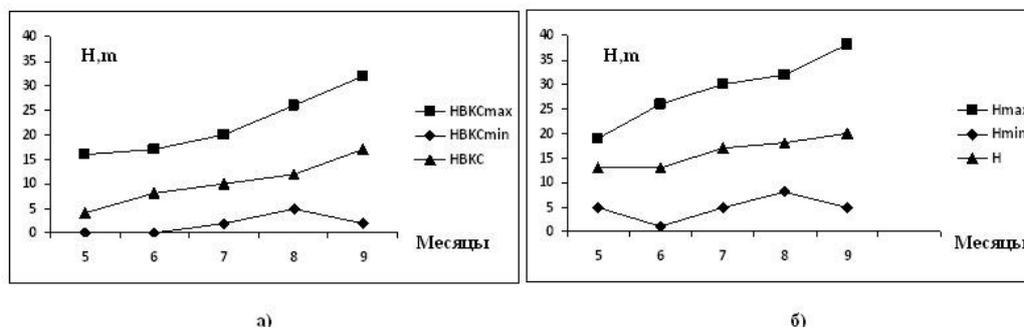


Рис. 3. Изменчивость а) нижней границы ВКС, б) глубины ядра СТ.

В июне средняя толщина ВКС составляет 8 м, а максимальная достигает 16 м. Развитие ВКС летнего типа продолжается до сентября. В августе его среднее многолетнее значение увеличивается до 10 м. Максимальный диапазон изменчивости толщины ВКС также наблюдается в августе, когда его нижняя граница может опускаться до 25 м.

Ядро СТ начинает проявляться на вертикальных профилях температуры с мая-июня и, как правило, располагается ниже границы ВКС на 4-9 м (рис. 3б). Так, в июне ядро СТ находится, в среднем, на горизонте 12 м, а в сентябре заглубляется до 18 м. Средние значения вертикальных градиентов в устойчивом СТ колеблются в пределах 1-3°C/м, а при апвеллингах в результате сжатия СТ могут увеличиваться до 4-5°C/м.

В прибрежной зоне Севастополя межгодовые и сезонные колебания солёности зависят от взаимодействия прибрежных вод с водами открытого моря и стока рек Чёрная (через Севастопольскую бухту), Бельбек и Кача. Каждая из этих рек имеет среднегодовой объём стока от 35 до 61 млн. м³ с максимальным расходом в апреле-мае [12, 13]. Однако, воды р. Бельбек и Кача большую часть года полностью трансформируются в узкой приустьевой зоне [14], а воды р. Чёрной зарегулированы водохранилищем и в значительной степени трансформируются в пределах Севастопольской бухты [15, 16].

Анализ внутригодового хода среднее многолетних величин поверхностной солёности (S_0) показал, что характер её сезонной изменчивости менее выражен, чем годовой ход температуры (табл. 2). Максимальные значения $S_0 > 17,8\%$ отмечаются в осенне-зимний период с ноября по март. Максимум S_0 связан с интенсификацией вертикального конвективного перемешивания при выхолаживании шельфовых вод, деформацией холодного промежуточного слоя (ХПС) и подъёмом солёных промежуточных вод в верхние слои моря. Другой причиной осолонения поверхностных вод на Севастопольском взморье может являться вторжение вод

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ...

открытого моря на шельф вследствие активизации основного черноморского течения (ОЧТ). В тёплый период года классический внутригодовой ход S_0 нарушается прибрежными апвеллингами, сопровождающимися подъёмом в верхние слои моря более солёных вод из СТ или из ХПС.

Таблица 2.

Изменчивость солёности поверхностного слоя воды в районе фермы (2000-2018) гг.)

Месяц	Солёность, ‰					
	Взморье*	Сред.	Мах	Год	Min	Год
Январь	17,90	17,93	18,39	2018	17,61	2009
Февраль	18,13	17,85	18,25	2018	17,40	2003
Март	18,11	17,84	18,01	2018	17,55	2010
Апрель	17,87	17,79	18,22	2018	17,33	2002
Май	18,03	17,74	18,06	2018	17,28	2002
Июнь	17,92	17,67	18,01	2018	17,26	2005
Июль	17,98	17,59	17,85	2004,15	17,28	2010
Август	17,89	17,58	17,82	2013	17,37	2010
Сентябрь	17,80	17,74	17,95	2005	17,32	2002
Октябрь	18,03	17,79	17,97	2003	17,59	2000
Ноябрь	18,18	17,88	18,14	2016	17,60	2008,10
Декабрь	17,93	17,84	18,24	2016	17,43	2005

*Севастопольское взморье 1926-2000 гг

Минимальные значения с $S_0 < 17,7‰$ наблюдаются на акватории фермы с июня по август и соответствуют периоду ослабления влияния ОЧТ и наиболее активного поступления распресненных вод из северо-западной части Черного моря (СЗЧ) в результате сезонной смены циклонической системы циркуляции прибрежных вод на антициклоническую. Данный процесс сопровождается интенсификацией горизонтальной турбулентной диффузии на фоне устойчивого прогрева поверхностных вод, формирования ВКС, СТ и ослабления вертикального перемешивания [10]. Экстремально низкие значения S_0 связаны с дополнительным повышением стока местных рек при увеличении атмосферных осадков, когда на короткое время объемы стока становятся сопоставимы с паводковыми [12, 13].

С сентября-октября начинается обратный процесс увеличения солёности. Он связан, как с началом активного охлаждения поверхностных вод, заглублением СТ и интенсификацией вертикального перемешивания, так и с уменьшением объемов распресненных вод, поступающих из СЧЗ на Севастопольское взморье.

Минимальные измеренные значения солёности (17,26-17,37‰) в разные годы наблюдались с апреля по август, а максимальные (18,24-18,39‰) – с декабря по февраль. Межгодовые отличия в абсолютных значениях и времени проявления экстремумов определяются климатическими и гидрометеорологическими условиями в отдельные годы. Данные табл. 2 свидетельствуют, что абсолютные максимумы поверхностной солёности большую часть года наблюдались в период 2016-2018 гг. С другой стороны, все минимальные измеренные значения относятся к периоду до 2011 г. Эта тенденция соответствует современным представлениям о

смене «пресной» фазы халинного режима прибрежных вод Черного моря на «соленую», начавшуюся в 2010-2011 гг. [17].

В силу особенностей формирования гидрологического режима вод на Севастопольском взморье, зона максимальной пространственной изменчивости термохалинных характеристик наблюдается у входа в Севастопольскую бухту – для температуры в феврале и мае (до 0,6-0,9°C), а для солёности в феврале и августе (0,07-0,21‰). В ноябре пространственная изменчивость поверхностных значений температуры и солёности уменьшилась до 0,1-0,3°C и 0,04‰, соответственно [7].

Для прибрежных районов с влиянием крупных источников распреснения, солёность служит основным индикатором водных масс. Диапазон измеренных значений солёности на акватории фермы свидетельствует об участии двух водных масс в формировании халинной структуры вод в исследуемом районе по классификации [18]: Верхней черноморской водной массы (ВЧВМ) с солёностью от 18,0 до 18,4‰ и Прибрежной черноморской водной массы (ПрЧВМ) с солёностью менее 17,8‰. Воды с солёностью от 17,8 до 18,0‰ характеризуют область смешения ПрЧВМ и ВЧВМ. В диапазоне солёности от 17,0 до 17,5‰ происходит полная трансформация вод от региональных источников распреснения (реки Кача, Бельбек, Чёрная) в ПрЧВМ. Значения солёности менее 17,0‰ являются следствием локального и кратковременного влияния береговых источников распреснения. В исследуемый период присутствие в прибрежной зоне вод ХПС с соответствующими термохалинными индексами для тёплого периода года (температура от 7,3 до 7,7°C и солёность от 18,4 до 19,0‰) не выявлено.

Характер и величину климатической изменчивости параметров гидрологического режима на Севастопольском взморье в связи с тенденцией «глобального потепления» показывает сравнение среднееголетних данных по внутригодовой изменчивости T_0 и S_0 за два периода наблюдений – с 1926 г до 2000 г и с 2000 г по 2018 г (табл. 1, 2). Анализ табличных данных свидетельствует, что при сохранении общего внутригодового хода температуры и солёности обнаруживаются некоторые существенные количественные и временные отличия. Прежде всего, климатические изменения проявляются в повышении значений T_0 в течение всего годового цикла и уменьшении значений S_0 в большую часть года. Кроме этого, на фоне сохранения положения экстремумов температуры в оба периода исследований, максимум значений солёности смещается с ноября на январь, а минимум – с сентября на август. Максимальное увеличение T_0 отмечается в летние месяцы (июнь-август) и составляет 2,0-3,0°C, а минимальное (1,0-1,5°C) наблюдается в декабре-марте. Максимальное уменьшение значений S_0 (0,2-0,3‰) приходится на февраль-март, май-август и ноябрь, а минимальное (до 0,1‰) – на декабрь-январь, апрель и октябрь.

Климатические изменения термохалинных характеристик важно учитывать при выращивании двустворчатых моллюсков, поскольку расширение диапазонов внутригодовой изменчивости параметров среды напрямую влияет на весь цикл культивирования. Многолетние исследования ростовых процессов мидии *M. galloprovincialis* и тихоокеанской устрицы *S. gigas* в различных прибрежных

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ...

районах Крыма позволили определить оптимальные для их выращивания диапазоны изменчивости термohалинных характеристик [2, 3, 4, 6, 7, 19].

Для мидии активный весенний нерест начинается при достижении температуры воды 8-10°C. Наиболее высокие темпы роста и увеличения массы тела наблюдаются в температурном диапазоне 12-17°C, а при прогреве верхнего слоя моря выше 22°C соматический рост продолжается, но генеративный почти полностью прекращается. При понижении температуры в осенний период с 19-20°C до 10-12°C отмечается второй нерест моллюсков. В наиболее холодный период года при температуре ниже 8°C мидии фактически прекращают рост. Диапазон изменчивости солёности в прибрежной зоне Чёрного моря (15-18‰) является для мидий оптимальным.

Изучение характеристик жизненного цикла устрицы *C. gigas* показало, что диапазон оптимальных температур для роста и развития моллюсков соответствует интервалу 10-24°C. Максимальные скорости роста тихоокеанской устрицы отмечены при температуре около 24°C. При температуре <10°C происходит остановка ростовых процессов. Температурный максимум для данного вида равен 28-29°C, а значения температуры >30°C являются критически высокими для данного вида и выходят за пределы толерантности. Интервал оптимальных значений солёности для культивируемых устриц несколько уже, чем для мидий – 16,0-18,5‰.

Гигантская устрица интенсивно растет на протяжении двух лет. Оказалось, что темпы роста устриц на экспериментальной ферме в районе Севастополя за 18 месяцев выращивания (80 – 100 мм) сопоставимы с данными полученными в Голубом заливе и оз. Донузлав [4, 6, 19].

Таким образом, диапазоны изменчивости термohалинных характеристик на акватории фермы в прибрежной зоне Севастополя соответствует пределам толерантности и являются оптимальными для культивирования двустворчатых моллюсков большую часть года. Исключение составляет период с января по март, когда среднемноголетние и экстремальные значения температуры опускаются ниже 8°C. С другой стороны, экстремально высокие значения температуры (>30°C), близкие к критическим, могут негативно сказаться на жизнедеятельности выращиваемых моллюсков, в первую очередь устриц.

ВЫВОДЫ

За период исследований внутригодовой ход среднемесячных температур в поверхностном слое имел "классический" вид с максимумом значений (до 25-26°C) в августе и минимумом (около 8°C) – в феврале. Максимальные среднемесячные значения поверхностной солёности (более 17,8‰) наблюдались с ноября по март, а минимальные значения (менее 17,7‰) – с июня по август.

Вертикальная термohалинная структура типична для прибрежных районов моря, не подверженных значительному влиянию речного стока. С ноября по март в районе фермы наблюдается вертикальная термohалинная гомогенность зимнего типа. В мае начинают формироваться ВКС и СТ, которые достигают своего максимального развития в конце июле-августе. В сентябре – октябре в результате

осеннего конвективного перемешивания наблюдается деформация ВКС и СТ и начинается формирование гомогенности зимнего типа.

Исследуемая акватория характеризуется квазиоднородной пространственной термохалинной структурой. Исключением является район входа в Севастопольскую бухту, отличающийся повышенными горизонтальными градиентами температуры и солёности

На фоне наблюдающегося с конца 1990-х – начала 2000-х гг. процесса «глобального потепления» изменение среднемноголетней поверхностной температуры за период исследований с 2000 по 2018 гг. выразилось в увеличении её значений на 1.0-1.5°C для декабря-марта и на 2.0-3.0°C для июня-сентября. Уменьшение среднемноголетних значений поверхностной солёности в годовом цикле составило 0.1-0.3‰. На фоне климатического уменьшения S_0 отмечена смена фаз: «пресной» до 2011 г на «солёную» – с 2011 – 2012 гг по настоящее время.

Диапазоны изменчивости термохалинных характеристик на взморье Севастополя в среднемноголетнем плане соответствуют пределам толерантности и не являются лимитирующими для выращивания двустворчатых моллюсков. Исключение составляет период с января по март, когда среднемноголетние и экстремальные значения температуры опускаются ниже 8°C и происходит замедление роста и увеличения биомассы моллюсков.

Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса», номер гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6.

Список литературы

1. Одум Ю. Экология. Т.1. М.: Мир, 1986. 328с.
2. Иванов В.Н. Биология культивируемых мидий / В.Н. Иванов, В.И. Холодов, М.И. Сеничева и др.- Киев: Наукова думка, 1989. 100 с.
3. Марикультура мидий на Чёрном море / Под ред. В.Н. Иванова. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. 314 с.
4. Холодов В.И. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море: практическое руководство / В.И. Холодов, А.В. Пиркова, Л.В. Ладыгина. Севастополь: DigitPrint, 2010. 424 с.
5. Кочиков В.Н. Океанологическое обеспечение морских хозяйств по выращиванию беспозвоночных / Серия: Рыбохозяйственное использование ресурсов Мирового океана. М.: ВНИРО, 1979. Вып. 4. 56с.
6. Вялова О.Ю., Субботин А.А., Трощенко О.А. Влияние абиотических и биотических факторов на ростовые характеристики культивируемых устриц (*Crassostrea gigas*) (Кацивели, Крым, Черное море) / Актуальные проблемы аквакультуры в современный период: Материалы Международной научной конференции, 28 сентября – 2 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону, ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. С.27-29.
7. Термохалинная структура вод на взморье Севастополя и её влияние на основные параметры продукции на мидийной ферме / О.А. Трощенко, И.Ю. Еремин, А.А. Субботин и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С.110-119.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ...

8. Гидрохимический режим вод севастопольского взморья и его перспективы для хозяйственного использования / В.Н. Иванов, А.А. Субботин, В.И. Губанов и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. Вып. 2 (7). С.134-143.
9. Фоновая характеристика и оценка изменчивости вертикальной стратификации термохалинного поля у побережья Севастополя / В.Н. Белокопытов, П.Д. Ломакин, А.А. Субботин и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. Вып. 1(6). С.20-28.
10. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2: Чёрное море / Ю.П. Ильин, Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов и др. // МЧС и НАН Украины, морское отделение УкрНИГМИ. Севастополь. 2012. 421 с.
11. Трошенко О.А. Динамика верхнего квазиоднородного слоя и сезонного термоклина на взморье Севастополя в районе мидийной фермы / Актуальные проблемы аквакультуры в современный период: Материалы Международной научной конференции, 28 сентября – 2 октября 2015 г., г. Ростов-на-Дону, ФГБНУ «АзНИИРХ», 2015. С.180-182.
12. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке – начале XXI века и её оптимизация / Под. Ред. В.А. Бокова. Симферополь: Крымский научный центр, 2011. 193 с.
13. Основные источники загрязнения морской среды Севастопольского региона / Е.И. Овсяный, А.С. Романов, Р.Я. Миньковская и др.// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2001. Вып. 2. С.138-152.
14. Иванов В.А., Миньковская Р.Я. Морские устья рек Украины и приустьевые процессы. Ч.1. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2008. 448с.
15. Сток реки Черная как фактор формирования водно-солевого режима и экологического состояния Севастопольской бухты / Е.И. Овсяный, В.Н. Артеменко, А.С. Романов и др.// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. Вып. 15. С.57-65.
16. Атлас океанографических характеристик Севастопольской бухты/ С.К. Коновалов, А.С. Романов, О.Г. Моисеенкои др. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2010. 320с.
17. Белокопытов В.Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря: Дис...докт. геогр. наук. Севастополь, 2017. 377с.
18. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. Севастополь ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 212с.
19. Золотницкий А.П., Орленко А.Н. Экологические закономерности роста тихоокеанской устрицы в различных районах Чёрного моря // Рыбное хозяйство. 1999. №2. С.37-39.4

VARIABILITY OF MAIN LIMITING ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE PROCESS OF BIVALVE MOLLUSK CULTIVATION AT THE MUSSEL FARM IN SEVASTOPOL

Troshchenko O. A., Subbotin A. A., Eremin I. Y.

*IMBR Institute of Marine Biological Research named after A.O. Kovalevsky RAS, Sevastopol, Russian Federation,
E-mail: oleg_tr59@mail.ru*

Interannual and seasonal variability of thermohaline structure of the waters around mussel and oyster farm in Sevastopol coastal zone is studied based on monthly environmental monitoring data from 2000-2018. Taking into account the largest extent of spatial, interannual and seasonal variation, temperature and salinity of the seawater are the main limiting environmental factors of mussels and oysters growth (before reaching commercial

size) in the Crimean coastal zone. Active spring spawning of mussels starts when seawater temperature reaches 8-10 °C. The highest growth rate is observed at the temperature range 12–17 °C. When the temperature of the upper water layer is above 22 °C, somatic growth continues, but the generative growth almost fully stops. When the temperature decreases in the autumn period from 19-20 °C to 10-12 °C, second spawning of mollusks is observed. During the coldest period of the year, when the temperature is below 8 °C, the growth of the mussels terminates. The range of salinity variation in the coastal zone of the Black Sea (15-18 ‰) is optimal for mussels.

The study of life cycle characteristics of the oyster *C. gigas* showed that the temperature range optimal for the growth and development of mollusks corresponds to the interval of 10-24 °C. The maximum growth rates of pacific oysters were observed at the temperature of about 24 °C. At the temperature <10°C, the growth of the mussels stops. The temperature maximum for pacific oysters is 28–29 °C, and the temperatures > 30 °C are critically high and are above the tolerance limits. The range of optimal salinity for cultivated oysters (16.0-18.5 ‰) is lower than for mussels.

The intra-annual variation of average monthly temperatures in the surface water layer over the study period showed a typical trend with the maximum values (up to 25–26 °C) in August and minimum values (about 8 °C) in February. The highest monthly temperature values and temperature extremes in the water layer ranging from the sea surface to the horizon of 10 meters were observed in August, reaching 26-29 °C. The maximum measured temperature value was noted in August 2010, characterized as a year with extremely warm surface waters over the monitoring period. In the period from January to March, the minimum mean multiyear temperature values of about 8 °C were observed throughout the entire water column. At the same time period, extremely low values in the range of 6-10 °C were observed. The lowest recorded surface temperature of 6.0 °C was observed in February 2006, and the lowest interannual variability of extreme values of less than 3 °C was characteristic for March.

The maximum monthly mean values of surface water salinity (more than 17.8 ‰) were observed from November to March, and the minimum values (less than 17.7‰) - from June to August. The minimum measured salinity values (17.26-17.37‰) in different years were observed from April to August, and the maximum (18.24-18.39 ‰) - from December to February.

Vertical thermohaline structure is typical for coastal areas not subjected to significant impact of river discharge. During the period from November to March, vertical thermohaline homogeneity of the winter type was observed in the area around the farm. In May, the upper quasi-homogeneous layer and seasonal thermocline begin to form, and reach their maximum development at the end of July – beginning of August. In September - October, the deformation of the upper quasi-homogeneous layer and seasonal thermocline is observed and the formation of winter-type homogeneity starts as a result of autumn convection mixing.

The studied water area is characterized by quasi-homogeneous spatial thermohaline structure. An exception is the area of the entrance to Sevastopol Bay, characterized by elevated horizontal gradients of temperature and salinity

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСНОВНЫХ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ НА ФЕРМЕ...

Along with the global trend of "global warming" observed starting from the late 1990s - early 2000s, the change of the mean annual surface water temperature in the study area over the period 2000 – 2018 was reflected in water temperature increase by 1.0 - 1.5-1 °C in December - March and by 2.0-3.0°C in June-September. The decrease in the mean annual values of surface water salinity during the annual cycle was 0.1–0.3 °C. Along with climatic decrease of S_0 , a phase change was observed: from “freshwater” until 2011 to “salty water” - from 2011–2012 until present.

Therefore, the range of thermohaline characteristics around the mussel and oyster farm in the coastal zone of Sevastopol corresponds to the tolerance limits and is optimal for the cultivation of bivalve mollusks during the course of the year. The exception is the period from January to March, when mean multiyear temperature and extreme temperatures fall below 8 °C. On the other hand, extremely high temperatures close to critical (> 30 °C) can adversely affect the farmed mollusks, primarily oysters.

Keywords: thermohaline structure, upper quasi-homogeneous layer, seasonal thermocline, bivalve mollusks

References

1. Odum Ju. Jekologija (Ecology). T.1. Moskow: Mir (Publ.), 1986, 328 p. (in Russian).
2. Ivanov V.N. Biologija kul'tiviruemyh midij (Biology of cultivated mussels). V.N. Ivanov, V.I. Holodov, M.I. Senicheva i dr. Kiev: Naukova dumka, 1989, 100 p. (in Russian).
3. Marikul'tura midij na Chjornom more (Mussel aquaculture in the Black Sea). Pod red. V.N. Ivanova. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2007, 314 p. (in Russian).
4. Holodov V.I. Vyrashhivanie midij i ustric v Chjornom more: prakticheskoe rukovodstvo (Mussel and oyster growing in the Black sea: practical guide). V.I. Holodov, A.V. Pirkova, L.V. Ladygina. Sevastopol': DigitPrint, 2010, 424 p. (in Russian).
5. Kochikov V.N. Okeanologicheskoe obespechenie morskikh hozjajstv po vyrashhivaniju bespozvonochnyh (Oceanological supply of invertebrate sea farms). Serija: Rybohozjajstvennoe ispol'zovanie resursov Mirovogo okeana. Moskow: VNIRO, 1979, Vyp. 4, 56 p. (in Russian).
6. Vjalova O.Ju., Subbotin A.A., Troshhenko O.A. Vlijanie abioticheskikh i bioticheskikh faktorov na rostovye harakteristiki kul'tiviruemyh ustric (*Crassostrea gigas*) (Kaciveli, Krym, Chernoe more) (The impact of abiotic and biotic factors on growth characteristics of cultivated mussels (*Crassostrea gigas*) (Kaciveli, Crimea, Black Sea)). Aktual'nye problemy akvakul'tury v sovremennyj period: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, 28 sentjabrja – 2 oktjabrja 2015 g., g. Rostov-na-Donu, FGBNU «AzNIIRH», 2015, pp. 27-29 (in Russian).
7. Termohalinnaja struktura vod na vzmor'e Sevastopolja i ejo vlijanie na osnovnye parametry produkcii na midijnoj ferme (Thermohaline structure of the waters at Sevastopol seashore and its influence on the main production parameters at the mussel farm). O.A. Troshhenko, I.Ju. Erjomin, A.A. Subbotin i dr. Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovanija resursov shel'fa. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2007, Vyp. 15, pp.110-119 (in Russian).
8. Gidrohimicheskij rezhim vod sevastopol'skogo vzmor'ja i ego perspektivy dlja hozjajstvennogo ispol'zovanija (Hydrochemical regime of Sevastopol coastal water and its perspectives for economic use). V.N. Ivanov, A.A. Subbotin, V.I. Gubanov i dr. Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovanija resursov shel'fa. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2003, Vyp. 2 (7), pp. 134-143 (in Russian).
9. Fonovaja harakteristika i ocenka izmenchivosti vertikal'noj stratifikacii termohalinnogo polja u poberezh'ja Sevastopolja (Background characteristics and estimation of variability of thermohaline zone vertical stratification at Sevastopol seashore). V.N. Belokopytov, P.D. Lomakin, A.A. Subbotin i dr. Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovanija resursov shel'fa. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2002, Vyp. 1(6), pp. 20-28 (in Russian).

10. Hidrometeorologičeskie uslovija morej Ukrainy. Tom 2: Chjornoe more (Hydrometeorological conditions of the sea in Ukraine. Chapter 2: Black sea). Ju.P. Il'in, L.N. Repetin, V.N. Belokopytov i dr. MChS i NAN Ukrainy, morskoe otdelenie UkrNIGMI. Sevastopol', 2012, 421 p. (in Russian).
11. Troshhenko O.A. Dinamika verhnego kvaziodnorodnogo sloja i sezonnogo termoklina na vzmor'e Sevastopolja v rajone midijnoj fermy (Dynamics of upper quasi-homogeneous layer and seasonal thermocline in the area around mussel farm at Sevastopol seashore). Aktual'nye problemy akvakul'tury v sovremennyj period: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, 28 sentjabrja – 2 oktjabrja 2015 g., g. Rostov-na-Donu, FGBNU «AzNIIRH», 2015, pp. 180-182 (in Russian).
12. Transformacija struktury vodnogo balansa v Krymu v HH veke – nachale HHI veka i ejo optimizacija (Transformation of water balance structure in Crimea in XX – beginning of XXI century and its optimization). Pod. red. V.A. Bokova. Simferopol': Krymskij nauchnyj centr, 2011, 193 p. (in Russian).
13. Osnovnye istočniki zagrjaznenija morskoy sredy Sevastopol'skogo regiona (Main sources of sea pollution of Sevastopol region). E.I. Ovsjanyj, A.S. Romanov, R.Ja. Min'kovskaja i dr. Jekologičeskaja bezopasnost' pribrežnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovanija resursov shel'fa. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2001, Vyp. 2, pp. 138-152 (in Russian).
14. Ivanov V.A., Min'kovskaja R.Ja. Morskie ust'ja rek Ukrainy i priust'evye process (Marine estuaries of Ukraine and estuarine processes). Ch.1. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2008, 448 pp. (in Russian).
15. Stok reki Chernaja kak faktor formirovanija vodno-solevogo rezhima i jekologičeskogo sostojanija Sevastopol'skoj buhty (Discharge from Chernaya river as a factor of water-salinity regime formation and ecological condition of Sevastopol bay). E.I. Ovsjanyj, V.N. Artemenko, A.S. Romanov i dr. Jekologičeskaja bezopasnost' pribrežnoj i shel'fovoj zon i kompleksnye issledovanija resursov shel'fa. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2007, Vyp. 15, pp. 57-65 (in Russian).
16. Atlas okeanografičeskikh harakteristik Sevastopol'skoj buhty (Atlas of oceanological characteristics of Sevastopol bay). S.K. Konovalov, A.S. Romanov, O.G. Moiseenkoi dr. Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika, 2010, 320 p. (in Russian).
17. Belokopytov V.N. Klimatičeskie izmenenija gidrologičeskogo rezhima Chernogo morja (Climatic changes of hydrological regime of the Black Sea). PhD thesis. Sevastopol', 2017, 377 pp. (in Russian).
18. Ivanov V.A., Belokopytov V.N. Okeanografija Chernogo morja (Oceanology of the Black Sea. Sevastopol). Sevastopol'JeKOSI-Gidrofizika, 2011. 212 pp. (in Russian).
19. Zolotnickij A.P., Orlenko A.N. Jekologičeskie zakonomernosti rosta tihookeanskoj ustricy v razlichnyh rajonah Chjornogo morja (Ecological patterns of Pacific oyster cultivation at different parts of the Black Sea). Rybnoe hozjajstvo, 1999, no 2, pp. 37-39 (in Russian).

Поступила в редакцию 13.08.2019