

ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО КРЫМА (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

На основе анализа архивной базы данных океанографических наблюдений в шельфовой зоне южного берега Крыма дана общая характеристика изменчивости температуры и солёности в районах, перспективных для развития прибрежной марикультуры. Установлено, что большую часть года параметры термохалинной структуры прибрежных вод соответствуют оптимальным для коммерческого выращивания двустворчатых моллюсков.

Среди факторов среды, определяющих условия развития прибрежной марикультуры двустворчатых моллюсков и выбора оптимального местоположения управляемых марихозяйств, первоочередное значение имеют гидрофизические характеристики: температура воды ($T^{\circ}\text{C}$) и солёность ($S\%$) [7]. Температура воды оказывает существенное влияние как на распространение, так и на размножение моллюсков, определяя их половые ритмы, скорость развития и роста. В значительной степени $T^{\circ}\text{C}$ влияет на обмен веществ моллюсков и интенсивность питания. Дыхательная активность моллюсков также зависит от температуры: с понижением ниже критической или аномально высоким повышением активность животных падает до летального исхода [7]. Максимальный прирост наблюдается в летне-осенний период с наиболее благоприятными температурными условиями для их жизнедеятельности, минимальный – в зимние месяцы [2, 9]. Солёность вод влияет на интенсивность энергетического обмена у животных, на их рост и выживаемость. Отклонения солёности от нормы приводят к нарушению осмотического равновесия с внешней средой, к угнетению дыхания [2].

Согласно [2], оптимальными условиями для выращивания мидий являются: диапазон изменчивости $T^{\circ}\text{C}$ от 12.0 до 20.0 $^{\circ}\text{C}$, $S\%$ – от 16.0 до 18.0‰.

Начало активного процесса по развитию коммерческой марикультуры двустворчатых моллюсков в прибрежной зоне Крыма с конца 90-х годов XX столетия предопределило основную задачу данной работы – дать общую характеристику термохалинной структуры шельфовых вод южного Крыма, как потенциально наиболее перспективного района для создания прибрежных марикультурных комплексов.

Материал и методы. Для анализа термохалинной структуры шельфовых вод южного берега Крыма (ЮБК) и ее пространственной изменчивости были привлечены данные по температуре и солёности морских вод из базы океанографических данных СО ГОИН с 1900 до 1990 гг. включительно, экспедиционные данные по $T^{\circ}\text{C}$ и $S\%$, полученные в ИнБЮМ НАНУ в различных прибрежных районах Крыма за период с 70-х до конца 90-х годов XX века. Общее количество станций, включенных в обработку, составило более 3500. Анализируемые данные по $T^{\circ}\text{C}$ и $S\%$, в основном, приурочены к верхним горизонтам моря (до глубин 50 м). Количество материалов с глубин от 50 до 100 м минимально, поэтому они были включены в обработку лишь для понимания процессов, определяющих термохалинную структуру верхних слоев моря.

Обработка материалов выполнялась по разработанной в СО ГОИН программе [9]. В силу различной обеспеченности данными отдельных районов шельфа и разной степенью привлекательности для развития коммерческой марикультуры, для обработки и анализа были выбраны районы, имеющие пространственные масштабы около 10*10 миль, примыкающие к центрам с развитой береговой инфраструктурой, имеющие изрезанную береговую линию с мысами, заливами и бухтами (рис. 1).

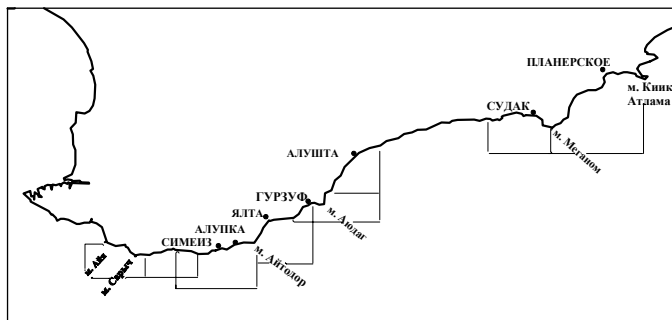


Рисунок 1. Схема районов исследований

Figure 1. The scheme of regions of researches

Результаты и обсуждение

**Температура
и соленость в поверхно-**

стном слое моря (ПСМ) обладают наибольшей пространственно-временной изменчивостью. Ее сезонный ход определяется двумя основными физическими процессами: нагреванием и охлаждением. В среднегодовом ходе температуры ПСМ (T_w) четко выделяются четыре гидрологических сезона. Два – с минимальными временными градиентами температуры: теплый (июнь–сентябрь) и холодный (декабрь–март), и два – с максимальными: весенний (апрель–май) и осенний (октябрь–ноябрь) [6].

Холодный период характеризуется низкими среднемесячными температурами, как правило, меньшими 11.0°C . В среднем за сезон T_w довольно однородна и колеблется между 9.0 и 8.0°C . Типичным зимним месяцем с минимальными T_w для Черного моря является февраль. Для большинства районов шельфа ЮБК температура ПСМ в это время не превышает 8.0°C . Лишь в районах Ласпи, Симеиза, Судака температура воды в этот месяц несколько выше (8.14 – 8.80°C). В эти же месяцы наблюдается абсолютный минимум T_w . К району Ялты-Гурзуфа приурочены минимальные значения температуры воды (3.80 – 4.60°C). Для районов Ласпи, Симеиза, Судака минимальные T_w редко опускаются ниже 6.0°C . Пониженными минимальными значениями T_w отличается район Карадага (5.40 – 5.70°C), что, вероятно, объясняется близостью к одному из очагов формирования холодного промежуточного слоя (ХПС) – прикерченскому району [1, 6]. Следует отметить, что по данным срочных наблюдений вблизи уреза воды, минимальные значения температуры воды в районе ЮБК могут достигать 0.07 – 1.60°C [5].

В весенний переходный период отмечается равномерный быстрый рост температуры ПСМ и в мае она повсеместно составляет 14.0 – 15.0°C , хотя временные температурные контрасты остаются значительными. В отдельные годы T_w достигает 19.0 – 20.0°C (Ялта, Симеиз), а возможные минимальные значения T_w могут опускаться до 11.0°C . В мае ПСМ наиболее прогрет в районах от Симеиза до Гурзуфа, защищенных горами от ветров северных направлений, а минимум поверхностной температуры смещается на восток шельфа ЮБК к Судаку и Карадагу.

Теплый период начинается в июне. Средняя температура ПСМ в этот период может достигать 20.0 – 24.0°C и выше. Однако пространственная температурная неоднородность велика и составляет 5.0 – 6.0°C . В июне начинает формироваться верхний квазиоднородный слой (ВКС) и в процессе его развития температурные неоднородности сглаживаются. В этом месяце в западных районах (Ласпи – Ялта) температурный фон меняется в пределах 17.0 – 19.0°C , в восточных (Судак, Карадаг) – 19.0 – 20.0°C . Август отмечается как месяц с максимальными среднемесячными температурами ПСМ (22.0 – 24.0°C). В этот период ВКС довольно тонок и отделен от основной толщи вод интенсивным термоклинном, а поэтому его тепловое состояние в значительной степени определяется локальным бюджетом тепла на поверхности моря, который летом довольно однороден по всей акватории [6, 8]. Этим обусловлена горизонтальная термическая однородность поверхностных вод. Общий однородный температурный фон нарушается лишь сгонно-нагонными процессами, в результате чего температура ПСМ может либо

увеличиваться за счет подхода к берегу хорошо прогретых поверхностных вод открытого моря (до 26.2–26.5°C у Симеиза и Ялты), либо уменьшаться за счет сгона и выхода на поверхность холодных промежуточных вод (до 8.48–8.80°C в июле в районе Ялты) [3, 4].

В октябре-ноябре температура ПСМ резко уменьшается. В ноябре она становится близкой к майским значениям. Скорость изменения T_w в восточных районах шельфа ЮБК оказалась несколько ниже, чем в центральных и западных, поэтому лишь в районах Судак и Карадага температурный фон ПСМ превысил майский на 0.5°C. На остальных участках шельфа он повсеместно ниже на 1.0–2.0°C.

Соленость вод Черного моря является, по сравнению с температурой, более консервативной характеристикой среды. В верхних слоях моря, особенно в установившиеся гидрологические сезоны (теплый и холодный), соленость является основным индикатором водных масс. В большей степени это относится к шельфовым районам, где наблюдается максимум горизонтальной неоднородности солености [1]. Поле солености шельфовых вод ЮБК формируется, в основном, под влиянием трех факторов: перераспределения солености в результате адвекции и перемешивания вод, опреснения поверхностных слоев в результате влияния речного стока и азовоморских вод, баланса осадков и испарения. Основным источником распреснения в данном районе являются азовоморские воды. Включаясь в общую циклоническую циркуляцию, “шлейф” вод пониженной солености распространяется вдоль побережья Крыма и, согласно [6], полностью трансформируется у юго-западной оконечности Крымского п-ова. Можно констатировать, что ошутимое влияние распресненных азовоморских вод в среднемноголетнем плане проявляется лишь в районе Судак – Карадаг. Именно здесь значения солености в ПСМ близки к 17.5‰, причем только в течение одного летнего месяца – июня. В остальных районах шельфа ЮБК в течение всего года они соответствуют величинам, приведенным в [1]: в декабре – марте их значения распределяются в интервале 18.0–18.3‰, а в апреле – ноябре редко превышают 18.0‰, что, вероятно, связано с усилением влияния основного черноморского течения (ОЧТ) на прибрежные воды [6].

Анализ распределения среднемноголетних величин солености в ПСМ в различных районах ЮБК показал, что характер ее сезонной изменчивости не имеет ярко выраженного тренда, хотя изменения $S\%$ в целом по району довольно значительны: от 17.47‰ (июнь, район Карадага) до 18.42‰ (декабрь, район Ласпи). Абсолютные максимумы для всех без исключения участков шельфа ЮБК приурочены к холодному периоду (декабрь – март), а минимумы наблюдаются в июне – июле. На общем ходе изменчивости $S\%$ выделяются колебания, которые невозможно объяснить климатическими процессами, например, максимум $S\%$ в районе Судак в августе. Наиболее близки для отдельных районов шельфа ЮБК значения солености в феврале – типичном месяце холодного гидрологического сезона (18.13–18.25‰). Наибольший разброс $S\%$ приходится на летние месяцы, что связано с увеличением частоты сгонно-нагонных явлений в летний период [5]. Так, контрасты в поле поверхностной солености в июне достигают 0.5‰.

В распределении $S\%$ с востока на запад четко прослеживается временной сдвиг минимума солености, связанного с усилением азовоморского стока. Если в районе Судак – Карадага минимум среднемноголетней солености наблюдается в июне, то в районе Гурзуфа – в июле, а в мористой части района Ялты – в августе. При этом ее минимальные значения растут, соответственно, с 17.47 до 17.60‰ и далее до 17.80‰. Аналогичный процесс характерен, в целом, для большинства прибрежных районов Черного моря и объясняется расширением зоны распреснения за счет адвекции и диффузионных факторов. Для некоторых районов, расположенных в восточной части шельфа ЮБК, ход солености может иметь второй минимум $S\%$. Этот минимум в районе Карадага наблюдается в августе и составляет 17.71‰. Причиной его, по-видимому, можно считать внедрение на шельф Крыма распресненных вод с кавказского побережья по северо-западной перифе-

рии восточного циклонического круговорота. Как считает [6], данный процесс поддерживается значительным распреснением прибрежных кавказских вод в течение всего лета за счет таяния горных ледников.

В отдельные годы соленость может существенно отличаться от среднеемноголетних величин. Даже в Ялтинском заливе, имеющем наиболее стабильный ход солености (17.90–18.25‰), минимальные $S_{\text{‰}}$ на поверхности могут опускаться до 15.43‰ (февраль), максимальные достигать 20.73‰ (февраль). Сравнение с климатическими полями солености, приведенными в [1], показывает, что эти аномальные величины могут наблюдаться в ПСМ лишь в двух случаях. Первый – в результате сильнейшего распреснения, связанного, вероятно, с местным береговым стоком (поскольку в феврале даже у выхода вод из Керченского пролива соленость не падает ниже 17.00‰); второй – в результате мощного сгона и подъема глубинных вод к поверхности (поскольку отмеченные в ПСМ значения солености соответствуют глубинам ХПС – 150 – 200 м). В других районах шельфа ЮБК амплитуда экстремумов не столь велика: 0.50 – 1.00‰ – для районов Алушты, Симеиза, Ласпи и 1.00 – 1.50‰ – для районов Судака и Карадага.

Описание основных особенностей сезонной изменчивости гидрофизических характеристик не будет полным без анализа среднеемноголетнего годового цикла изменчивости параметров вертикальной термохалинной структуры шельфовых вод. В связи с этим, наибольший интерес представляет сезонная изменчивость положения и интенсивности основных гидрологических слоев: ВКС, сезонного термоклина (СТ), ХПС, а также амплитудно-фазовый характер изменчивости соответствующих этим слоям значений температуры и солености.

Анализ данных вертикального распределения термохалинных характеристик выявил общую тенденцию для всех районов шельфа ЮБК: максимальная толщина ВКС (зимний тип) наблюдается в декабре – январе (с 5–10 м до дна). Начиная с марта – апреля, ВКС выходит на поверхность, а в мае – июне начинает формироваться новый ВКС (летний тип). В июле – сентябре летний ВКС охватывает верхние слои моря до глубин 20 – 30 м, а в октябре – ноябре, при смене знака теплоотдачи в ПСМ и усилении ветроволнового перемешивания, ВКС снова заглубляется на 10–20 м ниже. Сравнивая толщину ВКС в различных районах шельфа ЮБК, можно убедиться в том, что мощность этого слоя в западных районах шельфа (район Ласпи) на 10–20 м больше, чем в восточных. Этот факт подтверждает вывод о необходимости учета халинного фактора при выделении ВКС, поскольку распресняющее влияние азовоморских вод усиливает плотностную стратификацию.

Процесс термической конвекции начинается, как правило [6, 8], в ноябре, но максимальное ускорение приобретает в декабре. С декабря по январь толщина слоя гомотермии увеличивается с 20–30 до 100 м и ниже. Одновременно происходит быстрое охлаждение толщи вод и в феврале – марте температура воды от поверхности до дна не превышает 8.0 °С. При этом, в ряде районов абсолютный по вертикали минимум температуры находится в поверхностном слое (районы Судака, Карадага), в других – ядро холодных вод располагается глубже (побережье от Ласпи до Гурзуфа). Заглубление минимума температуры с востока на запад сопровождается увеличением его абсолютных значений: с 6.4– 6.8 °С у Судака до 7.5 °С в водах Ласпи. Расположение этого минимума в ПСМ не следует считать однозначным свидетельством его локального происхождения в данном районе. Вероятнее всего, мощный язык промежуточных вод с температурой ниже 8.0 °С, простирающийся вдоль всего шельфа ЮБК, обусловлен адвекцией холодных вод из прикерченского “очага” формирования ХПС, подпитываясь при благоприятных условиях процессом термической конвекции в других районах шельфа.

Важной характеристикой деятельного слоя моря является сезонный термоклин. Его положение и мощность адекватно отображаются распределением нескольких пара-

метров: глубиной залегания нижней границы ВКС, верхней ХПС и изменчивостью поверхностной температуры T_w . Во всех исследуемых районах СТ имеет ряд общих черт. Это, прежде всего, аналогичный годовой ход глубины залегания верхней границы термоклина с минимумом в мае – июне и максимумом в переходный осенний гидрологический период. В летние месяцы сезонный термоклин непосредственно примыкает к поверхности моря, сильно растянут по вертикали. Его толщина колеблется от 35 до 50 м, причем эта величина уменьшается с востока на запад. Образование термоклина происходит фактически в течение одного месяца (с апреля по май). В теплый период он развивается и обостряется, а разрушение, начавшееся в сентябре – октябре, повсеместно продолжается до февраля – марта, когда создавшиеся условия приводят к полной гомотермии до глубин 100 м в связи с зимним конвективным перемешиванием.

Исследуемые акватории шельфа ограничены глубиной 100 м – свалом глубин, однако внешняя граница большинства бухт и заливов шельфовой зоны ЮБК проходит вблизи 50-метровой изобаты. С другой стороны, горизонт 50 м характеризует среднее положение верхней границы ХПС в прибрежной зоне моря [8], а значит – термохалинную структуру вод в верхних слоях моря при воздействии летнего апвеллинга – слоях расположения коллекторов марихозяйств [3, 4]. Эти факторы подтверждают необходимость рассмотрения изменчивости температуры и солености на глубине 50 м.

Распределение температуры на горизонте 50 м не испытывает значительных (по сравнению с S‰) сезонных колебаний. Максимальная амплитуда ($5.5 - 6.0^\circ\text{C}$) в районе Судака, минимальная – в районе Ласпи (3.0°C). Минимальные значения температуры наблюдаются в феврале – марте во всех районах шельфа и составляют $6.8-8.0^\circ\text{C}$. Второй минимум приходится на период с июня по октябрь. Для восточных районов шельфа первый минимум по абсолютным значениям выше второго на $0.2-0.4^\circ\text{C}$, в западных – наоборот. Кроме этого, можно констатировать сдвиг по фазе второго минимума с востока на запад: на побережье Судака – июнь, Симеиза – июль, Ласпи – сентябрь. Природу минимумов температуры можно объяснить региональным конвективным охлаждением в холодный гидрологический сезон и адвекцией холодных вод из северо-восточной части Черного моря. Таким образом, оба эти фактора оказывают определяющее влияние на формирование термической структуры промежуточных вод шельфовой зоны ЮБК.

Сравнение годового хода солености на поверхности и глубине 50 м, в целом, подтверждает общепринятые положения, хотя амплитуда колебаний солености на обоих горизонтах невелика и в большинстве районов шельфа отличается не более чем на 0.5‰. Исключение составляют восточные районы шельфа, где амплитуда достигает $0.7 - 0.8\text{‰}$, в то время как на 50 м – только $0.3 - 0.4\text{‰}$. Минимальная амплитуда колебаний солености, как на поверхности, так и на глубине 50 м, наблюдается в холодный период, а максимальная – июне – августе. Таким образом, шельфовые воды реагируют на сезонную изменчивость распресняющего фактора речного стока и поступления азовоморских вод. Изменение солености на обоих горизонтах происходит в противофазе: уменьшение солености в ПСМ в летние месяцы сопровождается ее увеличением на глубине 50 м. Различие величин солености в слое 0-50 м минимально в холодный период ($0.25-0.30\text{‰}$). В теплый период различие по отдельным районам увеличивается и в районах максимального распреснения ПСМ может достигать $0.50-0.70\text{‰}$.

Выводы. Среднегодовое сезонное распределение параметров термохалинной структуры ПСМ шельфа ЮБК имеет идентичный характер для всех районов. Общий температурный фон ПСМ, формируемый климатическими особенностями района, нарушается сложным взаимодействием региональных (орографических и динамических) факторов. Характер годового хода солености в пределах деятельного слоя моря свидетельствует о разнообразии процессов, ответственных за формирование халинной структуры шельфовых вод ЮБК. Верхний слой находится под распресняющим влиянием азовоморских

вод. Центральные и западные районы шельфа в большей степени зависят от динамической активности ОЧТ. Смешение поверхностной черноморской воды и распресненных шельфовых вод в районах Судака и Карадага, вероятно, ограничено глубинами до 50 м.

Проведенный анализ показывает, что для всех прибрежных акваторий ЮБК большую часть года (с апреля по декабрь) значения термохалинных характеристик в ПСМ соответствуют оптимальным для развития марикультуры. Сезонный ход ВКС и СТ регулируют длину носителей на марихозяйствах. В зависимости от района размещения ферм она должна корректироваться в пределах ВКС.

1. *Альтман Э. Н., Гертман И. Ф., Голубева З. А.* Климатические поля солености и температуры воды Черного моря. - СО ГОИН. - Севастополь, 1987. - 108 с.
2. *Биология культивируемых мидий* /Иванов В. Н., Холодов В. И., Сеничева М. И. и др.. - Наук. думка, 1989. - 100 с.
3. *Блатов А. С., Иванов В. А.* Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря. - Наук. думка, 1992. - 242 с.
4. *Богданова А. К.* Сгонно-нагонная циркуляция и термический режим Черного моря // р. СБС. - 1959. - 11- С. 262-284.
5. *Зац В. И., Лукьяненко О. Я., Яцевич Г. В.* Гидрометеорологический режим Южного берега Крыма. - Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 120 с.
6. *Изменчивость гидрофизических полей Черного моря* / Блатов А. С., Булгаков Н. Г., Иванов В. А. и др. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 240 с.
7. *Марикультура мидий на Черном море* / Под ред. В. Н. Иванова. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. - 314 с.
8. *Поверхности раздела деятельного слоя Черного моря* / Альтман Э. Н., Гертман И. Ф., Голубева З. А. и др. // Труды ГОИН. - 1988. - Вып. 189. - С. 11-25.
9. *Термохалинная структура вод на взморье Севастополя и ее влияние на основные параметры мидийной фермы* /Трошенко О. А., Еремин И. Ю., Субботин А. А. и др. - Экологическая безопасность шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. тр. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007. - Вып. 15. - С. 110-119.

Институт биологии южных морей НАН Украины,
Севастополь, Украина

Получено 10 марта 2009 г.

Н. І. ЧЕКМЕНЬОВА, О. А. СУБОТІН

ГІДРОФІЗИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОКРЕМИХ РАЙОНІВ ШЕЛЬФОВОЇ ЗОНИ ПІВДЕННОГО КРИМУ (ЧОРНЕ МОРЕ).

Резюме

На основі аналізу архівної бази даних океанографічних спостережень у шельфовій зоні південного берегу Криму дана загальна характеристика мінливості температури і солоності в районах, перспективних для розвитку прибережної марікультури. На протязі значної частини року параметри термохалінної структури прибережних вод відповідають оптимальним для комерційного вирощування двостулкових молюсків.

N. I. CHEKMENYOVA, A. A. SUBBOTIN

THE HYDROPHYSICAL CHARACTERISTIC OF THE SEPARATE REGIONS OF SOUTHERN CRIMEAN SHELF ZONE (THE BLACK SEA)

Summary

On the basis of the analysis of the archive database of oceanographic observations on a shelf zone of southern coast of Crimea the total characteristic of variability of temperature and salinity in regions, perspective for development of an inshore mariculture is given. A large part of year the parameters thermo-chaline structure of inshore waters correspond optimum for commercial cultivation of bivalves.