

Экологические условия воспроизводства и распределения анадары Броутона (*Anadara broughtonii*) в бухте Суходол (Уссурийский залив, Японское море)

Л.С. Афейчук, Ю.И. Зуенко, В.И. Рачков, В.А. Раков

ТИНРО-центр, Владивосток 690000, Россия

Дальневосточный государственный университет, Владивосток 690000, Россия

Проанализировано влияние гидрологических (температура и соленость, структура и циркуляция вод) и гидрохимических (содержание растворенного в воде кислорода, биохимическое потребление кислорода, активная реакция среды, концентрация нитритного азота) факторов на распределение личинок и взрослых особей анадары в бухте Суходол в летне-осенний период 2002 г. Показано, что личинки анадары переносятся циклоническим круговоротом в северо-восточную часть бухты, где оседают на имеющиеся там твердые субстраты. Максимальное количество молодежи отмечено в том же районе на илах. С увеличением глубины средние размеры раковин увеличиваются, так как анадара по мере роста перемещается на глубину. Абиотические условия на разных стадиях онтогенеза анадары в целом благоприятны для ее обитания: соленость значительно превышает опасные для анадары значения, содержание кислорода и температура в период гаметогенеза и нереста достаточно высоки, бухта характеризуется высокой биологической продуктивностью. Вместе с тем резкий рост pH в период «цветения» фитопланктоном может отрицательно влиять на выживаемость молодежи. Скопление анадары в бухте способно к самостоятельному воспроизводству, слабо связано с другими скоплениями, хотя на юго-западе бухты отмечено небольшое количество аллохтонных личинок, по-видимому, заносимых из скопления, расположенного в северной части Уссурийского залива.

Ecological conditions of reproduction and distribution of the ark shell (*Anadara broughtonii*) in Sukhodol Bay (Ussuri Bay, Sea of Japan)

L.S. Afeichuk, Yu.I. Zuenko, V.I. Rachkov, V.A. Rakov

TINRO-centre, Vladivostok 690000, Russia

Far East National University, Vladivostok 690000, Russia

The influence of hydrological (water temperature and salinity, structure and circulation) and hydrochemical (dissolved oxygen, biochemical oxygen consumption, pH, nitrites) factors on the ark shell larvae and adults distribution in Sukhodol Bay in summer-autumn of 2002 are studied. The larvae were transported by cyclonic gyre toward the north-eastern part of the bay where they settled on appropriate substrates. Young molluscs were the most abundant in the same area on silt. In deeper areas, mean size of shells increased because of molluscs moving to the depth when growing. Abiotic environments were generally favourable for the ark shell at all stages of its ontogenesis: salinity exceeded considerably the dangerous value, dissolved oxygen content and water temperature were high enough in the period of gametogenesis and spawning, the bay was characterized by high bioproductivity. However, high pH values in the time of phytoplankton blooming could make negative effect on the young molluscs survival. The ark shell population in Sukhodol Bay is available for independent reproduction, weakly related with other populations; although insignificant number of allochthonous larvae were registered in the south-west part of the bay, obviously, originated from the ark shell settlements in the northern Ussuri Bay.

Введение

Анадара Броутона (*Anadara broughtonii* (Schrenck, 1867), сем. Arcidae) — ценный промысловый двустворчатый моллюск, формирующий скопления на российском Дальнем Востоке только в мелководных районах зал. Петра Великого. В Уссурийском заливе скопления анадары расположены в его северной части, главным образом, в зал. Муравьином и в б. Суходол. С начала 90-х годов XX в. здесь ведется ограниченный лов анадары и одновременно выполняются учетные работы и наблюдения за состоянием скоплений, в последние годы начат сбор материала по экологии личинок и взрослых особей.

В отличие от ряда промысловых двустворчатых моллюсков (гребешков, мидий, устриц и некоторых других), экология анадары Броутона в зал. Петра Великого остается практически не изученной. Исследованы в основном некоторые черты гаметогенеза и размножения [Дзюба, 1981, 1982; Дзюба, Масленникова, 1982, и др.], роста анадары [Олифиренко, 1998, и др.], а также имеются сведения о характере распределения, плотности, площади распространения, численности, размерно-массовой структуре скоплений анадары в Амурском и Уссурийском заливах, об особенностях поведения моллюсков в зависимости от их физиологического состояния [Афейчук, 2003]. Вопросы влияния факторов среды на жизнедеятельность анадары, обитающей в водах России, до настоящего времени не рассматривались, хотя следует полагать, что таковое влияние велико, поскольку зал. Петра Великого находится на самом краю ареала вида. Вместе с тем, океанологические условия в мелководных бухтах зал. Петра Великого вообще исследованы недостаточно, за исключением внутренних бухт залива Посыета, просто потому, что до сих пор

не возникало такой практической потребности. С развитием прибрежного промысла в последние годы потребность в комплексном изучении экосистем морских мелководий становится все более явной. В данной работе изложены результаты целенаправленных и взаимно скоординированных исследований, с одной стороны, гидрологических и гидрохимических условий, с другой стороны, особенностей воспроизводства и распределения анадары на акватории, небольшой по размеру, но являющейся основным районом промысла моллюска.

Первоначально целью исследования было общее описание условий среды в б. Суходол в теплый период года (которые никогда ранее не были описаны в научной литературе) и происходящих здесь гидрологических и продукционных процессов. Однако уже во время наблюдений выявились некоторые наиболее очевидные примеры влияния абиотических факторов на анадара, прежде всего, на ее размножение и распределение. Поэтому, помимо изложения результатов океанологических наблюдений, была поставлена задача проанализировать влияние на размножение и распределение анадары циркуляции вод, неравномерностей в распределении детрита (о чем можно косвенно судить по гидрохимическим показателям) и других особенностей различных частей бухты. Другой важной задачей стало сравнение условий среды в б. Суходол с условиями в других районах обитания анадары или в аквариальных экспериментах, поскольку простого описания океанологических условий недостаточно для суждения о роли абиотических факторов в жизни обитателей бухты, в частности, о благоприятности или неблагоприятности этой акватории для обитания анадары.

Материал и методы

Материал собран в б. Суходол в период с июня по ноябрь 2002 г. Для исследования состояния скопления анадары, распределения биомассы, изучения полового, размерного и весового состава скопления моллюсков, отбирали пробы с промысловых шхун, выполнявших драгирование в разных районах бухты (рис. 1). Зубчатые драги имели вход длиной 2,4–2,65 м и шириной 0,35 м. Зубья длиной 20–25 см погружались в грунт на глубину до 10–15 см, а расстояние между зубьями и ячей сети мешка драги, равные 3–5 см, позволяли учитывать всех моллюсков промыс-

лового размера и отчасти молодь. Драгирование выполняли параллельными галсами со скоростью 4 узла. В сентябре и октябре 2002 г. выполнено 120 учетных драгировок продолжительностью по 10 минут. Для этого периода года был принят коэффициент уловистости драги для илистого грунта, равный 0,2 [персональное сообщ. А.Б. Олифиренко].

В каждой драгировке подсчитывали всех особей анадары и безвыборочно брали пробу для биологического анализа по известной методике [Методы изучения..., 1990]. Измеряли длину, высо-

ту и толщину (ширину) раковины и общую массу каждого моллюска. У некоторых особей взвешивали также мягкие ткани и фиксировали пробы гонад для гистологического анализа. За весь период исследования биоанализу было подвергнуто свыше 4 тысяч особей.

Для анализа особенностей условий среды в разных частях бухты было проведено ее районирование (рис. 1), которое можно назвать условным, поскольку оно не учитывает всех аспектов пространственной неоднородности бухты, тем более в сезонном развитии. Вместе с тем, предлагаемое районирование примерно соответствует районированию, сложившемуся у промысловиков и отражающего как особенности распределения анадары, в том числе по размеру, так и особенности ведения промысла.

Для изучения распределения личинок анадары в б. Суходол 31 июля, 31 августа и 5 сентября вертикальным ловом от придонного слоя до поверхности воды собирали пробы планктона сетью Джеди на 11 станциях (рис. 1). Планктонная сеть имела площадь входного отверстия 0,1 м² и размер ячей фильтрующего конуса 0,168 мм. Пробы фиксировали 4 % раствором формалина и обрабатывали в лаборатории. Количество подсчитанных в каждой пробе личинок анадары пересчитывали на плотность в расчете под одним квадратным метром поверхности воды. Обработку проб планктона выполняла бывший сотрудник ТИНРО-центра Л.Н. Кошкарева, за что авторы выражают ей благодарность.

Контрольный лов анадары в б. Суходол сопровождали океанографическими съемками по сетке из 18 станций (рис. 1). На каждой станции измеряли температуру и соленость воды от поверхности воды до дна с помощью океанографических зондов-профилемеров AST-1000p (изготовлены в Японии) и Sea Bird SBE-19plus (США). На 8 станциях отбирали пробы воды на гид-

рохимический анализ (содержание растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода (БПК), pH, концентрация нитритного азота) с помощью 5-литрового пластикового батометра Ван-Дорна. Сразу после отбора пробы фиксировали кислород, содержащийся в воде. Кроме того, в течение всего периода ежедневно измеряли температуру воздуха и воды на поверхности в районе промысла анадары (северо-восточная часть бухты).

Химический анализ (кроме БПК) выполняли в день отбора проб воды, а БПК – через 5 дней. Содержание растворенного в воде кислорода определяли титрованием по методу Винклера [Блинов, 1959] с точностью 0,05 мгО₂/л. Активную реакцию (pH) измеряли pH-метром Hanna HI-9025 (Польша). Концентрацию нитритов в воде определяли с помощью электрофотоколориметра КФК-3 (СССР) согласно существующим методикам [Методы гидрохимических..., 1988].

При анализе структуры вод бухты применяли метод кластерного анализа с использованием Т,S-диаграмм рассеивания для поверхности воды и придонных горизонтов [Мамаев, 1987]. На Т,S-диаграммах выделяются группы станций со сходными значениями температуры и солености воды – кластеры, соответствующие водным массам. Следуя классификации Ю.И. Зуенко и Г.И. Юрасова [1995], в б. Суходол были идентифицированы водные массы: эстуарная (шлейфы стока рек, впадающих в северо-восточную часть бухты), поверхностная Уссурийского залива (приэстуарная по своей природе), поверхностная прибрежная (ПП) и глубинная шельфовая (ГШ).

Циркуляция вод в поверхностном слое бухты определена методом «ядра» [Мамаев, 1987]. Метод применим в условиях взаимодействия четко различающихся по своим термохалинным характеристикам водных масс, каковыми в поверхностном слое б. Суходол явля-

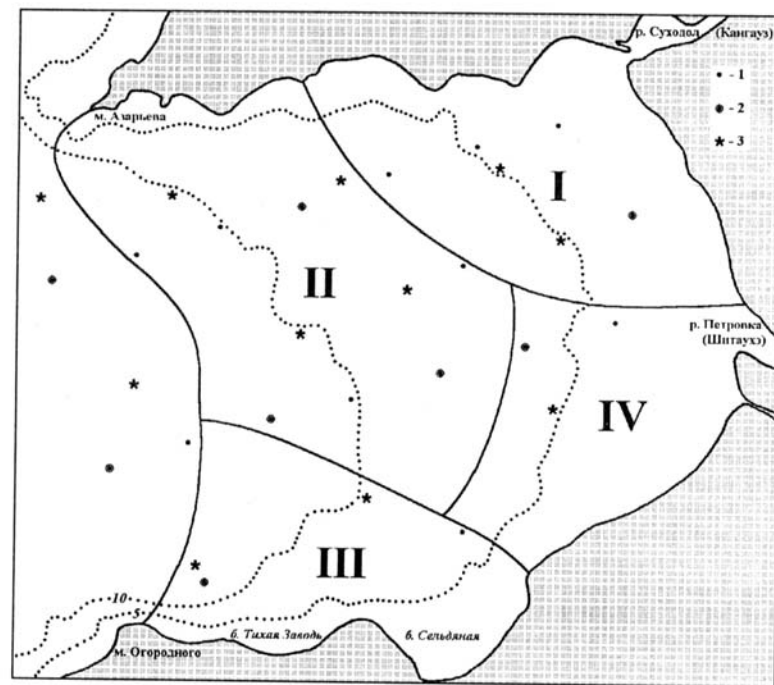


Рис. 1. Схема расположения гидрологических станций (1), гидрологических станций с отбором проб на гидрохимический анализ (2), ловов меропланктона (3) и районов сбора биостатистической информации (I-IV) в б. Суходол в июне-сентябре 2002 г.

Fig. 1. Scheme of surveys in Sukhodol Bay in June-September, 2002: 1 – oceanographic stations; 2 – oceanographic stations with hydrochemical sampling; 3 – meroplankton tows; I-IV – biostatistic areas.



Рис. 2. Схема, иллюстрирующая определение циркуляции вод в поверхностном слое б. Суходол методом «ядра» по данным о температуре и солёности на горизонте 1 м 11 сентября 2002 г. Указаны «начальные» водные массы и T,S-индексы вод, образуемых при их смешении.

Fig. 2. Appliцance of the «core» method for definition of water circulation in the surface layer of Sukhodol Bay by the data on temperature and salinity at horizon of 1 m on September 11, 2002. Initial water masses are indicated; points show T,S-indices for each station.

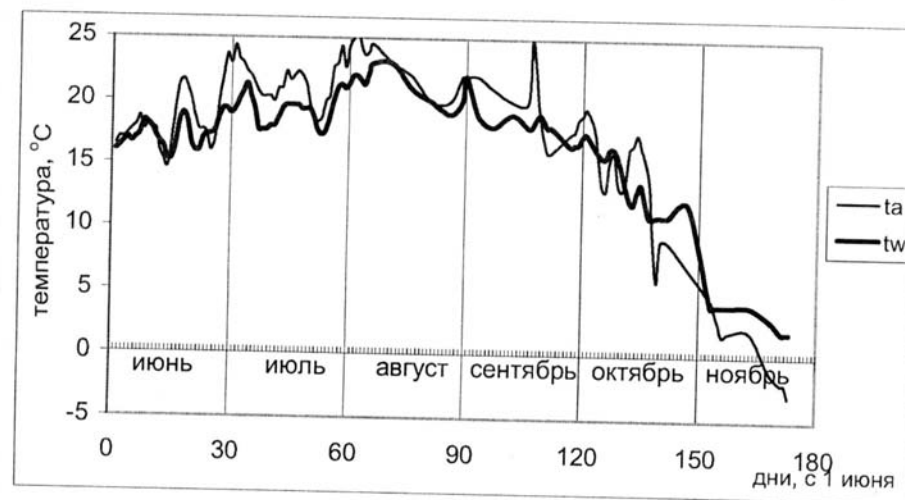


Рис. 3. Ход температуры воздуха (t_a) и воды на поверхности моря (t_w) в северо-восточной части б. Суходол в июне–ноябре 2002 г. (приведены ежедневные данные, сглаженные скользящим трехдневным осреднением).

Fig. 3. Air temperature (t_a) and sea surface temperature (t_w) changes in the northeastern part of Sukhodol Bay in June–November of 2002 (daily data smoothed by running 3-days smoothing are presented).

ются эстуарная, прибрежная и водная масса Уссурийского залива. В таком случае за направление потока принимается то направление, в котором последовательно убывают в результате смешения экстремальные свойства начальных водных масс. Так, в сентябре 2002 г. воды Уссурийского залива отличались относительно высокой температурой, эстуарные воды – низкой солёностью, а поверхностные прибрежные – относительно низкой температурой и высокой солёностью (рис. 2). Районы формирования двух водных масс локализируются довольно точно: эстуарные воды формируются в устьях рек, а воды Уссурийского залива поступают в бухту с запада. При удалении от районов формирования экстремальные свойства эстуарных вод убывали (солёность возрастала) по трем направлениям, отмеченным стрелками, соответствующим распространению трех потоков сильно распресненных вод (шлейфов). Экстремальные свойства вод Уссурийского залива убывали (температура по-

нижалась) по двум направлениям, соответствующим двум потокам вторжения вод в б. Суходол из Уссурийского залива (рис. 2).

Гидрологические условия в б. Суходол в целом типичны для бухт зал. Петра Великого с существенным материковым стоком и определяются взаимодействием прибрежных вод открытой части залива и эстуарных вод. Изменения гидрологических условий в теплый период года обусловлены в основном прогревом поверхностного слоя воды и изменениями стока пресной воды, в меньшей степени – изменениями циркуляции вод под действием преобладающих ветров. В 2002 г. процесс прогрева поверхностного слоя моря продолжался до конца июля (рис. 3), после чего происходило постепенное, а в октябре–ноябре быстрое выхолаживание, приведшее в середине ноября к разрушению летней стратификации.

Одновременно с сильными изменениями температуры и солёности воды происходила существенная перестройка структуры вод. Во время проведения июньской съемки воды бухты были сильно стратифицированы. Поверхностный слой воды толщиной 2–3 м был сильно распреснен, особенно в северо-восточной части бухты, где степень распреснения была пропорциональна степени прогрева этого слоя. Распространение шлейфов эстуарных вод происходило вдоль северного берега бухты вплоть до м. Азарьева (рис. 4). Анализ по методу «ядра» указывает также на существование циклонического круговорота в северо-западной части бухты диаметром около 2 миль. В южную часть бухты вторгаются воды из открытой части Уссурийского залива, также сильно распресненные речным стоком, температура которых примерно на 1°C ниже, а солёность немного выше, чем в северной части бухты. Круговорот в северо-восточной части бухты отделен от остальной его части поверхностным эстуарным фронтом (рис. 4).

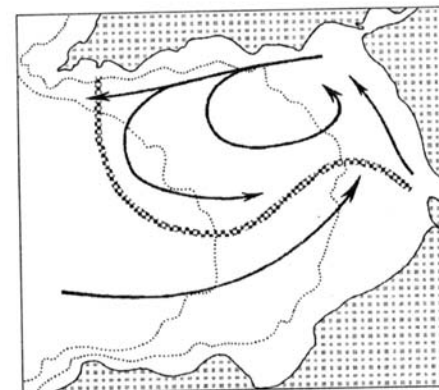


Рис. 4. Схема циркуляции вод на поверхности б. Суходол 26 июня 2002 г. Пунктиром обозначен эстуарный фронт.

Fig. 4. Scheme of water circulation at sea surface in Sukhodol Bay on June 26, 2002. Estuarine front is shown by dotted line.

На глубине от 2–3 до 6–8 м в июне был расположен слой воды с более высокой солёностью (32–33 епс) и пониженной температурой, т.е. с показателями, типичными для открытой части зал. Петра Великого. Глубже наблюдался сезонный пикноклин и верхняя периферия ГШ. В пределах самой бухты, где глубины не более 15 м, ядро ГШ летом не наблюдается.

Вследствие стратификации, термохалинные условия у дна бухты в начале лета сильно зависят от глубины. Поэтому от поверхности до глубины 3 м наблюдалось резкое уменьшение температуры и увеличение солёности воды, связанное с переходом от эстуарных и приэстуарных к прибрежным водам. На глубине 3–8 м температура воды была приблизительно однородная и на 5–10°C ниже, чем у поверхности моря. Ниже этого слоя на глубине 8–9 м залегал бентический фронт с резким уменьшением температуры и ростом солёности воды.

По мере прогрева вод в течение летнего периода происходит увеличение мощности поверхностного слоя. Это



Рис. 5. Схема циркуляции вод на поверхности б. Суходол 11 сентября 2002 г. Пунктиром обозначен эстуарный фронт.

Fig. 5. Scheme of water circulation at sea surface in Sukhodol Bay on September 11, 2002. Estuarine front is shown by dotted line.

связано также с нагоном поверхностных вод из открытого моря преобладающими ветрами южных румбов. В результате во время проведения сентябрьской съемки хорошо прогретый поверхностный слой воды занимал всю толщу воды. Только до глубины 3–5 м сохранялась стратификация, обусловленная распространением сильно распресненных эстуарных и приэстуарных вод. Как и в начале лета, шлейфы эстуарных вод распространялись вдоль северного берега бухты, образуя циклонический круговорот в ее северо-восточной части, хотя конфигурация потоков несколько изменилась, и диаметр круговорота уменьшился примерно вдвое. Эстуарный фронт находился примерно в том же положении, что и в начале лета, но площадь эстуарной зоны несколько уменьшилась, по-видимому, в связи с уменьшением стока (рис. 5). Воды открытой части Уссурийского залива вторгались в бухту в основ-

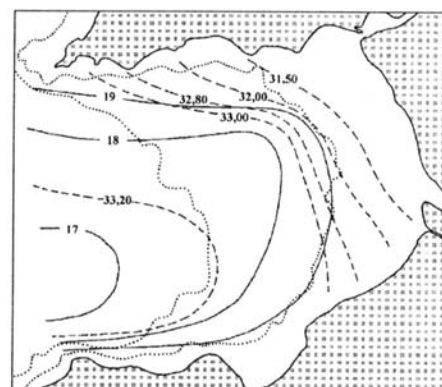


Рис. 6. Распределение температуры (°C, сплошные линии) и солёности (епс, пунктир) у дна б. Суходол 11 сентября 2002 г.

Fig. 6. Water temperature (°C, solid lines) and salinity (psu, dotted lines) at sea bottom in Sukhodol Bay in September 11, 2002.

ном на юге и отчасти на северо-западе. Глубже 3–5 м находилась сравнительно однородная поверхностная прибрежная водная масса с температурой воды 16–19°С и солёностью 33,1–33,3 епс (рис. 6). Придонные изотермы и изохалины не следовали изобатам, вследствие конвергенции вод на приэстуарном фронте температура воды у северного берега была выше, а солёность ниже, чем у южного берега. В конце лета в пределах бухты бентический фронт не наблюдался, т. к. он находился за ее пределами на глубине более 15 м.

Наблюдавшаяся в сентябре структура вод, по-видимому, сохранялась до ноября, когда обычно происходит разрушение летней структуры вод в зал. Петра Великого. При этом происходит понижение температуры воды во всей толще и сокращение зоны, занятой шлейфами эстуарных вод в связи с уменьшением речного стока.

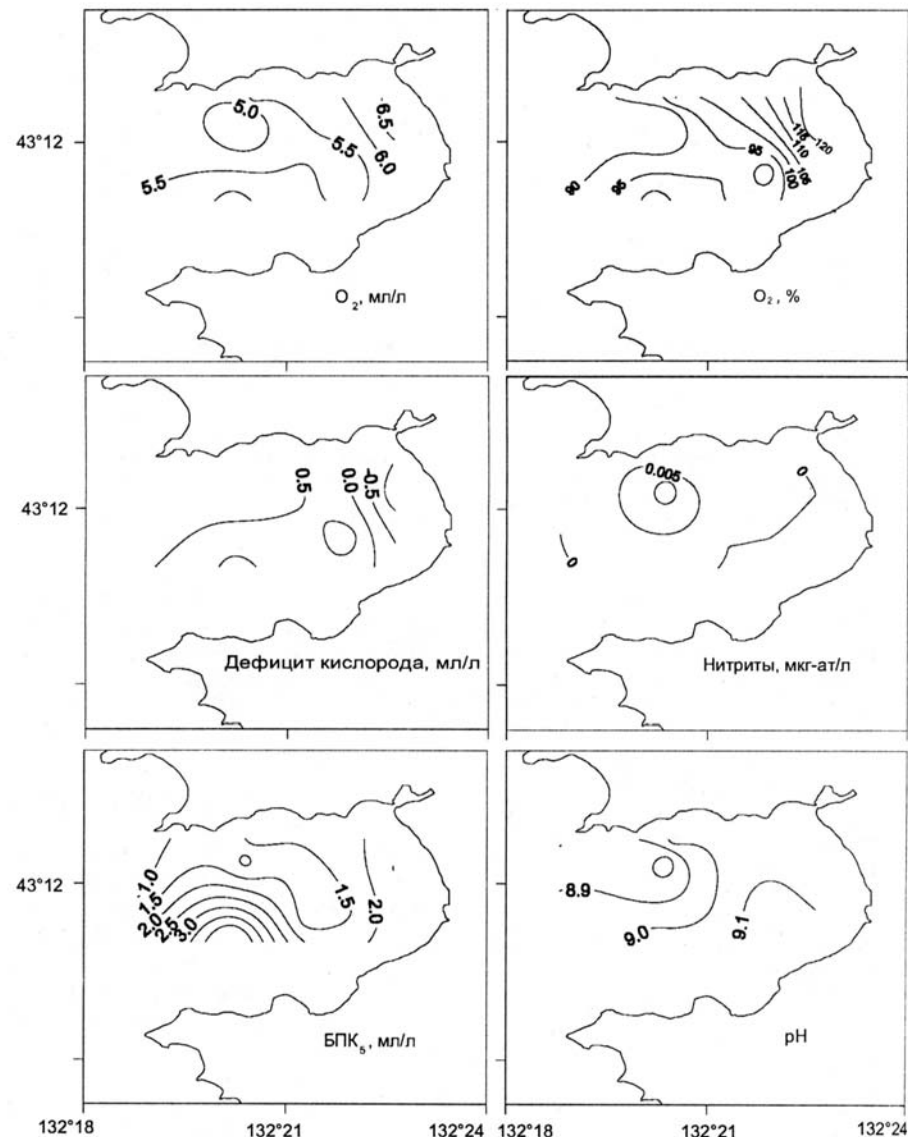


Рис. 7. Распределение гидрохимических характеристик у дна б. Суходол в июне 2002 г.
Fig. 7. Hydrochemical parameters at sea bottom in Sukhodol Bay in June of 2002.

Гидрохимические условия

Июньская гидрохимическая съемка в б. Суходол совпала с периодом цветения фитопланктона в поверхностном слое, особенно сильным в зоне распространения эстуарных вод. Об этом свидетельствует чрезвычайно высокое содержание растворенного кислорода (6,7–7,4 мл/л, насыщение 115–138%) и полное отсутствие нитритов в северо-восточной части залива. За пределами шлейфа содержание кислорода несколько меньше (6,2–5,4 мг/л, 114–119%). Это цветение, вероятно вызванное усилением материкового стока, относится к летнему сукцессионному циклу, характерному для эстуарных районов [Коновалова, Орлова, 1988].

В июне, когда воды в бухте стратифицированы, гидрохимические условия в придонных горизонтах определялись в основном глубиной (рис. 7). На глубине менее 3 м в это время наблюдались показатели, характерные для эстуарных вод (см. выше). В южной части бухты и у входа в нее придонные слои были заняты ГШ водами, которые, кроме пониженной температуры и повышенной солености, характеризовались дефицитом кислорода, обусловленным разложением детрита. Биохимическое потребление кислорода (БПК), характеризующее обилие разлагающегося органического вещества, в это время достигало 3,0–3,5 мл/л за 5 суток. Соответственно содержание растворенного кислорода было пониженным: 5,2–5,6 мл/л, насыщение 90–95%, т.е. дефицит 0,6–0,8 мл/л. Поверхностные прибрежные воды, наблюдавшиеся у дна на глубине от 3 до 8 м, имели промежуточные гидрохимические характеристики. Однако в северо-западной части бухты отмечены экстремальные значения дефицита кислорода – 0,6 мл/л при содержании 4,8 мл/л. В этом районе также был относительно низкий показатель pH (8,8), связанный с разложением детрита, т.к. при минерализации органического вещества активно

потребляется кислород и выделяется углекислота. Обилие детрита в северо-западной части бухты, по-видимому, обусловлено конвергенцией поверхностных вод на приэстуарном фронте.

В целом, в июне состояние кислотно-щелочного баланса вод бухты отличалось необычайно высокими значениями pH. Кроме упомянутого выше участка в северо-западной части бухты, значения pH повсеместно превышали 8,9. Этот феномен, вероятно, обусловлен активной ассимиляцией CO_2 фитопланктоном при фотосинтезе. Т. к. в июне с глубиной не наблюдалось уменьшение pH, то даже у дна на большей части бухты продукция превышала деструкцию.

Ко времени выполнения сентябрьской съемки гидрологические условия в б. Суходол изменились, в частности, уменьшилась стратификация вод, которые прогрелись до дна. Массового развития фитопланктона не наблюдалось, о чем можно судить по уменьшению содержания кислорода (до 5,9–6,2 мл/л) и появлению следов нитритов в поверхностном слое воды. Гидрохимические показатели у дна распределялись более равномерно, чем в июне (рис. 8). Минимальное содержание кислорода у дна (3,7 мл/л) отмечено в мористой части бухты, а с уменьшением глубины до 3–5 м оно возрастало до 5,5 мл/л. На большей части бухты величины БПК у дна составляли 0,6–0,8 мл/л за 5 сут., достигая 1,0–1,2 мл/л на глубине 14–16 м. Нитритный азот увеличивался в направлении мористой части, а значения pH, наоборот, уменьшались от 8,5 до 8,0. Наблюдаемое в сентябре распределение гидрохимических параметров свидетельствует о том, что процесс деструкции органики, поступившей во время летнего цветения фитопланктона, к середине сентября в основном завершился. Только в относительно глубоководной части бухты, где температура воды у дна ниже, активное разложение органического вещества еще продолжалось.

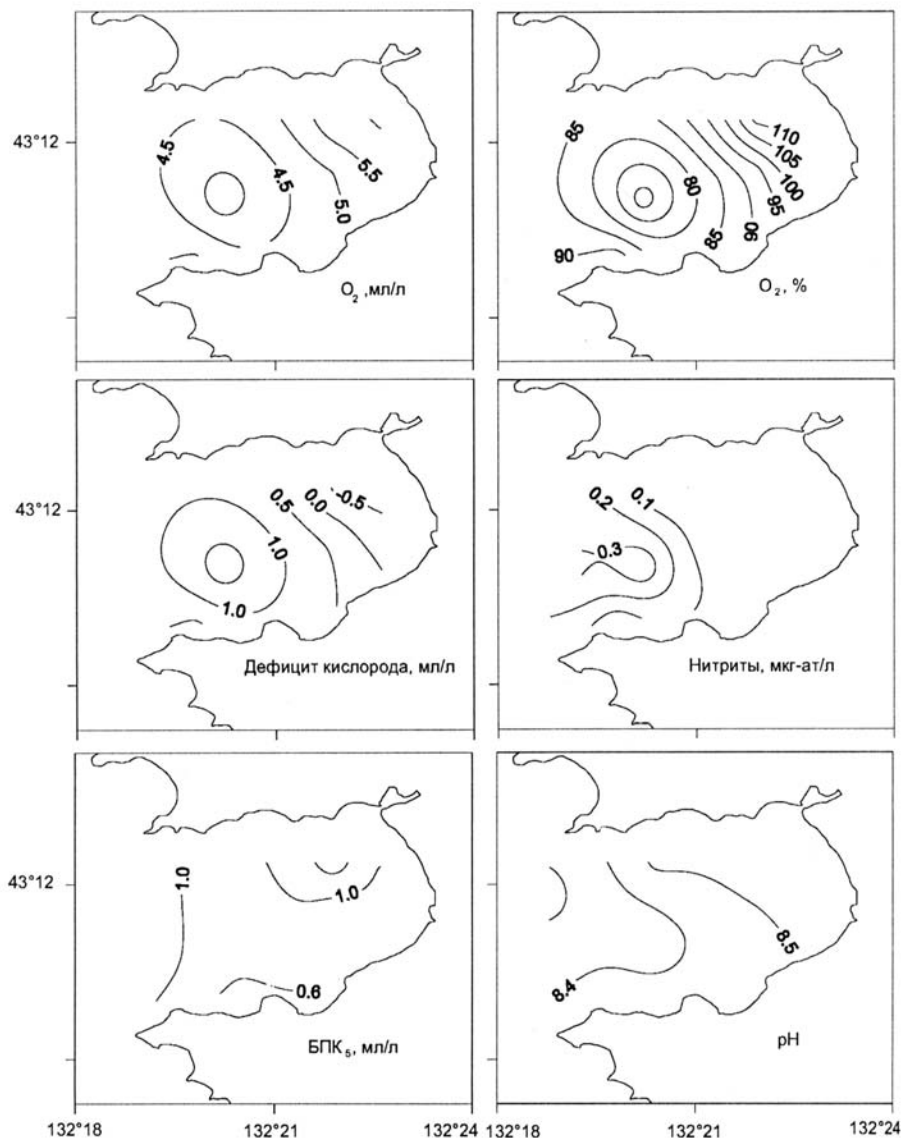


Рис. 8. Распределение гидрохимических характеристик у дна б. Суходол в сентябре 2002 г.
Fig. 8. Hydrochemical parameters at sea bottom in Sukhodol Bay in September of 2002.

Отметим экстремально низкие значения содержания кислорода у дна, наблюдавшиеся в сентябре в мористой части бухты. Дефицит кислорода в 1,0–1,2 мл/л при насыщении 65% опасен для жизнедеятельности многих морских животных. Так же, как и экстремально высокая щелочность, отмеченная в начале лета, дефицит кислорода в конце лета является следствием высокой биологической продуктивности вод б. Суходол.

Несмотря на небольшие размеры бухты, хорошо заметны различия гидрологических и гидрохимических условий между ее участками, обусловленные не только глубиной, но и особенностями структуры и циркуляции вод, связанными с распространением материкового стока преимущественно вдоль северного берега и вторжением вод из Уссурийского залива в южную часть бухты (табл. 1).

Таблица 1

Средние гидрологические и гидрохимические характеристики придонных вод в б. Суходол в 2002 г.
Mean values of oceanographic and hydrochemical parameters in Sukhodol Bay in 2002

Участок	I		II		III		IV	
Месяц	июнь	сент.	июнь	сент.	июнь	сент.	июнь	сент.
Температура, °C	17,6	19,5	13,2	17,9	14,4	18,1	16,6	18,9
Соленость, епс	31,76	31,84	33,24	33,15	33,14	33,17	32,40	32,48
Кислород, мл/л	6,2	6,0	5,4	4,3	-	5,1	5,7	5,0
БПК ₅ , мл/л 5 сут.	2,1	1,3	2,4	0,8	-	0,6	1,4	0,8
pH	9,0	8,6	9,0	8,4	-	8,5	9,2	8,5
Нитриты, мкг-ат./л	0,00	0,002	0,004	0,13	-	0,00	0,00	0,07

Влияние океанологических условий на нерест и распределение личинок анадары

В зал. Петра Великого нерест анадары происходит при температуре воды 15–22°C в период с июля по сентябрь [Дзюба, Масленникова, 1982]. В 2002 г. моллюски из Уссурийского залива уже в середине июня имели зрелые половые продукты. Критическая температура нереста анадары у поверхности воды в б. Суходол была достигнута к началу июня (рис. 3). Однако у дна вода прогрелась до 16–18°C только примерно через месяц и, судя по размерам первых личинок, попавших в планктонные пробы, нерест *A. broughtonii* начался в

конце первой декады июля, а наиболее активным был во второй половине июля 2002 г.

Горизонтальное распределение личинок *A. broughtonii* в б. Суходол исследовали в 2002 г. дважды — вскоре после нереста, в период их максимальной плотности в планктоне (31 июля), и во время оседания личинок на дно (в конце августа — начале сентября). В конце июля плотность личинок анадары колебалась в больших пределах и достигала более 300 экз./м² в северо-западной части бухты южнее м. Азарьева

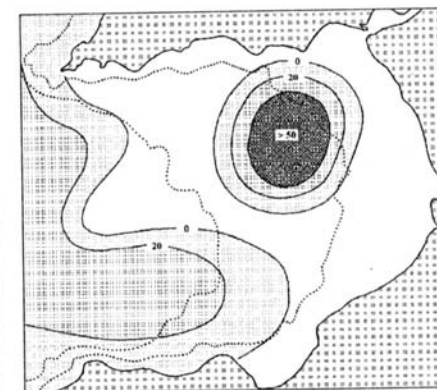


Рис. 9. Распределение личинок анадары (экз./м²) по данным ловов меропланктона 31 июля (слева) и 31 августа — 11 сентября 2002 г. (справа).

Fig. 9. Distribution of larvae of ark shell (specimens/m²) by the data of meroplankton sampling on July 31, 2002 (left) and August 31 — September 11, 2002 (right).

(рис. 9). По направлению к центру бухты плотность постепенно уменьшалась до 50–100 экз./м², а в вершине бухты личинки анадары не наблюдались. Во время второй планктонной съемки отмечена более низкая плотность личинок анадары в планктоне, что связано с их оседанием (рис. 9). Она не превышала 70 экз./м² в северо-восточной части б. Суходол, где сформировалось скопление личинок, имеющее концентрическую форму. Сравнивая результаты двух съемок, можно видеть, что это скопление, скорее всего, образовано за счет личинок, перемещенных течением вдоль эстуарного фронта из северо-западного района бухты в северо-вос-

точный и сконцентрировавшихся в центре циклонического круговорота, существовавшего в этой части б. Суходол (рис. 4–5).

Кроме этого, в юго-западной части бухты во время второй съемки появились личинки анадары с плотностью около 20 экз./м². Такая же плотность личинок наблюдалась в водах Уссурийского залива за пределами б. Суходол. Можно предположить, что в южную часть бухты заносятся личинки из соседних районов Уссурийского залива, где располагаются крупные скопления анадары, в то время как непосредственно на юге б. Суходол анадара почти не встречается.

Особенности распределения анадары на различных участках бухты Суходол

В ходе учетной съемки установлено, что *A. broughtonii* встречается в б. Суходол почти повсеместно на глубине более 3 м, на илистых и песчано-илистых грунтах. Однако участок с максимальной плотностью (0,6 экз./м² и более) находится только в северо-восточном районе бухты, и по направлению к юго-

западу от него плотность постепенно снижается до 0,1–0,2 экз./м² (рис. 10). За пределами б. Суходол, на глубинах более 13–15 м, моллюски практически исчезают, и ближайшее скопление находится севернее, в вершине Уссурийского залива.

Участок дна с плотностью анадары

более 0,6 экз./м² имеет площадь около 1,5 км². Площадь всего скопления моллюсков в б. Суходол примерно в десять раз больше. Участки с высокой плотностью находятся в тех же районах бухты, где наблюдалось скопление личинок анадары в планктоне в период оседания. Такое совпадение, очевидно, не случайно, так как между численностью личинок в стадии педивелигера и плотностью моллюсков на дне обычно существует прямая связь.

Анализ размерной структуры скопления анадары на разных глубинах б. Суходол показал, что с увеличением глубины средняя длина моллюсков также увеличивается (рис. 11, табл. 2). Так, в северо-восточной части бухты на глубине 3–5 м заметно больше молодых особей, и средний размер моллюсков 87,0 мм. У входа в бухту, на глубине 12–13 м, молодых моллюсков немного, и средняя длина раковин выше – 96,4 мм.

Таблица 2

Средняя длина раковины анадары Броутона на разных глубинах в б. Суходол в 2002 г.
Mean shell sizes of the ark shell at different depths in Sukhodol Bay in 2002

Глубина, м	Средняя длина, мм	Стандартное отклонение, мм	Медиана, мм	Мода, мм	Количество промеренных особей
3-5	87,0	10,8	88	93	333
6-7	88,2	10,4	91	93	1239
8-9	91,2	10,2	93	94	1413
10-11	92,0	8,2	93	97	829
12-13	96,4	7,0	97	98	206

В б. Суходол в скоплении анадары доминировала единая размерная группа с длиной раковины 84–104 мм. Она входит в промысловую часть скопления, так как для этого вида установлен минимальный промысловый размер 70 мм. Практически полное отсутствие моллюсков с длиной менее 70 мм на глубине более 12 м, по-видимому, объясняется тем, что на большую глубину они мигрируют с мелководных участков, не охваченных съемкой, по мере роста. В целом, относительно небольшое число молоди анадары в сборах связано еще и с особенностями методики сбора материала, т.к. для лова моллюсков использовали промысловую драгу, у которой расстояние между зубьями было 3–5 см, и значительную часть молоди она не захватывала.

Учитывая особенности распределения и промысла анадары, акватория бухты была условно разбита на четыре участка (рис. 1). На участке III анадары было мало, поэтому анализ размерного состава анадары выполнен только для остальных трех участков (рис. 12).

Можно видеть, что на мелководном участке I, расположенном в северо-восточной части б. Суходол, относительно много молодых особей. Около 12% моллюсков имеют размеры меньше минимального промыслового размера. Самые мелкие особи достигали 11 мм и, несомненно, относились к годовикам. Заметим, что участок I выгодно отличается от остальных наличием субстрата, пригодного для оседания личинок анадары, в то время как дно бухты на остальных участках покрыто илом.

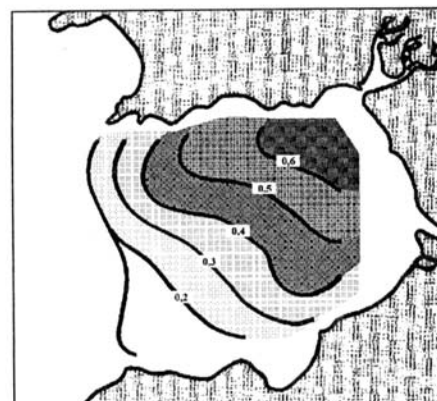


Рис. 10. Плотность (экз./м²) скопления анадары б. Суходол в посленерестовый период 2002 г.

Fig. 10. Density (specimens/m²) in post-spawn concentration of the ark shell in Sukhodol Bay in 2002.

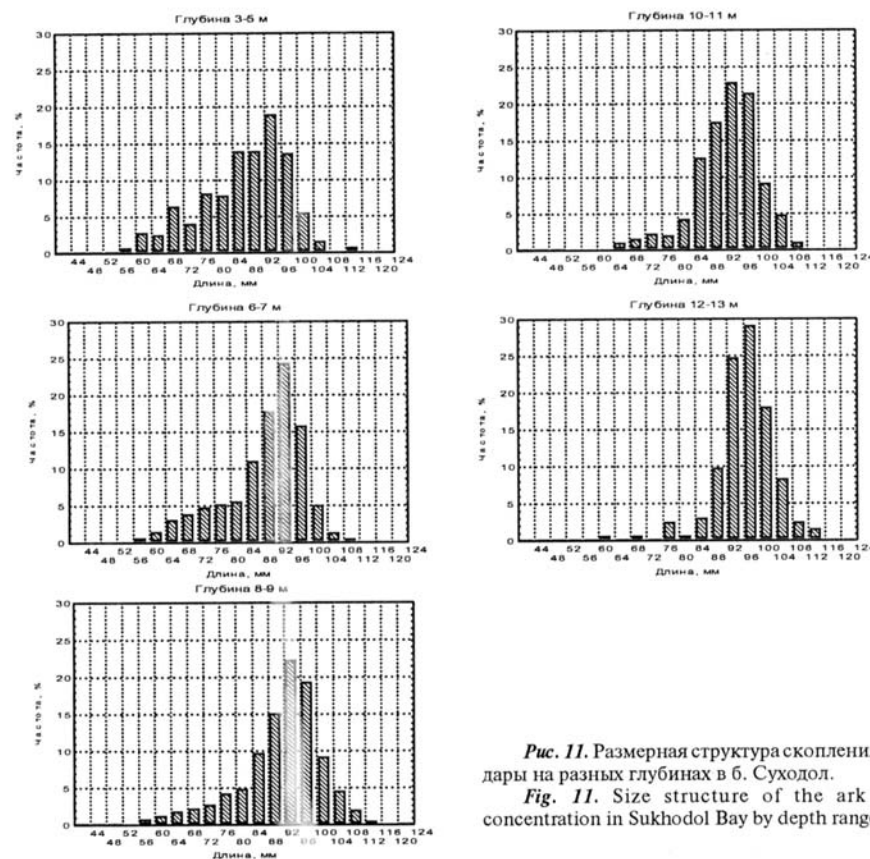


Рис. 11. Размерная структура скопления анадары на разных глубинах в б. Суходол.

Fig. 11. Size structure of the ark shell concentration in Sukhodol Bay by depth ranges.

На другом мелководном участке (IV), расположенном в юго-восточной части бухты, размерная структура анадары была близка к скоплению на участке I. Здесь было несколько меньше особей не промыслового размера (9%) и моллюсков среднего размера (70–84 мм).

Участок II является основным районом промысла анадары в б. Суходол. Здесь, на глубине 8–12 м, плотность моллюсков изменялась в пределах 0,18–0,48 экз./м², в среднем 0,3 экз./м². Длина раковины была в пределах 52–120 мм, в среднем 92 мм ($y=9,6$ мм). Основную часть скопления составляли моллюски с длиной раковины 84–104 мм (78%).

Существенные различия в термических и халинных условиях на разных участках бухты отмечены только в начале лета. В это время участки I и IV, а также значительная часть участка III заняты хорошо прогретыми и сильно распресненными поверхностными водами. Участок II в начале лета занят намного более холодными и солеными ГШ водами. В последующие месяцы термохалинные условия на участках I, III и IV остаются относительно стабильными, а на участке II происходит быстрое повышение температуры и понижение солености, связанное с заглублением бентического фронта. К концу лета на

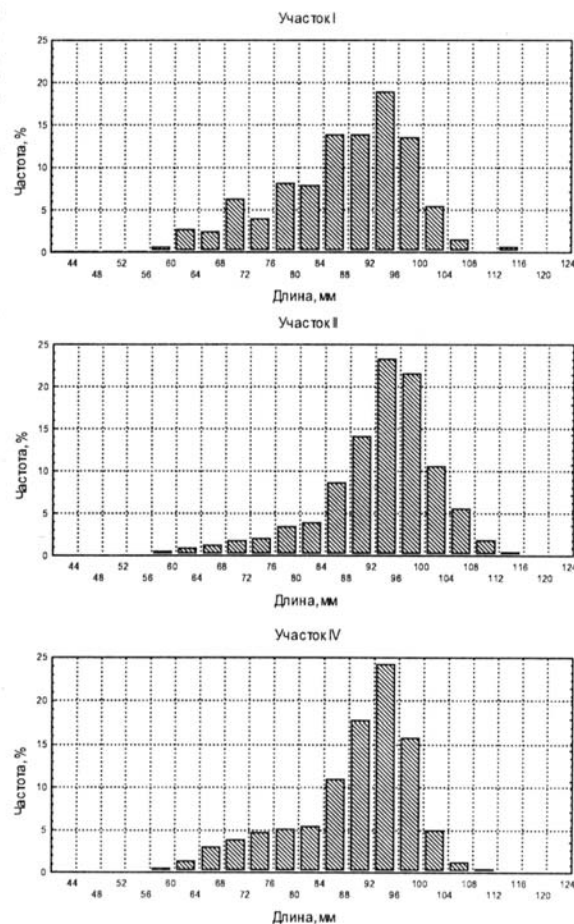


Рис. 12. Размерная структура скопления анадары на разных участках в б. Суходол.

Fig. 12. Size structure of the ark shell concentration in Sukhodol Bay by biostatistic areas.

этом участке термохалинные условия близки к условиям в других частях бухты.

Обсуждение

Как показали наши наблюдения, нерест анадары в б. Суходол происходил в июле 2002 г. при температуре воды не ниже 16–18 °C. В конце июля плот-

ность личинок достигала 300 экз. под квадратным метром поверхности воды. Под влиянием циклонического круговорота вод личинки перемещались в

северо-восточную часть бухты. Оседание личинок анадары происходило в августе, когда температура воды достигла максимальных значений (до 25–26 °C у поверхности).

Полученные результаты можно сравнить с данными по динамике численности и распределению личинок *A. broughtonii*, полученными в заливе Ульсан (Южная Корея), где наблюдения проводились в 1973–1977 гг. [Sung et al., 1977]. В этом заливе личинки анадары ежегодно появлялись в планктоне в конце июля и имели максимальную плотность в середине августа, когда температура воды превышала 27° C. В другом районе побережья Южной Кореи личинки анадары Броутона находились в планктоне с августа до конца сентября [Yoo, Yoo, 1974]. В Японии *A. broughtonii* нерестится с июня по август [Kanno, Kikuchi, 1962]. В искусственных условиях анадара Броутона нерестится только при температуре воды не ниже 18–20° C [Kanno, Kikuchi, 1962; Kanno, 1963; Kim, Koo, 1973]. Таким образом, в Уссурийском заливе и в бухтах корейского побережья анадара Броутона размножается примерно в одно и то же время года, несколько позднее, чем на побережье Японии. При этом температура воды в поверхностном слое моря, при которой происходит развитие личинок в планктоне, различна для разных районов.

К основным факторам, влияющим на горизонтальное и вертикальное распределение личинок анадары, корейские ученые относят температуру и соленость воды, а также скорость течения и глубину [Sung et al., 1977]. В мелководных районах, с глубиной менее 8 м, личинки анадары имели большую концентрацию в придонном слое воды (в нижнем 4-метровом слое находилось более 75% личинок). Но на участке зал. Ульсан с глубиной около 16 м личинки анадары распределялись в основном в среднем слое, а в придонном 4-метровом слое их было не более 45%. В рай-

онах с низкой соленостью воды личинки анадары концентрируются в нижнем, придонном слое воды [Sung et al., 1977]. Можно предположить, что и в мелководной и распресняемой б. Суходол личинки анадары сконцентрированы в основном в придонном слое. Тем не менее, характер циркуляции вод в бухте препятствует их распространению на большие глубины, где не отмечено ни высоких концентраций личинок, ни взрослых особей, и наоборот, способствует их выносу на мелководье.

Личинки анадары Броутона, выращиваемые в искусственных условиях, развиваются до стадии оседания довольно длительное время — до 52 дней [Eyen et al., 1976]. При этом выживаемость составляет 2,7%. Возможно, это связано с тем, что температура воды в бассейнах не регулировалась и колебалась в пределах от 9,5 до 26,9° C. В б. Суходол развитие личинок анадары от нереста до стадии оседания происходит за более короткое время, в течение не более одного месяца, очевидно потому, что в бухте в период нахождения личинок в планктоне наблюдаются устойчиво высокие температуры во всей толще воды.

Влияние гидрохимических факторов на личинок и взрослых моллюсков *A. broughtonii* в искусственных условиях изучали китайские ученые [Chen et al., 1989]. Так, при пониженной солености 21,5–29,6 psu выживаемость личинок анадары составила 93%, а время гибели моллюсков в возрасте 1–3 года уменьшалось с увеличением их возраста. В б. Суходол соленость, в основном выше указанных значений, за исключением участка с глубинами менее 3 м в северо-восточной части бухты, поэтому халинный режим бухты можно охарактеризовать как благоприятный для анадары.

Более 95% личинок анадары выживают при pH воды 7,5–8,5 в течение одних суток [Chen et al., 1989]. Однако, если pH выходит за эти пределы, то

смертность личинок увеличивается. В б. Суходол отмечены предельно высокие значения активной реакции среды, что потенциально опасно для личинок анадары, однако в 2002 г. в период нахождения личинок в планктоне рН была ниже опасного предела. У особей в возрасте 1–3 лет отмечено увеличение смертности при рН свыше 9,0 [Chen et al., 1989] – такие значения рН наблюдались у дна в восточной части бухты в период летнего цветения фитопланктона.

Личинки анадары чувствительны к концентрации растворенного в воде кислорода. При значениях ниже 0,21 мг/л в течение суток наблюдается гибель 50% личинок [Chen et al., 1989]. Взрослые *A. broughtonii* погибают при уровне относительной концентрации кислорода менее 14,6% в течение 12 суток [Kanno, 1966; Broom, 1985]. Однако в б. Суходол концентрация растворенного в воде кислорода существенно выше указанных опасных для анадары значений, даже на участках относительного его дефицита. Поэтому этот фактор вряд ли оказывает отрицательное влияние на личинок и взрослых моллюсков.

Вероятно, успешность воспроизводства анадары зависит и от наличия субстрата, подходящего для прикрепления личинки после ее оседания. Обычно молодь *A. broughtonii* прикрепляется с помощью биссусных нитей к водорослям, мшанкам, раковинам и другим доступным субстратам [Cahn, 1951]. Спустя несколько месяцев она открепляется и закапывается в илистый грунт. В б. Суходол заросли водорослей и твердые субстраты сосредоточены, главным образом, непосредственно у берега, прежде всего у северного побережья. На удалении от берега доминируют жидкие илы, которые не пригодны для прикрепления личинок анадары. Следовательно, благоприятные условия для оседания личинок имеются только на прибрежных участках б. Суходол и наи-

более благоприятна для этого северная часть бухты.

Рассмотрев особенности абиотических условий в б. Суходол и их влияние на воспроизводство и распределение анадары, можно сделать следующие выводы:

- анадара обитает в основном в более продуктивных северной, восточной и центральной частях бухты, где вследствие продолжительного периода массового развития фитопланктона (в течение весны и лета) формируется большое количество питательных веществ; наиболее продуктивен участок конвергенции вод на эстуарном фронте в северо-западной части бухты, где находится основное нерестовое скопление анадары;

- из района нереста личинки анадары переносятся на восток течением, являющимся частью циклонического круговорота, и концентрируются и оседают преимущественно в северо-восточной части бухты; таким образом, скопление анадары в б. Суходол способно к самовоспроизводству, удерживаясь в пределах циклонического круговорота эстуарных вод в северной части бухты; хотя отмечен факт заноса в южную часть бухты небольшого количества личинок извне, скопление анадары в б. Суходол можно считать относительно независимым и слабосвязанным с другими скоплениями;

- молодь анадары обитает в основном в северо-восточной части бухты, т.е. там же, где происходит оседание личинок; по мере увеличения глубины доля крупноразмерных особей возрастает;

- несмотря на то, что б. Суходол находится на северной периферии ареала вида, абиотические условия в бухте в целом благоприятны для обитания анадары: соленость воды значительно выше неблагоприятных значений, температура в период гаметогенеза и нереста достаточно высока, содержание кислорода высоко, бухта отличается высокой продуктивностью; в тоже вре-

мя субстрат, пригодный для оседания личинок анадары, имеется лишь на небольшой части акватории бухты, а резкий рост рН в период цветения фитопланктона может обусловить повышенную смертность молоди анадары в восточной части бухты, где она в основном концентрируется.

Литература

- Афейчук Л.С. 2003. Экология, распределение и популяционная структура анадары в Амурском и Уссурийском заливах // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 11. Японское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб: Гидрометеиздат (в печати).
- Блинов А.К. 1959. Руководство по морским гидрохимическим исследованиям. М.: Гидрометеиздат. 252 с.
- Дзюба С.М. 1981. Проллиферация клеток в женской гонаде *Anadara broughtonii* // Тезисы докладов. VI Всесоюзное совещание эмбриологов. М.: Наука. С. 52.
- Дзюба С.М. 1982. Некоторые черты оогенеза и биологии размножения двусторчатого моллюска *Anadara broughtonii* // III Всесоюзная конференция «Проблемы рационального использования промысловых беспозвоночных»: Тезисы докладов. Калининград: АтлантНИРО. С. 92-93.
- Дзюба С.М., Масленникова Л.А. 1982. Репродуктивный цикл двусторчатого моллюска *Anadara broughtonii* в южной части залива Петра Великого // Биология моря. № 3. С. 34-40.
- Зуенко Ю.И., Юрасов Г.И. 1995. Водные массы северо-западной части Японского моря // Метеорология и гидрология. № 8. С. 50-57.
- Коповалова Г.В., Орлова Т.Ю. 1988. Исследование структуры фитопланктона мелководий северо-западной части Японского моря на примере бухты Мелководная // Биология моря. № 5. С. 10-20.
- Мамаев О.И. 1987. Термохалинный анализ вод Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 296 с.
- Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. 1988. М.: ВНИРО. 118 с.
- Методы изучения двусторчатых моллюсков. 1990 // Труды Зоологического института АН СССР. Т. 219. 208 с.
- Олифиренко А.Б. 1998. Некоторые особенности экологии двусторчатого моллюска *Anadara broughtonii* (Schrenk) // Региональная конференция по актуальным проблемам морской биологии и экологии студентов, аспирантов и молодых ученых: Тезисы докладов. Владивосток: ДВГУ. С. 104-105.
- Broom M.J. 1985. The biology and culture of marine bivalve mollusks of genus *Anadara*. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management. 37 p.
- Cahn A.R. 1951. Clam culture in Japan. Washington: U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service. 104 p.
- Chen J., Wang E., Li H. 1989. The effects of some chemical factors on the larvae and adults of *Scapharca broughtonii* (Schrenck) // Oceanologia et Limnologia Sinica. V. 2. № 1. P. 15-22.
- Eyen C.K., Rho Y.G., Yoo Y.K. 1976. Studies on spat collection and rearing of the larvae, *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank // Bulletin of the Fisheries Research and Development Agency. № 15. P. 7-20.
- Kanno H. 1963. Breeding of the ark, *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank // Reports of the North East Aquatic Centre. № 23. P. 108-116.
- Kanno H. 1966. Bottom environments of the ark shell, *Scapharca broughtonii* (Schrenck), in Sendai Bay // Reports of the North East Aquatic Centre. № 26. P. 55-75.
- Kanno H., Kikuchi S. 1962. On the rearing of *Anadara broughtonii* (Schrenck) and *Haliotis discus hannai* Ino // Bulletin of the Marine Biological Station Asamushi, Tohoku University. № 11. P. 71-76.
- Kim J.D., Koo J.H. 1973. Studies on the seedling production of the ark, *Anadara broughtonii* (Schrenck) in tank (1) // Bulletin of the Fisheries Research and Development Agency. № 11. P. 71-78.
- Sung K.Y., Kyung Y.P., Myung S.Y. 1977. Biological studies on arkshell culture. I. Distribution of drifting larvae of the ark shell, *Anadara broughtonii* Schrenck // Journal of the Oceanological Society of Korea. V. 12. № 2. P. 75-81.
- Yoo M.S., Yoo S.K. 1974. Spat collection and growth of *Anadara broughtonii* Schrenck // Bulletin of the Korean Fisheries Society V. 7. P. 79-86.