

## Промысловые виды и их биология

УДК 574.34

**Долговременные изменения популяции двустворчатого моллюска-вселенца *Anadara kagoshimensis* на северо-восточном побережье Чёрного моря**

Г.А. Колочкина<sup>1</sup>, М.В. Чикина<sup>1</sup>, С.В. Бирюкова<sup>2,3</sup>, Н.И. Булышева<sup>2</sup>, А.Б. Басин<sup>1</sup>,  
И.В. Любимов<sup>4</sup>, Е.П. Коваленко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ФГБУН «ИО РАН»), г. Москва

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр ЮНЦ РАН (ФГБУН «ФИЦ ЮНЦ РАН»), г. Ростов-на-Дону

<sup>3</sup> Азовский филиал Мурманского морского биологического института КНЦ РАН (ФГБУН «АФ ММБИ КНЦ РАН»), г. Ростов-на-Дону

<sup>4</sup> Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»), г. Москва

E-mail galka.sio@gmail.com

Исследовано распространение, численность и биомасса двустворчатого моллюска-вселенца *Anadara kagoshimensis* на северо-восточном побережье Чёрного моря от Керченского пролива до Адлера в 2001 и 2012 гг. За 12 лет не изменились встречаемость и глубины обитания вида (10–65 м). Максимальные численности и биомассы анадары были приурочены к глубинам 20–35 м. В Прикерченском мелководье обилие вида в 2001 и 2012 гг. достоверно не отличалось. В районе узкого шельфа южнее Новороссийска в 2012 г. по сравнению с 2001 г. наблюдались на 1–2 порядка более низкие численности и биомассы анадар. Анализ динамики популяции на разрезе в районе бухты Инал в 2001–2016 гг. показал стабилизацию численности и биомассы с 2006 г. после взрывного роста в начале 2000-х гг. Вне зависимости от года исследования на глубинах 10–15 м в бухте Инал численность и биомасса анадар были в среднем ниже, чем на 20–30 м. Основными факторами, определяющими распределение обилия и динамику популяции, были уровень заиления донных осадков, конкуренция с местными пеллофильными видами и наличие субстрата для прикрепления молоди анадары.

**Ключевые слова:** *Anadara kagoshimensis*, чужеродные виды, Чёрное море, динамика популяции.

**ВВЕДЕНИЕ**

Вселение чужеродных видов в Средиземноморский бассейн в XX веке наряду с возросшей антропогенной эвтрофикацией привело

к значимым изменениям в донных экосистемах. Наиболее уязвимыми для инвазий оказались обедненные фауной опреснённые районы восточной части бассейна — внутренние

моря: Чёрное и Азовское. До 1980-х гг. экосистема Чёрного моря оставалась стабильной. Даже вселение в Чёрное море в 1947 г. хищной гастроподы *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846), уничтожившей устричный биоценоз, практически не отразилось на картине распределения основных биоценозов, опоясывающих Чёрное море, с доминированием двустворчатых моллюсков *Chamelea gallina* (L., 1758), *Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819 и *Modiolula phaseolina* (Philippi, 1844). Однако в 1970-х гг. произошло увеличение содержания органики в толще воды, усиление седиментации и падение содержания кислорода на северо-западном шельфе. Это спровоцировало в донных экосистемах рыхлых грунтов увеличение роли бентосных двустворчатых моллюсков-вселенцев *Mya arenaria* L., 1758 и *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906). При этом мия заняла свободную трофическую нишу в толще грунта, а анадара заменила аборигенных доминантов в верхних слоях грунта [Зернов, 1913; Gomoiu, Petran, 1973; Сорокин, 1982; Алексеев, Синегуб, 1992; Киселева, 1992; Bologna et al., 1995; Zaitsev, Oztürk, 2001; Dumitrache, Abaza, 2004].

*Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) — двустворчатый моллюск из семейства Arcidae, вселившийся в Черноморский регион в середине XX века (первое обнаружение в районе Туапсе в 1968 г. [Киселева, 1992]), по всей видимости, из прибрежных районов Кореи, Китая или Японии [Simakova et al., 2013]. Это крупноразмерный моллюск (до 8,5 см), отличающийся высокой продолжительностью жизни (до 9 лет) [Fujimoto, 1929, цит. по Sahin, 1951; Sahin et al., 2009]. Анадара в нативном регионе широко используется в марикультуре [Broom, 1985], а в Чёрном море является потенциально промысловым видом [Милютин, Вилкова, 2006], поэтому особенности её биологии сравнительно хорошо изучены. В частности, этот вид отличается высокой толерантностью к содержанию кислорода [de Zwaan et al., 1995], что определило его успешность в замещении более чувствительных аборигенных видов в гипоксических областях Чёрного моря.

Уже к началу XXI века на северо-западном шельфе было отмечено снижение эвтрофикации, а также численности рапаны благо-

даря активному промыслу (суммарный вылов в Болгарии и Турции составлял около 18 000 т на 2012 г. [Janssen et al., 2014]). В результате состояние донных сообществ у Болгарского и Румынского побережья, а также у берегов Крыма, стабилизировалось, был отмечен рост численности и биомассы местных доминантов [Dumitrache, Abaza, 2004; Shalovenkov, 2005; Abaza et al., 2010], хотя и в настоящее время сохраняются области с устойчивым доминированием анадары [Nicolae et al., 2014].

В северо-восточной части моря анадара до конца 1990-х гг. оставалась в роли субдоминанта хамелеи (*Ch. gallina*) в сообществе «венусового песка» на 10–30 м. Однако в 1999 г. в результате параллельного выедания личинок двустворчатых моллюсков гребневиком-вселенцем *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865, а взрослых особей рапаной, произошло снижение обилия *Vivalvia* на участке побережья южнее Новороссийска. Поэтому после массового размножения в 1999 г. хищного гребневика-вселенца *Beroe ovata* Bruguière, 1789, питающегося мнемииопсисом, в 2000 г. произошло массовое оседание личинок двустворчатых моллюсков. Летом 2000 г. численность вида достигла 3000 экз/м<sup>2</sup>, что значительно превышало численность этого вида в Чёрном море во все предыдущие годы с момента его вселения. Прежний доминант *Ch. gallina* был замещен анадарой на глубинах 20–30 м, где по сравнению со второй половиной XX в. содержание ила возросло в 5–10 раз. Высокая плотность доступных по размерному спектру пищевых объектов позволило рапане к 2005 г. снизить обилие анадары в сотни и тысячи раз. В результате доминирующие позиции в макробентосе глубин 20–30 м стали занимать пеллофильные аборигенные двустворчатые моллюски *Pitar rudis* (Poli, 1795) и *Gouldia minima* (Montagu, 1803) [Киселева, 1992; Konsulov, Kamburskaya, 1998; Алексеев, Синегуб, 1992; Кучерук и др., 2002; Savini, Occhipinti-Ambrogi, 2006; Чикина, 2009; Revkov et al., 2009; Abaza et al., 2010; Revkov, 2016; Колочкина и др., 2017 б].

Таким образом, анадара сыграла значительную роль в изменениях донных сообществ Чёрного моря в 1970–2000 гг. Этот вид достигал двух максимумов обилия: 1970–1990-е гг. —

на северо-западном шельфе и 2000-е гг. — на северо-восточном. И если для северо-западной части в настоящее время сделан прогноз стабилизации количественного развития этого вида [Ревков, 2016], то для северо-восточного побережья исследования, касающиеся структуры популяции вида после 2006 г., носили фрагментарный характер [Милютин, Вилкова, 2006; Набоженко, 2011; Колючкина, Милютин, 2013]. Поэтому целью настоящей работы стала проверка гипотезы о стабилизации популяции *A. kagoshimensis* на северо-восточном побережье Чёрного моря после взрывного роста 2000-х гг. Для этого была проведена оценка распространения и обилия анадары на побережье в 2001 г. и 2012 гг., а также динамики численности и биомассы этого вида на одном из разрезов. Кроме того, проведен анализ факторов, определяющих распределение и структуру популяции этого вида.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В августе-сентябре 2001 г. Институтом океанологии с использованием дночерпателя Океан-0,1 были исследованы глубины от

10 до 45 м на десяти разрезах (39 станций) по стандартной методике (5 повторностей на станцию) (рис. 1). В августе 2012 г. в ходе совместного рейса ЮНЦ РАН и ИО РАН была проведена дночерпательная съёмка (60 станций), охватившая весь Российский сектор Чёрного моря от Керченского пролива до Адлера. Были исследованы глубины 10–100 м (дночерпатель Ван-Вин-0,1 в 1–3 повторности на станцию) (рис. 1). Поскольку сетки станций рейсов 2001 и 2012 гг. не совпадали полностью, для сравнения параметров количественного развития анадары было выбрано пять разрезов: два в Прикерченском мелководье у ст. Благовещенская (20–30 м) и близ г. Анапа (20–30 м) и три в районе узкого шельфа южнее Новороссийска у пос. Дивноморское (10–30 м), бухта Инал (10–30 м) и пос. Хоста (20–30 м). Грунты на станциях представляли собой преимущественно заиленный песок, поэтому эффективность двух типов дночерпателей для оценки численности и биомассы анадар, обитающих в верхних 3 см грунта [Vroom, 1985], была сходной [Eleftheriou, McIntyre, 2005].

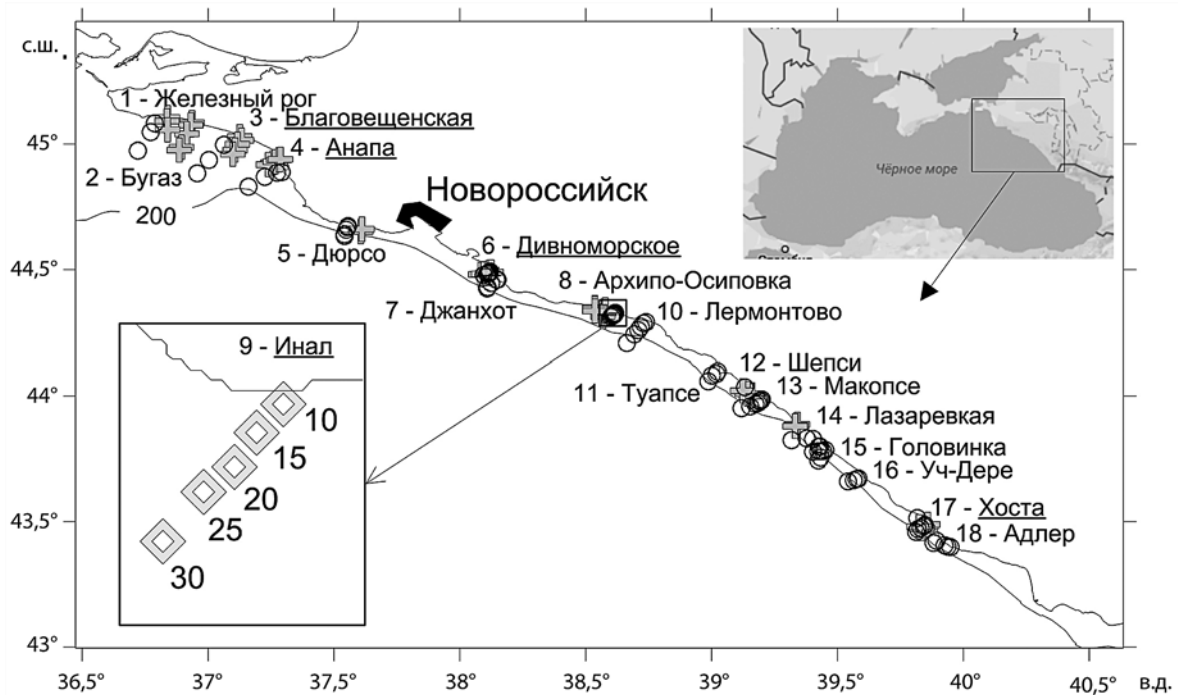


Рис. 1. Карта станций

Примечание. Крестами обозначены станции 2001 г., кругами — станции 2012 г. Сравнимые разрезы отмечены подчеркиванием. В сноске — разрез в бух. Инал, где была прослежена многолетняя динамика

Для оценки динамики численности и биомассы анадар на одном из заложенных в 2001 г. разрезов (бухта Инал, рис. 1) в 2001–2016 гг. проводили ежегодную дночерпательную съёмку (дночерпатель Океан-0,1, 3–5 повторностей на станцию) на глубинах 10, 15, 20, 25 и 30 м. Пробы собирали в весенне-летний сезон 2001–2016 гг., за исключением 2003 г., когда пробы были собраны в декабре.

Собранные пробы обрабатывали по стандартной методике (промывка через сито с диаметром ячеек 0,5 мм, фиксация 10% формалином на морской воде), а затем проводили определение численности и биомассы анадар на станциях.

Для определения влияния факторов на структуру популяции проводили параллельный отбор проб донных осадков (ДО) из дополнительно взятого дночерпателя. Для этого в 2001 г. были собраны пробы на семи из десяти разрезов (Анапа, Благовещенская, Бугаз, Лазаревская, Дивноморское, Адлер, Инал). Многолетнюю динамику гранулометрического состава анализировали на материале проб, собранных в бухте Инал в 2001–2002 гг., 2004–2005 гг., 2007 г. и 2011–2016 гг. Анализ верхних 5 см ДО был выполнен сотрудниками аналитической лаборатории ИО РАН водно-ситовым методом. Было определено содержание основных фракций от менее 0,01 до более 10 мм. Для удобства далее приводятся четыре стандартные градации гранулометрического состава грунта: пелит — 0,01 мм и менее, алеврит — 0,01–0,10 мм, песок — 0,1–1,0 мм и гравий — более 1 мм.

#### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

Статистический анализ данных проводили постанционно в программе Primer v. 6.1.13 & PERMANOVA v. 1.0.3 (Primer-E Ltd.) [Clarke, Gorley, 2006], для чего рассчитывали среднее арифметическое биомассы и численности анадары в пробах. Достоверность группировок нормализованных данных проверяли перестановочным многомерным дисперсионным анализом (permutational multivariate analysis of variance — PERMANOVA). Влияние факторов на макрозообентос оценивали с помощью регрессионного непараметрического анализа DistLM по численности и биомассе, предва-

рительно нормализованным. Построение диаграмм распределения численности и биомассы проводили в программе Surfer 11.2.848 (Golden Software Inc.) с использованием метода пространственной интерполяции данных — Kriging method.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

**Распространение и обилие *Anadara kagoshimensis* на северо-восточном побережье Чёрного моря. В 2001 г. *A. kagoshimensis* была обнаружена на всех десяти обследованных разрезах на глубинах 10–35 м, на глубине 45 м вид отмечен не был (рис. 2, 3). Встречаемость вида на побережье составляла 74%.**

Численность *A. kagoshimensis* составляла 5–4000 экз./м<sup>2</sup> при биомассе 0,006–1177 г/м<sup>2</sup>. Такой разброс значений объясняется различием в обилии вида на двух участках побережья: южнее и севернее полуострова Абрау, а также приуроченностью вида к глубинам 20–30 м.

Численность вида на станциях глубин 20–30 м южнее п-ва Абрау составляла 122–4208 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса — 66–1177 г/м<sup>2</sup> (рис. 3,

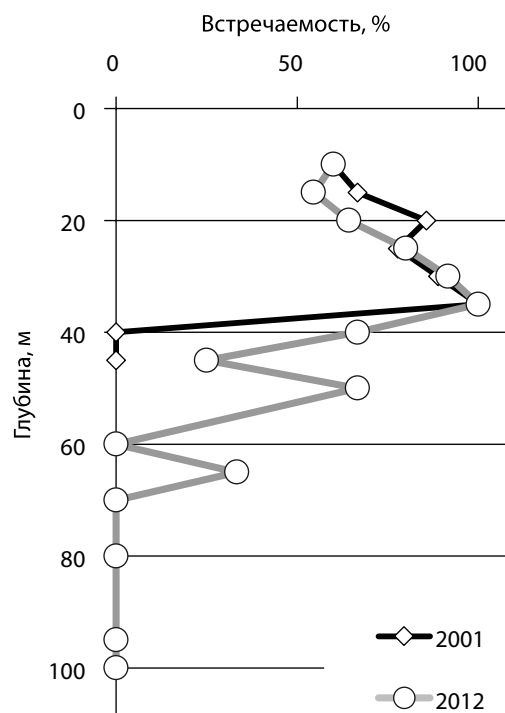


Рис. 2. Встречаемость *Anadara kagoshimensis* на разных глубинах в 2001 и 2012 гг. на северо-восточном побережье Чёрного моря

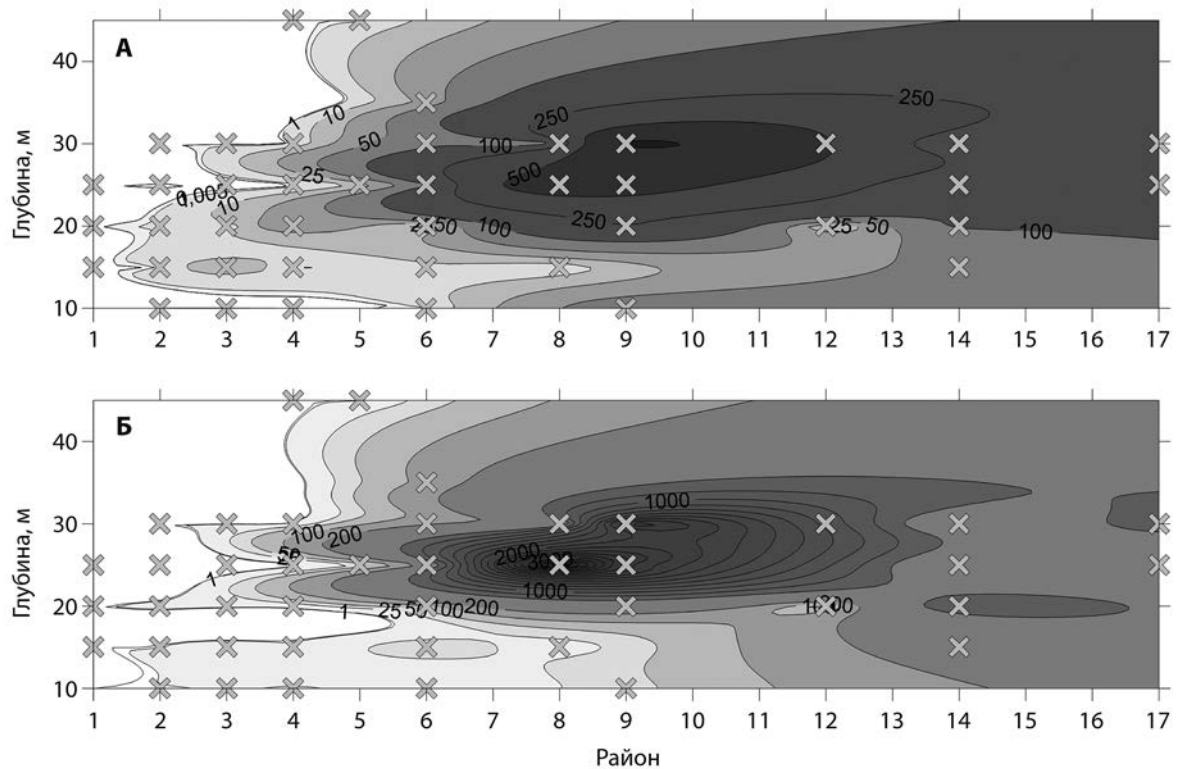


Рис. 3. Распределение численности (А) и биомассы (Б) *Anadara kagoshimensis* на северо-восточном побережье Чёрного моря в 2001 г.

Примечание. Крестами обозначены станции. Районы соответствуют номерам на карте (рис. 1).

табл. 1). На более северных станциях (Анапа, Благовещенская, Бугаз) были отмечены лишь единичные находки анадар (2–32 экз./м<sup>2</sup>) с низкими значениями биомассы (0,4–51 г/м<sup>2</sup>).

В 2012 г. вид был отмечен во всех пятнадцати исследованных районах на глубинах 10–65 м (рис. 2, 4). Встречаемость анадары на всех исследованных глубинах составляла 58%. На глубинах 10–45 м встречаемость составила 75%. На глубинах 50–100 м встречаемость вида составила 21%. Численность анадар в 2012 г. составляла от 3 до 10 000 экз./м<sup>2</sup> при биомассе от 0,001 до 1236 г/м<sup>2</sup>. Наибольшая численность вида была отмечена в районе г. Адлер на глубине 25 м, а биомасса — в районе п. Уч-Дере на глубине 20 м. Высокие значения численности были связаны с присутствием в пробах из этих районов мелкоразмерных особей с весом не более 1,5 г. Максимум обилия был отмечен на глубинах 20 и 35 м (рис. 4). Находки вида на глубинах 50–65 м были единичными (1–3 экз. на

пробу), а биомассы не превышали 24 г/м<sup>2</sup>. На глубинах 70–100 м вид отмечен не был.

**Сравнение станций, собранных по единой сетке в 2001 и 2012 гг.**, показало, что численность вида на северном участке побережья возросла, а биомасса в целом оставалась сходной. На участке побережья южнее Новороссийска и в 2001 г., и 2012 г. наибольшие численности анадар были приурочены к глубинам 20–30 м. Однако в 2012 г. они были на 1–2 порядка ниже, чем в 2001 г. Биомассы моллюсков в районе пос. Дивноморское и Хоста упали на порядок за 12 лет. Высокая биомасса, наблюдаемая на глубине 10 м в Дивноморском в 2012 г., объясняется попаданием в один из пяти дночерпателей единственной крупной особи весом 16 г. В районе бухты Инал биомасса моллюсков снизилась на 2–3 порядка. Таким образом, в 2012 г. по сравнению с 2001 г. наблюдалось снижение как численности, так и биомассы анадар в южном секторе побережья.

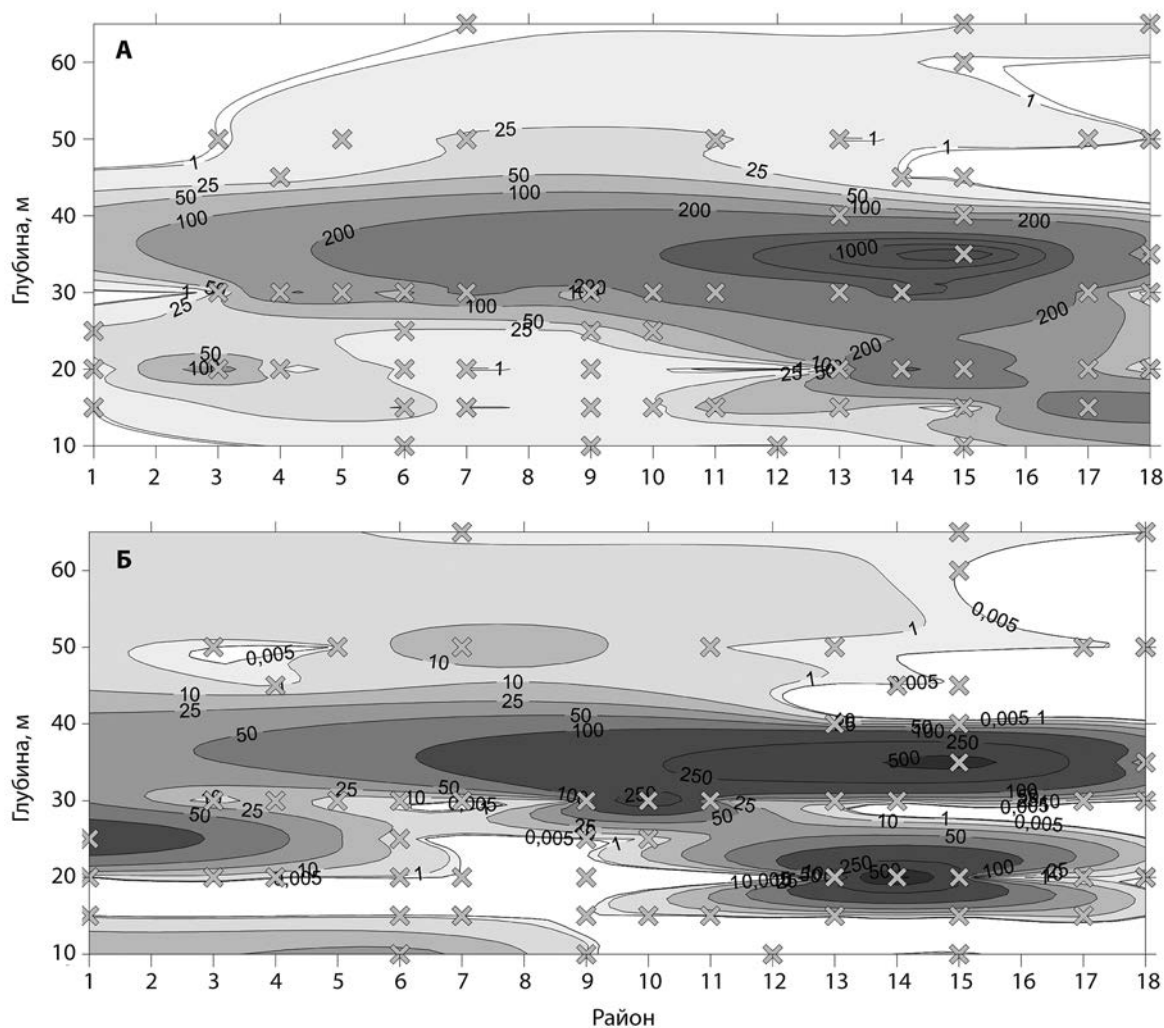


Рис. 4. Распределение численности (А) и биомассы (Б) *Anadara kagoshimensis* на северо-восточном побережье Чёрного моря в 2012 г.

Примечание. Номера районов соответствуют номерам на рис. 1.

**Динамика численности и биомассы *Anadara kagoshimensis* в районе бухты Инал в 2001–2016 гг.** Численность и биомасса анадар с 2001 по 2016 г. испытывала волнообразные колебания (рис. 5). Наибольшие значения численности (2462 экз./м<sup>2</sup>) и биомассы (1177,3 г/м<sup>2</sup>) были отмечены в 2001 г. после массового оседания 1999 г. Затем оба параметра снизились практически до нулевых отметок к 2004 г. и снова увеличились к 2008 г. до 260 экз./м<sup>2</sup> и 37 г/м<sup>2</sup> (рис. 5). В 2009–2016 гг. они оставались сравнительно неизменными (численность не превышала 300 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса — 49 г/м<sup>2</sup>). Эти значения были близки к средним значениям,

полученным в 2012 г. для разных районов побережья (рис. 3).

Многомерный анализ данных выявил зависимость между численностью/биомассой анадар и годом исследования (PERMANOVA Pseudo F=3,37/3,73;  $p=0,005/0,005$ ), но не глубиной (PERMANOVA  $p > 0,05$ ) и не месяцем исследования (PERMANOVA pairwise test месяц-глубина  $p > 0,05$ ). Достоверно, при вычитании эффекта времени (PERMANOVA попарный тест  $p < 0,05$ ) отличались только численности и биомассы глубин 25–30 м от 10–15 м: на меньших глубинах численность и биомасса анадар были в среднем ниже.

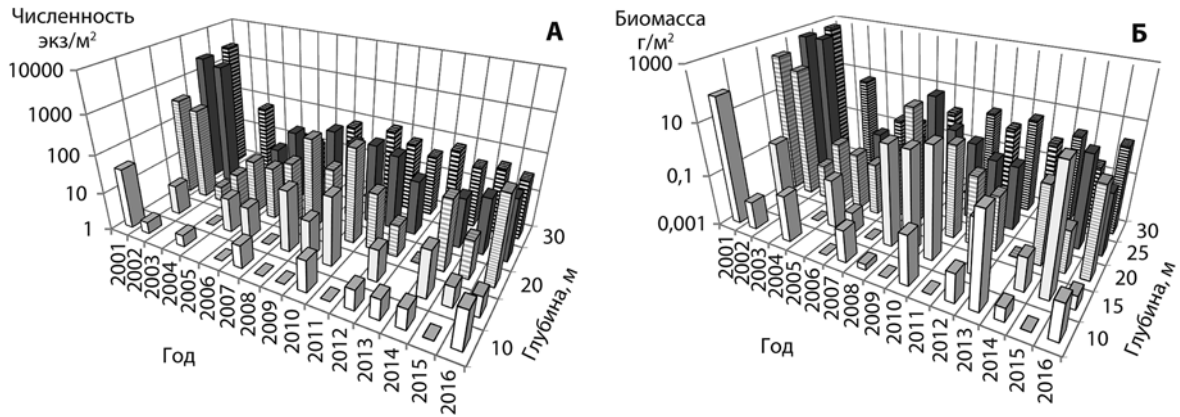


Рис. 5. Распределение численности (А) и биомассы (Б) *Anadara kagoshimensis* по глубинам в разные годы в бухте Инал

**Гранулометрический состав донных осадков на северо-восточном побережье Чёрного моря в 2001 г. и корреляции с распределением обилия анадары на побережье.** Донные осадки в исследуемых районах представляли собой песок и заиленный песок с ракушкой (рис. 6). Содержание фракций коррелировало с глубиной отбора проб (PERMANOVA  $p < 0,05$ ), за исключением содержания гравия (PERMANOVA  $p > 0,05$ ). Содержание большинства фракций не зависело от географического положения района (север-юг, рис. 2) (PERMANOVA  $p > 0,05$ ). Наиболее мелкая — пелитовая фракция не была отмечена на северных разрезах (PERMANOVA район  $P_{\text{pseudo-F}} = 7,41$ ;  $p = 0,015$ ). Так, в Анапе на глубинах 10–20 м мелкий песок (0,1–0,25 мм) составлял от 77 до 91% всех фракций. А в сравнительно близко расположенных Бугазе и Благоевщенской на глубине 15 м содержание песка падало до

22–35% за счет повышения содержания гравия (30–34%) и алеврита (30–49%). На южных разрезах на глубинах 10–15 м также преобладал мелкий песок, составляя до 82–90% всех фракций. Однако даже на этих глубинах содержание пелита было выше нуля и достигало 0,64%. На глубинах 20–35 м содержание илстых фракций было выше. На глубинах 20 м преобладали песок (до 53%) и гравий (до 43%), а на 30 м и глубже преобладали алеврит и пелит, достигая максимума значений на 30 м в пос. Дивноморское (40% и 39%, соответственно).

Регрессионный анализ DistLM показал, что распределение биомассы и численности анадары в 2001 г. объяснялись на 37% и 39%, соответственно, содержанием в донных осадках гравия (DistLM  $P_{\text{pseudo-F}} = 11,9$ ,  $p = 0,003$ ,  $P_{\text{pseudo-F}} = 10,9$ ,  $p = 0,007$ , соответственно). Другие фракции (песок, алеврит и пелит) не показали достоверных корреляций

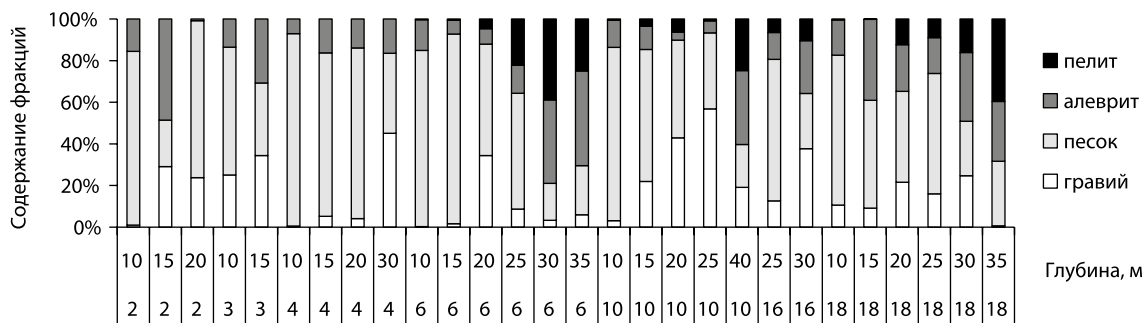


Рис. 6. Гранулометрический состав донных осадков на северо-восточном побережье Чёрного моря в 2001 г. Номера районов соответствуют номерам на рис. 1.

с распределением биомассы и численности этого вида ( $\text{DistLM } \rho > 0,05$ ).

**Гранулометрический состав донных осадков в бухте Инал в 2001–2016 гг. и связь с динамикой популяции анадары.** Анализ гранулометрического состава донных осадков в бухте Инал показал, что распределение фракций, за исключением алеврита ( $\text{PERMANOVA } \rho = 0,479$ ), было связано с глубиной отбора проб ( $\text{PERMANOVA } \rho = 0,001–0,025$ ). С увеличением глубины вне зависимости от года исследования содержание песка снижалось, а гравия и пелита возрастало (рис. 7).

Наибольшим изменениям во времени подвергалось содержание в пробах *алеврита* ( $\text{PERMANOVA } P_{\text{pseudo-F}} = 5,63$ ,  $\rho = 0,001$ ). Его содержание возрастало с 2001 по 2016 гг. ( $\text{Spearman } R = 0,53$ ). Содержание *пелита* изменялось со временем по-разному на разных глубинах. На 10 м изобате его содержание линейно возрастало от 0,64% в 2001 г. до 11,68% в 2016 г. На глубинах 15–30 м оно изменялось не направленно, достигая максимальных значений в 2014 г. Это, возможно, было связано с предшествующей пробоотбору штормовой погодой и паводком [подробно описано в работе: Колочкина и др., 2017 а].

Содержание *гравия* снижалось со временем ( $\text{Spearman } R = -0,48$ ;  $\text{PERMANOVA } P_{\text{pseudo-F}} = 2,07$ ,  $\rho = 0,006$ ), и особенно значимо это снижение было в диапазоне глубин 20–30 м ( $\text{Spearman } R = -0,65$ ;  $\text{PERMANOVA } P_{\text{pseudo-F}} = 10,0$ ,  $\rho = 0,001$ ). С 2001 по 2004 г. здесь наблюдалось снижение этого параметра с 40–55% до 15–20% (рис. 7). В последующие годы были отмечены колебания содержания гравия в грунте, но значения не превышали 35%, что почти в два раза меньше максимальных значений, отмеченных в 2001 г. Эта фракция в исследуемом районе была представлена в основном ракушкой.

Регрессионный анализ данных показал, что содержание гравия объясняло 40 и 42% изменчивости данных по биомассе и численности, соответственно ( $\text{DistLM } P_{\text{pseudo-F}} = 28,8$ ,  $\rho = 0,001$  и  $32,1$ ,  $\rho = 0,001$ , соответственно). Достоверных корреляций биомассы

или численности с содержанием других фракций выявлено не было ( $\text{DistLM } \rho > 0,05$ ).

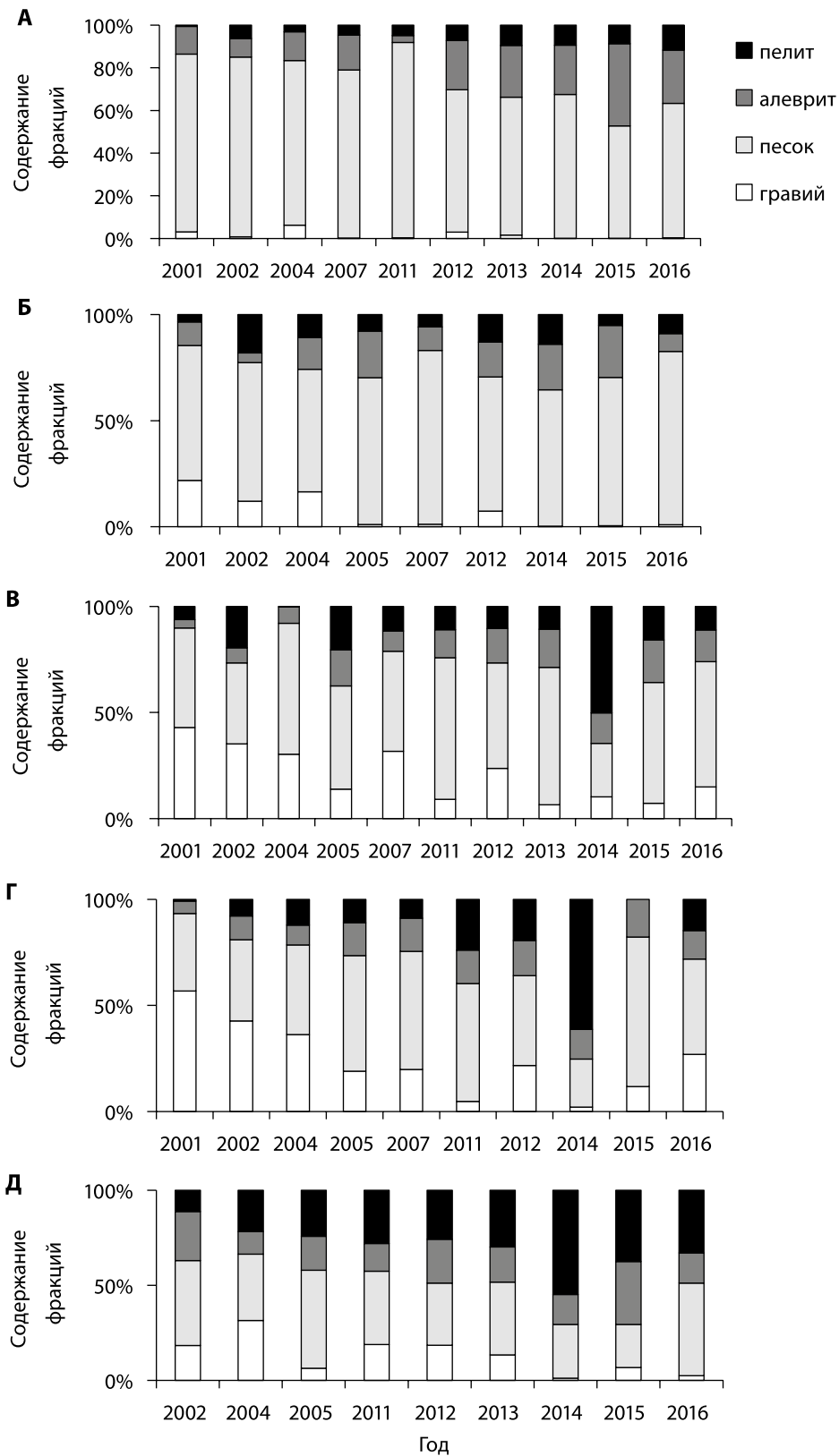
#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Встречаемость и пространственное распределение популяции *Anadara kagoshimensis*. В 2012 г. анадара была отмечена на северо-восточном побережье повсеместно от Железного рога до Адлера на глубинах от 3 до 65 м. Встречаемость на глубинах 10–45 м за 12 лет (с 2001 по 2012 гг.) не изменилась и составляла 74%. Не изменились за 12 лет также и глубины наибольшего обилия вида — 20–35 м. Однако, если в 2001 г. было выделено две зоны (южнее и севернее п-ова Абрау), принципиально отличающиеся по обилию вида, то в 2012 г. чёткого разделения по этому показателю выявлено не было. В южной и северной частях побережья в 2012 г. были отмечены районы как с высокими, так и низкими показателями обилия вида.

В нативном регионе анадара обитает от 1 м (в замкнутых солёных лагунах, где её разводят для марикультуры) до 20 м и более (нативная популяция) [Cahn, 1951]. Этот вид, ведя полупогруженный образ жизни, предпочитает рыхлые грунты [Broom, 1985]. Поэтому в Чёрном море верхняя граница обитания популяции ограничена, по всей видимости, прибойностью и наличием подходящего субстрата [Sahin, 2009]. Здесь на глубинах 0–10 м преобладают каменистые пляжи и скалы, не пригодные для обитания анадар. Однако в районах устьев рек, характеризующихся широким конусом выноса [Переладов, 2013], а также в Азовском море, Керченском проливе и Таманском заливе [Kolyuchkina et al., 2015] на песках, заиленных песках и илах анадара также встречается и на глубинах 1–10 м.

Нижняя граница нахождения вида в Чёрном море совпадала с данными, полученными для Прибосфорского района [Albayrak, 2003]. На глубинах более 45 м было отмечено резкое падение встречаемости и обилия вида (рис. 2). По всей видимости глубины 45–65 м в Чёрном море являются для этого вида зоной стерильного выселения, т. к. для вымета половых продуктов ему необходимы температуры 26–27 °C [Broom, 1985]. Такие условия в Чёрном море наблюдаются исключительно в зоне се-





**Рис. 7.** Гранулометрический состав донных осадков в 2001–2016 гг. в бухте Инал на глубинах 10 м (А), 15 м (Б), 20 м (B), 25 м (Г) и 30 м (Д)

зонного термоклина и верхнем перемешанном слое (на глубинах менее 45 м) [Кныш и др., 2011].

Область наибольших значений встречаемости, численности и биомассы анадары — 20–35 м как в российском секторе моря, так и у берегов Болгарии [Todorova et al., 2008; Petrova, Stoykov, 2013] и Румынии [Abaza et al., 2010], а также в одесском морском регионе и на придунайском взморье [Воробьева и др., 2014]. Во всех районах — это зона рыхлых грунтов, преимущественно заиленной ракушки, где трофические и температурные условия для вида, по всей видимости, являются оптимальными. Летний прогрев воды до 27 °С на этих глубинах обеспечивает созревание гонад и вымет половых продуктов [Чикина и др., 2003; Sahin et al., 2006]. Кроме того, здесь отмечены максимумы количественного развития донных диатомовых водорослей, одного из пищевых объектов двустворчатых моллюсков моллюсков-сестонофагов, в т. ч. анадары [Sapozhnikov, 2006].

**Динамика численности и биомассы популяции анадары.** Анализ динамики численности и биомассы анадары в бухте Инал в 2006–2016 гг. показал стабильное присутствие мелкоразмерных особей с низкими численностями на глубинах 10–30 м. Это свидетельствует о постоянном пополнении популяции и отсутствии резких колебаний обилия, характерных для начала 2000-х гг. Сходная картина стабилизации количественных показателей наблюдалась на побережье Болгарии на глубинах от 15 до 35 м в 2008 г., где биомасса вида по данным дночерпательной съёмки не превышала 176 г/м<sup>2</sup>, а численность 30 экз./м<sup>2</sup> [Todorova et al., 2008]. В румынских водах в 2006 г. при траловой съёмке на 20–50 м численность анадар также не превышала 41 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса в среднем составляла 50 г/м<sup>2</sup> [Abaza et al., 2010]. В украинском секторе Чёрного моря в 2005–2011 гг. (в Одесском морском регионе и на придунайском взморье) анадара не вошла в список доминирующих форм на 6–27 м, уступая по численности и биомассе аборигенным видам [Воробьева и др., 2014]. Таким образом, после всплеска обилия вида в северо-западной части моря в 1980-е гг. и в северо-

восточной в 2000-е, в 2006–2016 гг. в целом наблюдалась стабилизация обилия популяции в регионе.

Характер динамики обилия анадары в Чёрном море в целом соответствовал схеме, разработанной в XX веке отечественными авторами для моделирования принудительной акклиматизации видов в новых ареалах. Согласно этой схеме, при вселении в новые местообитания, вид проходит ряд этапов — после вселения и фазы малозаметного развития вид вступает в фазу бурного размножения, а затем при приближении к насыщению нового ареала, темп развития вида замедляется, а в последующие фазы обилие его снижается и устанавливается на некотором более-менее долго существующем уровне (фаза натурализации). Современная международная классификация фаз интродукции видов в целом соответствует отечественной: (1) закрепление (от англ. establishment) соответствует фазе малозаметного развития, (2) экспансия (от англ. expansion) — фазе бурного размножения, а (3) адаптация (от англ. adjustment) — снижению обилия и натурализации. Таким образом, на северо-восточном побережье фаза закрепления вида продлилась более 30 лет — с 1968 г. до начала 2000-х гг. А в северо-западной части побережья обнаружение вида совпало с пиком его обилия (1980-е гг.) Возможно, это обусловлено большей интенсивностью изучения бентоса северо-восточного побережья в 1960–1970 гг. В последние 10 лет, как в северо-западной, так и в северо-восточной части моря вид находится, по всей видимости, в фазе адаптации, и можно говорить о его натурализации в Чёрном море [Карпевич, 1960; Зенкевич, 1977; Reise et al., 2006; Todorova et al., 2008; Abaza et al., 2010; Воробьева и др., 2014]

Однако возможность массовых оседаний личинок анадар на побережье, по всей видимости, сохраняется и в современный период. Такое явление не противоречит существующим моделям развития инвазивных видов, поскольку фаза натурализации представляет собой «ход волнообразных колебаний с постепенно затухающей амплитудой» [Зенкевич, 1977, с. 247]. В 2012 г. явление массового оседания молоди было отмечено на 25 м в районе г. Ад-

лер. Однако, в отличие от 2000-х гг., когда это явление охватило всю южную часть побережья, в 2012 г. оседание было, по всей видимости, локальным. Высокие численности (до 900 экз./м<sup>2</sup>) на глубинах 20–35 м были отмечены в 2012 г. и в районе пос. Хоста и Уч-Дере, однако здесь средний вес особей был в 2–3 раза выше, чем в Адлере, что может быть связано с неодновременностью оседания или естественной высокой смертностью молодых экземпляров, достигающей в нативном регионе в норме 60–70% за первые 6 месяцев после оседания [Kusukabe, 1959].

По дночерпательным данным в последние 10 лет поселения вида в болгарских водах, в одесском морском регионе и на придунайском взморье, также отличались преобладанием мелкоразмерных особей со средним весом не более 1 г. Однако хорошо известно, что анадара является крупноразмерным организмом. За первый год жизни эти моллюски в Чёрном море вырастают в длину на 3 см, затем их рост замедляется. Наибольшие экземпляры, найденные в Японии, имели размеры 8,3 см и возраст 8–9 лет, наибольший размер особей, отмеченных в Чёрном море, составил 8,5 см, а наибольший рассчитанный возраст моллюсков — 7 лет. Половозрелости анадары достигают уже на первом году жизни, но при размерах от 15–20 мм, что соответствует массе особи 3–5 г по нашим наблюдениям. При высокой плотности поселений (1500–2500 экз./м<sup>2</sup>) рост моллюсков, по всей видимости, может тормозиться, и половозрелые особи встречаются среди экземпляров с длиной раковины от 6 мм. Таким образом, в бухте Инал при численности анадар в 2006–2016 гг. 20–300 экз./м<sup>2</sup> и среднем весе менее 1 г большинство особей, с большой вероятностью, были сеголетками. Наблюдаемая здесь на протяжении 10 последних лет структура популяции относилась к возникающей, а большинство особей, по всей видимости, были неполовозрелыми. Возникает вопрос об источнике постоянного пополнения популяции. [Fujimori, 1929, цит. по Sahn, 1951; Pathansali, 1966; Чикина и др., 2003; Буяновский, 2004; Sahin et al., 2009; Acarli et al., 2012; Воробьёва и др., 2014; Petrova, Stoykov, 2013].

По всей видимости, в исследованном районе, а также в болгарских и украинских водах,

имеется стабильное скопление крупноразмерных особей этого вида, которые и обеспечивают постоянное пополнение популяции молодью. Такие скопления были отмечены для разных районов северо-восточного побережья — банка Марии Магдалины, мыс Железный рог и пос. Шепси. Эти поселения были приурочены к плотным слабозаиленным пескам глубин до 15 м и отличались доминированием особей с длиной раковины около 35 мм и средним весом около 20–30 г, а также отсутствием или низким обилием мелкоразмерных особей. Численность анадар в этих поселениях была невысока и не превышала 40 экз./м<sup>2</sup>. Наиболее плотные поселения были отмечены только до 2006 г. В дальнейшем части поселений обнаружено не было (банка Марии Магдалины, а на части численность резко упала, и в 2007 г. уже не превышала 2 экз./м<sup>2</sup> (пос. Шепси). Скопления крупных особей были выявлены также в румынских водах на глубинах 20–50 м в ходе траловой съёмки и в Турции. Численность моллюсков в Румынии в среднем составляла 3–7 экз./м<sup>2</sup>. Такие разреженные поселения могут обеспечить пополнение популяции молодью, т. к. плодовитость анадар достигает нескольких миллионов яйцеклеток на особь. Однако из-за низкой плотности крупные экземпляры могут не учитываться при дночерпательной съёмке, охватывающей небольшую площадь дна. Так, в бухте Инал крупная особь анадары за 16 лет мониторинга попала в дночерпатель единственный раз. Поэтому оценка запасов крупноразмерных видов обычно проводится водолазным или траловым методом, позволяющими охватить 50–100 м<sup>2</sup> и или большую площадь дна. Таким образом, в настоящем исследовании, а также в работах болгарских и украинских авторов в связи с использованием исключительно дночерпательного метода отбора проб, по всей видимости, недооценена весьма существенная часть популяции. Для подтверждения данного предположения необходимо проведение дополнительных исследований структуры популяции вида с использованием водолазных и траловых методов. [Ting et al., 1972; Милютин, Вилкова, 2006; Todorova et al., 2008; Sahin et al., 2009; Abaza et al., 2010; Колючкина, Милютин, 2013; Petrova, Stoykov, 2013; Воробьёва и др., 2014].

**ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОБИЛИЕ ВИДА**

*Anadara kagoshimensis* является сублиторальным видом, хорошо переносящим распреснение [Cahn, 1951]. Диапазон солёности, в котором способен существовать данный вид, по всей видимости, значительно выходит за пределы черноморской, т. к. в течение последних 20 лет анадара освоила и значительно более опреснённое Азовское море (до солёности 8‰) [Анистратенко, Халиман, 2006]. Температурный режим, определяющий сроки размножения вида на глубинах наибольшего обилия анадары, является оптимальным для вида [Broom, 1985]. Эти факторы определяют принципиальную возможность существования вида в Чёрном море и ограничивают его распространение.

Численность и биомасса вида, изменяющиеся во времени и пространстве в широком диапазоне значений, по всей видимости, определяются другими факторами. Одним из основных факторов, определяющих количественное развитие этого вида, является гранулометрический состав донных осадков, обогащение их органическим веществом и появление гипоксичных областей. По всей видимости, именно последний имеет решающее значение, т. к. анадара в Чёрном море отмечается и на слабозаиленных песках. Механизм, обеспечивающий получение конкурентного преимущества перед менее устойчивыми к гипоксии видами, определяется наличием у анадар эритроцитов с гемоглобином, запасающим кислород. И если на северо-западном шельфе было прямо показано возникновение гипоксичных областей, то в районе узкого шельфа северо-восточной части моря таких исследований не проводилось. Однако было отмечено повышение уровня заиления и содержания органического вещества в донных осадках на глубинах наиболее массового обитания анадары — 20–30 м в период 2001–2005-х гг. [Чикина, 2009] по сравнению с 50–60-ми гг. XX века. Причиной этого явления, по всей видимости, стало увеличение эвтрофикации, а затем и седиментации в конце XX века. Диапазон глубин 20–30 м отличается от верхнего перемешанного слоя значительно менее интенсивной гидродинамикой, что связано с воздействием сезонного термоклина, соприкасающегося с дном на этих глу-

бинах в летне-осенний период. Повышенное содержание ила, обогащённого органическим веществом, летний прогрев воды и низкая интенсивность перемешивания вод теоретически могут привести к появлению временных зон гипоксии в донных осадках или придонной воде. Это предположение косвенно подтверждается более крутым характером падения кривой окислительно-восстановительного потенциала в верхних 5 см донных осадков исследуемых районов на 20–30 м по сравнению с глубинами 10–15 м и доминированием пеллофильных видов в зоне термоклина на протяжении 2001–2017 гг. [Gomoiu, Petran, 1973; Киселева, 1981; de Zwaan et al., 1995; Bologna et al., 1995; Колючкина и др., 2017 а, б; Зацепин, личное сообщение].

Таким образом, по всей видимости, именно недостаток кислорода сыграл ключевую роль в массовом оседании анадары на глубинах 20–30 м в 1999 г. и замещении аборигенного псаммофильного *Ch. gallina*. Однако, не смотря на рост уровня алевропелита, после 2004 г. анадара снова стала второстепенным видом и до 2016 г. включительно уже не занимала доминирующих позиций на глубинах 20–30 м. Мы предполагаем, что это было обусловлено как прессом рапаны, так и возросшей конкурентноспособностью аборигенных пеллофильных видов *Pitar rudis* и *Gouldia minima* после снятия пресса мнемипсиса на их личинок в 1999 г. Кроме того, в донных осадках в 2011–2016 гг. значительно снизилась доля гравия (ракуши) по сравнению с началом 2000-х гг. Этот параметр показал достоверную корреляцию с обилием исследуемого вида. Мы предполагаем, что выявленная статистически достоверная корреляция не является простым совпадением, поскольку анадара в отличие от многих других видов рыхлых грунтов требует при оседании субстрата для прикрепления: водоросли, морские травы, мертвые створки моллюсков. Так, в Японии этот вид носит название «Mogai» (дословно, моллюск, обитающий в морской траве), поскольку его молодь часто оседает в зарослях морской травы *Zostera* sp. В Чёрном море анадара отмечена преимущественно на рыхлых субстратах глубин более 10 м, где водоросли и морские травы встречаются единично. Таким образом, успех её оседания

зависит, по всей видимости, от наличия достаточного количества мёртвых створок моллюсков. В начале 2000-х гг. количество мёртвых створок моллюсков было чрезвычайно высоким из-за высокого пресса рапаны, полностью уничтожившей взрослых особей на глубинах 15–30 м. В последующие годы благодаря интенсивному заилению глубин 20–30 м происходило захоронение ракуши в нижних слоях донных осадков и возрастало содержание алеврита. В результате подходящий субстрат стал менее доступным для прикрепления новоосевших анадар, и их численность уже не достигала столь высоких показателей, как в начале 2000-х. [Сahn, 1951; Кучерук и др., 2002; Мильчакова, 2008; Revkov et al., 2008; Чикина, 2009; Арашкевич и др., 2015; Колючкина и др. 2017 б].

Таким образом, основными факторами, определяющими обилие вида на северо-восточном побережье Чёрного моря, являются, по всей видимости, высокое заиление донных осадков наряду с конкуренцией между пелофильными видами (*Pitar rudis*, *Gouldia minima*) при снятии пресса на личинки двустворчатых моллюсков и наличие субстрата для прикрепления молоди анадары.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За почти 50-летний период присутствия в Черноморском бассейне двустворчатый моллюск-вселенец *Anadara kagoshimensis* распространился на всех участках побережья и освоил глубины от 0,5 до 65 м. При этом, как и для многих других районов побережья, с середины 2000-х гг. на северо-восточном шельфе отмечено снижение численности и биомассы анадары, а также изменение её роли в сообществах (переход от доминирующих позиций к второстепенным видам). До 2016 г. включительно эта тенденция принципиально не менялась. Таким образом, в настоящее время вид в Чёрном море находится в фазе завершения акклиматизации (натурализации), или, согласно современной классификации фаз интродукции видов, адаптации.

Работа проведена при поддержке грантов РФФИ № 14–04–32063\_мол-а, 15–04–01870\_а, Плановая тема госзадания ИО РАН № 0149–2014–005, Тема НИР ЮНЦ

РАН «Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России», № гос. регистрации ЦИТИС 01201363187.

### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Р.П., Синегуб И.А. 1992. Макрозообентос и донные биоценозы Черного моря на шельфах Кавказа, Крыма и Болгарии // Экология прибрежной зоны Черного моря. М: ВНИРО. С. 218–234.
- Анистратенко В.В., Халиман И.А. 2006. Двустворчатый моллюск *Anadara inaequalis* (Bivalvia, Arcidae) в северной части Азовского моря: завершение колонизации Азово-Черноморского бассейна // Вестник зоологии. Т. 40. № 6. С. 505–511.
- Арашкевич Е.Г., Луппова Н.Е., Никишина А.Б., Паутова Л.А., Часовников В.К., Дриц А.В., Подымов О.И., Романова Н.Д., Станичная Р.Р., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Флинт М.В. 2015. Судовой экологический мониторинг в шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы // Океанология. Т. 55. № 6. С. 964–964.
- Буяновский А.И. 2004. Пространственно-временная изменчивость размерного состава в популяциях двустворчатых моллюсков, морских ежей и десятиногих ракообразных. М.: Изд-во ВНИРО. 306 с.
- Ворбьева Л.В., Нестерова Д.А., Полищук Л.Н., Кулакова И.И., Синегуб И.А. 2014. Современное состояние пелагический и донных сообществ Северо-Западной части Черного моря // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. Т. 19. № 1. С. 113–120.
- Зенкевич Л.А. 1977. Об акклиматизации в Каспийском море новых кормовых (для рыб) беспозвоночных и теоретические к ней предпосылки // Избранные труды. Том I. Биология северных и южных морей СССР. М.: Наука. С. 244–256.
- Зернов С.А. 1913. К вопросу об изучении жизни Черного моря // Зап. Импер. Акад. Наук. Т. 32. № 1. 99 с.
- Каревич А.Ф. 1960. Теоретические предпосылки к акклиматизации водных организмов // Труды ВНИРО. Т. 43. С. 9–30.
- Киселева М.И. 1981. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. Киев: Наукова думка. 168 с.
- Киселева М.И. 1992. Сравнительная характеристика донных сообществ у побережья Кавказа // Многолетние изменения зообентоса Чёрного моря. Киев: Наукова думка. С. 88–94.
- Кныш В.В., Кортаев Г.К., Моисеенко В.А., Кубряков А.И., Белокопытов В.Н., Инюшина Н.В. 2011. Сезонная и межгодовая изменчивость гидрофизических полей Черного моря, восстановлен-

- ных на основе реанализа за период 1971–1993 гг. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. Т. 47. № 3. С. 433–446.
- Колючкина Г.А., Милютин Д.М. 2013. Использование морфо-функционального анализа *Anadara* sp. cf. *Anadara inaequivalvis* (Bivalvia) в экологическом мониторинге // Океанология. Т. 53. № 2. С. 192–199.
- Колючкина Г.А., Будько Д.Ф., Часовников В.К., Чжу В.П. 2017 а. Влияние характеристик донных осадков на изменчивость гистопатологий двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* в разных районах северо-восточного побережья Черного моря // Океанология. Т. 57. № 6. С. 919–933.
- Колючкина Г.А., Чикина М.В., Басин А.Б., Прохорова Т.Д., Любимов И.В. 2017 б. Таксоген *Bivalvia* северо-восточного побережья Черного моря: результаты 16-летнего мониторинга // Мат. V-ой Межд. науч. — практ. конф. «Морские исследования и образование». 30 октября — 2 ноября 2017 г., Москва. ИО РАН.
- Кучерук Н.В., Басин А.Б., Котов А.В., Чикина М.В. 2002. Макрозообентос рыхлых грунтов северокавказского побережья Черного моря: многолетняя динамика сообществ // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М.: Наука. С. 289–297.
- Мильчакова Н.А. 2008. Морские травы южных морей Евразии: состав, распространение и структурно-функциональные особенности (обзор) // Труды ЮгНИРО. Т. 46. С. 93–101.
- Милютин Д.М., Вилкова О.Ю. 2006. Черноморские моллюски-вселенцы рапана и анадара: современное состояние популяций и динамика запасов // Рыбное хозяйство. Т. 4. С. 50–53.
- Набоженко М.В. 2011. Современное распределение двустворчатых моллюсков (Mollusca: Bivalvia) северо-восточной части Черного моря // Наука Юга России. Т. 7. № 3. С. 79–86.
- Переладов М.В. 2013. Современное состояние популяции и особенности биологии рапаны (*Rapana venosa*) в северо-восточной части Черного моря // Труды ВНИРО. Т. 150. С. 8–20.
- Ревков Н.К. 2016. Особенности колонизации Черного моря недавним вселенцем — двустворчатым моллюском *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae) // Морской Биологический Журнал. Т. 1. № 2. С. 3–17.
- Сорокин Ю.И. 1982. Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука. 217 с.
- Чикина М.В. 2009. Макрозообентос рыхлых грунтов Северо-Кавказского побережья Черного моря: пространственная структура и многолетняя динамика. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: ИО РАН. 26 с.
- Чикина М.В., Колючкина Г.А., Кучерук Н.В. 2003. Аспекты биологии размножения *Scapharca inaequivalvis* (Bruguière) (Bivalvia; Arcidae) в Черном море // Экология моря. Т. 64. С. 72–77.
- Чухачев А.С., Фроленко Л.Н., Реков Ю.И. Новый вселенец в Азовское море // Рыбное хозяйство. 1994. № 3. С. 40.
- Abaza V., Dumitrache C., Dumitrescu E. 2010. Structure and distribution of the main molluscs from the Romanian marine areas designated for their growth and exploitation // Recherches Marines-Cercetări Marine. V. 39. P. 137–152.
- Acarli S., Lok A., Yigitkurt S. 2012. Growth and Survival of *Anadara inaequivalvis* (Bruguière, 1789) in Sufa Lagoon, Izmir, Turkey//The Israeli J. of Aquaculture. V. 69. P. 1–7.
- Albayrak S. 2003. On the Mollusca fauna of the Black Sea near Istanbul // Zoology in the Middle East. V. 30. P. 69–75.
- Bologa A.S., Bodeanu N., Petran A., Tiganus V., Zaitsev Y.P. 1995. Major modifications of the Black Sea benthic and planktonic biota in the last three decades // Bulletin de l'Institut Océanographique. V. 1. P. 85–110.
- Broom M.J. 1985. The biology and culture of marine bivalve molluscs of the genus *Anadara* // ICLARM Studies and Review. V. 12. 37 p.
- Cahn A.R. 1951. Clam culture in Japan // Natural Resources Section, Supreme Commander for the Allied Powers. V. 146. 103 p.
- Clarke K.R., Gorley R.N. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 192 pp.
- de Zwaan A., Cortesi P., Cattani O. 1995. Resistance of bivalves to anoxia as a response to pollution-induced environmental stress // The Science of the Total Environment. V. 171. P. 121–125.
- Dumitrache C., Abaza V. 2004. The present state of benthic communities in the Romanian coastal waters // Recherches Marines, INCDM, Constanta. V. 35. P. 61–75.
- Eleftheriou A., McIntyre A. 2005. Methods for the study of marine benthos. Oxford: Blackwell Science Ltd. 442 p.
- Gomoiu M.T., Petran A. 1973. Dynamics of settlement of bivalve *Mya arenaria* on the Romanian shore of the Black Sea // Cercetari marine -Recherches marines, IRCM—Constanta/ V. 5/6. P. 263–289.
- Janssen R., Knudsen S., Todorova V., Hoşgör, A. G. 2014. Managing *Rapana* in the Black Sea: stakeholder workshops on both sides// Ocean & coastal management. V. 87. P. 75–87.

- Kolyuchkina G.A., Biryukova S.V., Semin V.L., Simakova U.V., Basin A.B., Nabozhenko M.V., Spiridonov V.A.* 2015. Impact of invasive bivalve *Anadara kagoshimensis* on the Taman Bay (Sea of Azov) benthic assemblages // Book of abstracts of 50th European Marine Biology Symposium. Helgoland, Germany, 21–25 September 2015. P. 59.
- Konsulov A.S., Kamburska, L.T.* 1998. Ecological determination of the new Ctenophora — *Beroe ovata* invasion in the Black Sea // Tr. Ins. Oceanology, Varna. V. 2. P. 195–197.
- Nicolae C.G., Dumitrache C., Maximov V.* 2014. Quantitative and qualitative evaluation of zoobenthos in the Rosci0066 Danube delta-the marine area site—a case study in vernal season 2012 // Current Trends in Natural Sciences. V. 3. № 5. P. 6–11.
- Pathansali D.* 1966. Notes on the biology of the cockle *Anadara granosa* L. // Proc. Indo-Pac. Fish. Council. V. 11. P. 84–98.
- Petrova E., Stoykov S.* 2013. Biocenological investigations of the macrozoobenthos in the northern part of the Bulgarian Black sea coast in depths up to 30 m // Bulgarian J. of Agricultural Science. V. 19. № 1. P. 16–20.
- Reise K., Olenin S., Thielges D.W.* 2006. Are aliens threatening European aquatic coastal ecosystems? // Helgoland Marine Research. V. 60. № 2. P. 77.
- Revkov N., Abaza V., Dumitrache C., Todorova V., Konsulova T., Mickashavidze E., Varshanidze M., Sezgin M., Ozturk B., Chikina M.V., Kucheruk N.V.* 2008. The State Of Zoobenthos In Bsc, 2008. State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7). Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008–3. Istanbul. 448 pp.
- Sahin C., Düzgüneş E. and Okumuş İ.* 2006. Seasonal variations in condition index and gonadal development of the introduced blood cockle *Anadara inaequalvis* (Bruguiere, 1789) in the southeastern Black Sea coast // Turkish J. of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 6. № 2. P. 155–163.
- Sahin C., Emiral H., Okumus I., Mutlu Gozler A.* 2009. The Benthic Exotic Species of the Black Sea: Blood Cockle (*Anadara inaequalvis*, Bruguière, 1789: Bivalve) and Rapa Whelk (*Rapana thomasiana*, Crosse, 1861: Mollusc) // J. of Animal and Veterinary Advances. V. 8 (2). P. 240–245.
- Sapozhnikov F.V.* 2006. Present day State of the microphytobenthos of silt ground of Nord-caucasian region of coastal zone Black sea // Abstracts book of the International conference «Black sea ecosystem 2005 and beyond». Istanbul, Turkey, 8–10 May 2006. P. 84–85.
- Shalovenkov N.* 2005. Restoration of some parameters in the development of benthos after reduction of anthropogenous loading in the ecosystem of the Sevastopol Bay in the Black Sea // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. V. 10. № 1. P. 105–113.
- Simakova U.V., Lutaenko K.A., Neretina T.A., Kolyuchkina G.A.* 2013. The alien Bivalve *Anadara kagoshimensis* in the Black sea region: genetic analysis // Abstracts book of the 4th Bi-annual Black Sea Conference. Constanta, Ruminia, 28–31 October 2013. P. 104–105.
- Ting Y.Y., Kasahara S., Nakamura N.* 1972. An ecological study of the so-called Mogai (*Anadara subcrenata* (Lischke)) cultured in Kasaoka Bay // J. Fac. Fish, Anirn. Husb., Hiroshima University. V. 11. P. 91–110.
- Todorova V., Trayanova A., Konsulova T.* 2008. Biological monitoring of coastal marine waters and lakes — benthic invertebrate fauna: report. Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Oceanology. Varna. 47 p.
- Zaitsev Yu., Ozturk B.* 2001. Exotic species in the Aegean, Marmara, Black, Azov and Caspian seas. Istanbul: Turkish Marine Research foundation. 267 pp.
- Zaitsev Yu., Mamaev V.* 1997. Biodiversity in the Black Sea: A study of Change and Declines. New York: United Nations Publ. 208 p.

Поступила в редакцию 07.11.2017 г.  
Принята после рецензии 17.11.2017 г.

Commercial species and their biology

**Long-term changes in the north-eastern coast the Black Sea population of an invasive bivalve *Anadara kagoshimensis***

G.A. Kolyuchkina<sup>1</sup>, M.V. Chikina<sup>1</sup>, S.V. Biryukova<sup>2,3</sup>, N.I. Bulysheva<sup>2</sup>, A.B. Basin<sup>1</sup>, I.V. Lyubimov<sup>4</sup>, E.P. Kovalenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS (FSBIS «SIO RAS»), Moscow

<sup>2</sup>Federal Research Center SSC RAS (FSBIS «FRS SSC RAS»), Rostov-on-Don

<sup>3</sup>Azov Branch of Murmansk marine biological institute (FSBIS «MMBI KSC RAS»), Rostov-on-Don

<sup>4</sup>Russian State Agrarian University — Timiryazev Agricultural Academy (FSBEI HE «RSAU Timiryazev AA»), Moscow

The distribution, abundance and biomass of an invasive blood ark *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia) were investigated on the northeastern coast of the Black Sea (from the Kerch Strait to Adler) in 2001 and 2012. The occurrence of this species and habitat depth range (10–65 m) did not change within the 12 years. In both surveys maximum abundance and biomass were registered at 20–35 m depth of. In shallow water near the Kerch Strait species abundance and biomass were similar in 2001 and 2012. However, on the narrow shelf to the south of Novorossiysk, blood arks' abundance and biomass were about an order of magnitude smaller in 2012 in comparison to 2001. Analysis of population dynamics was carried out during 2001–2016 on one transect located in the Inal Bay. After an explosive increase in the early 2000s, stabilization of abundance and biomass has been observed since 2006. At the depth of 10–15 m the abundance and biomass of blood arks were on average lower than in the depth range of 20–30 m regardless of the year of study. The main factors determining the distribution and population dynamics were the level of sediment siltation, competition with native pelophilic species and the presence of a substrate for byssus attachment of blood arks' spat.

**Keywords:** *Anadara kagoshimensis*, alien species, Black Sea, population dynamic.

**REFERENCES**

- Alekseev R.P., Sinogub I.A. 1992. Makrozoobentos i donnye biocenozы Chernogo morya na shel'fah Kavkaza, Kryma i Bolgarii [Macrozoobenthos and bottom biocenosis of Black Sea at the Caucasus, Crimean and Bulgarian shelf] // *Ehkologiya pribrezhnoj zony Chernogo morya*. M: VNIRO. P. 218–234.
- Anistratenko V.V., Haliman I.A. 2006. Dvustvorchatyj mollyusk *Anadara inaequalvis* (Bivalvia, Arcidae) v severnoj chasti Azovskogo morya: zavershenie kolonizacii Azovo-Chernomorskogo bassejna [Bivalve mollusc *Anadara inaequalvis* (Bivalvia, Arcidae) in the northern part of the Sea of Azov: completion of colonization of the Azov-Black sea basin] // *Vestnik zoologii*. V. 40. № 6. P. 505–511.
- Arashkevich E.G., Luppova N.E., Nikishina A.B., Pautova L.A., Chasovnikov V.K., Dric A.V., Podymov O.I., Romanova N.D., Stanichnaya R.R., Zacepin A.G., Kuklev S.B., Flint M.V. 2015. Sudovoj ehkologicheskij monitoring v shel'fovoj zone Chernogo morya: ocenka sovremennogo sostoyaniya pelagicheskoy ehkosistemy [Marine Environmental Monitoring in the Shelf Zone of the Black Sea: Assessment of the Current State of the Pelagic Ecosystem] // *Okeanologiya*. V. 55. № 6. P. 964–964.



- Buyanovskij A.I.* 2004. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' razmernogo sostava v populyacijah dvustvorchatyh mollyuskov, morskikh ezhej i desyatinogih rakoobraznyh. [Spatial-temporary diversity of size composition in bivalves, sea-urchins and decapods]. M.: Izd-vo VNIRO. 306 p.
- Vorob'eva L.V., Nesterova D.A., Polishchuk L.N., Kulakova I.I., Sinegub I.A.* 2014. Sovremennoe sostoyanie pelagicheskij i donnyh soobshchestv Severo-Zapadnoj chasti Chernogo morya [Present state pelagic and benthic communities of the north-western Black Sea] // Visnik Odes'kogo nacional'nogo universitetu. Geografichni ta geologichni nauki. V. 19. № 1. P. 113–120.
- Zenkevich L.A.* 1977. Ob akklimatizacii v Kaspijskom more novyh kormovyh (dlya ryb) bespozvonocnyh i teoreticheskie k nej predposylki [About acclimatization in the Caspian Sea of new food (for fish) invertebrates and theoretical prerequisites for it] // Izbrannye trudy. Tom I. Biologiya severnyh i yuzhnyh morej SSSR. [Selectas. V.I. Biology of the North and South Seas USSR]. M.: Nauka. P. 244–256.
- Zernov S.A.* 1913. K voprosu ob izuchenii zhizni Chernogo morya [To the question of study of the Black Sea life] // Zap. Imp. Akad. Nauk. V. 32. № 1. 99 p.
- Karpevich A.F.* 1960. Teoreticheskie predposylki k akklimatizacii vodnyh organizmov [Theoretic backrounds to aquatic organisms acclimatization] // Trudy VNIRO. V. 43. P. 9–30.
- Kiseleva M.I.* 1981. Bentos ryhlyh gruntov Chernogo morya. [Benthos of the soft bottom of Black sea] Kiev: Naukova dumka. 168 p.
- Kiseleva M.I.* 1992. Sravnitel'naya karakteristika donnyh soobshchestv u poberezh'ya Kavkaza [Comparative characteristic of bottom communities at the Caucasian coast] // Mnogoletnie izmeneniya zoobentosa Chyornogo morya. [Long-term changes of Black Sea zoobenthos] Kiev: Naukova dumka. P. 88–94.
- Knyshev V.V., Korotaev G.K., Moiseenko V.A., Kubryakov A.I., Belokopytov V.N., Inyushina N.V.* 2011. Sezonnaya i mezhgodovaya izmenchivost' gidrofizicheskikh polej Chernogo morya, vosstanovlennyh na osnove reanaliza za period 1971–1993 gg. [Seasonal and Interannual Variability of Black sea hydrophysical fields reconstructed from 1971–1993 reanalysis data] // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana. V. 47. № 3. P. 433–446.
- Kolyuchkina G.A., Milyutin D.M.* 2013. Ispol'zovanie morfo-funktional'nogo analiza *Anadara* sp. cf. *Anadara inaequalis* (Bivalvia) v ehkologicheskom monitoringe [Using of morpho-functional analysis of hydrobionts (*Anadara* cf. *inaequalis*, Bivalve) for environmental monitoring] // Okeanologiya. V. 53. № 2. P. 192–199.
- Kolyuchkina G.A., Bud'ko D.F., Chasovnikov V.K., Chzhu V.P.* 2017 a. Vliyanie karakteristik donnyh osadkov na izmenchivost' gistopatologij dvustvorchatogo mollyuska *Anadara kagoshimensis* v raznyh rajonah severo-vostochnogo poberezh'ya Chernogo morya [Influence of the bottom sediment characteristics on the bivalve mollusc *Anadara kagoshimensis* histopathology's variability in the north-eastern coast of the Black Sea] // Okeanologiya. V. 57. № 6. P. 919–933.
- Kolyuchkina G.A., Chikina M.V., Basin A.B., Prohorova T.D., Lyubimov I.V.* 2017 b. Taksocen Bivalvia severo-vostochnogo poberezh'ya Chernogo morya: rezul'taty 16-letnego monitoringa [Bivalvia Taxocene of north-eastern coast of the Black Sea: the results of 16-years monitoring] // Mat. V mezhd. nauch. — prakt. konf. «Morskie issledovaniya i obrazovanie». 30 oktyabrya-2 noyabrya 2017 g., Moskva. IO RAN.
- Kucheruk N.V., Basin A.B., Kotov A.V., Chikina M.V.* 2002. Makrozoobentos ryhlyh gruntov severokavkazskogo poberezh'ya Chernogo morya: mnogoletnyaya dinamika soobshchestv [Macrobenthos of crumbly sediments of the Black Sea Caucasian Coast: long term dynamics of the communities] // Kompleksnye issledovaniya severo-vostochnoj chasti Chernogo morya. [Multidisciplinary investigations of the northeast part of the Black Sea]. M.: Nauka. P. 289–297.
- Mil'chakova N.A.* 2008. Morskie travy yuzhnyh morej Evrazii: sostav, rasprostranenie i strukturno-funktional'nye osobennosti (obzor) [Sea grasses of southern Eurasians seas: composition, distribution and structure-functional features (review)] // Trudy YugNIRO. V. 46. P. 93–101.
- Milyutin D.M., Vilkova O. Yu.* 2006. Chernomorskie mollyuski-vselency rapana i anadara: sovremennoe sostoyanie populyacij i dinamika zapasov [Black Sea mollusks-invaders rapana and anadara: contemporary state of populations and stocks dynamic] // Rybnoe hozjajstvo. V. 4. P. 50–53.
- Nabozhenko M.V.* 2011. Sovremennoe raspredelenie dvustvorchatyh mollyuskov (Mollusca: Bivalvia) severo-vostochnoj chasti Chernogo morya [Contemporary distribution of the bivalves (Mollusca: Bivalvia) of the northeastern part of Black Sea] // Nauka Yuga Rossii. V. 7. № 3. P. 79–86.
- Pereladov M.V.* 2013. Sovremennoe sostoyanie populyacii i osobennosti biologii rapany (*Rapana venosa*) v severo-vostochnoj chasti Chernogo morya [Contemporary state of rapana (*Rapana venosa*) population state and biological features in Northeastern Black Sea part] // Trudy VNIRO. V. 150. P. 8–20.

- Revkov N.K. 2016. Osobennosti kolonizacii Chernogo morya nedavnim vselencem — dvustvorchatym mollyuskom *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae) [Colonization's features of the Black Sea basin by recent invader *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae)] // Morskoy Biologicheskij Zhurnal. V. 1. № 2. P. 3–17.
- Sorokin Yu.I. 1982. Chernoe more: Priroda, resursy. [Black Sea: Nature, resources]. M.: Nauka. 217 p.
- Chikina M.V. 2009. Makrozoobentos ryhlyh gruntov Severo-Kavkazskogo poberezh'ya Chernogo morya: prostranstvennaya struktura i mnogoletnyaya dinamika. [Macrozoobenthos of soft bottom of North Caucasian Coast of the black Sea: the spatial structure and long-term dynamic]. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. M.: IO RAN. 26 p.
- Chikina M.V., Kolyuchkina G.A., Kucheruk N.V. 2003. Aspekty biologii razmnozheniya *Scapharca inaequivalvis* (Bruguière) (Bivalvia; Arcidae) v Chernom more [Some features of reproduction biology of *Scapharca inaequivalvis* (Bruguière) (Bivalvia, Arcidae) in the Black Sea] // Ekhologiya morya. V. 64. P. 72–77.
- Chihachev A.S., Frolenko L.N., Rekov Yu.I. 1994. Novyj vselenec v Azovskoe more [New invader in Azov Sea] // Rybnoe hozyajstvo. № 3. P. 40.
- Abaza V., Dumitrache C., Dumitrescu E. 2010. Structure and distribution of the main molluscs from the Romanian marine areas designated for their growth and exploitation // Recherches Marines-Cercetări Marine. V. 39. P. 137–152.
- Acarli S., Lok A., Yigitkurt S. 2012. Growth and Survival of *Anadara inaequivalvis* (Bruguière, 1789) in Sufa Lagoon, Izmir, Turkey // The Israeli J. of Aquaculture. V. 69. P. 1–7.
- Albayrak S. 2003. On the Mollusca fauna of the Black Sea near Istanbul // Zoology in the Middle East. V. 30. P. 69–75.
- Bologa A.S., Bodeanu N., Petran A., Tiganus V., Zaitsev Y.P. 1995. Major modifications of the Black Sea benthic and planktonic biota in the last three decades // Bulletin de l'Institut Océanographique. V. 1. P. 85–110.
- Broom M.J. 1985. The biology and culture of marine bivalve molluscs of the genus *Anadara* // ICLARM Studies and Review. V. 12. 37 p.
- Cahn A.R. 1951. Clam culture in Japan // Natural Resources Section, Supreme Commander for the Allied Powers. V. 146. 103 p.
- Clarke K.R., Gorley R.N. 2006. PRIMER v6: User Manual / Tutorial. PRIMER-E, Plymouth, 192 pp.
- De Zwaan A., Cortesi P., Cattani O. 1995. Resistance of bivalves to anoxia as a response to pollution-induced environmental stress // The Science of the Total Environment. V. 171. P. 121–125.
- Dumitrache C., Abaza V. 2004. The present state of benthic communities in the Romanian coastal waters // Recherches Marines, INCDM, Constanta. V. 35. P. 61–75.
- Eleftheriou A., McIntyre A. 2005. Methods for the study of marine benthos. Oxford: Blackwell Science Ltd. 442 p.
- Gomoiu M.T., Petran A. 1973. Dynamics of settlement of bivalve *Mya arenaria* on the Romanian shore of the Black Sea // Cercetari marine — Recherches marines, IRCM—Constanta/ V. 5/6. P. 263–289.
- Janssen R., Knudsen S., Todorova V., Hoşgör, A. G. 2014. Managing *Rapana* in the Black Sea: stakeholder workshops on both sides // Ocean & coastal management. V. 87. P. 75–87.
- Kolyuchkina G.A., Biryukova S.V., Semin V.L., Simakova U.V., Basin A.B., Nabozhenko M.V., Spiridonov V.A. 2015. Impact of invasive bivalve *Anadara kagoshimensis* on the Taman Bay (Sea of Azov) benthic assemblages // Book of abstracts of 50th European Marine Biology Symposium. Helgoland, Germany, 21–25 September 2015. P. 59.
- Konsulov A.S., Kamburska, L.T. 1998. Ecological determination of the new Ctenophora — *Beroe ovata* invasion in the Black Sea // Tr. Ins. Oceanology, Varna. V. 2. P. 195–197.
- Nicolae C.G., Dumitrache C., Maximov V. 2014. Quantitative and qualitative evaluation of zoobenthos in the Rosci0066 Danube delta-the marine area site—a case study in vernal season 2012 // Current Trends in Natural Sciences. V. 3. № 5. P. 6–11.
- Pathansali D. 1966. Notes on the biology of the cockle *Anadara granosa* L. // Proc. Indo-Pac. Fish. Council. V. 11. P. 84–98.
- Petrova E., Stoykov S. 2013. Biocenological investigations of the macrozoobenthos in the northern part of the Bulgarian Black sea coast in depths up to 30 m // Bulgarian J. of Agricultural Science. V. 19. № 1. P. 16–20.
- Reise K., Olenin S., Thielges D.W. 2006. Are aliens threatening European aquatic coastal ecosystems? // Helgoland Marine Research. V. 60. № 2. P. 77.
- Revkov N., Abaza V., Dumitrache C., Todorova V., Konsulova T., Mickashvidze E., Varshanidze M., Sezgin M., Ozturk B., Chikina M.V., Kucheruk N.V. 2008. The State Of Zoobenthos In Bsc, 2008. State of the Environment of the Black Sea (2001–2006/7). Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC) 2008–3. Istanbul. 448 p.
- Sahin C., Düzgüneş E. and Okumuş İ. 2006. Seasonal variations in condition index and gonadal development

- of the introduced blood cockle *Anadara inaequivalvis* (Bruguiere, 1789) in the southeastern Black Sea coast // Turkish J. of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 6. № 2. P. 155–163.
- Sahin C., Emiral H., Okumus I., Mutlu Gozler A. 2009. The Benthic Exotic Species of the Black Sea: Blood Cockle (*Anadara inaequivalvis*, Bruguière, 1789: Bivalve) and Rapa Whelk (*Rapana thomasiana*, Crosse, 1861: Mollusc) // J. of Animal and Veterinary Advances. V. 8 (2). P. 240–245.
- Sapozhnikov F.V. 2006. Present day State of the microphytobenthos of silt ground of Nord-caucasian region of coastal zone Black sea // Abstracts book of the International conference «Black sea ecosystem 2005 and beyond». Istanbul, Turkey, 8–10 May 2006. P. 84–85.
- Shalovenkov N. 2005. Restoration of some parameters in the development of benthos after reduction of anthropogenous loading in the ecosystem of the Sevastopol Bay in the Black Sea // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. V. 10. № 1. P. 105–113.
- Simakova U.V., Lutaenko K.A., Neretina T.A., Kolyuchkina G.A. 2013. The alien Bivalve *Anadara kagoshimensis* in the Black sea region: genetic analysis // Abstracts book of the 4th Bi-annual Black Sea Conference. Constanta, Ruminia, 28–31 October 2013. P. 104–105.
- Ting Y.Y., Kasahara S., Nakamura N. 1972. An ecological study of the so-called Mogai (*Anadara subcrenata* (Lischke)) cultured in Kasaoka Bay // J. Fac. Fish, Anirn. Hub., Hiroshima University. V. 11. P. 91–110.
- Todorova V., Trayanova A., Konsulova T. 2008. Biological monitoring of coastal marine waters and lakes — benthic invertebrate fauna: report. Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Oceanology. Varna. 47 p.
- Zaitsev Yu., Ozturk B. 2001. Exotic species in the Aegean, Marmara, Black, Azov and Caspian seas. Istanbul: Turkish Marine Research foundation. 267 pp.
- Zaitzev Yu., Mamaev V. 1997. Biodiversity in the Black Sea: A study of Change and Declines. New York: United Nations Publ. 208 p.

## FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** Map of stations

Note. Crosses denote stations sampled in 2001, circles — 2012. Comparable transects are underlines. Inflated image is of transect in the Inal Bay, where long-term dynamics has been studied.

**Fig. 2.** The occurrence of *Anadara kagoshimensis* at different depths on the north-eastern coast of the Black Sea in 2001 and 2012

**Fig. 3.** Distribution of abundance (A) and biomass (B) of *Anadara kagoshimensis* on the north-eastern coast of the Black Sea in 2001

Note. Stations are marked by crosses. Areas codes correspond to those give on the map (fig. 1).

**Fig. 4.** Distribution of abundance (A) and biomass (B) of *Anadara kagoshimensis* on the north-eastern coast of the Black Sea in 2012

Note. Area codes correspond to those given on the map (fig. 1).

**Fig. 5.** Depth distribution of abundance (A) and biomass (B) of *Anadara kagoshimensis* in different years in the Inal Bay

**Fig. 6.** Grain size ratios of bottom sediments on the north-eastern coast of the Black Sea in 2001.

The numbers of the regions correspond to the numbers in Fig. 1.

**Fig. 7.** Grain size ratios of bottom sediments in the Inal Bay in 2001–2016 at the depths of: 10 m (A), 15 m (B), 20 m (B), 25 m (Г) and 30 m (Д)