

УДК 574.24;57.041;57.042

## РОСТ МОЛОДИ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОЙ МИДИИ (*MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*, BIVALVIA, MYTILIDA) У ОТКРЫТЫХ БЕРЕГОВ ЮЖНОГО И ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К ЦВЕТОВОЙ МОРФЕ

© 2018 г. И. И. Казанкова<sup>1,\*</sup>, П. В. Гайский<sup>1,\*\*</sup>, А. А. Котолупова<sup>1,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь 299011, Россия

\*e-mail: ikazani@bk.ru

\*\*e-mail: gaysky@inbox.ru

\*\*\*e-mail: ogorodovaa.a@mail.ru

Поступила в редакцию 22.03.2017 г.

В прибрежных водах южного и юго-западного Крыма в слое воды 0–22 м экспериментальным путем была изучена скорость роста молоди мидии *Mytilus galloprovincialis* в зависимости от глубины экспозиции моллюсков и их принадлежности к цветовой морфе. В теплый период года в условиях выраженной вертикальной температурной стратификации воды скорость роста мидий с глубиной достоверно уменьшалась (в июне и июле это уменьшение было максимальным – в 2–3 раза). В августе–октябре и феврале–апреле мидии по глубине росли равномерно. В экспозиции с ноября по февраль скорость роста мидий на среднем горизонте глубины (12 м) была на 30% выше, чем у поверхности (0.5–2 м) и на нижнем горизонте (22 м). Выявлено увеличение с глубиной отношения скорости роста коричневых к скорости роста синих мидий (от 0.8 – у поверхности до 1.18 – на 22 м). Этот процесс не связан с температурным и кислородным режимом вод и наблюдается во все сезоны года. Возможно, он определяется изменением по глубине интенсивности и спектрального состава солнечного света.

**Ключевые слова:** скорость роста, горизонты глубины, цвет раковины, температура воды, кислородный режим, спектральный состав света, Черное море, марикультура

DOI: 10.1134/S0044513418110053

Средиземноморская мидия (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck 1819) в Черном море как массовый и доминантный вид играет важную средообразующую роль в скальном и иловом биотопах, обеспечивает поддержание качества водной среды в прибрежной зоне и является наиболее перспективным объектом марикультуры. В связи с этим данные по пространственно-временной изменчивости скорости роста моллюска следует учитывать при моделировании экологических и продукционных процессов, проходящих в прибрежной зоне Черного моря, и формировании научных основ управления прибрежными экосистемами. Зависимость скорости роста мидий от различных внешних и внутренних факторов (температуры воды, концентрации фитопланктона, месяца оседания личинки на субстрат, возраста особи, окраски ее раковины и др.) была предметом многих экспериментальных исследований (Славина,

1965; Newkirck, 1980; Аболмасова, 1987; Иванов и др., 1989; Ivanov et al., 1990; Золотницкий, 2001). Однако сведений о влиянии на скорость роста мидии глубины, как комплексного фактора, включающего важные для жизнедеятельности моллюска параметры среды, очень мало. Что касается экспериментальных данных по скорости роста мидий с различной окраской раковины на различных глубинах, то по этому вопросу опубликованы только предварительные результаты (Казанкова, 2006; 2016).

В Черном море популяция *M. galloprovincialis* представлена двумя основными цветовыми морфами – синей и коричневой (Драголи, 1966). Популяционно-генетические исследования мидий, учитывающие частоту встречаемости цветовых морф в естественных поселениях (Драголи, 1966; Булатов, 1984; Gantsevich et al., 2005), и экспериментальные скрещивания, проведенные в лабо-

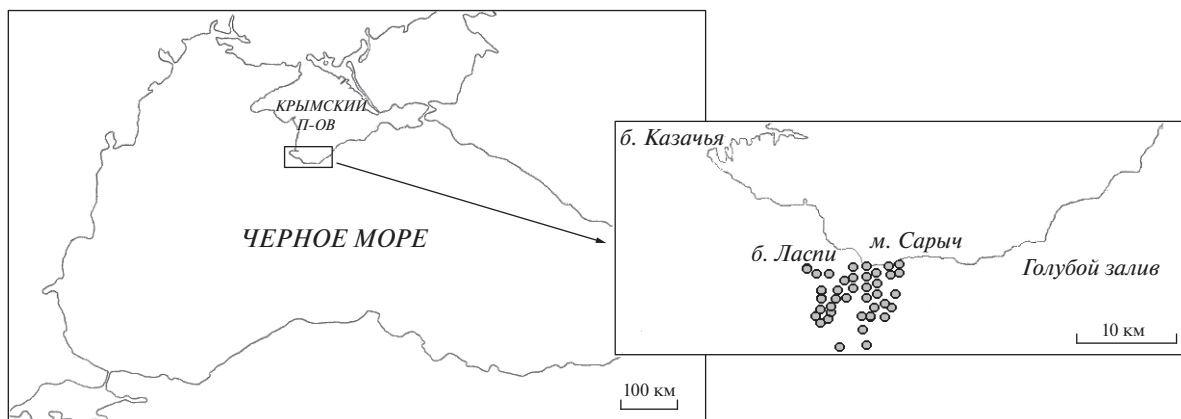


Рис. 1. Районы исследования и схема расположения станций измерения концентрации растворенного в воде кислорода у мыса Сарыч.

раторных условиях (Innes, Haley, 1977; Newkirk, 1980; Столбова и др., 1996), показали, что окраска раковины обусловлена генетически. Есть косвенные доказательства (основанные на фенетическом и размерном составе поселений мидий), что синяя морфа лучше приспособлена к обитанию на субстратах, расположенных близко к поверхности воды, а коричневая — к жизни в глубинных иловых биотопах (Драголи, 1966; Булатов, 1984; Иванов и др., 1989; Щербань, 2000). В данном исследовании мы попытались экспериментальным путем определить влияние глубины местообитания и окраски раковины на скорость роста молоди мидий в условиях пелагиали шельфовой зоны Южного берега Крыма, а именно, в слое 0–22 м, где в основном проходит самоочищение прибрежных вод и культивирование мидий. Молодь мидий, как объект исследования, удобна тем, что растет интенсивнее взрослых особей, и ей присущ только соматический рост. Эти особенности должны облегчить определение влияния среды на скорость линейного роста раковины. Из параметров среды, изменяющихся с глубиной и влияющих на рост моллюсков, рассмотрены температура воды, содержание в ней кислорода, концентрация фитопланктона, а также освещенность и спектральный состав солнечного света.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования скорости роста молоди мидий проводились в бухте Ласпи и Голубом заливе, которые расположены, соответственно, у берегов юго-западного и южного Крыма (рис. 1). Для этих открытых акваторий характерно быстрое увеличение глубины с удалением от берега, большая скорость водообмена с открытым морем, достаточно частые сгонно-нагонные явления.

С февраля по октябрь 1988 г. в бухте Ласпи был проведен эксперимент по росту мидий на двух горизонтах глубины 1 и 15 м. Глубина дна в месте исследования составляла 18 м. Мидий с начальной длиной  $20 \pm 1.0$  мм помещали в садки по 20 штук в каждый. Садки экспонировали в море в течение 20–40 сут. Всего было проведено восемь экспозиций. В каждой из них использовали новую партию мидий из поселений на коллекторах мидийной фермы, расположенной в бухте.

В бухте Ласпи и Голубом заливе в 1992, 1993 и 1998–1999 гг. были проведены эксперименты по исследованию скорости роста на различных глубинах молоди мидий двух цветовых морф — синей и коричневой. Разделение моллюсков по цвету раковины проводили по принципу, предложенному Драголи (1966). К синим особям относили мидий, раковина которых в той или иной степени была окрашена в синий цвет, коричневыми считали особей, у которых это окрашивание отсутствовало.

Первый эксперимент из этой серии проходил в бухте Ласпи в августе 1992 г. Мидий длиной 1.8–3.5 мм (по 120 особей каждого фена), прикрепившихся в лабораторных условиях к поверхности дна садков биссусными нитями, помещали на глубину 1 м на 30 сут. Чтобы исключить потери, садки были обтянуты мельничным ситом с ячейей 1 мм. Длину раковин моллюсков в начале и конце экспозиции измеряли с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10 и штангенциркуля.

Второй эксперимент проходил в бухте в августе–октябре 1993 г. в течение 70 сут. Мидий длиной 4.0–5.0 мм (по 118 особей каждого фена) и 11.0–16.0 мм (по 54 особи каждого фена) экспонировали на двух горизонтах глубины — 1 и 10 м.

Третий эксперимент был проведен в Голубом заливе с июня 1998 по начало марта 1999 г. на платформе Морского гидрофизического института НАН Украины и состоял из серии экспозиций мидий на четырех горизонтах глубины: 0.5, 2, 12 и 22 м. Глубина места исследования составляла 25 м. Для эксперимента использовали молодь, снятую с каната в июне 1998 г. в бухте Казачья с горизонта глубины 1 м. Отбирали особей длиной  $6.0 \pm 0.5$  мм, у которых было хорошо выражено отсутствие или наличие синего окрашивания раковины. Садки с молодью были обтянуты мелкой делью. В начале первой экспозиции в каждом садке находилось по 180 особей каждого фена. За сутки до выставления садков в море моллюскам предоставлялась возможность в лабораторных условиях прикрепиться биссусом к внутренней поверхности садков. Длительность нахождения мидий в море составляла обычно 20–40 сут, последняя экспозиция длилась около четырех месяцев. В промежутках между экспозициями моллюсков сохраняли в сосудах с небольшим количеством морской воды без добавления корма при температуре 8°C. Пока мидии были небольших размеров, величину прироста раковины определяли с помощью бинокулярного микроскопа — измеряли ширину нового участка раковины. Перед последней экспозицией моллюски были пронумерованы с помощью металлического стилета, начальная и конечная длина их раковины были измерены штангенциркулем.

При статистическом анализе результатов использовали программу Excel. Достоверность различий исследуемых параметров в экспериментальных выборках мидий определяли с помощью критерия Стьюдента для  $\alpha = 0.05$ .

Во время экспериментов по росту мидий параметры среды, которые могут оказывать влияние на рост моллюсков, а именно, температуру воды, концентрацию кислорода и фитопланктона, освещенность и спектральный состав света, не определяли. Поэтому анализ значений этих характеристик прибрежных вод у южного и юго-западного Крыма на разных глубинах осуществляли по опубликованным данным и собственным результатам, полученным в другие годы. К таким данным относятся уникальные измерения, осуществленные с помощью распределенных термопрофилеметров в 2012–2013 гг. на океанографической платформе МГИ НАН Украины в Голубом заливе в слое 0–20 м. Методика описана в работе Гайского (2014). Также при анализе были использованы данные по температуре верхнего слоя воды в бухте Ласпи в 1988 г., полученные В.К. Шаляпиным с помощью автономного цифрового измерителя течений и температуры и опубликованные в работе Казанковой с соавторами (2004). Верти-

кальное распределение содержания кислорода в водах прибрежной зоны южного и юго-западного Крыма исследовали, основываясь на архивных данных океанографического банка Института природно-технических систем (Мельников и др., 2016) и “Атласа климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878 – 2013)” (Матишов и др., 2014). Анализировали данные, полученные за период с 1923 по 1996 гг. в районе мыса Сарыч (см. рис. 1). При контроле их качества рассматривали среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ ) по всему массиву значений концентрации кислорода в воде в исследованном районе. Значения, не попадающие в интервал  $\pm 3\sigma$ , при анализе не рассматривались. Распределение концентрации фитопланктона, освещенности и спектрального состава света в зависимости от глубины изучали по литературным данным (Попов и др., 1979; Иванов и др., 1989; Нешиба, 1991; Michiels et al., 2008).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Скорость роста молодежи мидий на различных глубинах.** В бухте Ласпи, как и в Голубом заливе, скорость роста мидий в течение некоторых экспозиций существенно изменялась по глубине (рис. 2). Это наблюдалось в апреле–июне 1988 г., в июне–июле 1998 г. В летние месяцы скорость роста мидий у поверхности могла быть выше, чем на глубине в 2–3 раза. В августе–октябре в водах обеих акваторий изменение скорости роста моллюсков с глубиной было незначительным. В экспозиции в Голубом заливе, длившейся с середины октября по начало марта, максимальная скорость роста наблюдалась на 12 м. По сравнению с горизонтами глубины 2 и 22 м рост мидий на среднем горизонте был на 30% интенсивней. В феврале–марте в бухте Ласпи достоверных различий в скорости роста моллюсков на глубине 1 и 10 м выявлено не было.

**Скорость роста молодежи мидий с разной окраской раковины.** Результаты экспериментов по исследованию скорости роста мидий с разной окраской раковины относительно друг друга на разных глубинах, проведенные в бухте Ласпи, представлены в табл. 1. Во время экспозиций численность мидий в садках, как правило, уменьшалась в результате гибели или проникновения молодежи через ячейки деля за пределы садка. В первом эксперименте, который длился только один летний месяц, моллюски в среднем подросли на 3.4 мм. Прирост коричневых мидий (К-мидий) составил около 0.90 от прироста мидий с синей раковиной (С-мидий). Во втором эксперименте, проведенном уже на двух горизонтах, прирост коричневых мидий относительно синих (К/С-отношение) из-

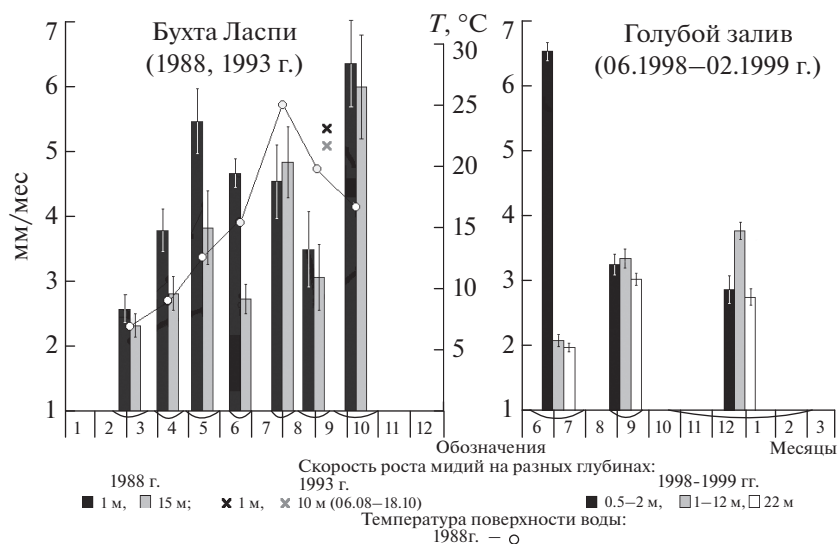


Рис. 2. Скорость роста молоди мидий в различные периоды года на разных глубинах: в бухте Ласпи и в Голубом заливе. Доверительный интервал для  $\alpha = 0.05$ . Дугами обозначены периоды экспозиций.

менялся в пределах 0.84–0.98. В данном эксперименте индивидуальный прирост не определялся, поэтому достоверность различия К/С-отношений на двух горизонтах глубины выявить не удалось.

В табл. 2 представлен линейный прирост раковины С- и К-мидий в Голубом заливе в различные сезоны на четырех горизонтах глубины. Почти

все экспериментальные выборки мидий были статистически однородными – коэффициент вариации среднего прироста составлял 12.1–30.7%. В Голубом заливе, как и в бухте Ласпи, в большинстве случаев С-мидии росли быстрее К-мидий. В течение летних экспозиций эта разница была достоверной на всех горизонтах глубины, в

Таблица 1. Прирост раковины коричневых и синих мидий на разных глубинах в бухте Ласпи (1992, 1993 гг.)

Период экспозиции	Глубина	№ группы	Фен	$N_0$ , экз.	$N$ , экз.	$L_0 \pm SD$ , мм	$\Delta L$ , мм	К/С
25.07–25.08 1992 г. (31 сут)	1 м	1	С	60	40	$2.05 \pm 0.14$	3.60	0.94
			К	60	27	$2.00 \pm 0.15$	3.39	
		2	С	60	21	$3.15 \pm 0.25$	3.56	0.88
			К	60	28	$3.05 \pm 0.18$	3.14	
06.08–18.10 1993 г. (73 сут)	1 м	1	С	118	51	$4.56 \pm 0.34$	13.74	0.98
			К	118	47	$4.38 \pm 0.24$	13.44	
		2	С	54	6	$13.63 \pm 1.59$	14.00	0.84
			К	54	10	$13.58 \pm 1.61$	11.69	
	10 м	1	С	118	59	$4.60 \pm 0.29$	13.67	0.91
			К	118	66	$4.54 \pm 0.33$	12.49	
		2	С	54	16	$13.55 \pm 1.42$	12.20	0.98
			К	54	18	$13.45 \pm 1.69$	11.98	

Примечания. С, К – синий и коричневый фен, соответственно;  $N_0$ ,  $N$  – число мидий в выборке в начале и в конце экспозиции, соответственно;  $L_0$ ,  $\Delta L$  – средние значения начальной длины раковины и прироста раковины в длину;  $SD$  – стандартное отклонение  $L_0$ ; К/С – отношение  $\Delta L$  коричневых особей к  $\Delta L$  синих в группе.

**Таблица 2.** Линейный прирост раковины синих и коричневых мидий на разных глубинах в Голубом заливе в 1998–1999 гг.

Глубина	Параметры	Периоды экспозиций и их длительность											
		17.06–29.07 (42 сут)		08.07–29.07 (21 сут)		29.07–20.08 (22 сут)		20.08–18.09 (39 сут)		18.09–14.10 (26 сут)		14.10–02.03 (139 сут)	
		К	С	К	С	К	С	К	С	К	С	К	С
0.5 м	$\Delta L$ , мм	–		–		1.37	1.61*	–		3.2	3.45	–	
	$SD$ , мм	–		–		0.42	0.49	–		0.90	0.96	–	
	$N$ , экз.	–		–		90	103	–		90	101	–	
	$CV$ , %	–		–		30.7	30.0	–		28.1	27.8	–	
2 м	$\Delta L$ , мм	8.8	9.55*	–		–		3.83	4.72*	–		13.49	14.11
	$SD$ , мм	2.03	2.11	–		–		1.13	1.40	–		1.96	2.56
	$N$ , экз.	179	169	–		–		132	121	–		17	25
	$CV$ , %	23.1	22.1	–		–		29.5	29.7	–		14.5	18.1
12 м	$\Delta L$ , мм	–		1.40	1.56*	–		4.21	4.41	–		16.52	16.75
	$SD$ , мм	–		0.39	0.42	–		1.19	1.18	–		2.00	2.89
	$N$ , экз.	–		173	170	–		129	127	–		58	46
	$CV$ , %	–		27.9	26.9	–		28.3	26.8	–		12.1	17.3
22 м	$\Delta L$ , мм	2.71	2.85*	–		–		3.88	4.01	–		13.48	11.42*
	$SD$ , мм	0.48	0.48	–		–		0.78	0.74	–		1.64	1.83
	$N$ , экз.	194	206	–		–		134	107	–		26	26
	$CV$ , %	17.7	16.8	–		–		20.1	18.5	–		12.2	16.0

Примечания.  $\Delta L$ ,  $SD$  – среднее значение линейного прироста раковин мидий за период экспозиции и его стандартное отклонение;  $N$  – количество мидий в конце экспозиции;  $CV$  – коэффициент вариации ( $(SD/\Delta L) \cdot 100\%$ ); \* – достоверное различие средних значений прироста С- и К-мидий; прочерк – эксперимент на этих горизонтах глубины не проводился.

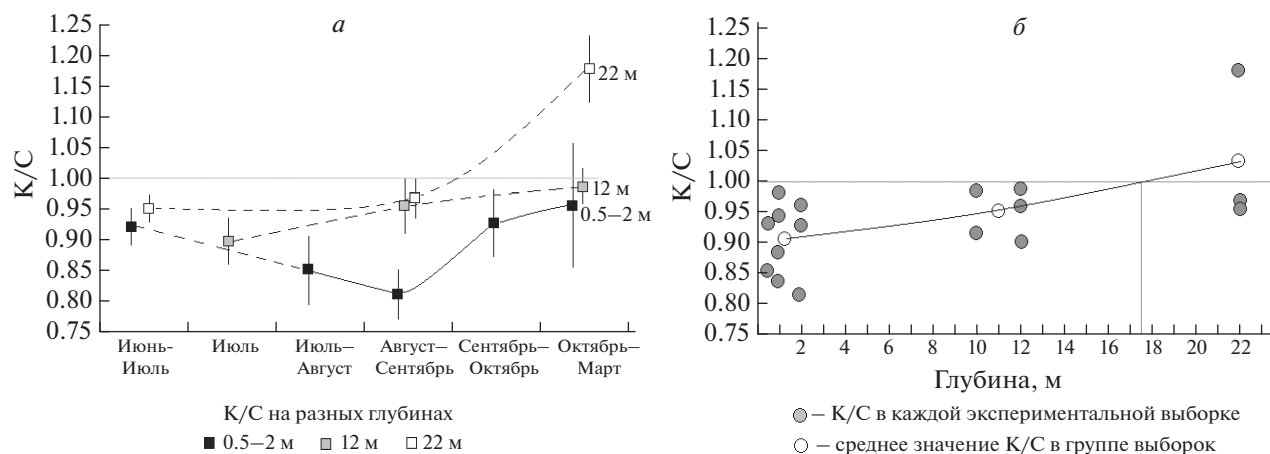
начале осени – только на глубине 2 м (см. табл. 1). В октябре–марте на горизонте 22 м коричневые мидии достоверно росли быстрее синих.

К/С-отношение в эксперименте в Голубом заливе изменялось по сезонам и глубине (рис. 3а). В августе–сентябре на горизонте глубины 2 м коричневые мидии относительно синих максимально замедляли свой рост, и К/С-отношение здесь составляло 0.81, тогда как на 12 и 22 м – 0.95 и 0.97. В последнюю осенне-зимнюю экспозицию К/С-отношение в верхних горизонтах увеличивалось до 0.95, на глубине 12 м оно почти не изменялось и составляло 0.98. В то же время на глубине 22 м исследуемый параметр достигал 1.18 и достоверно отличался от такового на глубинах 2 и 12 м.

Обобщенный график результатов, полученных в экспериментах в бухте Ласпи и Голубом заливе, представлен на рис. 3б. Коэффициент корреляции К/С-отношения и глубины по этим данным составил 0.6. Из графика следует, что в прибрежной зоне Южного берега Крыма скорости роста

синих и коричневых мидий выравниваются на глубине около 17.5 м.

**Изменение температуры воды по глубинам в различные сезоны года.** На рис. 4 и 5 представлена пространственная и временная изменчивость температуры воды в Голубом заливе в слое 0–19 м в течение почти годового периода (ноябрь 2012–сентябрь 2013 г.), отражающая характерные особенности температурного режима в прибрежных водах Южного берега Крыма. В холодный период года (январь–март) среднемесячная температура поверхностного слоя была на 0.6°C ниже, чем на глубине (см. рис. 4). Поверхностная вода начала прогреваться только в конце апреля. Важную роль в формировании температурного режима вод в теплый период играли динамические процессы. Так, в мае были хорошо выражены сгонно-нагонные явления, в результате чего происходило чередование ситуаций вертикальной температурной гомотермии и стратификации воды (см. рис. 5). В наибольшей степени стратификация воды была выражена в июне и июле. В эти месяцы



**Рис. 3.** Прирост коричневых мидий относительно синих: *а* — в разные сезоны на различных горизонтах глубины в Голубом заливе (1998–1999 гг.) и *б* — на различных горизонтах глубины в Голубом заливе (1998–1999 гг.) и бухте Ласпи (1992, 1993 гг.). Доверительный интервал для  $\alpha = 0.05$ .

различие между средними значениями температуры воды у поверхности (0–2 м) и на глубине (18–19 м) составило  $9^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 4). Неравномерность прогрева воды по глубине сохранялась вплоть до середины августа, когда в течение двух–трех дней из-за нагонного процесса, охватившего, по крайней мере, слой 0–20 м, образовался квазиоднородный прогретый слой воды. В сентябре активизация сгонных процессов способствовала постепенному разрушению позднелетней вертикальной гомотермии воды.

**Изменение содержания кислорода в воде по глубинам в различные сезоны года.** По многолетним данным в водах у Южного берега Крыма среднесезонное содержание кислорода в слое воды 0–30 м изменяется от 245–300 мкмоль/л в июле–декабре до 290–330 мкмоль/л в январе–июне (рис. 6). Концентрация кислорода в воде с ростом глубины в пределах слоя 0–30 м практически не изменяется (октябрь–март) или увеличивается (апрель–сентябрь). Постепенное уменьшение содержания кислорода в воде с увеличением глубины наблюдается во все сезоны года, начиная только с горизонтов 30–50 м.

**Изменение освещенности и спектрального состава света в морской воде с ростом глубины.** Из литературных данных известно, что глубина проникновения видимого света в максимально чистой морской воде увеличивается в пределах 11–160 м при переходе от красного света к синему (Попов и др., 1979). По данным Нешиба (1991), на глубине 1 см поглощается 15% всей солнечной энергии. В основном это энергия самых длинных волн инфракрасной части спектра, которая теряется из-за поглощения в поверхностной пленке океана. На глубине 1 м поглощается 55% всей

энергии, в том числе все инфракрасные волны и значительная часть волн ультрафиолетовой части спектра. На глубине 10 м поглощается 84% всей энергии. Только волны синего и зеленого света проникают на еще большие глубины. Степень развития фитопланктона, концентрация растворенного в воде органического вещества также влияют на глубину проникновения света и его спектральный состав. В прибрежных водах, где фитопланктон развивается интенсивнее, световая энергия может достигать 1% от падающего на поверхность воды света на глубине всего лишь 10 м, а не 100 м, как в океанской воде. Также в “чистейших” океанских водах (с точки зрения их прозрачности) в наименьшей степени угасает фиолетово-синий свет, в то время как в прибрежных продуктивных водах, в которых много фитопланктона, другой взвеси и растворенного органического вещества, меньше всего ослаблены желтые лучи (рис. 7).

## ОБСУЖДЕНИЕ

**Скорость роста молоди мидий в зависимости от глубины.** Из полученных результатов следует, что у южных и юго-западных берегов Крыма в слое воды 0–22 м неравномерность роста молоди мидий по глубине наблюдается только в отдельные периоды года, что, по всей видимости, связано с неоднородностью по вертикали условий, определяющих скорость роста моллюсков.

Полученные вертикальные профили температуры воды в теплые месяцы 2013 г. подтверждают описанные ранее особенности структуры вод в Голубом заливе в 1986–2003 гг. (Куклин и др., 2014). Такой особенностью в мае–июле (см. рис. 4, 5) является выраженная температурная стратификация воды,

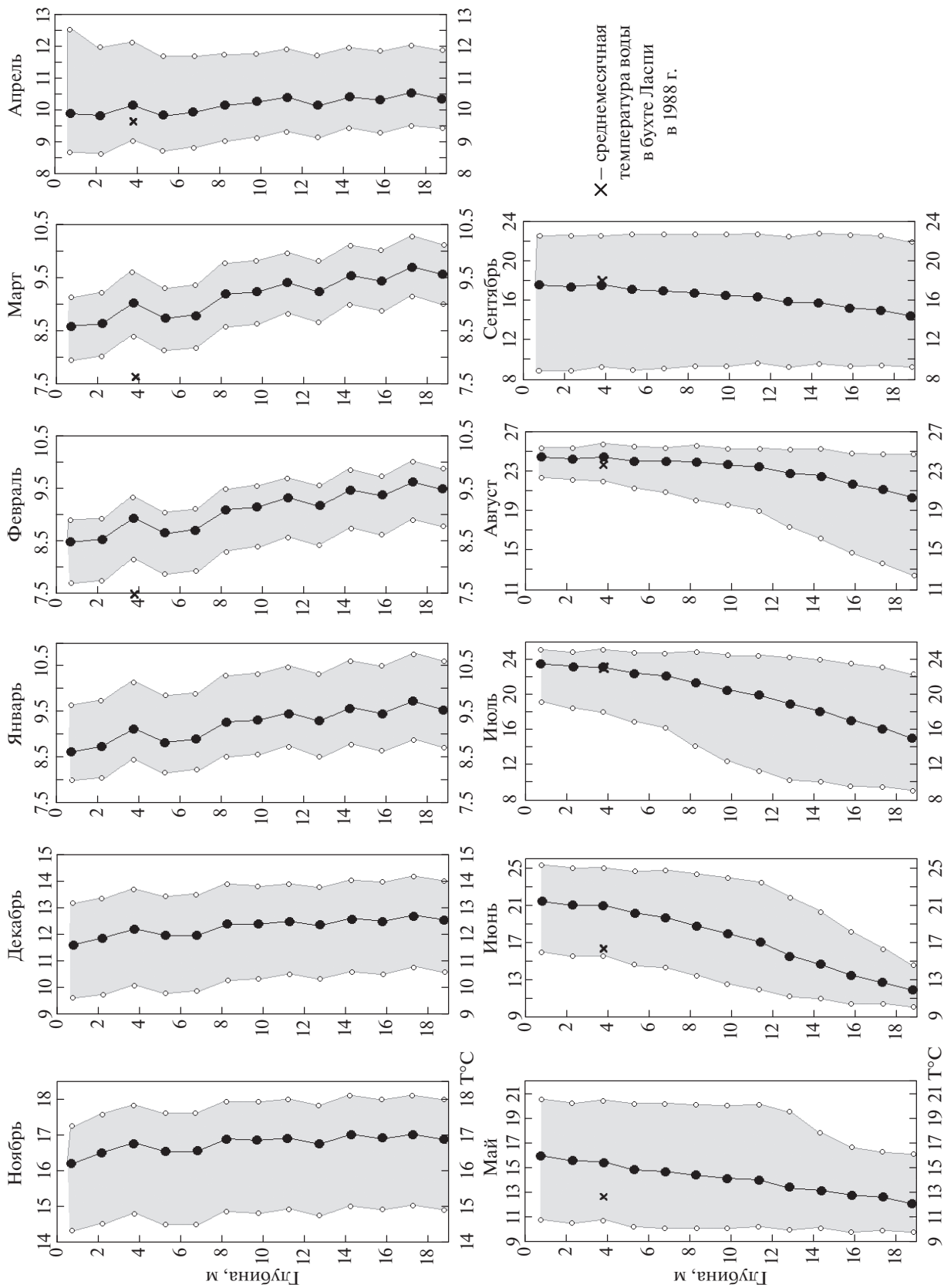
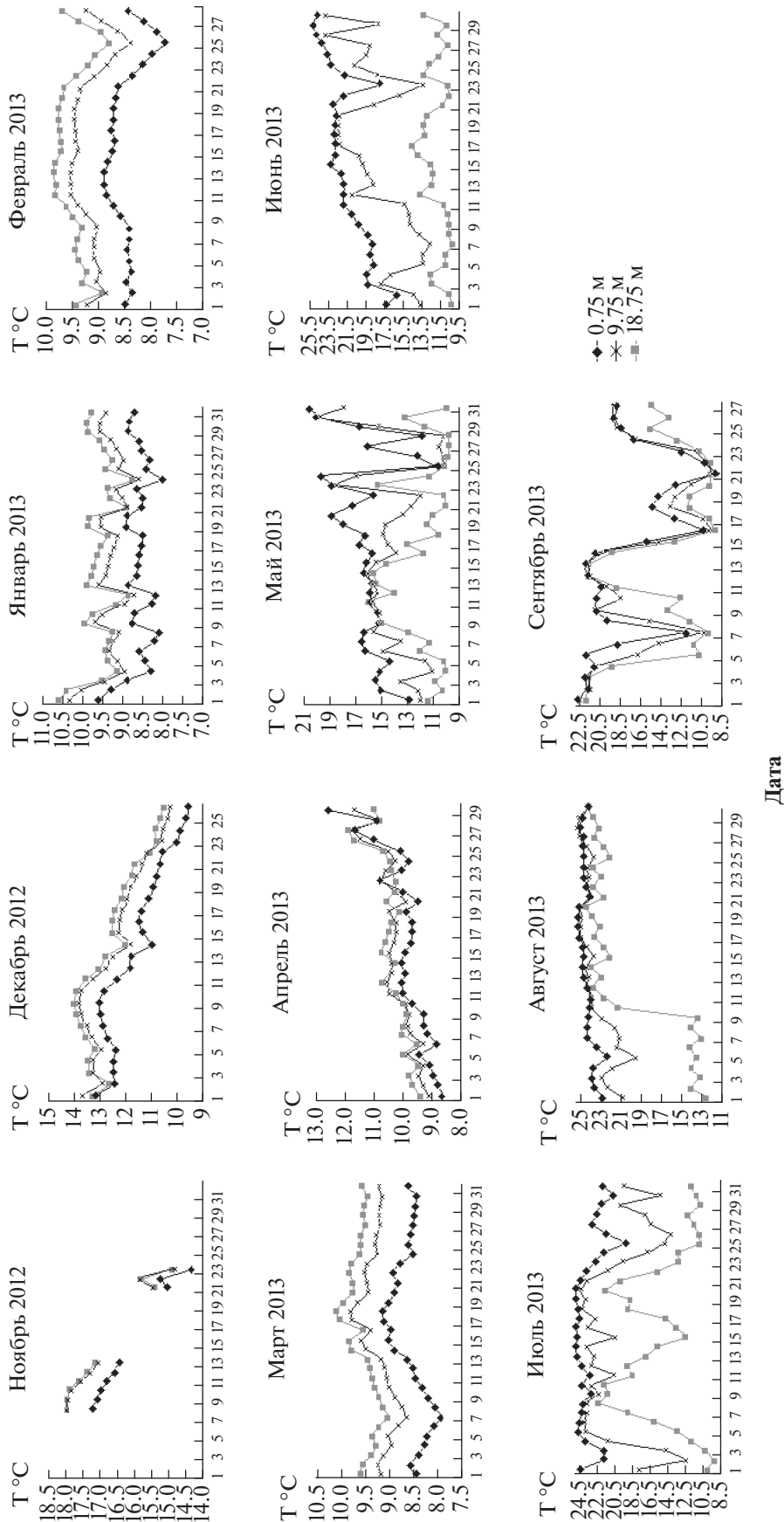


Рис. 4. Температура (среднее, максимальное и минимальное значения) воды в различных горизонтах глубины в Голубом заливе в ноябре 2012—сентябрь 2013 г.





**Рис. 5.** Среднесуточная температура воды в разные сезоны года на трех горизонтах глубины (0.75, 9.75 и 18.75 м) в слое 0–20 м в Голубом заливе (ноябрь 2012–сентябрь 2013 г.)



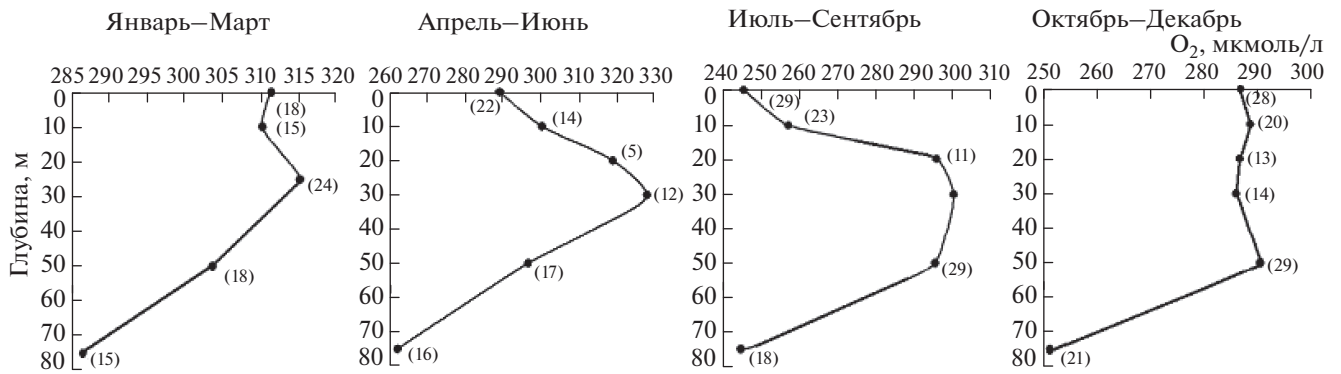


Рис. 6. Вертикальное распределение средних значений концентрации растворенного в воде кислорода в районе мыса Сарыч (1923–1996 г.г.). В скобках на графике указано количество станций.

что, очевидно, обуславливает существенное уменьшение в этот период скорости роста молоди с увеличением глубины (см. рис. 2). Нельзя также исключить то, что в мае–июле на рост моллюсков в прибрежной зоне Крыма оказывает влияние не только температурный фактор, но и неравномерность распределения по глубине фитопланктона. Так, в бухте Ласпи в июне 1983 г. в слое 0–30 м наблюдалось резкое уменьшение с глубиной численности микроводорослей — от 700 до 10 кл. м<sup>-3</sup> (Иванов и др., 1989). Причем биомасса фитопланктона с ростом глубины не уменьшалась, и, следовательно, микроводоросли в верхнем слое воды были преимущественно мелкого размера. Наличие в верхнем слое воды большого количества именно мелкого фитопланктона может обеспечить высокую скорость роста молоди мидий, жаберный аппарат которых еще не способен отфильтровывать слишком крупные клетки и частицы. То, что в июне–июле 1998 г. в Голубом заливе на глубине 12 м мидии росли медленнее, чем в феврале–марте 1988 г. в бухте Ласпи на горизонте 1 м (см. рис. 2), также можно объяснить возможной недостаточностью корма в глубинных слоях воды, а не температурным фактором, так как в указанный период в бухте среднемесячная температура воды у поверхности составляла всего 7.5°C (см. рис. 4). В пользу этого предположения свидетельствует и то, что в 80-е годы прошлого века зимой наблюдали глубокое конвективное перемешивание воды и вследствие этого повышенную продуктивность верхнего слоя Черного моря (Шульман и др., 2007). Это, по всей видимости, обеспечило повышенную скорость роста мидий в холодный период 1988 г.

Наблюдаемое с августа по октябрь равномерное распределение значений скорости роста мидий по глубинам (см. рис. 2), скорее всего, является результатом однородности температурных

(см. рис. 5) и кормовых условий. Этому способствует преобладание в указанный период нагонных процессов у южных и юго-западных берегов Крыма (Куклин и др., 2014), благодаря которым в прибрежной зоне слой воды 0–30 м может быть полностью представлен поверхностной водой открытого моря и иметь одинаковые характеристики от поверхности воды до нижних горизонтов.

Полученные с помощью распределенных термопрофиломеров данные (см. рис. 4 и 5) позволяют объяснить особенности роста мидий на разных глубинах в холодный период года. Причиной уменьшения скорости роста моллюсков на горизонте 2 м относительно таковой на глубине 12 м (см. рис. 2), вероятнее всего, является пониженная температура поверхностной воды по сравне-

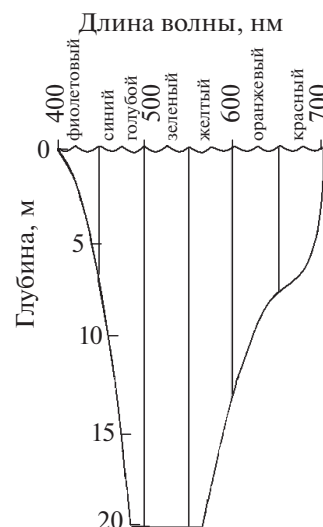


Рис. 7. Ослабление световых лучей различной длины волны с глубиной в прибрежных водах (по: Michiels et al., 2008, рис. 1).

нию с глубинными слоями (см. рис. 5). Кроме того, во время зимних штормов верхние садки с мидиями могут часто оказываться в воздушной среде, что прерывает процесс фильтрации воды моллюсками. Уменьшение скорости роста мидий на глубине 22 м, по сравнению с 12 м, скорее всего, вызвано не температурным фактором, а худшими кормовыми условиями из-за освещенности, недостаточной для интенсивного размножения фитопланктона на глубине.

**Скорость роста молодежи мидий в зависимости от окраски раковины.** Согласно полученным результатам температурный фактор не является причиной различия в скорости мидий разного фена, так как повышенная скорость роста синих мидий относительно коричневых наблюдалась в поверхностном слое воды во все сезоны года, как при относительно высокой, так и при относительно низкой температуре воды.

Выявленное увеличение скорости роста коричневых мидий относительно синих на глубине 22 м не может быть связано с кислородным режимом, так как в слое 0–30 м вероятность существенного понижения содержания кислорода у открытых берегов южного и юго-западного Крыма незначительна (см. рис. 6). Редкий случай значительного уменьшения содержания кислорода в водах у Южного берега Крыма был зафиксирован в октябре 1984 г. в бухте Ласпи (Куфтаркова и др., 1990). Во время сгона вследствие подъема глубинных вод на горизонте 75 м концентрация кислорода составила  $1.83 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$  (у поверхности в этот момент она составляла  $5.32 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$ ). Это почти соответствовало гипоксийному состоянию воды –  $1.2 \text{ мл} \cdot \text{л}^{-1}$  (Свищев и др., 2011).

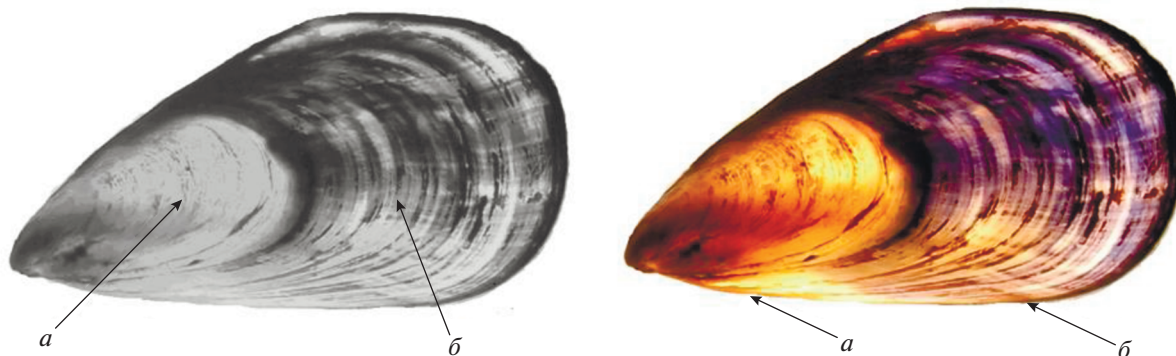
Лучшая адаптированность коричневых особей к пониженному содержанию в воде кислорода, которую можно предположить в связи с приуроченностью этой цветовой морфы к глубоководным иловым биоценозам, полученными нами данными не подтверждается. Так, в августе–сентябре на глубине 0–2 м коричневые мидии заметно отставали в скорости роста от синих, и К/С-отношение уменьшалось до минимальных своих значений за весь период исследования – 0.8 (см. рис. 3). В эти месяцы концентрация кислорода в поверхностном слое моря обычно минимальна (см. рис. 6), что связано с повышенной температурой воды (Свищев и др., 2011).

Таким образом, значительная сезонная и вертикальная изменчивость температуры воды в слое 0–22 м в районе Южного берега Крыма, а также хорошая аэрированность всей толщи этого слоя не позволяют считать температуру и содержание кислорода факторами, определяющими обнаруженное различие скорости роста синих и коричне-

вых мидий на разных глубинах в прибрежной зоне. В то же время во все сезоны года существует определенная вертикальная неоднородность спектрального состава солнечных лучей (см. рис. 7). Полагаем, что именно эта неоднородность может являться причиной изменения скорости роста синих и коричневых мидий относительно друг друга с увеличением глубины. Лабораторные эксперименты показали, что при освещении мидий лучами, относящимися к голубой, зеленой и желтой частям светового спектра, скорость линейного роста их раковины увеличивалась, в то время как красные лучи ингибировали рост (Stromgren, 1976). Ингибируют рост, оказывая разрушительное действие на ткани морских организмов, и ультрафиолетовые лучи (Porter, 1976). По данным Дигби (Digby, 1968), процесс кальцификации, лежащий в основе формирования раковины, имеет фотоэлектронную природу и связан с наличием в тканях моллюсков пигментов.

Исходя из перечисленных фактов, мы можем предположить, что пигменты, находящиеся в тканях мидий, могут по-разному взаимодействовать со световыми волнами разной длины. Поэтому одной из возможных причин изменения с глубиной отношения скоростей роста мидий с синей и коричневой окраской раковины может быть различная способность их раковин пропускать и отражать световые лучи. Так, синие раковины, могут лучше защищать мягкие ткани и содержащиеся в них пигменты от избытка ультрафиолетовых, фиолетовых и синих лучей. Поэтому у поверхности воды быстрее растут мидии, принадлежащие к синей морфе. На больших глубинах, непроницаемых для ультрафиолета, где также ослабляются лучи, способствующие образованию раковины, синяя пигментация для моллюска, вероятно, не выгодна, так как она может излишне экранировать эти лучи. Здесь преимущество в росте получают коричневые особи.

То, что с увеличением глубины в слое 0–22 м различие в скорости роста молодежи мидии двух фенотипов незначительно – в нашем исследовании в среднем оно составило от 4 до 10%, можно объяснить способностью моллюсков обеих цветовых морф в ходе онтогенеза адаптироваться к условиям освещенности. Экспериментально показано, что большинство мидий достаточно быстро реагирует на яркий солнечный свет, что выражается в образовании нового участка раковины с более интенсивным окрашиванием, как синего, так и коричневого оттенка, тогда как в ослабленном свете пигментация нарастающего края раковины уменьшается (Trevelyan, Chang, 1987; Казанкова, 2010). Это, возможно, позволяет мидиям регулировать световой поток в качественном и количественном отношении.



**Рис. 8.** Пример проявления синей пигментации раковины у отдельной особи мидии (периостракум удален): *a* — начальный светло-коричневый участок раковины без признаков синей пигментации, *б* — участок раковины с появившимися ярко-синими полосами. (Севастополь, 2010 г., скальный биотоп, длина мидии 45 мм).

Нельзя исключить, что генетически predeterminedены не только цвет раковины, но и особенности адаптации особей к освещенности, такие как быстрота проявления и степень выраженности пигментации раковины в ходе онтогенеза. В эксперименте, описанном в статье Казанковой (2010), при подращивании коричневых мидий при повышенной освещенности только у части особей новый участок раковины приобретал синее окрашивание, у остальных особей нарастающий край оставался коричневым, но окраска его становилась более интенсивной. На рис. 8 показано как у мидии достаточно длительное время не проявлялось синее окрашивание раковины.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в прибрежных открытых акваториях южного и юго-западного Крыма скорость роста молоди мидий в слое 0–20 м зависит от глубины не во все сезоны года. В теплый период, с мая по начало августа, в условиях температурной стратификации воды моллюски с глубиной замедляют свой рост. В июне–июле, когда стратификация наиболее выражена, скорость роста молоди на глубине 10–22 м, по сравнению со скоростью роста в поверхностном горизонте, может снизиться в 2–3 раза. В холодный период года наибольшая скорость роста мидий наблюдается на среднем горизонте глубины (12 м). При этом понижение скорости роста мидий на глубине 2 и 22 м, по сравнению с 12 м, может быть связано с как более низкой температурой воды у поверхности, так и с худшими условиями для развития фитопланктона из-за недостаточной освещенности на глубине. В марте–апреле и августе–октябре, когда вертикальная температурная стратификация отсутствует или слабо выражена, достоверное

различие в скорости роста мидий на разных глубинах не обнаружено.

Выявленное увеличение с глубиной отношения скорости роста коричневых к скорости роста синих мидий (от 0.8 — у поверхности до 1.18 — на 22 м) не связано с температурным и кислородным режимом вод и наблюдается во все сезоны года. Возможно, этот процесс определяется изменением по глубине интенсивности и спектрального состава солнечного света. Уравнивание скоростей роста мидий двух цветовых морф у открытых берегов южного и юго-западного Крыма происходит примерно на горизонте глубины 17–18 м.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят за помощь в работе С.Б. Горюнова, В.А. Зубарева, В.И. Холодова, В.К. Шалыпина, Н. Ковалевского, В. Лаврушко, А.О. Лисицкого и А.В. Шлыка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аболмасова Г.И., 1987. Скорость роста черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в экспериментальных условиях // Экология моря. Вып. 25. С. 62–70.
- Булатов К.В., 1984. Генетическая природа окраски раковин у черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Доклады АН УССР. № 6. С. 54–56.
- Гайский П.В., 2014. Результаты годовых наблюдений вертикального профиля температуры на океанографической платформе с помощью распределенных термопрофиломеров // Системы контроля окружающей среды. № 20. С. 44–53.
- Драголи А.Л., 1966. К вопросу о взаимосвязи между вариациями черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) // Распределение бентоса и биология донных животных в южных морях. Киев: Наукова думка. С. 3–15.

- Золотницкий А.П., 2001. Экологические закономерности формирования урожая мидии при культивировании в Черном море // Естественно-биологические и экологические проблемы Восточного Крыма. Симферополь. С. 73–85.
- Иванов В.Н., Холодов В.И., Сеничева М.И., Пиркова А.В., Булатов К.В., 1989. Биология культивируемых мидий. Киев: Наукова думка. 100 с.
- Казанкова И.И., 2006. Формирование поселений *Mytilus galloprovincialis* Lam. на искусственных субстратах у южных и юго-западных берегов Крыма. Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.17 Ин-т биологии южных морей НАН Украины. Севастополь. 24 с.
- Казанкова И.И., 2010. Влияние освещенности на формирование фенетической структуры поселений *Mytilus galloprovincialis* у берегов Крыма // Наукові записки ТНПУ Серія: Біологія. Вып. 3 (44). С. 107–111.
- Казанкова И.И., 2016. Скорость роста молоди мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. в зависимости от окраски раковины и глубины // Тез. докл. Черноморской междунар. науч.-практ. конф. МГУ “Проблемы безопасности в современном мире” (Севастополь, 26–28 мая 2016 г.). Севастополь. С. 52–54.
- Казанкова И.И., Гринцов В.А., Артемьева Я.Н., Шаляпин В.К., 2004. Мониторинг численности личинок мидии в планктоне и интенсивности их оседания в районе экспериментальных мидийных хозяйств // Системы контроля окружающей среды. Средства и мониторинг: сб. науч. трудов НАН Украины. Мор. гидрофиз. ин-т. Севастополь. С. 258–262.
- Куклин А.К., Куклина Н.Я., Шабалина О.А., 2014. Температура морской воды в районе океанографической платформы в Качивели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. № 28. С. 186–194.
- Куфтаркова Е.А., Ковригина Н.П., Бобко Н.И., 1990. Оценка гидрохимических условий бухты Ласпи - района культивирования мидий // Экология моря. Вып. 36. С. 1–7.
- Матишов Г.Г., Бердников С.В., Жичкин А.П., Макаревич П.Р., Дженюк С.Л. и др., 2014. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Черное, Азовское и Каспийское моря. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН. 256 с.
- Мельников В.В., Полонский А.Б., Котолупова А.А., Гребнева Е.А., Мельник Л.А., Бирюкова М.А., 2016. GIS Института природно-технических систем // Системы контроля окружающей среды. Вып. 4 (24). С. 42–49.
- Нешиба С., 1991. Океанология: современные представления о жидкой оболочке Земли. Перевод с англ. Б.А. Борисова и др.; под ред. В.А. Буркова. М.: Мир. 413 с.
- Попов Н.И., Фёдоров К.Н., Орлов В.М., 1979. Морская вода. Справочное руководство. М.: Наука. 328 с.
- Свищев С.В., Кондратьев С.И., Коновалов С.К., 2011. Закономерности сезонных изменений содержания и распределения кислорода в водах Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал. № 4. С. 64–78.
- Славина О.Я., 1965. Рост мидий в Севастопольской бухте // Бентос. Киев: Наукова думка. С. 24–29.
- Столбова Н.Г., Пиркова А.В., Ладыгина Л.В., 1996. Наследование цвета раковины у мидии *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Цитология и генетика. Т. 30. № 6. С. 62–65.
- Шульман Г.Е., Никольский В.Н., Юнева Т.В., Щенкина А.М., Бат Л., Кидейш А.Е., 2007. Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Черного моря // Морской экологический журнал. Т. 6. № 4. С. 18–30.
- Щербань С.А., 2000. Особенности соматического и генеративного роста у некоторых цветковых морф мидий *Mytilus galloprovincialis* Lam. // Экология моря. Вып. 53. С. 77–81.
- Digby P.S., 1968. The mechanism of calcification in the molluscan shell // Studies in the Structure, Physiology and Ecology of Molluscs: The Proc. Symp. Zool. Soc. London (8–9 March, 1967). London: Acad. Press. P. 93–107.
- Fox D.L., 1983. Biochromy of the Mollusca. In: Wilbur, K.M. & Hochachka, P.W. (Eds). The Mollusca. V. 2. Environmental biochemistry and physiology. Academic Press, Inc., New York: P. 281–301.
- Gantsevich M.M., Tyunnikova A.V., Malakhov V.V., 2005. The genetics of shell pigmentation of the mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalvia, Mytilida) // Doklady Biological Sciences. V. 404. № 1–6. P. 370–371.
- Innes D.J., Haley L.E., 1977. Inheritance of a shell-color polymorphism in mussel // Journal of Heredity. № 68. P. 203–204.
- Ivanov V.N., Kholodov V.I., Bulatov K.V., Pirkova A.V. Kazankova I.I., 1990. Regularities in mussel settlement formation on artificial substrate Sevastopol marine research // Hydrores. 7(8). P. 26–30.
- Michiels N.K., Anthes N., Hart N.S., Herler J., Meixner A.J., et al., 2008. Red fluorescence in reef fish: A novel signalling mechanism? // BMC Ecology. 8:16. (<http://bmcecol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6785-8-16>)
- Newkirk G.F., 1980. Genetics of shell color in *Mytilus edulis* L. and the association of growth rate with shell color // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. V. 47. № 1. P. 89–94.
- Porter W.P., 1967. Solar radiation through the living body walls of vertebrates with emphasis on desert reptiles // Ecological Monographs. V. 37. № 4. P. 273–296.
- Stromgren T., 1976. Growth pattern of *Mytilus edulis* in relation to individual variation, light conditions, feeding, and starvation // Sarsia. V. 60. P. 25–40.
- Trevelyan G.A., Chang E.S., 1987. Light-induced shell pigmentation in post-larval *Mytilus edulis* and its use as a biological tag // Marine Ecology Progress Series. V. 39. № 2. P. 137–144.

**GROWTH OF JUVENILES OF MEDITERRANEAN MUSSEL  
(*MYTILUS GALLOPROVINCIALIS*, BIVALVIA, MYTILIDA) AT OPEN COASTS  
OF SOUTHERN AND SOUTHWESTERN CRIMEA IN RELATION  
TO DEPTH AND COLOUR MORPH ATTRIBUTION**

**I. I. Kazankova<sup>a, \*</sup>, P. V. Gaysky<sup>a, \*\*</sup>, A. A. Kotolupova<sup>a, \*\*\*</sup>**

<sup>a</sup>*Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol 299011, Russia*

<sup>\*</sup>*e-mail: ikazani@bk.ru*

<sup>\*\*</sup>*e-mail: gaysky@inbox.ru*

<sup>\*\*\*</sup>*e-mail: ogorodovaa.a@mail.ru*

At the southern and southwestern coasts of Crimea, in the conditions of an expressed vertical temperature stratification of the waters during the warm season, the growth rate of juvenile *Mytilus galloprovincialis* mussels decreased with water depth. In June and July, this drop was the maximum and reached 2–3 times. In August–October and February–April, the growth rate of mussels was steady and did not change with water depth. From November to February, the growth rate of mussels at the average depth of 12 m was 30% higher than both near the surface (0.5–2 m) and at a greater depth (22 m). During all seasons, the ratio of the growth rates of brown to blue mussels increased with depth from 0.8 (0.5–2 m) to 1.18 (22 m). This process is related to neither water temperature nor oxygen regime and is observed across all seasons of the year. It might be determined instead by the intensity and spectral composition of sunlight changing with depth.

*Keywords:* growth rate, water depth, water temperature, and oxygen regime, shell colour, spectral composition of sunlight, Black Sea, mariculture