

УДК 639.42(262.5)

## СОЗДАНИЕ ХОЗЯЙСТВ МАРИКУЛЬТУРЫ В ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ

**В. Г. Крючков**

*Создание хозяйств марикультуры в акваториях Черного моря по выращиванию мидий и устриц актуально и эффективно. Все необходимые документы для отвода акваторий под выращивание выполняют научные организации (например ЮгНИРО). Этап внедрения важно проводить под руководством специалиста. Приводится таблица предварительного расчета основных элементов морского гидробиотехнического сооружения (МГБТС) типа – сооружения гребенчатого, линейного (СГЛ). Изготовление и использование СГЛ после проведения расчетов приводит к снижению финансовых рисков.*

Ключевые слова: актуальность, марикультура, моллюски, внедрение, акватория, специалист, сооружение, расчеты, испытания, модернизация, риски.

Строительство морских ферм по выращиванию пищевых гидробионтов в акваториях Черного моря актуально в настоящее время. В рамках различных программ по созданию пищевой безопасности для людей большое значение имеет продукция, добываемая в чистых морских водах. Суммарный объем добываемой в океане продукции достиг своего предела, а пищевые потребности населения земли быстро возрастают, и только пресноводная аквакультура (успешно развивающаяся в настоящее время) их не может удовлетворить. В тех странах (например, в Японии), где в рационе питания населения преобладают различные морские гидробионты (рыбы, ракообразные, моллюски, водоросли и др.), отмечено высокое долголетие жизни людей. Во многих странах (Европы, Азии, Америки) опережающими темпами развивается марикультура, так называется отрасль, в которой занимаются культивированием (выращиванием) морских гидробионтов в прибрежных акваториях [8].

Кроме того, моллюски, являясь активными фильтраторами, очищают воды прибрежных акваторий, что очень важно в наше время, когда повсеместно отмечается устойчивая тенденция увеличения загрязнения морской воды [1]. Появилось даже понятие «санитарная марикультура», когда выращивание моллюсков осуществляется только с экологической целью, а «грязные» моллюски перед пищевым употреблением очищают (разработаны способы успешной очистки), используют в технических целях или просто утилизируют [2].

Внедрение даже хорошо разработанных учеными биотехнологий всегда наталкивается на ряд трудностей, особенно на начальных этапах (этап внедрения), когда такие технологии необходимо умело адаптировать к реальным условиям конкретных акваторий, а также преодолевать ряд сопутствующих проблем [5, 6]. В ряду множества вопросов - финансовых, организационных, связанных с отводом воды и земли, технических, технологических и многих других, возникающих при создании морской фермы по выращиванию гидробионтов, одним из главных вопросов является проведение этапа внедрения и выполнение всех прак-

тических работ под руководством достаточно квалифицированного специалиста. От качества подготовленности специалиста (мариведа) и его правильной практической деятельности зависит создание действительно эффективного и стабильно работающего хозяйства с обеспечением выполнения всех современных требований, в т. ч. и соблюдения экологической безопасности прибрежных акваторий [3].

Настоящее сообщение посвящено одному из важных вопросов: выбору и расчету основных элементов надежного (штормоустойчивого) морского сооружения, которое должно стабильно обеспечивать получение планируемой продукции. Предлагается одна из методик предварительного расчета (перед проектированием и изготовлением) морского гидробиотехнического сооружения (МГБТС) на примере наиболее используемого и рекомендуемого к применению в штормоопасных акваториях (у побережий ЮБК и Кавказа) сооружения гребенчато-линейного типа (СГЛ) для выращивания моллюсков (мидий, устриц) (рис. 1) [4, 7].

Бесспорно для правильного подбора МГБТС (тип коллектора, его расположение в толще, срок выращивания и др.) специалист должен в совершенстве знать биологию культивируемого объекта (спектр питания, этапы размножения и жизнедеятельности, оптимальные температурные и гидрохимические условия обитания) и его взаимосвязи с окружающей биотой. Очень важно предварительно определять океанографические условия морских районов, предполагаемых для выращивания гидробионтов, для последующего выбора акватории с наиболее оптимальными параметрами (глубины, состояние дна, скорости течений, защищенность от штормов, параметры волнений по сезонам за 10 лет). Для акваторий с наименьшими показателями волнения определяют величины и направления течений, наличие личинок мидий в периоды нереста (весной и осенью) и устанавливают значения концентраций фито- и зоопланктона, а также взвешенных органических веществ (в  $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Выявляют наличие аборигенных популяций мидий и их физиологическое состояние (размеры, возраст, наличие болез-

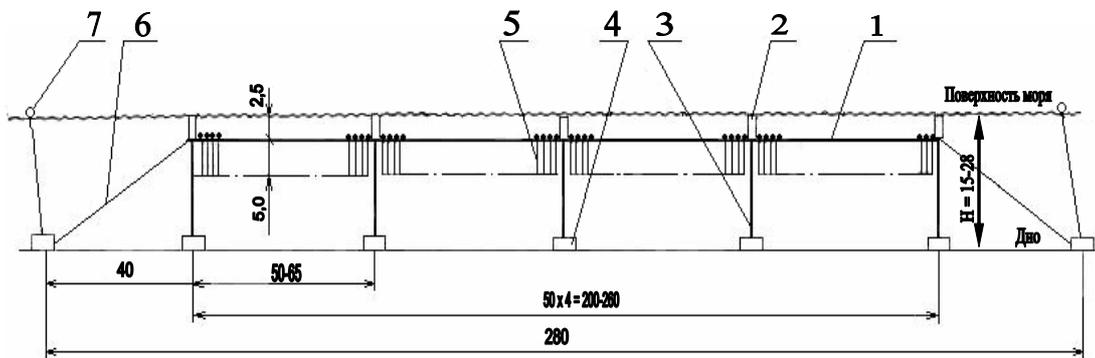


Рисунок 1 – Сооружение П-образное гребенчатого типа (СГЛ): 1 – хребтина несущая с наплавами; 2 – буй карандашеобразный; 3 – оттуга; 4 – груз; 5 – коллектор; 6 – оттяжка; 7 – буй указательный с буйлином. Размеры в метрах

ней, паразитов и т. д.). Оценивают токсикологический и микробиологический режимы исследуемой акватории.

Только после анализа полученных данных может быть осуществлен поиск акватории, пригодной для проведения такой хозяйственной деятельности. Отвод акватории проводят в соответствии с действующими правилами и с подготовкой всех необходимых документов. Исследования конкретной акватории соответственно письму-заявке пользователя проводят специалисты ЮгНИРО, которые и разрабатывают основные для проведения отвода документы: «Биологическое обоснование выращивания ...» (мидий, устриц в конкретной акватории) и «Режим рыбохозяйственной эксплуатации акватории в ...» (указывается район местонахождения акватории). Затем пользователь осуществляет проведение соответствующих согласований этих документов с органами госгидрографии, экологии, рыбоохраны и утверждает их в высших органах рыбного хозяйства Украины. После передачи утвержденных документов в региональные органы рыбоохраны, отвод акватории узаконивается для пользователя сроком на 10 лет, причем по истечении 1-го года (составляются акты) при бездействии или иной, не указанной в «Режиме...» деятельности отвод может быть отменен.

Для создания хозяйства необходима разработка еще ряда документов: бизнес-план или технико-экономическое обоснование (ТЭО), техническое задание на строительство морской фермы (ТЗ), чертежи и инструкции (изготовления и обслуживания) для МГБТС, чертежи береговых построек (отвод участка земли в береговой зоне с соответствующими согласованиями), чертежи нестандартного оборудования и другие проектные и эксплуатационные документы. В техническом задании (ТЗ) приводят схемы размещения на дне акватории МГБТС и их конструктивные особенности, а также выполняют схему с координатами размещения буйков и указательных буюв на поверхности. Данные схемы необходимы для подготовки и передачи письма в органы госгидрографии, которые издадут «Извещения для штурманов...» рыболовецких, прогулочных и иных плавсредств, с запрещением прохода занятых акваторий.

Копии разработанных документов, а также регистрационные документы предприятия-пользователя хранятся в органах региональной рыбоохраны, которые систематически контролируют деятельность пользователя и рациональное использование акватории.

Первоначально для проведения расчетов МГБТС выявляют в выбранной акватории характеристики волнения (высота волны –  $h$ , длина волны –  $\lambda$ , период волнения –  $\tau$ ), после чего их максимальные показатели усредняют за последние 10 лет. Эти данные, при их наличии, являются исходными для проведения последующих расчетов. Обычно же первоначальными (наиболее доступными) исходными данными являются – глубины в исследуемой акватории ( $H$ ) и прошлые данные значений максимальной скорости ветра ( $W$ ), усредненные за 10 лет. Поэтому исходные данные волнений ( $h$ ,  $\lambda$ ,  $\tau$ ) можно определить расчетным путем по формулам. Для определения высоты волны ( $h$ ) применяют формулу (1):

$$h = 0,052 \cdot H^{3/4} \cdot W^{1/2}, \quad (1)$$

где  $H$  – средняя глубина места, м;

$W$  – средняя скорость ветра (максимальные значения в году усредненные за 10 лет), м/с.

Длину волны ( $\lambda$ ) определяют по формуле (2):

$$\lambda = 3,33 \cdot H. \quad (2)$$

Период волнения ( $\tau$ ) – по формуле (3):

$$\tau = 0,8 \cdot \sqrt{\lambda}. \quad (3)$$

Далее расчет СГЛ сводится к определению следующих величин:

- предварительно рассчитывают биомассу мидий  $B_m$ , определяют на одном коллекторе (оптимальными формой и величиной боковой поверхности) и на всех – максимальное значение биомассы конечного урожая, с учетом обрастателей и ила;
- подбирают необходимое значение сил плавучестей  $P$  (соответствующих надежному удержанию биомассы мидий в толще воды во все периоды) с равномерным их распределением по длине несущих частей СГЛ (для снижения рывковых нагрузок во время волнений, анализируется конструктивная схема и способы креплений);
- рассчитывают силы сопротивления  $R$  всех основных частей СГЛ, возникающие во время (расчетного) шторма;
- вычисляют усилия в оттугах и оттяжках;
- рассчитывают массу удерживающих грузов  $M_r$ , с учетом их количества и величины массы в воде.

По усилиям в канатных связях ( $P$ ,  $T$ ) определяют необходимые диаметры канатов оттуг (вертикальные связи), оттяжек (наклонные связи) и несущих хребтин с учетом их долговременной высоко динамичной работы в морской воде. Канаты больших диаметров дороги, а маленьких быстро перетираются (несмотря даже на высокие усилия разрыва), поэтому выбирают оптимальный вариант с учетом практических рекомендаций и известного опыта.

Методика предварительного расчета элементов сооружения СГЛ приведена в таблице.

После проведения расчетов разрабатывают чертежи для изготовления выбранной схемы СГЛ с использованием доступных материалов и обеспечением всех расчетных параметров.

По расчетным характеристикам были изготовлены и испытаны хотя и одинаковые конструктивные схемы СГЛ, но с разными коллекторами (различались величины боковой поверхности), не одинаковыми величинами плавучестей (различались предполагаемые биомассы урожая мидий), а главное с использованием грузов различных масс. Для относительно спокойных районов (Керченский пролив, оз. Донузлав) с высотой штормовой волны, не превышающей 2 м, устанавливали в море сооружения СГЛ с бетонными грузами массой на воздухе 2 т. Для районов (побережье ЮБК и Кавказа) штормоопасных, с высотой волны более 5 м, устанавливали СГЛ на дно с грузами массой 5 т на воздухе. Это значительно увеличило расходы как на изготовление грузов, так и на их установку в море, но зато обеспечило получение запланированного урожая мидий с приемлемой себестоимостью.

Предварительный расчет сооружения гребенчато-линейного типа (СГЛ) для условий акваторий у побережий ЮБК и Кавказа

	2	3	4	5
1.	<p><math>V_0</math> – скорость движения частичек воды на поверхности;</p> <p><math>h</math> – высота волны;</p> <p>● – длина волны;</p> <p>◆ – период (параметры волнения расчетные)</p>	$V_0 = \frac{\pi \cdot h}{\tau}$ <p><math>h = 5,5</math>                      ● = 120                      ◆ = 9,5</p>	$V_0 = \frac{3,14 \cdot 5,5}{9,5} = 1,82$	<p>м/с</p> <p>м</p> <p>м</p> <p>с</p>
2.	<p><math>V_z</math> – скорость движения воды на глубине <math>z</math>;</p> <p>при <math>z = 0</math>  <math>z = 2,5</math> м  <math>z = 7,5</math> м</p>	$V_z = V_0 \cdot e^{-2 \frac{\pi \cdot z}{\lambda}}$	$V_{2,5} = 1,82 \cdot e^{-2 \frac{3,14 \cdot 2,5}{120}} = 1,59$ $V_{7,5} = 1,82 \cdot e^{-2 \frac{3,14 \cdot 7,5}{120}} = 1,25$	<p>м/с</p> <p>м/с</p>
3.	$M_z$ – масса якоря в воде	$M_z = \frac{P_z}{K_y} + 1,7P_6$		кг
4.	$K_y$ – коэффициент держай силы якоря с углублением в днище, установленного на песчаном или песчано-илистом грунте	$K_y = 1,2$		

<p>Определение массы крайних грузов проводим по схеме</p>					
5.	$T$ – усилие в оттяжке	$T = \sqrt{\sum P_{пл}^2 + \sum R^2}$			кгс
6.	$\sum P_{пл}$ – суммарная плавучесть сооружения; $k_n$ – коэффициент потери биомассы мидий в воде	$\sum P_{пл} = \frac{B_M^{196}}{k_n}$ $k_n = 4$	$\sum P_{пл} = \frac{11436,6}{4} = 2859,1$		кгс
7.	$B_M$ – биомасса мидий с обростателями на одном погонном метре коллектора	$B_M = (29,7 \pm 4,1) \cdot \omega^{(0,97 \pm 0,08)}$	$B_M = (29,7 \pm 4,1) \cdot 0,2^{(0,97 \pm 0,08)} = 33,8 \cdot 0,2^{1,05} = 6,23$		кг

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
8.	$\varpi$ – относительная удельная боковая поверхность коллектора (L = 5 м, шаг размещения (t) для 60-ти субстратных шашек $\varphi$ 60 мм, t = 73 мм и с t = 595 мм для 8 удерживающих шашек $\varphi$ 120 мм)	$\varpi = 0,2$		
9.	$B_0$ – масса обрастаний (25%)	$B_0 = B_{\text{м}} \cdot 0,25$	$B_0 = 6,23 \cdot 0,25 = 1,55$	кг
10.	$B_{\text{м}}^0$ – биомасса мидий и обрастателей (с учетом наличия вспышек нарастания биомассы в 1,5 раза)	$B_{\text{м}}^0 = (B_{\text{м}} + B_0) \cdot 1,5$	$B_{\text{м}}^0 = (6,23 + 1,55) \cdot 1,5 = 11,67$	кг
11.	$B_{\text{м}}^1$ – биомасса мидий на одном коллекторе	$B_{\text{м}}^1 = B_{\text{м}}^0 \cdot L$	$B_{\text{м}}^1 = 11,67 \cdot 5 = 58,35$	кг
12.	$B_{\text{м}}^{196}$ – биомасса мидий на 196 коллекторах	$B_{\text{м}}^{196} = B_{\text{м}}^1 \cdot 196$	$B_{\text{м}}^{196} = 58,35 \cdot 196 = 11436,6$	кг
13.	$P_x^4$ – плавучесть 4 хребтин на которых размещены наплава; $n_n$ – кол-во наплавов; $p_n$ – плавучесть наплава	$P_x^4 = n_n \cdot p_n$ $n_n = 392$ $p_n = 3$	$P_x^4 = 392 \cdot 3 = 1176$	кг шт. кгс
14.	$P_B^9$ – плавучесть основных бுவ	$P_B^9 = \sum P_{\text{нл}}^c - P_x^4$	$P_B^9 = (11436,6/4) - 1176 = 1683,0$	кгс

## Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
15.	$P_B^1$ – плавучесть одного каран- дашеобразного буя; $N_B$ – кол-во буюв	$P_B^9 = \frac{P_B^9}{9} = \frac{P_B^9}{9}$ $N_B = 9$	$P_B^1 = \frac{1683,0}{9} = 187,0$ принимаем 190,0	кгс кгс шт.
16.	$\sum P_{ni}^1$ – суммарная плавучесть всего СГЛ	$\sum P_{ni}^1 = P_B^1 \cdot N_B + P_x^4$	$\sum P_{ni}^1 = 190 \cdot 9 + 1176 = 2886,0$	кгс
17.	$B_M^y$ – уточненная биомасса мол- люсков с обрастателями на воз- духе; $\kappa_n$ – коэффициент потери массы мидий в воде	$B_M^y = \sum P_{ni}^1 \cdot \kappa_n$  $\kappa_n = 4$	$B_M^y = 2886,0 \cdot 4 = 11544,0$	кг  т
18.	$R_6$ – сопротивление бую потоку жидкости; $\rho$ – плотность морской воды; $c$ – коэффициент сопротивле- ния (выбирается по таблице в зависимости от числа Re); $F_6$ – поверхность проекции бую	$R_B = \frac{1}{2g} \cdot c \cdot \rho \cdot F_6 \cdot V_{2,5}^2$  $\rho = 10,28$ $c = 0,71$  $F_6 = 0,66$	$R_B = \frac{1}{2 \cdot 9,8} \cdot 0,71 \cdot 10,28 \cdot 0,66 \cdot 1,59^2 = 61,8$	кгс кг/м <sup>3</sup> м <sup>2</sup>
19.	Re – число Рейнольдса;  $d$ – диаметр поплавка; $\nu$ – кинематический коэффици- ент вязкости воды при солёности 18,5 ‰ и температуре 10 °С	$Re = \frac{d \cdot V_{2,5}}{\nu}$  $d = 0,4$ $\nu = 1,36 \cdot 10^{-6}$	$Re = \frac{0,4 \cdot 1,59}{1,36 \cdot 10^{-6}} = 0,467 \cdot 10^6$  по значению Re в таблицах находим значение $c = 0,71$	м м <sup>2</sup> /с

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
20.	$F_o$ – площадь проекции буя, для определения величины сопротивления	$F_o = S_u + S_k$ $S_k = 0$ – конусные части буя отсутствуют	$F_o = 0,66$	$M^2$
21.	$S_u$ – площадь проекции цилиндрической части буя	$S_u = d_o \cdot h_o$	$S_u = 0,4 \cdot 1,65 = 0,66$	$M^2$
22.	$S_k$ – площадь 2 конических частей буя	$S_k = 2 \cdot (1/2 \cdot d_k \cdot h_k)$	отсутствуют	$M^2$
23.	$\sum P$ – суммарное усилие одного буя	$\sum P = \sqrt{(P_B^1)^2 + R_B^2}$	$\sum P = \sqrt{(190)^2 + 61,8^2} = 199,8$	кгс
24.	$R_k$ – сопротивление одного коллектора с мидиями ( $d = 0,16$ м, длина – 4,8 м, площадь проекции $F_k$ ) потоку частичек воды со скоростью ( $V_{5,0}$ ) и $c$ – коэффициентом сопротивления для коллектора	$R_k = \frac{1}{2g} \cdot c \cdot \rho \cdot F \cdot V_{5,0}^2$ $F_k = 0,16 \cdot 5,0 = 0,8$ $V_{5,0} = 0,91$ $c = 0,71$	$R_k = \frac{1}{2,98} \cdot 0,71 \cdot 10,28 \cdot 0,8 \cdot 1,25^2 = 46,4$	кгс $M^2$ $M/C$
25.	$\sum R'_k$ – результирующая нагрузка, воздействующая на один коллектор с учетом дополнительных плавов и сопротивления;	$\sum R'_k = \sqrt{(P_H^A)^2 + R_k^2}$ $P_H^A = 6$	$\sum R'_k = \sqrt{(6)^2 + 46,4^2} = 46,7$	кгс
26.	$\sum R$ – суммарное сопротивление 25 коллекторов	$\sum R = R'_k \cdot 25$	$\sum R = 46,7 \cdot 25 = 1167,5$	кгс

1	2	3	4	5
27.	$T$ – усилие в оттяжке	Формула п. 5	$T = \sqrt{199,8^2 + 1167,5^2} = 1234,0$	кгс
28.	$P_B$ – вертикальная составляющая усилия	$P_B = T \cdot \cos \alpha$	$P_B = 1234,0 \cdot 0,35 = 432,0$	кгс
29.	$P_T$ – горизонтальная составляющая усилия	$P_T = T \cdot \sin \alpha$	$P_T = 1234,0 \cdot 0,93 = 1147,6$	кгс
30.	$M_T$ – масса якоря в воде	Формула п. 3	$M_T = \frac{1147,6}{1,2} + 1,7 \cdot 432,0 = 1691,0$	кг
31.	$M^B$ – масса груза на воздухе; $\kappa_{П}$ – коэффициент удельной поропляемости бетона	$M^B = \frac{M}{\kappa_{П}}$ $\kappa_{П} = 0,48$	$M^B = \frac{1161,0}{0,48} = 3523,0$ Принимаем – 4,0 т для промежуточных грузов	кг т

Определение усилий в оттуге определяем по схеме

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
32.	$P_B$ – усилие в оттуге с учетом сопротивления 2-х буюв и 49 коллекторов	$P_B = \sqrt{\sum P_{ni}^2 + \sum R_k^2}$	$P_B = \sqrt{(2 \cdot 199,8)^2 + (46,7 \cdot 49)^2} = 2323,0$	кгс
33.	$M^H$ – масса промежуточного бетонного груза в воде	$M^H = \kappa_3 \cdot P_B$ $\kappa_3 = 1,2$ – коэффициент держашей силы якоря	$M^H = 1,2 \cdot 2323,0 = 2787,6$	кг
34.	$M_B^H$ – масса промежуточного бетонного груза на воздухе	$M_B^H = \frac{P_B}{\kappa_H}$	$M_B^H = \frac{2787,6}{0,48} = 5807,5$ Для всех грузов (промежуточных и крайних) принимаем массу груза на воздухе равную 5,0 т	кг

Испытания в обоих случаях показали безаварийное удержание и достаточно высокую штормоустойчивость сооружений типа СГЛ с надежным получением ожидаемого (расчетного) урожая мидий с коллекторов рекомендуемой величины боковой поверхности.

В ходе проведения этапа опытного выращивания моллюсков (рекомендуемого в «Режиме...»), испытаний СГЛ и уточнения бионормативов выращивания моллюсков в конкретной акватории (рекомендуется первоначально проводить в небольших объемах) разрабатывают рекомендации (инструкцию по эксплуатации) по использованию морских сооружений и выявляют перспективу использования акватории (определяют объемы выращивания с соблюдением экологической безопасности).

Модернизация и различные усовершенствования должны всегда присутствовать при проведении практических работ, т. к. появляются новые материалы для изготовления канатов и поплавков, производится усовершенствование соединительных элементов, появляются новые конструктивные особенности, связанные с техническими характеристиками обслуживающих плавсредств и применением нового судового технологического оборудования.

Проведение предварительных расчетов любых конструкций морских сооружений позволяет изготавливать достаточно надежные МГБТС и проводить внедрение биотехнологий выращивания моллюсков со значительным снижением финансовых и материальных рисков, что является одним из факторов, обеспечивающим привлечение инвестиций в создание морских хозяйств.

#### *Литература*

1. *Губанов Е. П.* Экологические аспекты состояния биоресурсов Черного моря // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна : II Международная конференция, 26-27 июня 2006 г., Керчь. – Керчь: ЮгНИРО, 2006. – С. 10-16.
2. *Данилов В. М.* Перспективы развития санитарной марикультуры в Черном море // Рыбное хозяйство. – 2010. – № 3. – С. 59-61.
3. *Золотницкий А. П., Крючков В. Г.* О возможных экологических последствиях крупномасштабного культивирования мидий в шельфовой зоне Черного моря // Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна : II Международная конференция, Керчь, 26-27 июня 2006 г. – Керчь: ЮгНИРО, 2006. – С. 30-35.
4. *Крючков В. Г.* Гидробиотехнические сооружения для мидийных хозяйств Азово-Черноморского бассейна : Рыбное хозяйство : сер. Марикультура : обзорная информация. – М.: ВНИЭРХ, 1990. – 67 с.
5. *Крючков В. Г.* Перспективы выращивания моллюсков в Черном море у берегов Украины // Рыбное хозяйство Украины : спец. выпуск. – 2004. – № 7. – С. 164-168.

6. *Крючков В. Г.* Проект морской фермы для выращивания гидробионтов // Состояние и перспективы выпуска из гидробионтов продукции с лечебно-профилактическими свойствами : мат. научно-практ. конф. по марикультуре. – Севастополь: Госрыбхоз Украины, 1994. – С. 21-26.
7. *Крючков В. Г., Елецкий Ю. Б.* Рекомендации по выращиванию мидий у побережья ЮБК и в открытых акваториях восточной части Черного моря // Рыбное хозяйство Украины. – 2010. – № 6. – С. 2-8.
8. *Новости ФАО.* Производство продукции аквакультуры основными странами-производителями (в натуральном и стоимостном исчислении) // Рыбное хозяйство Украины. – 2004. – № 2.