

## АКВАКУЛЬТУРА

УДК 639.55

Г.С. Гаврилова\*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,  
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

**ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ТРЕПАНГА *APOSTICHOPUS JAPONICUS*  
В БИКУЛЬТУРНОМ МАРИХОЗЯЙСТВЕ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО  
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

Хозяйства марикультуры в зал. Петра Великого занимаются преимущественно культивированием двустворчатых моллюсков, что приводит к избыточному накоплению биоотложений этой группы аквакультурантов в районах плантаций. Для уменьшения воздействия на экосистемы бухт рекомендуется создание бикультурных хозяйств «фильтраторы-детритофаги». В районе плантаций тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus* в бухте Суходол в 2008 г. скорость осадконакопления достигала 34,1 г/м<sup>2</sup> сут. Среднее значение органического углерода во взвеси составляло 20,2 %. В течение года масса биоотложений с 1 га плантаций мидий возрастает до 124 т, что соответствует годовому потреблению детрита 1 млн экз. годовалой молоди трепанга *Apostichopus japonicus*. В конце 4-летнего цикла выращивания голотурии промыслового размера потребляют такой объем биоотложений в течение месяца, перерабатывая около 60 г органического углерода в год. Товарная продукция плантации трепанга, где ежегодно расселяется 5 млн экз. молоди, может превысить 700 т за 10 лет эксплуатации при наличии таких источников поставки взвешенного вещества, как садковые установки для выращивания двустворчатых моллюсков.

**Ключевые слова:** трепанг, двустворчатые моллюски, плантации, биоотложения, органический углерод.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-195-209-218.

**Gavrilova G.S.** Assessment of potential production for sea cucumber *Apostichopus japonicus* in a bicultural marine farm in Peter the Great Bay (Japan Sea) // *Izv. TINRO.* — 2018. — Vol. 195. — P. 209–218.

Marine farms in Peter the Great Bay are oriented predominantly to cultivation of bivalve mollusks that causes excessive accumulation of biodeposits in the areas of plantations. To reduce this negative impact on the ecosystem, development of bicultural farms with cultivation of filter-feeders and detritivores is recommended. In the area of mussel (*Mytilus trossulus*) plantations in the Sukhodol Bay, the sedimentation rate reaches 34.1 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>, with mean portion of organic carbon in the biodeposits as 20.2 %. Annual biodeposition from 1 hectare of mussel plantations is about 124 t that corresponds to annual consumption of detritus by 1 million of 1-year-old sea cucumber *Apostichopus japonicus*. By the end of the 4-year cycle of cultivation, the sea cucumbers of commercial size consume this amount of biodeposits within a month (60 g of organic carbon per year each). Production of a sea cucumber plantation with 5 million juveniles of sea cucumber settling every year can exceed 700 t in 10 years of operation, if it is mounted within the bicultural marine farm with bivalve cages as additional source of suspended organic matter.

**Key words:** sea cucumber, bivalve mollusk, plantation, biodeposit, organic carbon.

\* Гаврилова Галина Сергеевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, e-mail: galina.gavrilova@tinro-center.ru.

Gavrilova Galina S., D.Sc., principal researcher, e-mail: galina.gavrilova@tinro-center.ru.

## Введение

Сохранение и восстановление прибрежных экосистем с элементами марикультуры в настоящее время является важной задачей во многих странах. Для ее решения разрабатываются государственные и международные программы, предлагается внедрение систем органической и полиаквакультуры (Xie et al., 2013; Byron et al., 2015; Cubillo et al., 2016), а также комплексное развитие в регионах и промысла, и аквакультуры (Park et al., 2012). Влияние разных групп аквакультурантов на прибрежные экосистемы существенно различается. Индустриальное выращивание двустворчатых моллюсков, при котором на мелководье на больших площадях создаются подвесные установки и формируются дополнительные потоки биоотложений фильтрующих гидробионтов, может приводить к изменению донных ландшафтов, структуры бентосных, планктонных и микробных сообществ.

Влияние мелководных голотурий на величину и направление потоков энергии, их средообразующая роль обсуждались в литературе и ранее (Левин, 1999; Toral-Granda, 2006). При оценке экологической роли голотурии *Holothuria scabra*, распределение которой тесно связано с водной растительностью, показано, что биомасса макроводорослей значительно снижалась, а биомасса донных микроводорослей и содержание органического вещества увеличивались на тех участках, где голотурии отсутствовали. При исчезновении этого вида происходили изменения в водорослевых системах, избыточный промысел голотурий негативно влиял на продуктивность фитобентоса (Wolkenhauer et al., 2010).

Для эпибентических голотурий, к которым относится и дальневосточный трепанг, особенную трофическую значимость имеет самый поверхностный слой осадков, обогащенный органическим веществом и непосредственно ими использующийся. Существуют сведения об изменении состава донного микробного ценоза как в случае поступления биоотложений моллюсков, так и в результате потребления детрита голотуриями (Брегман, 1994; Cubillo et al., 2016). Повышенное содержание ОВ в поверхностном слое грунта под плантациями моллюсков создает благоприятные условия для питания детритофагов, а высокая численность микроорганизмов влияет, кроме того, и на скорость процессов восстановления пищевых ресурсов для трепанга (Zhou et al., 2006; Cubillo et al., 2016).

Экспериментально показано, что собирающие детритофаги успешно усваивают органическое вещество осадков в районах с повышенным его содержанием. Голотурии *Australostichopus mollis*, потребляя биоотложения мидийных ферм, уменьшали в них содержание общего органического углерода и фитопигментов (Slater, Carton, 2009). Численность и концентрация бактерий были значительно снижены после прохождения биоотложений моллюсков через кишечник *Isostichopus badionotus*, в результате чего на дне, в местах концентрации животных, создавались участки с уменьшенным содержанием бактерий (Rafalowski, Plante, 2013). В последней работе отмечено и значительно более высокое содержание органического вещества и фитопигментов в фекалиях голотурий, что, по мнению авторов, указывает на селективное питание этих животных. В лабораторных условиях молодые особи *Apostichopus japonicus* хорошо росли, потребляя до 17,20 % органического вещества биоотложений моллюсков, суточная удельная скорость роста составляла 1,38 % (Zhou et al., 2006).

В зал. Петра Великого развивается главным образом промышленное культивирование двустворчатых моллюсков. Для уменьшения его воздействия на экосистемы бухт рекомендуется создание бикультурных хозяйств «фильтраторы-детритофаги», организация которых в заливе только начинается, а современные нагрузки на акватории позволяют отнести исследования в этой области к числу опережающих. Вместе с тем такие работы имеют и практическое значение, так как существующие данные свидетельствуют об ускоренном росте детритофагов на биоотложениях двустворчатых моллюсков (Zhou et al., 2006; Cubillo et al., 2016). Следовательно, расчет параметров бикультурного хозяйства и оценка средообразующей роли голотурии *Apostichopus japonicus* в условиях зал. Петра Великого представляются актуальными.

Цель работы — оценить допустимую численность трепанга на донных плантациях вблизи мидийной установки и продукцию модельной плантации при подращивании заводской молоди трепанга. В ходе исследования также определены объемы грунта и содержащегося в нем органического вещества, перерабатываемого трепангом, с учетом данных о его пищевых потребностях.

### Материалы и методы

Работы выполнены в зал. Петра Великого Японского моря, где дальневосточный трепанг является типичным представителем донных биоценозов мелководных районов. Для исследования привлечены материалы о потреблении пищи трепангом в природных биотопах и скорости накопления взвеси на плантациях тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus*, полученные автором в разные годы в бухтах залива.

В работе использованы данные биологического анализа трепанга, выполненного в мае-июне 1999 г. при температуре воды 6–10 °С. Объем выборки составил 648 экз., из которых 592 добыты в зал. Петра Великого. Для определения скорости потребления пищи рассчитывали кишечный индекс (КИ) как отношение массы кишечника (г) к массе кожно-мышечного мешка (КММ) трепанга (г), выраженное в процентах:  $КИ = M_k / M_{КММ} \cdot 100 \%$ .

Скорость потребления пищи у молоди трепанга массой 1 г рассчитывали по уравнению, полученному на основе экспериментальных данных:  $C = 5,87 W^{0,768}$ , где  $C$  — рацион, мг  $C$  экз.<sup>-1</sup>сут<sup>-1</sup>;  $W$  — прижизненная масса тела трепанга, г. Соотношение достоверно в диапазоне величин массы тела от 0,1 до 100,0 г при 15 °С (Гаврилова, 1994).

Скорость накопления биоотложений мидии тихоокеанской оценивали в 2008 и 2011 гг. в бухте Суходол (Уссурийский залив) с помощью седиментационных ловушек (осадконакопителей). Седиментаторы (пластиковые контейнеры с перевернутым конусом) размещали на установке для выращивания моллюсков и за ее пределами, в толще воды на расстоянии 1,5 м от поверхности воды на срок около трех месяцев. Каждый год на плантации устанавливали по 2 станции (3 седиментатора на каждой), за ее пределами — 1 станцию (3 седиментатора).

После экспозиции на каждой станции содержимое из 3 осадконакопителей переливали в закрывающуюся емкость, измеряли общий объем, перемешивали и отбирали известный объем суспензии в емкость для транспортировки к месту обработки пробы.

В лаборатории с поверхности проб сифоном удаляли воду, осадок центрифугировали 15 мин со скоростью 5 тыс. об/мин для разделения твердой и жидкой фракций и переносили его на предварительно взвешенную кальку для определения массы натурального влажного осадка. Для определения органического углерода ( $C_{орг}$ ) осадок высушивали в бюксах до постоянной массы при температуре 70 °С, измельчали в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния.

В 2008 г. определение органического углерода проводили на элементном анализаторе «Eurovector-3000» (10 определений). В 2011 г. в пробах определяли зольность вещества (Общие основы..., 1979). Навеску, 1–2 г сухого вещества, помещали в фарфоровый тигель с известной массой и прокаливали четыре часа в муфельной печи при 500 °С. По разнице массы до и после прокаливания определяли количество минерального (зола) и органического вещества (ОВ).

В расчетах использовали эмпирически полученные коэффициенты: 0,78 — для определения массы натурально-влажного осадка при известной массе детрита; 0,11 — для оценки сухой массы в натурально-влажном осадке. Статистическую обработку данных проводили с применением программы MS Excel 2007.

### Результаты и их обсуждение

#### *Объемы грунта, перерабатываемого трепангом*

Май и июнь в зал. Петра Великого — это период активных кормовых миграций дальневосточного трепанга, в это время наблюдается наиболее высокая наполняемость кишечника у особей всех возрастных групп. Средние значения кишечного индекса

составляли 26–27 % (табл. 1), у отдельных экземпляров он достигал 60 % и более. У большей части голотурий (71 %) этот показатель не превышал 30 %, и лишь часть особей (10 %) питались неактивно (КИ < 15 %) (см. рисунок).

Таблица 1  
Значения кишечного индекса у дальневосточного трепанга в прибрежной зоне Приморья в мае-июне, %

Table 1  
Intestinal index of sea cucumber in the coastal zone of Primorye in May-June, %

Район исследований	Непромысловые особи			Промысловые особи			Дата работ	Объем выборки, экз.
	Среднее	Максимум/минимум	Дисперсия	Среднее	Максимум/минимум	Дисперсия		
Акватория у о. Русского	33	58/8	83	31	50/14	66	1-я декада мая	125
Амурский залив, острова	29	52/9	99	29	44/14	44	2-я декада мая	77
Амурский залив, западный берег	26	55/3	103	25	50/11	50	2-я декада мая	113
Зал. Посыета, бухта Троицы	23	44/11	71	22	42/8	50	3-я декада мая	86
Акватория у о. Путятин	20	28/10	44	25	55/14	73	1-я декада июня	32
Зал. Восток	23	33/7	38	20	42/6	49	1-я декада июня	102
Зал. Находка	33	53/21	108	29	64/11	95	1-я декада июня	57
<b>Среднее по зал. Петра Великого</b>	27			26				<b>Итого: 592</b>
Бухта Успения	–	–	–	27	39/18	35	1-я декада июня	13
Бухта Каплунова	–	–	–	29	39/14	37	1-я декада июня	23
Бухта Мелководная	–	–	–	26	44/14	81	1-я декада июня	20
<b>Среднее у восточного побережья Приморья</b>	–			27				<b>Итого: 56</b>



Частота встречаемости значений кишечного индекса у трепанга в мае-июне в зал. Петра Великого

Occurrence of intestinal index for sea cucumber in Peter the Great Bay in May-June, %

Имеющиеся сведения о сезонной активности трепанга показывают, что интенсивность его питания значительно меняется в течение года. Низкие значения кишечного индекса характерны для самых холодных зимних месяцев и летом, после нереста, в течение 1,5–2,0 мес. в период гипобиоза (эстивации), когда происходит не только умень-

шение потребления пищи, но иногда и полная деструкция кишечника. В зал. Посьета в июле-сентябре у большинства животных масса кишечника снижалась, а у трети особей пищеварительная трубка отсутствовала вовсе или была представлена новой регенерирующей кишкой (Левин, 1999). Атрофия кишечника голотурий зимой связывается с сезонным снижением обилия корма, в этих условиях энергетические затраты на его поддержание могут быть выше, чем на регенерацию (Lawtence, 1987). Следовательно, продолжительность периода активного потребления корма в течение 7–8 мес. наиболее соответствует данным о сезонной изменчивости питания трепанга в этой части ареала.

Полученные для мая — начала июня средние значения индексов (26–27 %) можно принять и за среднегодовые, так как в разные сезоны этот показатель изменяется от 0–10 % в августе и декабре-январе (Левин, 1999) и до 40–60 % в июне-июле (до начала нереста).

Для оценки объемов грунта, перерабатываемого трепангом за сутки, необходимы данные не только о наполнении, но и о времени нахождения пищи в кишечнике. Время переваривания пищи этим видом неоднократно оценивалось в экспериментальных условиях. После голодания (что является методическим условием экспериментов) эта величина изменялась от 12 до 30 ч (Tanaka, 1958; Choe, 1963; Левин, 1982). В наших экспериментах с молодью трепанга массой 0,1–0,2 г время эвакуации пищи из кишечника составляло от 3 (при 15 и 20 °С) до 8–12 ч (при 10 °С). При отсутствии пищи животные задерживали дефекацию, т.е. физиологическая скорость пищеварения может быть выше, чем в опытах с предварительным голоданием животных.

Для дальнейших оценок время эвакуации пищевого материала из кишечника у старших возрастных групп трепанга из зал. Петра Великого, где среднегодовая температура воды составляет 8,0 °С (Ластовецкий, 1978), было принято равным 12 и 24 ч. В этом случае полученные величины массы детрита в кишечнике трепанга соответствуют суточному или полусуточному потреблению корма. Следовательно, за сутки через кишечник трепанга с массой тела 130–140 г (кожно-мышечный мешок ~100 г, что соответствует промысловой массе тела) проходит от 26 до 52 г грунта. Соответственно, за месяц такое животное перерабатывает от 780 до 1560 г, а в течение года — от 6 до 12 кг грунта. В литературе приводится еще более высокая оценка величин грунта, пропускаемого через кишечник трепанга за год, — 18–44 кг (Левин, 1982).

#### *Скорость осадконакопления и содержание $C_{орг}$ во взвеси в бухте Суходол*

Летом 2008 г. в бухте Суходол скорость осадконакопления достигала 34,1 г/м<sup>2</sup> сут в районе мидийных плантаций и 20,5 г/м<sup>2</sup> сут — за пределами подвесных установок, в средней части бухты. Содержание органического углерода во взвеси в июле-августе составляло в среднем  $20,20 \pm 1,97$  %, метод определения: элементный анализатор «Eurovector-3000»; в 2011 г. —  $25,60 \pm 2,21$  %, получено методом определения зольности взвеси.

Результаты, полученные в 2011 г., показали немногим больше значения содержания  $C_{орг}$  во взвеси, накопленной в седиментаторах, большая часть которой представляет собой биоотложения культивируемых мидий, т.е. низкоминерализованное вещество.

В более ранних работах показано, что содержание органического углерода до 22,6 % наблюдалось в биоотложениях на плантациях моллюсков в бухте Новгородской. Средние значения этого показателя в августе, сентябре и октябре изменялись и составляли соответственно 4,2, 2,0 и 10,6 %, т.е. имели и сезонную динамику (Кучерявенко, 2002). Полученные различия в оценках могут быть следствием прежде всего разных методов определения ОВ. При исследованиях в бухте Новгородской использовался метод мокрого сжигания, который может давать заниженные результаты. Метод сухого сжигания для определения ОВ (именно он лежит в основе работы анализатора «Eurovector-3000» и сжигания проб в муфельной печи) в настоящее время считается наиболее репрезентативным для определения концентраций  $C_{орг}$  во взвеси и донных осадках\*.

\* Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры. М.: ВНИРО, 2004. 123 с.



Содержание органического углерода во взвеси и донных осадках разных районов зал. Петра Великого существенно отличается от такового в биоотложениях моллюсков на плантациях. В Амурском заливе в районе эстуария р. Раздольной содержание взвешенного  $C_{\text{орг}}$  уменьшается от 3–4 % над свалом глубин до 1 % к внешней границе эстуария. Содержание  $C_{\text{орг}}$  во взвеси из седиментационных ловушек в самом придонном слое изменялось от 0,27 до 2,95 % (среднее 1,35 %) (Дударев и др., 2005). Содержание  $C_{\text{орг}}$  во взвешенном материале открытой части зал. Петра Великого составляло в среднем 8–13 % (Христофорова и др., 1993). По-видимому, содержание органического углерода во многом зависит от степени минерализации вещества осадков и метода его определения. Повышенное содержание  $C_{\text{орг}}$  в низкоминерализованных биоотложениях моллюсков во многом объясняет и ускоренный рост детритофагов на таких плантациях (Zhou et al., 2006).

Расчеты показывают, что одна промысловая особь трепанга, питающаяся на плантациях с биоотложениями двустворчатых моллюсков и пропускающая через кишечник в среднем 26 г грунта в сутки, способна утилизировать до 300 мг  $C_{\text{орг}}$ . При этом учтено, что в потребленном детрите непищевые частицы составляют до 30 %, а в расчетах применены переводные коэффициенты для осадков разной степени влажности. За период активного питания в течение года (8 мес.) трепанг способен извлекать и трансформировать до 60–70 г  $C_{\text{орг}}$ /экз.

Следовательно, в результате переработки голотуриями большого количества грунта происходит снижение содержания в нем органического вещества, возвращение в оборот питательных веществ (рециклинг) и перемешивание осадков (биотурбация). Потребление органического вещества и переворачивание верхнего слоя осадков трепангом способствует и поступлению кислорода к более глубоким слоям грунта. Такой процесс предотвращает накопление органических веществ в районах с высокими скоростями седиментации, в том числе и в местах расположения подвесных плантаций.

#### *Данные к расчету параметров бикультурного хозяйства «мидия–трепанг»*

Имеющиеся сведения о рационе трепанга и скоростях оседания взвеси в том или ином водоеме позволяют оценить объемы биоотложений культивируемых моллюсков, перерабатываемые этой голотурией.

Как следует из данных табл. 2, в бухте Суходол на 1 м<sup>2</sup> под подвесными плантациями тихоокеанской мидии за год накапливается до 12,4, а вне зоны марикультурного участка — около 7,5 кг натурально влажного осадка. Соответственно, на 1 га в этой бухте за год оседает ~124 (под плантациями мидий) и 75 т взвешенных веществ.

Таблица 2

Потребление биоотложений мидий при выращивании 1 млн экз. молоди дальневосточного трепанга

Table 2

Consumption of biodeposits from mussels by 1 million of sea cucumber juveniles

Показатель	Возраст, годы			
	1+	2	3	4
Численность, тыс. экз.	1000	350	297	260
Выживаемость, %	35		84	87
Потребление детрита, т/год	124	218	1400	1560

Масса взвеси, оседающей под 1 га плантаций мидий, соответствует величине годового потребления корма 1 млн экз. трепанга с массой тела 1 г (возраст 1+ лет). В расчетах учтено, что время переваривания пищи у трепанга с такой массой тела составляет 12 ч; суточное потребление корма 0,5 г; годовое — до 125 г при содержании органического углерода во взвеси ~20–21 мгС. Из одной генерации молоди трепанга (1 млн экз.), учитывая эмпирические коэффициенты выживаемости, рассчитанные для зал. Петра Великого (Гаврилова, Кучерявенко, 2010), через 4 года будет получено ~260 тыс. особей промыслового размера (табл. 2).

Если бы в качестве трофической базы одной генерации молоди трепанга численностью 1 млн экз. использовался только объем взвеси, поставляемой с 1 га плантации мидии, то в течение четырехлетнего цикла выращивания масса биоотложений потреблялась бы с разной скоростью. Через год после расселения молоди численность генерации составит 350 тыс. экз. (средняя масса особи ~12 г), а скорость потребления детрита 218 т в год, т.е. вся масса взвеси за год должна быть съедена как минимум дважды. На следующий год при численности 297 тыс. экз. и средней массе особи до ~75 г потребление должно возрасти до 1400 т, а скорость оборота вещества детрита до 11 раз в год. И через четыре года выращивания, соответственно, будет потребляться до 1560 т детрита, при этом вся масса корма за год используется как минимум 12 раз (табл. 2). На 3–4-м году выращивания для удовлетворения пищевых потребностей голотурий восстановление уже использованного пищевого ресурса должно происходить в течение месяца. За это время должна быть восстановлена пищевая ценность детрита, прозойти его реколонизация микроорганизмами.

При питании трепанг перемещается по участку, площадь которого зависит от пищевой ценности детрита, размеров животного, скорости переваривания пищи, полосы, на которой происходит захват пищи, и других факторов. Их сочетание формирует плотности поселений этой голотурии, которые в зал. Петра Великого в среднем составляют 0,3–0,4 экз./м<sup>2</sup>.

Однако на донных плантациях концентрация животных может быть увеличена в результате создания дополнительных вертикальных конструкций. Например, при установке искусственных рифов в форме конуса высотой 1 м полезная площадь субстрата (1 м<sup>2</sup> морского дна) увеличится в 1,8 раза (именно так соотносятся площадь боковой поверхности и основания конуса). Соответственно, почти вдвое может быть увеличена и плотность на единице проективной площади дна. Чтобы расселить 260 тыс. экз. трепанга (численность товарных голотурий после 4-летнего выращивания 1 млн экз. заводской молоди) промыслового размера с плотностью 2 экз./м<sup>2</sup>, потребуется 7,0 га плантаций проективного покрытия дна, а с плотностью 3 экз./м<sup>2</sup> — до 4,5 га. При этом полезная площадь субстрата для расселения трепанга при установке искусственных конструкций составит соответственно 13 и 8 га. Учитывая размеры промысловых особей трепанга, большие их концентрации представляются проблематичными.

Следовательно, в районе размещения подвесных плантаций мидии, с увеличением в 1,7 раза объемов ежегодно поступающих биоотложений и в 2,0–3,0 раза плотности расселения трепанга за счет создания искусственных рифов, возможно получение за 4 года на площади 4,5–7,0 га до 25 т товарной продукции трепанга. Это в 2–3 раза больше таковой на донных участках зал. Петра Великого, вне зон садковой марикультуры, в том случае, если плотность голотурий на плантации составляет 0,5–1,0 экз./м<sup>2</sup>. Искусственные рифы вблизи установок для выращивания моллюсков необходимы для создания дополнительных площадей кормовых участков и укрытий в период всего жизненного цикла трепанга. На протяжении первых двух лет жизни наличие укрытий — обязательное условие для обеспечения высокой выживаемости мальков.

Имеющиеся данные позволяют оценить площадь и продукцию модельной плантации трепанга, эксплуатирующейся в течение 10 лет, если на ее участки ежегодно будет проводиться расселение заводских сеголеток трепанга в количестве 5 млн экз.

На такой плантации в первый год применяется промежуточное подращивание сеголеток в садках, а на донных участках устанавливаются дополнительные конструкции. Расчеты численности поколений трепанга 2, 3, 4 годов велись с учетом полученных коэффициентов выживаемости заводских сеголеток (Гаврилова, Кучерявенко, 2010). Принимается, что выращивание происходит полных четыре года, а урожай с плантации получают в начале пятого года; масса кожно-мышечного мешка одного экземпляра товарного трепанга соответствует минимальной промысловой — 100 г (табл. 3).

За десять лет товарная продукция плантации составит более 700 т, кроме того, на участке создается поселение с высокой численностью трепанга. Начиная с четвертого года выращивания биомасса скопления перед снятием урожая со-

Таблица 3

Товарная продукция плантации дальневосточного трепанга при ежегодном пополнении ее 5 млн экз. заводской молодежи

Table 3

Commercial production of the sea cucumber plantation with annual settlement of 5 million juveniles of artificial origin

Год работы плантации	Площадь донных плантаций, га	Общая численность трепанга, тыс. экз.	Численность товарных особей, тыс. экз.	Биомасса товарного трепанга, т
1		5000	–	–
2	3,5/6,3	6750	–	–
3	11,5/20,7	8237	–	–
4	35,5/63,9	9560	–	–
5	57,5/103,5	10751	1191	119
6	57,5/103,5	10751	1191	119
7	57,5/103,5	10751	1191	119
8	57,5/103,5	10751	1191	119
9	57,5/103,5	10751	1191	119
10	57,5/103,5	10751	1191	119
Товарная продукция за 10 лет			7146	714

*Примечание.* Площадь проективного покрытия дна/полезная площадь субстрата для расселения трепанга.

ставит  $\sim 240$  г/м<sup>2</sup>, после изъятия трепанга — 124 г/м<sup>2</sup>, что выше существующих в настоящее время показателей биомассы трепанга в биотопах зал. Петра Великого. Трофические потребности трепанга на такой плантации будут удовлетворяться при дополнительных источниках поставки взвешенного вещества, например таких как садковые установки для выращивания двусторчатых моллюсков.

### Заключение

Данные о скоростях потребления пищи дальневосточным трепангом и осадконакопления под плантациями того или иного вида моллюсков позволяют оценить оптимальное количество и плотности культивируемых голотурий в бикультурных марихозяйствах. Расчеты допустимой дополнительной численности детритофагов на донных участках и оценки продукции аквакультурантов на участках с повышенными скоростями осадконакопления необходимы при планировании развития комплексных марихозяйств в реальных условиях зал. Петра Великого.

Полученные данные о величинах трансформации дальневосточным трепангом детрита и содержащегося в нем ОВ позволяют пополнить сведения о роли этого вида голотурий в экосистеме зал. Петра Великого. Очевидно, что она немаловажна, так как в результате жизнедеятельности трепанга происходит биотурбация большого количества донных осадков, уменьшается органическое загрязнение, главным образом на участках с высокими скоростями осадконакопления. Численность популяции трепанга в зал. Петра Великого оценивалась в последнее время в 2,0–2,5 млн экз.\*, тогда минимальный объем переработанного грунта может достигать 15 тыс. т.

Создание поселений трепанга с высокой плотностью на искусственных рифах в непосредственной близости от садковых моллюсковых комплексов позволяет увеличить товарную продукцию трепанга и обеспечить трансформацию дополнительного органического вещества биоотложений моллюсков.

\* Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2015 г. (краткая версия). Владивосток: ТИПРО-центр, 2015. 373 с.



## Список литературы

- Брегман Ю.Э.** Биоэнергетика трофической цепи «моллюск-фильтратор — голотурия-детритофаг» в условиях бикультуры // Изв. ТИНРО. — 1994. — Т. 113. — С. 5–12.
- Гаврилова Г.С.** Усвояемость пищи дальневосточным трепангом // Рыб. хоз-во. — 1994. — № 1. — С. 39–41.
- Гаврилова Г.С., Кучерявенко А.В.** Товарное выращивание дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* в заливе Петра Великого: методические особенности, результаты работы хозяйства марикультуры в бухте Суходол // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 162. — С. 342–354.
- Дударев О.В., Боцул А.И., Савельева П.И. и др.** Масштабы изменчивости литолого-биогеохимических процессов в эстуарии реки Раздольная (Японское море): потоки терригенного материала и формирование донных осадков // Состояние морских экосистем, находящихся под влиянием речного стока. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — С. 7–41.
- Кучерявенко А.В.** Органическое вещество в мелководных бухтах залива Посыета : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 86 с.
- Ластовецкий Е.И.** Климатические особенности омывающих морей // Климат Владивостока. — Л. : Гидрометеоиздат, 1978. — С. 159–162.
- Левин В.С.** Дальневосточный трепанг : моногр. — Владивосток : Дальневост. кн. изд-во, 1982. — 192 с.
- Левин В.С.** Питание мелководных голотурий и его влияние на донные осадки : моногр. — СПб. : Политехника, 1999. — 254 с.
- Общие основы изучения водных экосистем** : моногр. / под ред. Г.Г. Винберга. — Л. : Наука, 1979. — 273 с.
- Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.Н.** Распределение и состав взвеси: терригенный и биогенный материал // Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. — Владивосток : Дальнаука, 1993. — С. 89–97.
- Byron C.J., Jin D., Dalton T.M.** An Integrated ecological-economic modeling framework for the sustainable management of oyster farming // Aquaculture. — 2015. — Vol. 447. — P. 15–22. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.08.030.
- Choe S.** Biology of the Japanese common sea cucumber *Stichopus japonicus* Selenka. — Tokyo : Kaibundo, 1963. — 226 p.
- Cubillo A.M., Ferreira J.G., Robinson S.M.C. et al.** Role of deposit feeders in integrated multi-trophic aquaculture — A model analysis // Aquaculture. — 2016. — Vol. 453. — P. 54–66. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.11.031.
- Lawrence J.M.** A functional biology of echinoderms. — Baltimore : The Johns Hopkins Univ. Press, 1987. — 340 p.
- Park S.K., Davidson K., Pan M.** Economic relationships between aquaculture and capture fisheries in the Republic of Korea // Aquaculture Economic & Management. — 2012. — Vol. 16, Iss. 2. — P. 102–116.
- Rafalowski S., Plante C.** Non-equilibrium processes structuring benthic bacterial communities following deposit feeding by a sea cucumber // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2013. — Vol. 478. — P. 115–126. DOI: 10.3354/meps10162.
- Slater M.J., Carton A.G.** Effect of sea cucumber (*Australostichopus mollis*) grazing on coastal sediments impacted by mussel farm deposition // Mar. Pollut. Bull. — 2009. — Vol. 58, Iss. 8. — P. 1123–1129. DOI: 10.1016/j.marpollbul.2009.04.008.
- Tanaka Y.** Feeding and digestive processes of *Stichopus japonicus* // Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. — 1958. — Vol. 9. — P. 14–28.
- Toral-Granda V.** The biological and trade status of sea cucumbers in the families Holothuriidae and Stichopodidae : CITES. AC 22 Doc. 16. 2006. — 29 p.
- Wolkenhauer S.-M., Uthicke S., Burrige C. et al.** The ecological role of *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuroidea) within subtropical seagrass beds // J. Mar. Biol. Assoc. UK. — 2010. — Vol. 90, Iss. 2. — P. 215–223.
- Xie B., Qin J., Yang H. et al.** Organic aquaculture in China: A review from a global perspective // Aquaculture. — 2013. — Vol. 414–415. — P. 243–253. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.08.019.
- Zhou Y., Yang H., Liu S. et al.** Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets // Aquaculture. — 2006. — Vol. 256, Iss. 1–4. — P. 510–520. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.02.005.

## References

- Bregman, Yu.E.,** Bioenergetics of trophic chain “filter-feeding mollusc — sea-cucumber — detritophage” in bioculture, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1994, vol. 113, pp. 5–12.
- Gavrilova, G.S.,** Digestibility of food by Japanese sea cucumber, *Rybn. Khoz.*, 1994, no. 1, pp. 39–41.

**Gavrilova, G.S. and Kucheryavenko, A.V.**, Farming of sea cucumber *Apostichopus japonicus* in Peter the Great Bay: methodical specifics and business results of the aquaculture farm in the Sukhodol Bight, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 162, pp. 342–354.

**Dudarev, O.V., Botsul, A.I., Savelieva, P.I., Charkin, A.N., Dubina, V.A., and Anikeev, V.V.**, The scale of variation of lithological and biogeochemical processes in the estuary of the Razdolnaya River (Sea of Japan): Fluxes of terrigenous matter and formation of bottom sediments, in *Sostoyanie morskikh ekosistem, nakhodyashchikhsya pod vliyaniem rechnogo stoka* (Status of Marine Ecosystems Exposed to River Runoff), Vladivostok: Dal'nauka, 2005, pp. 7–41.

**Kucheryavenko, A.V.**, *Organicheskoe veshchestvo v melkovodnykh bukhtakh zaliva Pos'eta* (Organic Matter in Shallow Coves of Possyet Bay), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2002.

**Lastovetsky, E.I.**, Climatic features of the washing seas, in *Klimat Vladivostoka* (The Climate of Vladivostok), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978, pp. 159–162.

**Levin, V.S.**, *Dal'nevostochnyi trepang* (Japanese Sea Cucumber), Vladivostok: Dal'nevost. Knizhnoye Izd., 1982.

**Levin, V.S.**, *Pitanie melkovodnykh goloturii i ego vliyanie na donnye osadki* (Diet of Shallow-Water Holothurians (Echinodermata) and Its Effect on the Environment), St. Petersburg: Politekhnik, 1999.

**Obshchie osnovy izucheniya vodnykh ekosistem (General Bases for the Study of Aquatic Ecosystems)**, Vinberg, G.G., ed., Leningrad: Nauka, 1979.

**Khristoforova, N.K., Shulkin, V.M., Kavun, V.Ya., and Chernova, E.N.**, Distribution and composition of suspended matter: terrigenous and biogenic material, in *Tyazhelye metally v promyslovyykh i kul'tiviruemykh mollyuskakh zaliva Petra Velikogo* (Heavy Metals in Commercial and Cultivated Mollusks of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nauka, 1993, pp. 89–97.

**Byron, C.J., Jin, D., and Dalton, T.M.**, An integrated ecological-economic modeling framework for the sustainable management of oyster farming, *Aquaculture*, 2015, vol. 447, pp. 15–22. doi 10.1016/j.aquaculture.2014.08.030

**Choe, S.**, *Biology of the Japanese Common Sea Cucumber Stichopus japonicus Selenka*, Tokyo: Kaibundo, 1963.

**Cubillo, A.M., Ferreira, J.G., Robinson, S.M.C., Pearce, C.M., Corner, R.A., and Johansen, J.**, Role of deposit feeders in integrated multi-trophic aquaculture — A model analysis, *Aquaculture*, 2016, vol. 453, pp. 54–66. doi 10.1016/j.aquaculture.2015.11.031

**Lawrence, J.M.**, *A Functional Biology of Echinoderms*, Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press, 1987.

**Park, S.K., Davidson, K., and Pan, M.**, Economic relationships between aquaculture and capture fisheries in the Republic of Korea, *Aquacult. Econ. Manage.*, 2012, vol. 16, no. 2, pp. 102–116.

**Rafalowski, S. and Plante, C.**, Non-equilibrium processes structuring benthic bacterial communities following deposit feeding by a sea cucumber, *Mar. Ecol.: Prog. Ser.*, 2013, vol. 478, pp. 115–126. doi 10.3354/meps10162

**Slater, M.J. and Carton, A.G.**, Effect of sea cucumber (*Australostichopus mollis*) grazing on coastal sediments impacted by mussel farm deposition, *Mar. Pollut. Bull.*, 2009, vol. 58, no. 8, pp. 1123–1129. doi 10.1016/j.marpolbul.2009.04.008

**Tanaka, Y.**, Feeding and digestive processes of *Stichopus japonicus*, *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 1958, vol. 9, pp. 14–28.

**Toral-Granda, V.**, The biological and trade status of sea cucumbers in the families Holothuriidae and Stichopodidae, *22<sup>nd</sup> Meet. Anim. Comm., CITES, Lima (Peru), 7–13 July 2006*, AC 22 Doc. 16, 2006.

**Wolkenhauer, S.-M., Uthicke, S., Burrige, C., Skewes, T., and Pitcher, R.**, The ecological role of *Holothuria scabra* (Echinodermata: Holothuroidea) within subtropical seagrass beds, *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 2010, vol. 90, no. 2, pp. 215–223.

**Xie, B., Qin, J., Yang, H., Wang, X., Wang, Y.-H., and Li, T.-Y.**, Organic aquaculture in China: A review from a global perspective, *Aquaculture*, 2013, vols. 414–415, pp. 243–253. doi 10.1016/j.aquaculture.2013.08.019

**Zhou, Y., Yang, H., Liu, S., Yuan, X., Mao, Y., Liu, Y., Xu, X., and Zhang, F.**, Feeding and growth on bivalve biodeposits by the deposit feeder *Stichopus japonicus* Selenka (Echinodermata: Holothuroidea) co-cultured in lantern nets, *Aquaculture*, 2006, vol. 256, nos. 1–4, pp. 510–520. doi 10.1016/j.aquaculture.2006.02.005

**Rukovodstvo po sovremennym biokhimicheskim metodam issledovaniya vodnykh ekosistem, perspektivnykh dlya promysla i marikul'tury** (Guide to Modern Biochemical Methods for the Study of Aquatic Ecosystems, Promising for Fisheries and Mariculture), Moscow: VNIRO, 2004.

**Sostoyanie promyslovyykh resursov. Prognoz obshchego vylova gidrobiontov po Dal'nevostochnomu rybokhozyaistvennomu basseinu na 2015 g. (kratkaya versiya)** (The Status of Fisheries Resources. Prediction of the Total Catch of Aquatic Species for the Far Eastern Fishery Basin in 2015 (Abridged version)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2015.

Поступила в редакцию 13.09.2018 г.

После доработки 20.09.2018 г.

Принята к публикации 11.10.2018 г.