

УДК 594.124:591/134 262/(5)

**О ВЛИЯНИИ КРУПНОМАСШТАБНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИДИИ
(*MYTILUS GALLOPROVINCIALIS* LAMARCK, 1819) НА ЭКОСИСТЕМУ
ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Золотницкий А.П.

*Керченский морской государственный морской технологический университет, Керчь,
Украина
E-mail: apz@kerch.net*

Исследованы возможные масштабы вторичного загрязнения шельфовой зоны Черного моря в условиях крупномасштабного культивирования мидий на примере акватории Керченского пролива. Дана количественная характеристика продуцируемых на коллекторах организмов-обрастателей и биоотложений, а также элиминированных с искусственных субстратов мидий. Показаны возможные негативные последствия крупномасштабной марикультуры мидий на экосистему шельфовой зоны моря.

Ключевые слова: мидия, марикультура, экосистема, загрязнение, обрастание, коллекторы, биоотложения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшим направлением рыбохозяйственного комплекса многих стран мира является морская аквакультура (марикультура) – расширенное воспроизводство и товарное выращивание ценных видов морских гидробионтов – рыб, беспозвоночных (моллюсков и ракообразных) и водорослей (одноклеточных и макрофитов). Одним из важнейших направлений марикультуры является разведение и выращивание ценных видов раковинных (двустворчатых и брюхоногих) моллюсков [1–4].

Черное море в силу своего физико-географического положения и климатическим условиям является весьма перспективным бассейном для выращивания моллюсков, в первую очередь, с культивированием мидий, где достигнуты весьма обнадеживающие результаты [1, 3]. Вместе с тем, интенсивное развитие марикультуры моллюсков наряду с технологическими, экономическими и социальными проблемами ставит серьезные вопросы экологического плана. Крупномасштабное культивирование может привести к вторичному загрязнению акваторий, возникающему при выделении продуктов жизнедеятельности моллюсков [5–9].

В настоящее время этот вопрос перерос в одну из центральных проблем марикультуры, которой посвящено множество специальных публикаций на различных конференциях [5, 8–13]. Несмотря на довольно большое число

публикаций по различным аспектам марикультуры мидий Черного моря работ, посвященных вторичному загрязнению, сравнительно немного [6, 7, 10, 14].

В задачу настоящей работы входило изучение источников и количественная характеристика различных показателей вторичного загрязнения, а также анализ возможных последствий крупномасштабного культивирования мидий на шельфовую зону Черного моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу проводили в Керченском проливе на опытных и опытно-промышленных мидиевых хозяйствах в 1997 – 2004 гг. Сбор проб моллюсков с ГБТС осуществляли с искусственных субстратов – коллекторов, длиной 1,5 – 3-метра. Мидий очищали от обрастателей, взвешивали и с каждой выборки брали пробы, обычно 100-200 экз. Затем их распределяли по размерным группам, с интервалом 10 мм, после чего составляли вариационные ряды. По 10 экз. из каждой группы брали для проведения индивидуальных анализов - определяли общую массу (со створкой), отдельно массу мягких тканей, створок гонад, мантийной жидкости. Численность и биомассу мидий на каждой размерной группе пересчитывали на 1 погонный метр искусственного субстрата (коллектора).

Энергетический баланс популяции мидий определяли по общеизвестному уравнению [15, 16]:

$$C = P + Q + H,$$

где C – энергия потребленной пищи, P – продукция популяции, Q – траты на энергетический обмен, H – энергия неусвоенной пищи. Продукцию (P) популяции моллюсков на коллекторе определяли методом Бойсен-Йенсена [15, 16]:

$$P = B_{t+1} - B_t + B_e$$

где B_t и B_{t+1} - биомасса мидий на 1 погонном метре (пм) коллектора за время от t до $t+1$, B_e - биомасса элиминированных особей, равная произведению средней массы (W , г) на численность элиминированных моллюсков (N_e , экз.).

Траты на энергетический обмен оценивали на основе данных по скорости потребления кислорода (R , мл O_2 экз⁻¹·час⁻¹) разноразмерными особями [17]. Для определения энергетических трат на метаболизм (Q) использовали оксикалорийный коэффициент 1 мл $O_2 = 20,3$ дж [18].

У организмов-обрастателей, взятых с мидиевых коллекторов, определяли видовой состав, оценивали длину и массу особей, после чего определяли их численность и биомассу каждого вида на 1 м коллектора. Для сопоставления и унификации имеющихся данных, все показатели – биомассу (B), продукцию (P), траты на обмен (Q), энергию ассимилированной (A), потребленной (C) и неусвоенной пищи (H) выражали энергетических единицах.

Для характеристики величины биоотложений проводили сбор фекальных пеллет от моллюсков, взятых из естественных условий. Энергетический эквивалент фекалий рассчитывали на основе данных биохимического анализа, который в среднем составлял $8,2$ дж·мг⁻¹ (в сухом веществе). Усвояемость пищи была принята равная $0,7$ [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение сообщества, формирующегося на искусственных субстратах (коллекторах) в процессе культивирования моллюсков показало, что его суммарная биомасса (B) включает популяции мидии (B_m) и массу балластных веществ (B_b), включающих биомассу живых и мертвых организмов-обрастателей (B_o) и накапливающихся в мидиевых друзах биоотложений (фекальных масс – B_f), а также оседающего на коллекторы взвешенного органического и неорганического взвешенного вещества (B_i). Это можно выразить следующим уравнением:

$$B = B_m + B_b, \text{ где } B_b = B_o + B_f + B_i.$$

В начальный период колонизации искусственных субстратов, наряду с мидиями, весьма высока численность и биомасса личинок и молоди моллюсков (роды *Mytilaster*, *Cerastoderma*, *Abra*) и ракообразных (роды *Harpacticus*, *Balanus*), причем часто они составляют большую часть, чем мидии. Однако уже через 1,5–2 месяца в сообществе начинает доминировать мидия, которая в результате межвидовой конкуренции начинает вытеснять с субстрата, сначала других видов моллюсков, а затем и другие виды гидробионтов.

Таким образом, с увеличением биомассы коллекторного ценоза возрастает абсолютная (B_m) и относительная (B_m/B , %) биомасса мидий (рис. 1).

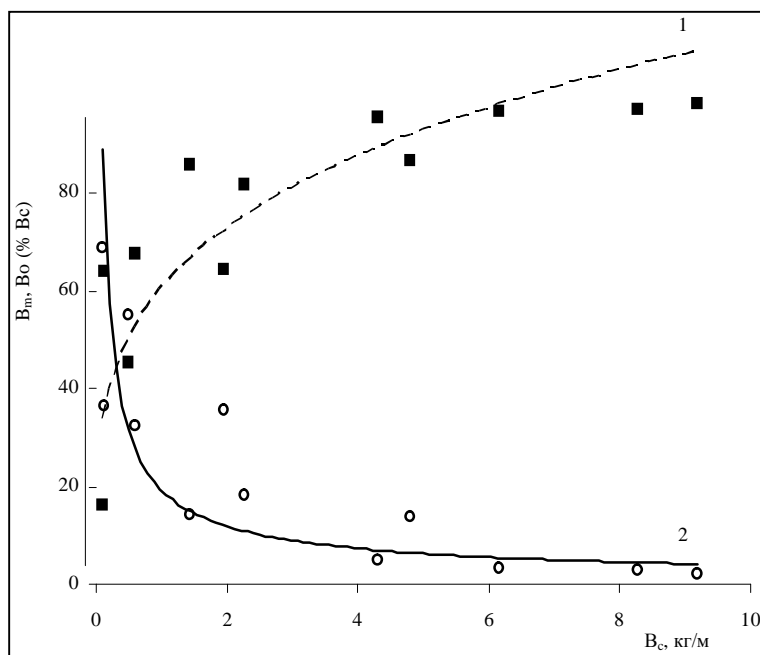


Рис. 1. Зависимость биомассы мидий (1) и организмов-обрастателей (2) от их массы ценоза обрастания (B_c) искусственных субстратов.

Параллельно с этим на коллекторах происходит некоторое увеличение биомассы обрастателей (B_o), однако их удельный вес снижается (рис. 1). Эту зависимость можно описать уравнением степенной функции, имеющей вид:

$$B_{o(\%)} = (19,6 \pm 3,40) \cdot B^{0,71 \pm 0,17}, r = 0,87 \quad (1).$$

На основе этого уравнения с достаточно высокой точностью (коэффициент детерминации – r^2 равен 75%) можно прогнозировать относительную биомассу организмов-обрастателей на коллекторах в различные периоды цикла культивирования. Несмотря на их сравнительно небольшой удельный вес (около 7-10 % от всего ценоза обрастания коллектора) за цикл выращивания, роль обрастателей при культивировании мидий нельзя недооценивать. В течение обычного 1,5-годового цикла культивирования мидий в бентосе под мидиевыми коллекторами происходит локальное и непрерывное увеличение их биомассы, которое подвергается деструкции и в конечном итоге приводит к загрязнению акватории гниющим органическим веществом.

Кроме обрастателей в коллекторном сообществе содержатся и другие компоненты, способные оказывать влияние на уровень вторичного загрязнения водных экосистем. В связи с этим нами исследована динамика содержания балластных веществ (B_b), т.е. – суммарной массы обрастателей, биоотложений и оседающего на искусственные субстраты взвешенного органического и неорганического взвешенного вещества (Bi), накапливающихся в мидиевых друзах в процессе культивирования. Результаты анализа представлены на (рис. 2).

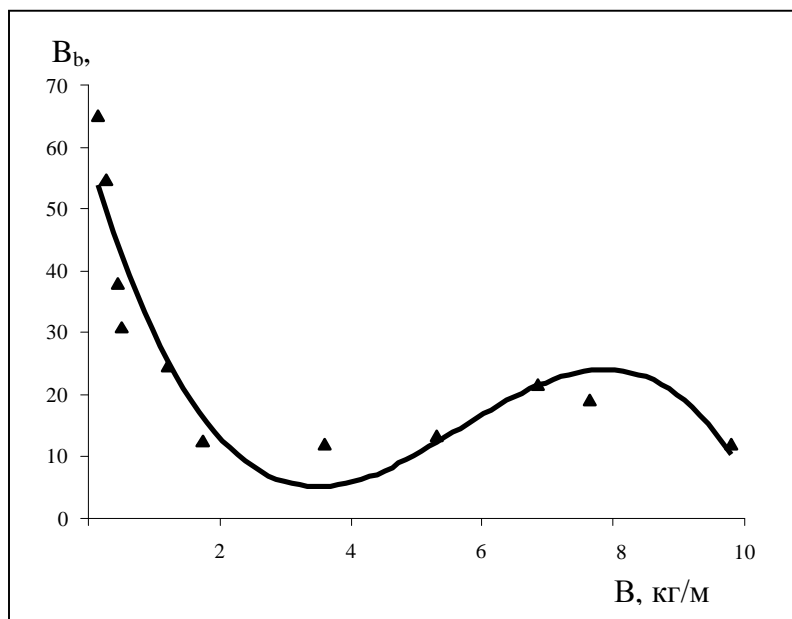


Рис. 2. Изменение относительной массы балласта (B_b) в зависимости от интегральной биомассы ценоза обрастания (B) в процессе культивирования мидий.

Это обусловлено тем, что в мидиевых друзах начинают концентрироваться биоотложения и накапливаются в них взвешенные в воде органические и неорганические вещества (иловые массы). В целом, процесс аккумуляции суммарного количества балластных веществ на искусственных субстратах в процессе выращивания мидий удовлетворительно аппроксимируется полиномом 3-й степени, имеющим вид:

$$B_b = 58,8 - 36,2 \cdot B + 7,5 \cdot B^2 - 0,44 \cdot B^3, r = 0,88 \quad (2)$$

где B_b – биомасса балласта (г/м), выраженная в процентах от общей биомассы ценоза обрастания.

Из полученных данных вытекают два важных следствия. Во-первых, при завершении цикла выращивания мидий в интегральной биомассе ценоза обрастания мидиевых коллекторов около 15% ее представлено в виде организмов-обрастателей и биоотложений. Во-вторых, аккумулярованные на коллекторах биоотложения являются лишь частью суммарной неусвоенной продукции, поскольку фильтрационный способ питания моллюсков связан с более или менее постоянным выделением фекальных масс на протяжении всего цикла культивирования.

Таким образом, с увеличением биомассы сообщества обрастания (в основном мидий) растет масса организмов-обрастателей в виде балластных веществ - биоотложений (фекальных и псевдофекальных масс), а также осаждающихся на коллекторы (особенно после штормов) взвешенных в воде мелких органических и неорганических частиц.

В связи с этим представляло интерес количественно охарактеризовать масштабы выделения биоотложений в процессе выращивания мидий. Обнаружено, что масса выделяемых фекалий находится практически в линейной зависимости от биомассы моллюсков (рис. 3), формирующейся на коллекторах. Эта связь хорошо описывается уравнением:

$$V_f = 0,36 \cdot B_m^{1,08 \pm 0,082}, r = 0,87 \quad (3),$$

где V_f – суммарная масса выделяемых в течение цикла биоотложений, B_m - биомасса популяции мидий.

Из уравнения 3 и рис. 3 видно, что на 1 кг образованной живой массы моллюсков в конце цикла культивирования в окружающую среду выделяется в среднем около 0,36 кг сухого вещества биоотложений. Следовательно, на мидиевой ферме, с масштабами выращивания 1000 тонн величина биоотложений составит около 360 тонн.

В условиях опытного культивирования, при создании небольших хозяйств с объемами выращивания (порядка 200 - 300 тонн на площади 100-200 га) выделяемые биоотложения, по-видимому, не окажут существенного влияния на экосистему акваторий, поскольку в экосистеме наблюдаются достаточно мощные гомеостатические механизмы, обеспечивающие сохранение устойчивого состояния биоценозов. Вместе с тем, даже этот незначительный (в масштабе прибрежных экосистем) поток фекального материала может оказать негативное влияние на донные биоценозы в районах с очень плотной постановкой мидиевых сооружений.

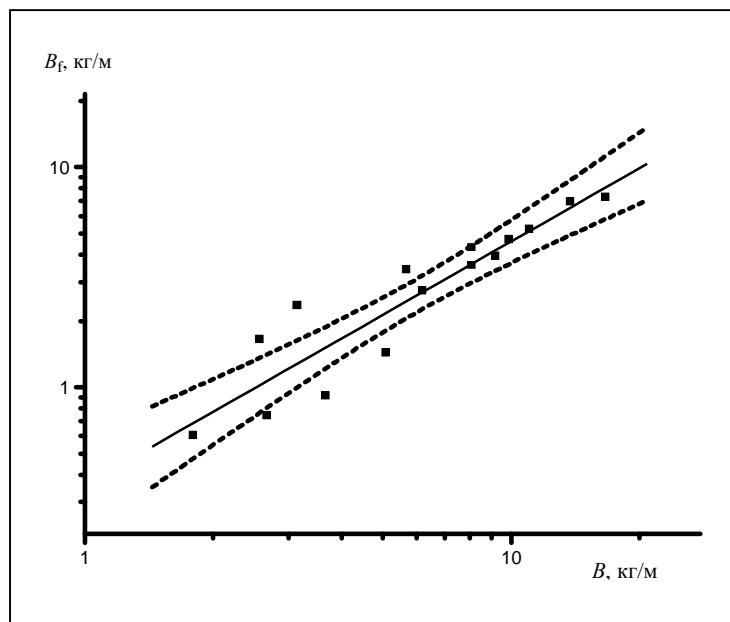


Рис. 3. Зависимость величины биоотложений (B_f) от биомассы мидий (B) на коллекторах (штриховые линии – 95 % доверительный интервал).

Материалы, полученные в нашей лаборатории, показали, что на участках расположения мидиевых коллекторов в бентосе происходит резкое сокращение численности и биомассы полихеты *Melina palmata*, являющейся четким индикатором повышенного органического загрязнения.

При увеличении объемов и площадей для культивирования пресс биоотложений на экосистему резко возрастет, что увеличит и масштабы вторичного загрязнения пропорционально масштабам выращивания этих гидробионтов.

Кроме биоотложений, отрицательное влияние на донные биоценозы и экосистему в целом могут оказывать и сами мидии, элиминированные в процессе выращивания. Анализ имеющихся в нашем распоряжении данных показал, что масса элиминированных мидий от суммарной продукции (E/P) большей частью колеблется в пределах от 50-70% от величины урожая (рис. 4). В литературе имеются сведения, что опавшие с коллекторов мидии могут образовывать небольшие мидиевые «банки» [10, 14]. Однако, по нашим наблюдениям опавшие моллюски, как правило, не находят на илистом дне необходимого для них субстрата, погибают и подвергаются деструкции и минерализации, тем самым усиливая негативные процессы в бентали.

В значительной степени нивелировать этот негативный эффект может процесс концентрация под коллекторами брюхоногого моллюска – рапаны, которая потребляет опавшие моллюски.

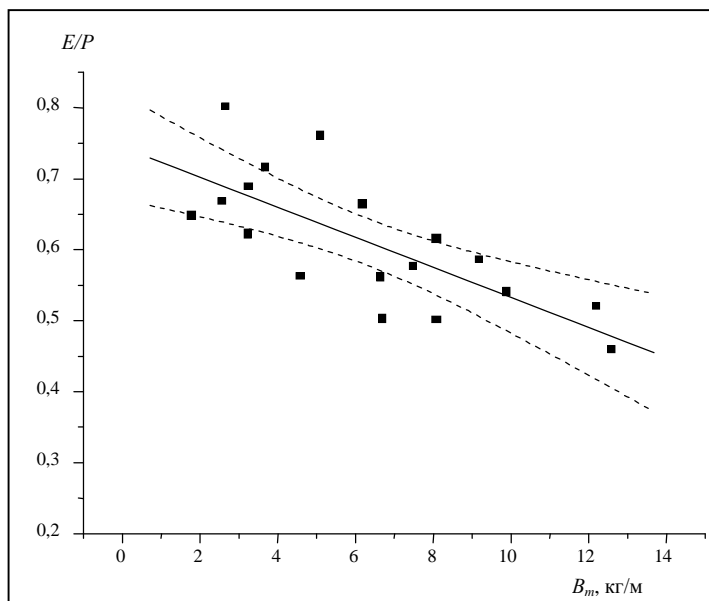


Рис. 4 Зависимость относительной величины элиминации (E/P) от биомассы (B_m) мидии на коллекторах.

Кроме того, в процессе жизнедеятельности у мидий, как и у других гидробионтов, в окружающую среду выделяется весьма значительное количество различных метаболитов [5, 6, 8, 11, 12], что в условиях массового культивирования может оказать дополнительный негативный эффект на эксплуатируемую экосистему.

В частности, в процессе жизнедеятельности и, особенно, в период нереста моллюски вместе с гаметамы выделяют в воду значительное количество органических форм азота и фосфора, прямо связанных с объемами промышленного выращивания. Соединения азота, являющиеся конечным продуктом метаболизма мидий при их высоких концентрациях, способны оказывать отрицательные воздействия на процессы жизнедеятельности окружающих морских животных [5].

Исходя из имеющихся в литературе данных [5, 7], были рассчитаны возможные объемы выделения этого соединения при ежегодном выращивании 1000 тонн мидий. При выращивании указанных выше масштабов культивирования ежегодно в окружающую среду будет выделено 6,7 тонн аммонийного азота. Выделение такого количества аммиака для экосистемы Керченского пролива не слишком велико. Воды пролива обладают достаточно высокой устойчивостью к возмущающим факторам среды, и, кроме того, здесь имеется довольно высокая скорость водообмена (из-за наличия разнонаправленных постоянных течений со скоростями не менее 0,2 м/сек). Но при культивировании нескольких тысяч тонн мидий в более замкнутых водоемах, например, в лимане Донузлав или Тендровском заливе - выделение десятков тонн аммонийных соединений может оказать существенное влияние на биоту экосистемы и вызвать значительное возрастание эвтрофикации водоема.

Кроме аммонийных соединений, большое значение на экосистему, где проводится крупномасштабное культивирование, могут оказать прижизненные выделения растворенных органических веществ (РОВ). Исходя из имеющихся в литературе данных по экскреции РОВ мидиями в процессе жизнедеятельности [2, 5, 6, 8], мы рассчитали, что при получении урожая в 1000 тонн моллюсков в среду будет выделяться около 70 тонн РОВ. Это, несомненно, скажется на гетеротрофных процессах в пелагиали, в частности, увеличит бактериальную продукцию, в том числе и контаминацию выращиваемых моллюсков, а также даст мощный импульс к процессам дальнейшего эвтрофирования.

Для того чтобы эксплуатируемая экосистема могла нормально функционировать, т.е. имела обратимый круговорот веществ, она должна быть замкнута по веществу, а экскретируемые продукты метаболизма – минерализованы до элементарных химических соединений, доступных для ассимиляции на автотрофном уровне и способных вновь участвовать в биотическом круговороте.

Известно, что для окисления 1 мг сухого органического вещества требуется около 1 мл O_2 [18], следовательно, для деструкции выделенных популяцией мидий биоотложений и РОВ в ходе ежегодного культивирования в объеме 1 тыс. т моллюсков необходимо более 600 тыс. м³ кислорода и это не считая энергетических затрат на поддержание жизнедеятельности ценоза обрастания.

Для экосистем типа Керченского пролива, имеющих высокую скорость водообмена, необходимость использования данного количества кислорода вряд ли может лимитировать объемы выращивания. Однако для полузакрытых акваторий, например заливов северо-западной части Черного моря, где водообмен, особенно в летний период, значительно снижен, наличие необходимого количества кислорода может существенно сдерживать масштабное культивирование мидий.

На начальных этапах крупномасштабное выращивание, по-видимому, оказывает на экосистему положительный эффект (возрастание уровня РОВ, различных неорганических и органических форм азота и фосфора), что увеличивает скорость продуцирования фито- и бактериопланктона. Но с увеличением плотности размещения мидиевых коллекторов на единицу площади все более будет возрастать негативная роль массовой культуры. Она обусловит высокую скорость поступления в среду фекальных масс, что в конечном итоге приведет к снижению видового разнообразия, заиливанию донных сообществ, в том числе мидиевых “банок”.

В свою очередь органическое вещество биоотложений для своего окисления потребует большого количества кислорода, что создаст благоприятные условия для развития дефицита кислорода и может привести к заморным явлениям. Деструкция и минерализация биоотложений в условиях дефицита кислорода может вызвать повышенную скорость образования сероводорода, являющегося сильным токсином для животных [20]. К этому следует добавить негативный эффект мидиями аммонийных соединений, продукция которых будет возрастать пропорционально увеличению объемов культивирования мидий, что, в свою очередь, будет способствовать процессам эвтрофирования шельфовой зоны моря.

Выделение большого количества растворенного органического вещества с гаметами и фекалиями усилит гетеротрофные процессы в пелагиали, и тем самым

будет способствовать повышению бактериальной обсемененности и возникновению эпизоотий. Кроме того, оно может существенно сказаться на процессах биохимического метаболизма в море и изменении степени интеграции экосистемы, вследствие нарушения информационных связей.

Таким образом, превышение приемной (экологической) емкости акватории, обусловленное чрезмерными масштабами культивирования мидии, может нарушить сложившееся экологическое равновесие экосистемы шельфа Черного моря.

ВЫВОДЫ

1. Основными источниками вторичного загрязнения окружающей среды при массовом культивировании мидии являются элиминированные с коллекторов мидии, организмы-обрастатели и экскретируемые в процессе жизнедеятельности биоотложения и жидкие метаболиты.
2. Биомасса элиминированных мидий в ходе культивирования составляет 50-70 % от продуцируемой на искусственных субстратах биомассы.
3. В процессе культивирования мидий на коллекторах биомасса организмов-обрастателей составляет 7-10 % от общей массы ценоза обрастания.
4. Суммарная масса биоотложений, образованных при выращивании мидий составляет более 30% от массы урожая выращенных моллюсков.
5. Превышение масштабов культивирования экологической емкости акватории ведет вторичному загрязнению и нарушению структуры и функций водных экосистем.

Список литературы

1. Биологические основы марикультуры / Ред. д.б.н. Л.А. Душкина. – М.: ВНИРО, 1998. – 317 с.
2. Кулаковский Э.Е. Биологические основы марикультуры мидий в Белом море / Э.Е. Кулаковский // Тр. Зоол. институт РАН, 2000. – 167 с.
3. Морская аквакультура / [Моисеев П.А., Карпевич А.Ф., Романычева О.Д. и др.] – М.: Агропромиздат, 1985. – 253 с.
4. Брегман Ю.Э. Культивирование двустворчатых моллюсков / Ю.Э. Брегман, Е.А. Белогрудов, В.А. Раков, Н.А. Шепель // Культивирование тихоокеанских беспозвоночных. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 55–90.
5. Галкина В.Н. Влияние аквакультуры мидий в Белом море на окружающую среду / В.Н. Галкина, Э.Е. Кулаковский, Б.Л. Кунин // Океанология. – 1982. – Т. 22., № 2. – С. 321–324.
6. Душкина Л.А. Взаимодействие марикультуры с окружающей средой / Л.А. Душкина, О.М.Лапшин, М.В. Переладов // Биологические основы марикультуры. – Ред. д.б.н. Л.А. Душкина. – М.: ВНИРО, 1998. – С. 295–315.
7. Золотницкий А.П. Влияние марикультуры мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) на вторичное загрязнение районов культивирования / А.П. Золотницкий // Сырьевые ресурсы и биол. основы рац. использ. пром. беспозв. Тез. докл. Всес. совещ. – Владивосток. – 1988. – С. 102–103.
8. Arakawa K.J. Scatological studies of the Bivalvia (Molluska) / K.J. Arakawa // Aqv. Mar. Biol. – 1970. – Vol. 8. – P. 307–436.
9. Голиков А.Н. Влияние разведения мидий в Белом море на бентос прилегающей акватории / А.Н. Голиков, О.А. Скарлато // Биология моря. – 1979. – № 4. – С. 68–73.
10. Лапшин О.М. Определение антропогенного воздействия на прибрежные экосистемы и разработка модели сбалансированного ведения прибрежного рыбного хозяйства / О.М. Лапшин, Н.С. Жмур //

- Материалы совещания «Состояние и перспективы научно-практических разработок в области марикультуры России». – 1996 – М.: ВНИРО. – С. 177–184.
11. Campbell D.E. Musmod copyright, a production model for bottom culture of the blue mussel, *Mytilus edulis* L. / D.E. Campbell, C.R. Newell // Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1998. – Vol. 219, № 1-2. – P. 171–203.
 12. Musig Y. Environmental problems with aquaculture in Asia / Y. Musig // In: «World Aquaculture – 96». – Bangkok, 1996. – 268 p.
 13. Report of the Working Group on Ecosystem Effects of Fishing Activities (WGECO) // ICES Headquarters, Copenhagen, Denmark, 2007. – 163 p.
 14. Переладов М.В. Воздействие промышленного культивирования мидий на бентос Судакского залива Черного моря / М.В. Переладов, Т.А. Бритаев // Рыбное хозяйство. – 1988. – Т. 9. – С. 27–30.
 15. Винберг Г.Г. Рост, скорость развития и плодовитость в зависимости от условий среды / Г.Г. Винберг // Методы определения продукции водных животных. – Минск, 1968. – С. 45–78.
 16. Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков / А.Ф. Алимов. – М.: Наука, 1981. – 248 с.
 17. Золотницький А.П. Енергетический обмен у мидий Керченского пролива / А.П. Золотницький, В.В. Тимофеев // Биология и культивирование моллюсков. – М.: ВНИРО. – 1987. – С. 87–93.
 18. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / Алимов А.Ф. – Л.: Наука. – 1989. – 178 с.
 19. Цихон-Луконина Е.Н. Трофология водных моллюсков / Цихон-Луконина Е.Н. – М.: Наука, 1987. – 143 с.
 20. Кочиков В.Н. Океанологическое обеспечение морских хозяйств по выращиванию беспозвоночных / В.Н. Кочиков. – ЦНИИТЭИРХ, обзорная информация. – М., 1979. – Сер. 1. – С. 1–56.

Золотницький О.П. Про вплив великомасштабного культивування мідії (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) на екосистему шельфової зони чорного моря / О.П. Золотницький // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 73-82.

Досліджені можливі масштаби вторинного забруднення шельфової зони Чорного моря в умовах великомасштабного культивування мідій на прикладі акваторії Керченської протоки. Дана кількісна характеристика продукування на колекторах організмів-обрасників і біовідкладень, а також елімінованих з штучних субстратів мідій. Показані можливі негативні наслідки великомасштабної марикультури мідій на екосистему шельфової зони Чорного моря.

Ключові слова: Чорне море, мідія, марикультура, екосистема, забруднення, обростання, колектори, біовідкладення.

Zolotnitsky A.P. Large-scale cultivation on the influence of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) on the ecosystem of the black sea shelf zone / A.P. Zolotnitsky // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 4. – P. 73-82.

Investigated the possible extent of secondary pollution of the Black Sea shelf zone in large-scale cultivation of mussels on the example of the waters of the Kerch Strait. A quantitative description of the collectors produced by fouling organisms and biodeposition and eliminated from the artificial substrates mussels. Shows the possible negative effects of large-scale mariculture of mussels on the ecosystem of the shelf zone of the Black sea.

Keywords: Black sea, mussel, mariculture, ecosystem, contamination, fouling, collectors, biodeposition.

Поступила в редакцію 14.09.2011 г.