



УДК 639.42(262.5)

*ХОЛОДОВ В.И., - к.б.н., ст. научн. сотрудник, ПИРКОВА А.В. - к.б.н., ст. научн. сотрудник, ЛАДЫГИНА Л.В. - к.б.н., научн. сотрудник, Институт биологии южных морей (ИнБЮМ) НАН Украины, (г. Севастополь)*

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВОЙ МИДИЙНОЙ ФЕРМЫ**

**Исследования проведены в период 2010 - 2011 гг. на морском мидийном предприятии ООО «София – Крым», базирующемся в бухте Ласпи (в 40 км восточнее Севастополя). По результатам исследований сезонной динамики размерной структуры поселений мидий на коллекторах мидийной фермы, репродуктивного цикла, а также качественного и количественного состава фитопланктона, рассчитаны функциональные характеристики мидий, выращиваемых на типовой ферме. В качестве типовой предлагается ферма, на носителях которой подращиваются 100 т мидий. Для четырёх сезонов года рассчитано распределение мидий типовой фермы по размерным группам, а также их функциональные показатели: фильтрация воды, потребление корма и кислорода, вымет яйцеклеток, выделение азот- и фосфорсодержащих соединений. Обсуждаются возможности применения результатов исследований для определения допустимых размеров и производительности мидийных ферм.**  
**Ключевые слова:** мидия, мидийная ферма, выращивание, оптимизация, влияние, мидиеводство, трофическая ёмкость.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ. АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Организации морского предприятия по выращиванию мидий предшествует биологическое обоснование, в которое входит оценка возможностей акватории производить планируемый

объём моллюсков, а также прогноз влияния проектируемой мидийной фермы на морскую среду. Решение этих задач значительно упрощается при известных функциональных характеристиках поселений мидий на коллекторах будущей фермы.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

В качестве типовой мы приняли ферму, несущую 100 т мидий, размерная структура которых соответствует размерному составу мидий на коллекторах экспериментально-промышленной фермы, на которой проводились основные полевые исследования.

Полевые исследования выполнялись в сезонном аспекте в 2010 - 2011 гг. на мидийной ферме, принадлежащей ООО «София – Крым», расположенной в бухте Ласпи в 40 км восточнее Севастополя. Бухта широко открыта к морю, что характерно для акваторий, перспективных для развития мидиеводства на южном побережье Крыма. Поэтому она выбрана в качестве модельной для определения условий оптимального размещения марихозяйств в прибрежной зоне Крыма. В полевых исследованиях получены данные по годовой динамике размерной структуры поселений мидий на коллекторах, динамике гаметогенеза и нереста мидий и сезонным изменениям качественного и количественного состава кормовой базы мидий. Удельные скорости выделения азот- и фосфорсодержащих соединений получены в экспериментальных исследованиях (Лабораторный корпус ИнБЮМ).

Размерная структура поселений мидий на коллекторах изменялась в течение года вследствие оседания личинок, роста мидий и их опадания, особенно во время штормов. Численность мидий разных размерных групп на ферме, несущей 100 т мидий, представлена в таблице 1.

**Таблица 1** - Сезонная динамика численности мидий разных размерных групп на 100-тонной ферме

№	Размерная группа, мм	Вес особи, г	Февраль, экз.	Март, экз.	Июнь, экз.	Октябрь, экз.
1	1-5	0,01	0	0	360000000	0
2	6-10	0,07	0	0	167143000	0
3	11-20	0,44	454545	1818181	159011000	13636363
4	21-30	1,81	1657459	3977900	8121547	24861878
5	31-40	4,34	460830	8294931	0	4608295
6	41-50	8,35	838323	4431137	0	2514970
7	51-60	14,06	768136	1351351	0	568990
8	61-70	21,71	3546753	0	0	0
9	<b>Итого:</b>		<b>7726046</b>	<b>19873500</b>	<b>694275547</b>	<b>46190496</b>

### СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ МИДИЯМИ

Для расчётов скоростей фильтрации воды мидиями взяты индивидуальные функциональные характеристики моллюсков, полученные нами ранее [1], а также данные других авторов [2]. По уравнениям этих источников были рассчитаны индивидуальные скорости фильтрации воды мидиями для указанных размерных групп в разные сезоны года (таблица 2).

По данным таблиц 1 и 2 рассчитаны скорости фильтрации воды мидиями ( $\text{м}^3/\text{сут.}$ ) 100-тонной фермы (таблица 3).

Оценку роли фильтрации воды мидиями выполняли, сравнивая объём воды, занимаемый фермой, с объёмом воды, фильтруемым мидиями фермы в течение суток. В данной модельной ферме в качестве мидийных носителей используются штормоустойчивые носители полупогруженного типа [3] с несущей способностью 10 т мидий. Ферма состоит из 10 носителей длиной

**Таблица 2** - Скорости фильтрации воды мидиями, л/экз. · час

Размерная группа, мм	Февраль	Март	Июнь	Октябрь
5-10	0,124	0,062	0,062	0,158
11-20	0,284	0,144	0,149	0,332
21-30	0,554	0,285	0,304	0,603
31-40	0,835	0,433	0,471	0,871
41-50	1,137	0,593	0,653	1,147
51-60	1,453	0,761	0,848	1,427
61-70	1,781	0,938	1,053	1,712

по 100 м, расстояние между носителями 20 м. Следовательно ферма занимает площадь  $100 \text{ м} \times (20 \text{ м} \times 9) = 18000 \text{ м}^2$ . Длина коллектора равна 6 м; объём воды, занимаемый фермой, равен:

$$V_{\phi} = 18000 \times 6 = 108000 \text{ м}^3.$$

Фильтрационная активность мидий фермы (таблица 3) достигает максимума ( $1049386 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ) в июне, после оседания личинок на коллекторы и подрастания молоди. В этот период мидии фермы за сутки профильтровывают объём воды равный 10-ти кратному значению объёма фермы. Для предотвращения лимитирования питания мидий необходимо, чтобы в сутки через ферму проходил объём воды, превышающий в 2 раза объём, фильтруемый мидиями в течение суток, что составляет  $2098772 \text{ м}^3$ . Таким образом, в наи-

**Таблица 3** - Скорости фильтрации воды мидиями, модельной фермы,  $\text{м}^3/\text{сут.}$ 

Размерная группа, мм	Февраль	Март	Июнь	Октябрь
5-10	0	0	421509*	0
11-20	3098	6284	568623	108655
21-30	22037	27209	59254	359801
31-40	9235	86201	0	96332
41-50	22876	63064	0	69232
51-60	26786	24681	0	19487
61-70	151602	0	0	0
$F_{\phi}$	235634	207429	1049386	584275
$F_{\phi}/V_{\phi}$	2,18	1,92	9,72	5,41
$V_{\text{крит.течения}}$	0,01	0,01	0,04	0,02 м/сек

**Примечание:** \* - Здесь учтены мидии двух размерных групп: 1-5 и 6-10 мм



более напряжённый период работы фермы за сутки должен пройти поток длиной:  $2098772 \text{ м}^3 : 600 \text{ м}^2 = 3498 \text{ м}$ , что соответствует скорости течения 145,8 м/час, или 0,04 м/с. В остальные сезоны года скорость течения может быть ниже (таблица 3). Скорости течения в прибрежной зоне Крыма варьируют в пределах 0,01 - 0,4 м/с, что позволяет размещать фермы вдоль берега длиной до 200 м. При постановке ферм большей производительности, необходимо разбить их на участки длиной по 200 м с промежутками между ними в 200 м.

### ПОТРЕБЛЕНИЕ КОРМА

Исследование спектра питания и потребление корма мидиями в б. Ласпи было выполнено нами и сотрудниками ИнБЮМ ранее [1, 2]. По результатам этих исследований рассчитаны скоро-

сти потребления корма мидиями различных размерных групп в разные сезоны года (таблица 4).

С учётом данных таблиц 1 и 4, а также соотношения сухого и сырого веса корма определены суточные потребности поселений мидий на ферме (таблица 5).

Отфильтровываемый мидиями фитопланктон (таблица 5) не покрывает пищевые потребности мидий. Дисбаланс, или разность между потребностью в корме и количеством потреблённого фитопланктона, достигает максимума в октябре, что составляет 95% от потребности мидий в корме. По-видимому, недостаток корма покрывается за счёт детрита. Действительно, детрит и инфузории встречаются во всех пробах воды. В желудках мидий также обнаруживается детрит, инфузории, фрагменты тел зоопланктон-

ных организмов. Не существует единого мнения относительно значения детрита в питании мидий: по мнению одних исследователей детрит – это основной компонент спектра питания мидий, по мнению других – детрит является только дополнительным источником питания [4].

Очевидно, что спектр питания мидий зависит от состояния кормовой базы акватории: в высокопродуктивных водах

**Таблица 4 - Скорость потребления корма мидиями, мг/сут. экз. (сух. вес корма)**

Размерная группа, мм	Сырой вес, мидии, г	Февраль	Март	Июнь	Октябрь
1-5	0,01	-	-	0,0158	-
6-10	0,07	0,0598	-	0,0706	-
11-20	0,44	0,2914	0,2500	0,3486	0,4335
21-30	1,81	0,5292	0,5110	0,5316	0,7918
31-40	4,34	0,9382	0,8330	-	1,1936
41-50	8,35	1,3500	1,3083	-	1,6345
51-60	14,06	2,1124	1,9000	-	2,1714
61-70	21,71	3,8623	-	-	-

**Таблица 5 - Суточные потребности мидий в корме (П) 100-тонной фермы и реальная биомасса фитопланктона (Р), сырой вес, г**

Размерная группа, мм	Февраль		Март		Июнь		Октябрь	
	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р
1-5	0	0	0	0	37938,9		0	0
6-10	0	0	0	0	78707,6	73975*	0	0
11-20	833,7	195,2	3031,8	1850,0	369726,3	99789	39428,2	2100,3
21-30	5850,4	1388,3	13557,9	8010,3	28797,1	10398	131303,0	6955,0
31-40	2883,8	581,8	46087,5	25377,6	0	0	36688,0	1862,1
41-50	7548,7	1441,2	38717,9	18566,0	0	0	27418,5	1338,3
51-60	10822,8	1687,5	17125,7	7266,1	0	0	8240,8	376,7
61-70	91315,4	9550,9	0	0	0	0	0	0
Итого:	119255,0	14845	118520,8	61070	515169,9	184100	243078,5	12632,4
Дисбаланс	-104410	88%	-57451	48%		64%	-230446	95%

**Примечание:** \* - данная цифра соответствует суммарному потреблению корма мидиями размером 1-10 мм

**Таблица 6 - Интенсивность осаднения фекалий поселением мидий на 100-тонной ферме (сырая масса)**

№	Наименование	Февраль	Март	Июнь	Октябрь
1	Образование биоотложений, г/сут.	29814	29630	128793	60769
2	Интенсивность осаднения, г/м <sup>2</sup> сут.	1,66	1,65	7,16	3,38

мидии питаются преимущественно фитопланктоном, а в бедных – детритом. Разделив суммарные потребности мидий в корме (по месяцам) на соответствующие скорости фильтрации (данные таблиц 3 и 5), найдены минимальные значения концентраций корма в воде, обеспечивающие пищевые потребности мидий:

февраль - 506; март - 571; июнь - 491; октябрь – 416 мг/м<sup>3</sup> (сырой вес корма).

Такие значения биомассы фитопланктона отмечались нами ранее только в периоды весенних вспышек [1], когда мидии могли полностью удовлетворять свои потребности за счёт фитопланктона.

### ОБРАЗОВАНИЕ БИООТЛОЖЕНИЙ

Усвояемость корма мидиями в среднем составляет 75% [1], а 25% потреблённого, но неусвоенного корма, в виде фекалий, переносится течением и оседает на дно, образуя биоотложения. Нами определены скорости оседания фекалий на 1 м<sup>2</sup> дна под фермой, площадь которой равна 18 тыс. м<sup>2</sup> (таблица 6).

Таким образом, на квадратный метр дна под фермой ежедневно поступает неусвоенный мидиями корм с интенсивностью 1,6 – 7,2 г/м<sup>2</sup>·сут. Он может минерализовываться сестонофагами, например, анадарой. Такого количества корма

хватит для обеспечения пищевых потребностей 300 - 1200 экз. взрослых особей, населяющих 1 м<sup>2</sup> дна.

### ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА

Скорости потребления кислорода мидиями (таблица 7) рассчитаны по уравнениям, опубликованным разными исследователями [1, 2, 5].

Потребление кислорода мидиями, выращиваемыми на ферме, рассчитано с учётом размерного состава поселений мидий и их численности (таблица 8).

Мидии 100-тонной фермы потребляют в сутки 87 - 160 м<sup>3</sup> кислорода, что составляет 3,3 – 9,7% количества кислорода, содержащегося в профильтрованной мидиями воде. Следовательно, кислород не является ресурсом, лимитирующим рост мидий, а морская ферма не оказывает существенного влияния на концентрацию кислорода в воде.

### ВЫДЕЛЕНИЕ АЗОТ- И ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРЁННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Результаты экспериментальных исследований дают возможность рассчитать валовые скорости выделения мидиями азот- и фосфорсодержащих растворённых соединений (таблица 9), а также определить массу соединений, выделяемых мидиями всей фермы (таблица 10).

Таким образом, мидии фермы в сутки выделяют 1,7 – 4,2 кг аммонийного азота и 0,5 – 0,7 кг фосфатов. При этом концентрация этих соединений в морской воде возрастает:

- в апреле на 8,3 мкг/л NH<sub>4</sub> и на 3,2 мкг/л PO<sub>3</sub>,
- в июле на 3,2 мкг/л NH<sub>4</sub> и на 0,5 мкг/л PO<sub>3</sub>,
- в ноябре на 7,2 мкг/л NH<sub>4</sub> и на 1,2 мкг/л PO<sub>3</sub>,

что составляет в среднем 25% от концентрации этих соединений в морской воде.

**Таблица 7 - Скорость потребления кислорода мидиями, мл/сут.·экз.**

Размерная группа, мм	Сырой вес, мидии, г	Февраль	Март	Июнь	Октябрь
1-5	0,01	0,048	0,062	0,036	0,073
6-10	0,07	0,183	0,289	0,120	0,300
11-20	0,44	0,786	1,234	0,433	1,138
21-30	1,81	2,432	3,756	1,163	3,173
31-40	4,34	4,553	7,489	2,143	5,983
41-50	8,35	8,121	12,550	3,385	9,606
51-60	14,06	11,254	18,932	4,873	14,028
61-70	21,71	18,615	26,672	6,602	19,222



## ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЬНОЙ ФЕРМЫ НА РЕПРОДУКЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Представляет интерес расчёт баланса количества личинок мидий, оседающих в течение года на коллекторы фермы и личинок, произво-

**Таблица 8 - Потребление кислорода мидиями, модельной фермы, м<sup>3</sup>/сут.**

Размерная группа, мм	Февраль	Март	Июнь	Октябрь
5-10	0	0	33,017	0
11-20	0	2,244	68,852	15,518
21-30	4,031	14,941	9,445	78,887
31-40	2,098	62,121	0	27,571
41-50	6,808	55,611	0	24,160
51-60	8,645	25,584	0	7,982
61-70	66,023	0	0	0
Итого:	87,61	160,50	111,31	154,12

**Таблица 9 - Скорость выделения мидиями аммонийного азота и фосфатов, мкг/сут.·экз.**

Размерная группа, мм	Сырой вес, мидии, г	Апрель		Июль		Август		Ноябрь	
		NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>
1-5	0,01	0,48	0,12	0,48	0,07	0,91	0,13	0,67	0,13
6-10	0,07	3,02	0,74	3,02	0,45	6,22	0,81	4,54	0,81
11-20	0,44	14,78	4,22	14,78	2,53	38,02	4,33	26,40	4,33
21-30	1,81	52,13	15,20	43,44	8,69	112,94	13,90	86,88	13,90
31-40	4,34	93,74	31,25	78,12	18,75	208,32	28,12	177,07	28,12
41-50	8,35	120,24	52,10	100,20	30,06	300,60	46,09	260,52	46,09
51-60	14,06	134,98	74,24	104,61	40,49	327,32	60,74	404,93	60,74
61-70	21,71	156,31	93,79	104,21	52,08	416,64	72,95	521,04	72,95

**Таблица 10 - Выделение мидиями на модельной ферме аммонийного азота и фосфатов, г/сут.**

Размерная группа, мм	Апрель		Июль		Ноябрь	
	NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	PO <sub>3</sub>
1-5	0	0	172,8	25,2	0	0
6-10	0	0	504,8	75,2	0	0
11-20	26,5	7,6	2350,0	402,3	360,0	59,0
21-30	207,5	60,5	352,7	70,0	2159,8	345,6
31-40	777,7	259,3	0	0	815,9	129,6
41-50	532,7	230,8	0	0	655,2	115,9
51-60	182,4	100,3	0	0	230,8	34,6
61-70	0	0	0	0	0	0
Итого:	1726,8	658,5	3380,3	572,7	4221,7	684,7

димых мидиями, подращиваемыми на ферме.

По нашим наблюдениям, сроки массового оседания личинок и интенсивность их оседания на коллекторы варьируют в разные годы в широких пределах [1, 3]. В настоящем исследовании взяты средние многолетние значения: для весеннего оседания 8 тыс. экз. на погонный метр коллектора, а для осеннего – 1230 экз., что составляет за год 9230 экз./погон. м. На модельной ферме установлено 2 тыс. коллекторов, длиной по шесть метров, поэтому общее количество личинок, осевших в течение года на коллекторах фермы составило 110760000 экз.

Вторая статья баланса – количество личинок, производимое в течение года половозрелыми мидиями (длина > 20 мм), выращиваемыми на ферме. Расчёт выполнен с учётом половой структуры поселений мидий (исследования 2010 - 2011 гг.), а также плодовитости мидий разного размера [1]. Плодовитость мидий – это количество яйцекле-

ток, вымётываемое одной мидией в период нереста. Осенью соотношение полов равное, а в период весеннего нереста преобладали самцы 1:0,7. Данные расчёта суммарной плодовитости мидий фермы приведены в таблице 11.

Как показывают расчёты, весной и осенью мидии фермы производят примерно одинаковые количества яйцеклеток, а годовое производство яйцеклеток состав-

**Таблица 11 - Расчёт количества яйцеклеток, вымётываемых в течение года мидиями фермы, несущей 100 т мидий**

№	Размерная группа, мм	Плодовитость, шт. яйцеклеток	Весна		Осень	
			Количество самок, экз.	Количество яйцеклеток, млн. шт.	Количество самок, экз.	Количество яйцеклеток, млн. шт.
1	21-30	150000	1630939	24441	12430939	1864641
2	31-40	360000	3400922	1224332	2304148	829493
3	41-50	500000	1816766	908383	1257485	628743
4	51-60	1900000	554054	1052702	284495	540541
5	61-70	2500000	0	0	0	0
6	Итого:			3430058		3863418

ляет 7293476 млн. штук. Это количество в 66300 раз превышает количество личинок, осевших на коллекторы. Если предположить, что выживаемость личинок в природе составляет 1%, то получим, что производство фермой мидийной молды в 663 раза превышает их изъятие.

Таким образом, мидийная ферма не обедняет, а пополняет репродукционный потенциал прибрежной зоны.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Организация масштабного выращивания мидий и других гидробионтов нуждается в предварительной оценке потенциальных возможностей акваторий как в отношении объёмов выращивания выбранных объектов, так и в отношении плотности размещения технических средств выращивания. Планируемая производительность морской фермы не должна превышать трофическую ёмкость акватории. Трофическая ёмкость позволяет рассчитать максимальную биомассу мидий, пищевые потребности которых могут быть удовлетворены за счёт кормовой базы данной акватории. Годовая продукция мидиеводства, практикуемого на некоторой акватории, описывается уравнением Бергаланфи [6]:

$$P = P_{max}(1 - e^{-kb}),$$

где  $P$  - годовая производительность марикультуры, установленных на акватории;

$P_{max}$  - трофическая ёмкость данной акватории;

$b$  - масса мидий, размещённых на фермах;

$k$  - безразмерный коэффициент ( $k < 1$ ).

Из уравнения следует: чем больше выращиваемая биомасса мидий, тем менее эффективным становится выращивание из-за замедления ско-

рости роста моллюсков при лимитировании кормом. Например, установлено, что для бассейна Марен – Олерон (западное побережье Франции) при выращивании гигантской устрицы *S. gigas* трофическая ёмкость  $P_{max} = 42450$  т и этот потолок достигается при выращиваемой биомассе  $b = 80000$  т ( $k = 0,0288$ ). Дальнейшее увеличение массы выращиваемых устриц не приводит к росту производительности устрицеводства [6]. Имеющиеся в нашем распоряжении технические возможности не позволяют получить полную оценку трофической ёмкости б. Ласпи. Однако полученные нами данные достаточны для выполнения ориентировочных расчётов возможной суммарной производительности мидийных ферм, расположенных на данной акватории (таблица 12).

Кормовую базу мидий формирует взвешенное органическое вещество (ВОВ), в которое входит фитопланктон, мелкий зоопланктон, бактериопланктон и взвешенное мёртвое органическое вещество с населяющей его микрофлорой. Суммарную концентрацию ВОВ можно рассчитать по концентрации взвешенного органического углерода  $C_{ВОВ}$ . Для определения трофической ёмкости акватории требуются также данные по направлениям и скоростям течений в исследуемой акватории.

Пищевые потребности выращиваемых на ферме моллюсков должны удовлетворяться за счёт 50% ВОВ воды, поступающей на ферму. В этом случае не будет происходить ингибирование роста мидий недостатком корма [7]. Для проверки этого условия мы использовали объёмную скорость потребления корма  $R_{об}$ , численно равную количеству корма, потребляемого мидиями в течение суток в  $1 \text{ м}^3$  фермы, т. е.:  $R_{об} = R_f / V_f$ . В феврале  $R_{об} = 119\,000 / 108\,000 = 1,102$ ;

**Таблица 12** - Сводная таблица функциональных характеристик мидийной фермы, несущей 100 т мидий (объём фермы 108 тыс. м<sup>3</sup>)

Ме- сяц	Количе- ство мидий, тыс. экз.	Скорость филтра- ции, м <sup>3</sup> /сут.	Потребление		Оседание личинк, млн. экз./год	Выделение			
			Корм сырой, кг/сут.	Кисло- род, м <sup>3</sup> /сут.		Фекалии сырые, кг/сут.	NH <sub>4</sub> , г/сут.	PO <sub>3</sub> , г/сут.	Вымет яйцекле- ток, млрд. шт./год
2	7726	235634	119	88	-	30	-	-	-
3	19873	207429	118	160	-	30	1726	658	-
6	694275	1049386	515	111	-	129	3380	572	-
10	46190	584275	243	154	110760	61	4221	684	7293

в марте  $R_{ob}=1,102$ ; в июне  $R_{ob}=4,769$ ; в октябре  $R_{ob}=2,250$  г/м<sup>3</sup> в сутки. Эта величина используется в дальнейших расчётах.

Концентрация корма в зоне фермы формируется под воздействием двух одновременно протекающих процессов: потребления корма мидиями и поступления свежего корма с течением воды. Убыль концентрации корма за счёт его потребления мидиями можно описать уравнением:

$$\frac{dC}{Cdt} = -\frac{R_{ob}}{C_0}, \quad (1)$$

где:  $C$  - концентрация корма, г/м<sup>3</sup>;

$t$  - время, сут;

$R_{ob}$  - объёмная скорость потребления сырого корма, г/м<sup>3</sup> в сутки.

Решение уравнения (1) имеет вид:

$$C_t = C_0 e^{-\frac{R_{ob}}{C_0}t}, \quad (2)$$

где:  $C_t$  - конечная концентрация корма;

$C_0$  - начальная концентрация корма.

Уравнение (2) отражает экспоненциальную тенденцию понижения концентрации корма в неподвижной воде. Убыль корма в воде должна восполняться поступлением корма с течением воды, имеющим скорость  $V$ , м/сут. Время пребывания в пределах фермы поступившей на ферму воды:  $t = L/V$ , где  $L$  - длина фермы, измеренная вдоль течения, м.

Подставив в уравнение (2) вместо времени его значение, получим:

$$C_t = C_0 e^{-\frac{R_{ob}L}{VC_0}}. \quad (3)$$

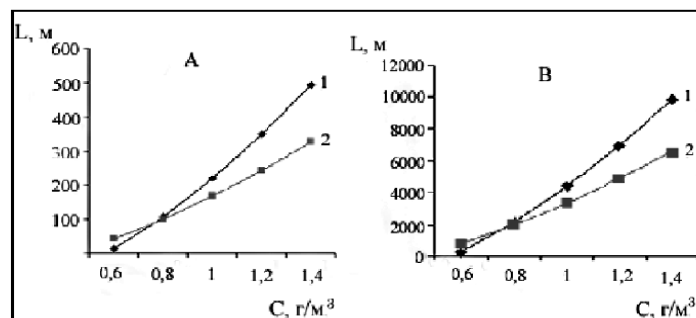
Из уравнения (3) можно вывести формулы для расчёта допустимой длины фермы  $L$ , а также минимальной скорости течения -  $V$ , объём-

ной скорости потребления корма мидиями -  $R_{ob}$ , требуемой концентрации корма в морской воде, проходящей через ферму -  $C_0$ . Так, допустимая длина фермы определяется по уравнению:

$$L = \frac{(\ln C_0 - \ln C_t)VC_0}{R_{ob}}. \quad (4)$$

Приведенные формулы позволяют выполнять оптимизацию использования мидиями кормовой базы путём оптимального расположения мидийных ферм на акватории, а также оптимизации их структуры (размеров фермы и плотности размещения мидийных коллекторов на ферме). Для выполнения оптимизации необходимо задаться значением конечной концентрации корма, которая должна быть не ниже концентрации, позволяющей мидиям удовлетворять свои пищевые потребности. По нашим расчётам, минимальные концентрации корма для исследованных сезонов должны иметь следующие значения: февраль -  $C_t = 0,506$ ; март -  $C_t = 0,571$ ; июнь -  $C_t = 0,491$ ; октябрь -  $C_t = 0,416$  г/м<sup>3</sup> (сырой вес корма).

Максимально допустимая длина мидийной фермы заданной производительности определяется трофической ёмкостью акватории, которая, в свою очередь, зависит от концентрации корма и скорости течения воды (рисунок).



**Рисунок** - Зависимость длины фермы ( $L$ ) от концентрации корма ( $C$ , сыр. вес) при скоростях течения: А - 0,5 см/с; В - 10 см/с; 1 - в марте; 2 - в октябре



Таким образом, организации мидийных хозяйств должны предшествовать тщательные исследования кормовой базы, направлений и скоростей доминирующих течений, так как именно эти факторы определяют размеры проектируемых ферм.

## ВЫВОДЫ

1. По результатам экспериментальных и полевых исследований, проведенных на модельной акватории (бухта Ласпи, ЮБК), определены функциональные характеристики мидийной фермы и выведены уравнения, определяющие условия оптимального использования ресурсного потенциала (трофической ёмкости среды) для организации мидиеводства.

2. Оценено влияние модельной мидийной фермы на природные ресурсы акватории. Установлено, что объём воды, профильтрованной мидиями в течение суток, превышает объём фермы в разные сезоны года в 2 - 10 раз, поэтому в критический сезон (в июне) скорость течения воды через ферму должна быть не менее 4 см/с.

3. Пищевые потребности выращиваемых мидий не покрываются имеющимся фитопланктоном; дефицит корма в разные сезоны составляет от 48 до 95 %. Недостаточное количество фитопланктона, по-видимому, восполняется детритом.

4. Интенсивность осаднения биоотложений составляет 1,6 - 7,2 г/м<sup>2</sup>·сут. Этот корм может быть использован детритофагами – компонентами поликультуры.

5. Мидии фермы потребляют всего 3,3 – 9,7% кислорода, содержащегося в морской воде, поэтому O<sub>2</sub> не представляет собой ресурс, лимитирующий рост мидий, а ферма не оказывает существенного влияния на концентрацию кислорода в воде.

6. Выделяемые мидиями азот- и фосфорсодержащие растворённые соединения повышают

в среднем на 25% природный фон этих соединений.



7. Производство мидийной молодежи на ферме в 663 раза превышает её изъятие из планктона.

*Выражаем благодарность сотрудникам ИнБЮМ НАНУ: С.В. Щурову, Е.А. Куфтарковой, Н.Ю. Родионовой за участие в проведении экспериментальных исследований.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.Н. Биология культивируемых мидий / В.Н. Иванов, В.И. Холодов, М.И. Сеничева, А.В. Пиркова, К.В. Булатов // Киев: Наукова Думка. – 1989. – 100 с.
2. Шульман Г.Е. Биоэнергетика гидробионтов / Г.Е. Шульман, Г.А. Финенко, Б.Е. Аннинский и др. / под ред. Г.Е. Шульмана, Г.А. Финенко // Национальная академия наук Украины, Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 248 с.
3. Холодов В.И. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море / В.И. Холодов, А.В. Пиркова, Л.В. Ладьгина / под ред. В.Н. Еремеева // Национальная академия наук Украины, Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. – Севастополь. – 2010. – 424 с.
4. Цихон-Луканина Е.А. Трофология водных моллюсков / Москва: Наука, 1987. – 175 с.
5. Брайко В.Д. Сезонные изменения в дыхании мидий / В.Д. Брайко, С.С. Дерешкевич // Биология моря. – 1978. - № 44. – С. 31-36.
6. Heral M. Approches de la capacite trophique des ecosystems conchylicoles/ International Council for the Exploration of the Sea (ICES) Symposium: «The Ecology and Management Aspects of Extensive Aquaculture,» Nantes, France 20-23 June 1989. - Nantes, 1989. - 26 p.
7. Masson Y. The cultivation of the European mussel *Mytilus edulis* // Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. -1972. – 10. - P. 437.
8. Лях А. М. Компьютерная программа для расчёта основных параметров фитопланктона / А.М. Лях, Ю.В. Брянцева // Экология моря, 2001, вып. 58 – С. 36-37.

## СТАТТЯ ПОСТУПИЛА 25.07.2011 Г.

ХОЛОДОВ В.І., ПІРКОВА Г.В., ЛАДИГІНА Л.В.

### ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВОЇ МІДІЙНОЇ ФЕРМИ.

Дослідження проведені за період 2010 - 2011 рр. на морському мідійному підприємстві ТОВ «Софія – Крим», яке базується в бухті Ласпі (40 км на схід від Севастополя). За результатами досліджень сезонної динаміки розмірної структури поселень мідій на колекторах мідійної ферми, репродуктивного циклу, а також якісного та кількісного складу фітопланктону, підраховані функціональні характеристики мідій, вирощених на типовій фермі. Типовою пропонується ферма, на носіях якої підраховуються 100 т мідій.

Для чотирьох сезонів року розраховано розподілення мідій типової ферми по розмірним групам, а також їх функціональні показники: фільтрація води, споживання корму і використання кисню, вимет яйцеклітин, виділення з'єднань, що містять азот і фосфор.

Обговорюються можливості використання результатів досліджень для визначення дозволених розмірів і продуктивності мідійних ферм.

KHOLODOV V.I., PIRKOVA A.V., LADYGINA L.V.

### FUNCTIONAL FEATURES OF A TYPICAL MUSSEL FARM.

The studies were carried out in 2010 - 2011 on the basis of a sea farm LTD "Sophia - Crimea", located in Laspi Bay (40 km east forward from Sevastopol).

The functional features of mussels cultivated in a typical farm were defined. Season dynamics of the size structure of mussels settled on the collectors of a mussel farm; reproductive cycle of mussels, and qualitative and quantitative content of phytoplankton were taken into consideration. A typical farm is a farm with 100 tones of mussels placed on the carriers. Optimal mussels' distribution for each season in a typical mussel farm was calculated, as well as the functional indices: water filtration, consumption of food and oxygen, spawning of female animals, discharge of nitrogen and phosphorous-containing compounds. The authors of the article discuss the ways of the obtained results implementation that can facilitate to define optimal size and productivity of mussel farms

