

УДК 504/504:639.331.5

**А.В. ЖИГИН, Д.В. ДЕМЕНТЬЕВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва

### **ОЧИСТКА МОРСКОЙ ВОДЫ ВОДОРОСЛЯМИ ПРИ СОДЕРЖАНИИ РЫБ В ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ**

*Caulerprolifera* на 1 кг своей массы ежедневно способна поглощать 4,9 мг аммонийного, 665 мг нитратного азота, 1,66 мг фосфатов. При использовании нитрифицирующего фильтра ежедневное поглощение фосфатов возрастает до 16,1 мг/кг биомассы водоросли, а нитратного азота – до 1132,4 мг/кг (в 9 и 1,5 раза соответственно). Скорость выделения кислорода этой водорослью варьирует от 156 до 239 мг O<sub>2</sub>/кг сырой массы водоросли в час. Относительный прирост биомассы *C.prolifera* в альгофилтре барабанной конструкции в системе без нитрифицирующего фильтра составил 39,6%, а в системе с нитрифицирующим фильтром – 44,9%. Увеличение интенсивности освещения водоросли с 3 до 11 тыс. лк достоверно увеличивает скорость выделения кислорода водорослью в 1,8 раза: с 1,65 до 2,91 мг/л в час. Дальнейшее повышение интенсивности излучения до 22 тыс. лк не приводило к увеличению скорости выделения кислорода. Альгофилтр способен обеспечить нормативное качество воды в системе по исследованным показателям при соотношении биомассы каулерпы к биомассе рыб 8:1; включение в состав системы нитрифицирующего фильтра снижает такое соотношение в 2 раза – до 4:1. Достигнуто сокращение ежемесячных расходов на подмену воды на 1603 руб. на каждый 1 м<sup>3</sup> объема экспозиционного аквариума.

*Рекреационная аквакультура, очистка воды, морские водоросли Caulerprolifera, альгофилтр, гидрохимические показатели.*

**Введение.** Процесс создания публичных океанариумов в мегаполисах, удаленных от морского побережья имеет определенные особенности, вызванные главной причиной – полным отсутствием естественной морской воды, что вынуждает их владельцев прибегать к применению циркуляционных систем водоиспользования с искусственной морской водой. В силу специфики работы подобных рекреационных систем возникает необходимость регулярной подмены этой воды до 10% в неделю (в частности, из-за сверхнормативного накопления в ней нитратов и фосфатов), что связано с большими финансовыми затратами.

Одним из перспективных способов изъятия из оборотной воды нитратов, фосфатов, а также других биогенных элементов является применение водорослей.

Вместе с тем данное направление в мировой аквакультуре развивается сравнительно недавно, исследования в этой области достаточно разобщены и фрагментарны, особенно если речь идет не о пресной, а о морской воде. Остро стоит проблема и о техническом воплощении результатов исследований в рассматриваемой сфере, обеспечивающем не только технологическую, но и экономическую эффективность данного метода очистки морской воды. Стоит отметить малое количество работ по этому направлению в нашей стране, хотя во всем мире оно считается перспективным.

Цель проведенных исследований – разработать биотехнические параметры применения водорослей для подготовки морской воды в установках с замкнутым водоиспользованием (УЗВ). В соответ-

ствии с этой целью ставились следующие задачи:

1. Осуществить подбор оптимального для использования в составе альгофилтра вида водорослей.

2. Определить количество потребляемых водорослями биогенных веществ и выделяемого ими растворенного кислорода.

3. Подобрать оптимальные параметры источника освещения для эффективного осуществления очистки воды с использованием водорослей.

4. Дать оценку экономической эффективности применения водорослей для очистки оборотной морской воды в демонстрационных системах аквакультуры.

**Материалы и методы исследований.** Экспериментальные исследования проведены в период с 2012 по 2015 гг. на базе аквариальной ООО «Океанариум № 1» торгово-развлекательного комплекса «РИО» в г. Москве.

Подбор водорослей для очистки оборотной морской воды осуществляли путем сравнительного содержания четырех доступных нам видов: *Ulvalactuca* (Linnaeus, 1753), *Caulerparacemosa* (Forskål), (J. Adardh, 1873), *Caulerparoprolifera* (Forsskål), (J.V. Lamouroux, 1809), *Chaetomorpha crassa* (C. Agardh), (Kützing, 1854). Их размещали в одинаковых емкостях объемом по 6 л каждая, оснащенных системой циркуляции морской воды и биологическим фильтром. Контролем служила аналогичная циркуляционная система без водорослей. Емкости с водорослями освещали люминесцентными лампами GLO (FloraGlo, 40W, 2800 лк у поверхности воды) в режиме 12 ч. свет – 12 ч. темнота. В качестве источника метаболитов в системах использовали аквариумы объемом 80 л каждый с молодью красной тилапии. Температуру воды поддерживали на уровне 25°C, кормление рыбы осуществляли 4 раза в сутки. Исследования проводили 154 дня одновременно в двух повторностях. В процессе опыта контролировали динамику основных гидрохимических показателей, прирост массы рыбы и водорослей, осуществляли визуальный контроль общего состояния гидробионтов.

Исследовали динамику рН, окислительно-восстановительного потенциала, температуры, солёности (мультиметр Ultrameter 2, MYRONL, 6FC<sup>E</sup>); ос-

вещённости (люксометр Milwaukee MW 700); концентрации кислорода (Оксиметр NachHQ-30d); общего аммонийного азота (метод Сэджи-Солорзано); нитритного (метод Бендшнайдера и Робинсона) и нитратного азота (метод восстановления нитрата до нитрита в кадмиевых колонках); фосфатов (метод Морфи-Райли) (Руководство по химическому анализу морских и пресных вод, 2003).

При разработке оптимального источника освещения для определения светопоглощающей способности водорослей использовали спиртовую вытяжку фотосинтезирующих пигментов (Синицына и др., 2008). Исследованию подвергалась лишь *Caulerparoprolifera*, показавшая наилучшие предварительные результаты при выращивании в альгофилтре, и цианобактерии, чтобы учесть их спектр поглощения при подборе светодиодов для снижения нежелательных обрастаний. Полученные спиртовые вытяжки подвергались спектрофотометрии (спектрофотометр ПЭ-5400) при пятикратной повторности, на основании полученных данных спектров поглощения света произвели выбор длин волн светодиодов освещения.

Полученные данные проходили опытную проверку. Одна группа водорослей освещалась экспериментальным светильником (опыт), контрольная – серийным светодиодным светильником, спектр которого приближен к солнечному. Показателем эффективности светоисточника являлась интенсивность фотосинтеза, определяемая через увеличение концентрации кислорода в воде (мг O<sub>2</sub>/л в час). При определении оптимальной интенсивности освещения ёмкости с подобранным видом водоросли освещали диодными светильниками с интенсивностью 3, 5, 9, 11, 15, 22 тыс. лк. Процесс фотосинтеза контролировали по скорости выделения кислорода. После двухмесячной эксплуатации экспериментальной и контрольной систем получены данные о потреблении водорослью биогенных веществ в пересчёте на 1 кг сырой массы.

Результаты исследований обработаны статистически с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office, 2010.

**Результаты исследований.** Из четырех исследованных водорослей наиболее устойчивыми к специфическим условиям УЗВ (в том числе к высокому уровню ор-

ганического загрязнения) показала себя *Caulerppaprolifera*, которая оказалась более приспособленной к искусственным условиям содержания в составе альгофилтра, что и определило ее использование в последующих опытах.

На первом этапе изучалась работа системы с очисткой воды исключительно силами водорослевого фильтра, контролем служила система с нитрифицирующим фильтром. Обобщенные результаты гидрохимических исследований (табл. 1) показали, что в опытной системе с водорослями уровни кислорода и рН были достоверно выше, чем в контрольной системе циркуляции, а содержание аммонийного азота, нитритов, нитратов и фосфатов – достоверно ниже, что говорит о положительном влиянии водорослевой очистки на значение данных показателей.

Средняя концентрация кислорода в опыте (30 сут.) составила 7,27 мг/л, а в контроле – 5,8 мг/л. Каулерпа успешно выполняла функцию насыщения воды кислородом с интенсивностью 9,6 мг на 100 г сырой массы в час.

Уровень аммонийного и нитритного азота в опытной системе оставался на минимальном уровне. В контрольной системе отмечен постепенный рост данных показателей к концу эксперимента до 0,4 и 0,6 мг/л соответственно. Уровень нитратов в контрольной системе закономерно вырос до 88 мг/л, тогда как в опытной системе содержание нитратов и их рост фиксировались только в последние 3 сут. опыта (до 20 мг/л), что, по-видимому, связано с заметно возросшей ихтиомассой в системе.

Таблица 1

**Результаты гидрохимических исследований при эксплуатации системы с альгофилтром и без него**

Показатель	Результаты исследований			
	опыт		контроль	
	M±m	C <sub>v</sub> ,%	M±m	C <sub>v</sub> ,%
Активная реакция среды, рН	8,19±0,09*	4,4	7,71±0,05	2,6
Растворенный кислород, мг/л	7,27±0,26*	14,6	5,80±0,39	27,4
Окислительно восстановительный потенциал (ОВП), мВ	245,0±5,97	10,0	228,0±7,07	13,1
Аммонийный азот, мг/л	0,006±0,006***	-	0,130±0,055	-
Нитриты, мг/л	0,029±0,220*	-	0,338±0,064	-
Нитраты, мг/л	2,22±2,2**	-	33,30±10,1	-
Фосфаты, мг/л	0,024±0,013***	-	0,110±0,033	-

**Примечание.** Различия достоверны при уровне надежности: \*99,9%; \*\* 99%; \*\*\* 95%.

Увеличение концентрации фосфатов происходило достаточно медленно, как в опытной с водорослями (до 0,1 мг/л), так и в контрольной (до 0,25 мг/л) системах.

В целом стабильная работа опытной системы продолжалась при увеличении количества вносимого корма (в пересчете на протеин) до 2,7 г в сутки при соотношении массы рыб к массе водорослей 1:8. Дальнейшее увеличение нормы кормления ухудшало стабильность допустимого гидрохимического режима по основным изучаемым показателям.

При эксплуатации системы, сочетающей водорослевый и нитрифицирующий

фильтры, уровень кислорода, рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) был достоверно выше, а содержание нитратов и фосфатов – достоверно ниже, чем в контрольной системе циркуляции, что вновь говорит о положительном влиянии водорослевой очистки на параметры водной среды (табл. 2). Аммонийный и нитритный азот ни в одной из систем не обнаруживался, что свидетельствует о нормальном режиме работы в их составе нитрифицирующих биофильтров, полностью преобразующих аммонийные и нитритные соединения в слаботоксичные нитраты. При этом в течение меся-

ца рН: контрольной системы постепенно снижался с 7,61 до 7,28. Опытная система с альгофильтром демонстрировала достаточно динамичный рост значения рН с 7,53 до 8,01 – уровня, характерного для естественной морской воды.

ОВП на протяжении эксперимента (30 сут.) отличался значительными колебаниями в обеих системах, однако среднее значение оказалось достоверно выше в опытной системе по сравнению с контрольной, что указывает на меньшее органическое загрязнение воды.

Концентрация нитратов в опытной системе постепенно росла, а затем стабилизировалась на уровне 75–80 мг/л с тенденцией постепенного снижения. В контрольной системе без альгофильтра отмечен закономерный интенсивный рост концентрации нитратов, указывающий на стабильное протекание процесса нитрификации в биологическом фильтре. В результате в конце эксперимента их концентрация достигла 200 мг/л и была достоверно выше таковой в опытной системе циркуляции.

Таблица 2

**Результаты гидрохимических исследований при эксплуатации системы в сочетании альгофильтра с нитрифицирующим фильтром (опыт) и без альгофильтра (контроль)**

Показатель	Результаты исследований			
	опыт		контроль	
	M ± m	C <sub>v</sub> , %	M ± m	C <sub>v</sub> , %
Активная реакция среды, рН	7,76 ± 0,048*	2,6	7,36 ± 0,025	1,4
Растворенный кислород, мг/л	5,90 ± 0,18***	12,7	5,26 ± 0,16	12,3
ОВП, мВ	249,0 ± 8,7**	15,2	211,0 ± 7,91	16,4
Аммонийный азот, мг/л	0	-	0	-
Нитриты, мг/л	0**	-	0,21 ± 0,07	-
Нитраты, мг/л	67,0 ± 2,3***	-	100,0 ± 12,4	-
Фосфаты, мг/л	0,13 ± 0,04**	-	0,72 ± 0,2	-

**Примечание.** Различия достоверны при уровне значимости: \*99,9%; \*\*99%; \*\*\*95%.

Аналогичная картина отмечена и в динамике концентрации фосфатов, которая в опытной системе с альгофильтром была достаточно стабильна и не превышала 0,4 мг/л. В контрольной системе она достигла 2 мг/л, при этом скорость накопления фосфатов значительно возрастала. Очевидно, что в опытной системе водоросли альгофильтра активно поглощали фосфаты, тогда как в контрольной происходило их накопление.

Установлено, что в пересчёте на 1 кг сырой массы в системе без нитрифицирующего фильтра *Caulerpprolifera* ежедневно потребляла 4,9 мг аммонийного, 665 мг нитратного азота, 1,66 мг фосфатов. При использовании нитрифицирующего фильтра (аммонийный азот отсутствует) ежедневное поглощение фосфатов возрастает до 16,1 мг/кг биомассы водоросли, а нитрат-

ного азота – до 1132,4 мг/кг (в 9 и 1,5 раза соответственно).

Средний прирост за неделю биомассы каулерпы на барабанной системе альгофильтра без нитрифицирующего фильтра составлял 39,6% и 44,1% с нитрифицирующим фильтром (достоверность различий 95%).

При опытной эксплуатации циркуляционных систем с очисткой воды исключительно с помощью альгофильтра общая масса рыб постепенно увеличивалась, достигнув к концу месяца около 120 г. Приемлемое качество воды обеспечивалось при удельной ихтиомассе 466 г/м<sup>3</sup> объёма системы. Данный показатель в два раза меньше удельной ихтиомассы, применяемой в публичных морских океанариумах (919 г/м<sup>3</sup> объёма системы) (Natarajan et al., 2009). Таким образом, оптимальное

отношение массы водоросли к массе рыб в данном варианте эксплуатации системы составило 8:1.

При использовании водорослевого фильтра совместно с нитрифицирующей биомасса каулерпы в 617...660 г обеспечивала стабильную работу замкнутой системы при ихтиомассе 160 г (0,988 кг/м<sup>3</sup>), т.е. позволяла поддерживать требуемое качество оборотной воды при более высокой ихтиомассе, причем в опытной системе концентрация биогенов была практически неизменна, в то время как в контрольной наблюдается ее рост в геометрической прогрессии.

Достигнутая удельная ихтиомасса 988 г/м<sup>3</sup> при сохранении требуемого качества воды оказалась даже несколько выше общепринятой в океанариумах – 919 г/м<sup>3</sup> объёма системы (Natarajan et al., 2009). При этом соотношение массы водоросли к массе рыб составило 4:1.

Таким образом, применение нитрифицирующего фильтра совместно с водорослевым фильтром позволяет увеличить общую ихтиомассу в системе циркуляции более чем в 2 раза при одновременном сохране-

нии требуемого качества воды по сравнению с применением только системы водорослевой очистки.

В дальнейшем были установлены зависимости коэффициента поглощения света от длины волны излучения образцов водоросли (*C. prolifera*) и цианобактерий. Их сопоставление позволило выделить ту часть спектра, которая благоприятна для культивируемой водоросли, и в то же время не способствует росту цианобактерий. Установлено, что для освещения водорослевого фильтра с макроводорослью *C. prolifera* в идеале необходим источник освещения с тремя пиками излучения: 340 нм, 470 нм и 660 нм в соотношении 4,0:1, 3:1,0. Однако использование диодов ультрафиолетового диапазона (340 нм) причем в количестве, превышающем красные и синие вместе взятые, оказалось по ряду причин проблематичным. Поэтому мы ограничились применением конструкции, включающей в себя 21 красный диод (660 нм) мощностью 3 Вт каждый и 21 синий диод (470 нм) мощностью по 3 Вт (табл. 3), (соотношение, близкое к расчетному).

Таблица 3

**Скорость выделения кислорода в зависимости от типа светильника, мг/л в ч. (n = 30)**

Тип светильника	Результаты исследований			C <sub>v</sub> , %
	M ± m	Min	Max	
Наген, дневной свет (контроль)	1,25 ± 0,13	0,69	1,51	24,7
Экспериментальный светильник (470 нм+660 нм) (опыт)	1,71 ± 0,15*	1,19	2,19	21,3

\* Различия достоверны при уровне значимости 95%.

Интенсивность фотосинтеза оценивалась по скорости роста в воде содержания кислорода (Синицина и др., 2008; Janssen et al., 2002), которая на 1 г биомассы водоросли составила 0,214 мг/ч при опытном освещении и 0,156 мг/ч, при стандартном освещении солнечного спектра.

Таким образом, скорость выделения кислорода при использовании экспериментального источника освещения оказалась в 1,4 раза, или на 37% достоверно выше по сравнению с контролем. Одновременно разработанный источник освещения оказывал угнетающее действие на развитие

обрастаний цианобактериями, тогда как при обычном освещении отмечено интенсивное обрастание стенок ёмкости альгофильтра.

При освещении каулерпы диодными светильниками с интенсивностью от 3 до 22 тыс. лк интенсивность фотосинтеза контролировали по скорости выделения кислорода. При 3 тыс. лк она составляла 1,65 мгО<sub>2</sub>/л в 1ч, а при 11 тыс. лк достигла максимума – 2,91 мгО<sub>2</sub>/л в 1ч. Дальнейшее увеличение уровня освещенности не привело к росту скорости выделения кислорода.

Таким образом, оптимальная интенсивность освещенности разработанного светодиодного светильника для водоросли *Caulerpprolifera* составляет 11 тыс. лк, что соответствует излучению 546 Вт/м<sup>2</sup> на расстоянии 5...10 см от поверхности воды и ее глубине 40 см. Что касается продолжительности применения искусственного освещения альгофильтра в течение суток, то наиболее предпочтительно круглосуточное применение. Данная рекомендация достаточно закономерна, поскольку выключение света приводит к прекращению процессов фотосинтеза, соответствующего выделения кислорода и поглощения биогенных соединений.

На основании проведенных исследований нами была разработана экспериментальная замкнутая система с барабанным альгофильтром общим объемом 162 л, описанная нами ранее (Жигин, Дементьев, 2015).

Экономическая оценка результатов исследований дана на примере океанариума ТРЦ «РИО» путем сопоставления эксплуатационных затрат, связанных с приготовлением и расходом искусственной морской воды и расходом электроэнергии при эксплуатации альгофильтра в системе циркуляции или без его применения (табл. 4).

Таблица 4

**Экономическая эффективность применения альгофильтра на 1 м<sup>3</sup> системы циркуляции (в ценах 2015 г.)**

Показатель	Вариант эксплуатации УЗВ	
	с альгофильтром	без альгофильтра
Продолжительность эксплуатации, нед.	4	4
Затраты электроэнергии: кВт/ч руб. (1 кВт/ч = 5 руб.)	303 1515	135 675
Затраты на приготовление подпиточной морской воды: литров руб. (1 л = 5,5 руб.)	75 413	500 2750
Затраты на водопотребление: литров руб. (1 л = 0,2 руб.)	75 15	500 100
Затраты на водоотведение: литров руб. (1 л = 0,05 руб.)	75 3,75	500 25
Общие затраты, руб.	1947	3550
Экономия, руб/м <sup>3</sup> аквариума	1603	-
Затраты на изготовление альгофильтра, руб/м <sup>3</sup>	275	0
Срок окупаемости альгофильтра, мес.	6	-

Включение альгофильтра с водорослью *Caulerpprolifera* в систему водоподготовки экспозиционного морского аквариума позволит сократить ежемесячные расходы денежных средств на 1603 руб./м<sup>3</sup> объема системы циркуляции, обеспечивая при этом качество воды даже на более высоком уровне, чем при использовании ее подмены в количестве 12,5% еженедельно. При этом срок окупаемости затрат на его изготовление составляет 6 мес.

**Выводы**

В целях повышения эффективности очистки оборотной воды морских циркуляционных экспозиционных систем и снижения затрат на их эксплуатацию рекомендуется:

1. Включать в состав системы очистки оборотной воды альгофильтры барабанного типа с использованием зеленых водорослей, в частности каулерпы (*Caulerpprolifera*) в системе без нитри-

фицирующего фильтра из расчета ежесуточного поглощения на 1 кг своей массы до 4,9 мг аммонийного азота, 1,7 мг фосфатов, 665 мг нитратного азота; при использовании нитрифицирующего фильтра – 16,1 мг/кг фосфатов, 1132,4 мг/кг нитратного азота при температуре воды 25°C.

2. Для освещения водоросли *Caulerpa prolifera* в альгофилтре и одновременного подавления развития нежелательных цианобактерий наиболее эффективно использовать светодиоды трёх типов, с длинами волн 340, 470 и 660 нм в соотношении 4,0:1, 3:1,0. Оптимальная освещенность водорослевого фильтра составляет около 11 тыс. лк в круглосуточном режиме, что соответствует излучению светодиодного светильника мощностью 130 Вт на расстоянии 5...10 см от поверхности воды, при ее глубине 40 см. Указанные выше условия обеспечат источник освещения 546 Вт/м<sup>2</sup>.

#### Библиографический список

1. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов мирового океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 202 с.
2. Синицына Ю.В., Олюнина Л.Н., Половинкина Е.О. Фотосинтез и дыхание ра-

стений: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2008. – 28 с.

3. Natarajan M., Raja P., Marichamy G., Rajagopal S. Effect of Temperature, Dissolved Oxygen Variation and Evaporation Rate in Marine Aquarium // Current Research Journal of Biological Sciences. – October 20, 2009. – № 1 (3). – P. 72–77.

4. Janssen M. Cultivation of microalgae: effect of light / dark cycles on biomass yield // Ponsen&Looijen BV, Wageningen, The Netherlands, 2002. – 184 p.

5. Жигин А.В., Дементьев Д.В. Искусственная морская рыбоводная экосистема с очисткой воды водорослями // Аграрная наука. – 2015. – № 5. – С. 28–30.

Материал поступил в редакцию 22.06.2016.

#### Сведения об авторах

**Жигин Алексей Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Прянишникова ул., д.49; тел. 8-905-773-83-68, e-mail: azhigin@gmail.com.

**Дементьев Дмитрий Викторович**, аспирант кафедры аквакультуры и пчеловодства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Прянишникова ул., д.49; тел. 8-499-976-33-67, e-mail: zoo@timacad.ru.

A.V. ZHIGIN, D.V. DEMENTYEV

Federal State Educational Institution of Higher Education «RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russia

## AIGAE CLEANING OF SEAWATER WHILE KEEPING FISH IN THE CIRCULATION SYSTEM

*Caulerpaprolifera is able to absorb 4.9 mg of ammonia, 665 mg of nitrate nitrogen, 1.66 mg of phosphates daily per 1 kg of its mass. When using a nitrification filter, daily phosphate absorption increases to 16.1 mg/kg algae biomass, and nitrate nitrogen absorption – to 1132.4 mg/kg (by 9 and 1.5 times respectively). The rate of oxygen evolution by this algae ranges from 156 to 239 mg O<sub>2</sub>/kg of wet algae weight per hour. The incremental rate of C. prolifera biomass in the algofilter of a drum-type without a nitrifying filter reached 39.6%, and in the system with a nitrifying filter – 44.9%. Increasing of algae illumination intensity from 3 thousand lx to 11 thousand lx certainly increases the rate of oxygen evolution by algae by 1.8 times: from 1.65 to 2.91 mg/l per hour. Further increase of the illumination intensity to 22 thousand lx didn't lead to the increase of oxygen evolution rate. Algofilter is able to provide a regulatory water quality in the system according to the studied indicators with C. prolifera biomass-to-fish biomass ratio of 8:1; inclusion of nitrification filter in the system reduces this ratio by twice – up to 4:1. Reduction of monthly consumptions on water substitution is achieved by 1603 rbls per each 1 m<sup>3</sup> of volume of the exhibition aquarium.*

*Recreational aquaculture, water purification, marine algae, Caulerpaprolifera, algofilter, hydrochemical indicators.*

## Reference

1. Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ecologicheskom monitoring rybohozyajstvennykh vodoemov i perspektivnykh dlya promysla rajonov mirovogo okeana. – M.: Izd-vo VNIRO, 2003. – 202 p.

2. **Sinitsyna Yu.V., Olyunina L.N., Polovkina E.O.** Fotosyntezi i dyhanie rastenij: Uchebno-metodicheskoe posobie. – Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2008. – 28 s.

3. **Natarajan M., Raja P., Marichamy G., Rajagopal S.** Effect of Temperature, Dissolved Oxygen Variation and Evaporation Rate in Marine Aquarium // Current Research Journal of Biological Sciences. – October 20, 2009. – № 1 (3). – P. 72–77.

4. **Janssen M.** Cultivation of microalgae: effect of light / dark cycles on biomass yield // Ponsen&Looijen BV, Wageningen, The Netherlands, 2002. – 184 p.

5. **Zhigin A.V., Dementjev D.V.** Iskustvennaya morskaya rybovodnaya ecosystema s ochistkoj vody vodoroslyami // Agrarnaya nauka. – 2015. – № 5. – S. 28–30.

The material was received at the editorial office  
22.06.2016.

## Information about the authors

**Zhigin Alexej Vasiljevich**, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the aquaculture and bee keeping chair RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d. 49; tel. 8-905-773-83-68, e-mail: azhigin@gmail.com.

**Dementjev Dmitry Victorovich**, post graduate student of the aquaculture and bee keeping chair RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, d. 49; tel. 8-499-976-33-67, e-mail: azhigin@gmail.com.