

АКВАКУЛЬТУРА

УДК 628.16.067:639.3.006.3

А.И. Фёдорова, С.Д. Угрюмова*

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ
ДЛЯ РЫБОВОДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Обобщены экспериментальные данные, полученные на фильтровальном стенде с использованием различных насыпных зернистых перегородок (10 видов). Проведена оценка качества морской воды по 7 показателям (температура, цветность, мутность, прозрачность, запах, привкус и пенистость). Разработан алгоритм поиска вещественно-полевых ресурсов (ВПР) с целью повышения эффективности фильтра в направлении усовершенствования фильтрующей загрузки по отличительным показателям фильтра. Выявлена опытная зависимость пропускной способности фильтра (Π , м/с) от размеров фильтрующей загрузки (d_m , м) и времени фильтрования (τ_p , с).

Ключевые слова: исследование, фильтрование, морская вода, зернистые перегородки, показатели, алгоритм, пропускная способность, производительность.

Fedorova A.I., Ugryumova S.D. Testing of technique for seawater filtration at fish farms // *Izv. TINRO*. — 2014. — Vol. 177. — P. 257–267.

Seawater filtration is tested on the experimental stand with 10 types of single- and double-layer filters for water samples collected in 3 sites with different environments in the Severnaya Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea). Quality of the filtered water is evaluated by several parameters: temperature, coloration, turbidity, transparency, odor, flavor, foaminess, and salinity. Bio-balls, haydite, ceramics, alundum, gravel, zeolite, plastic, plastic in paraffin, sulphonated coal, and sea sand were used as a filler for the single-layer filters and haydite + gravel, haydite + ceramics, sand, sulfonated gravel + sand, zeolite + plastic + sand, and plastic in paraffin — for the double-layer filters. Dependence of the filters discharge capacity on fineness of filler and filtering time is determined. An algorithm for selection of optimal filter and filler is proposed that allows to improve the filter efficiency. The double-layer filters were the most effective in the experiment. So as a long-time filtering causes plugging of the filler pores and lowering of the filtered water quality, the filters with heightened discharge capacity are more effective.

Key words: experimental stand, filtration, seawater, granular filler, water quality, algorithm, discharge capacity, filter capacity.

Введение

Фильтр является лишь резервуаром для размещения специальных материалов, проходя сквозь которые вода избавляется от загрязнителей, но даже самая совершенная конструкция фильтра не определяет эффективность очистки морской воды. Поэтому главная роль в обеспечении чистоты воды принадлежит фильтрационным материалам:

* Фёдорова Александра Игоревна, аспирант, e-mail: aleksa13@list.ru; Угрюмова Светлана Дмитриевна, доктор технических наук, профессор.

Fedorova Alexandra I., postgraduate student, e-mail: aleksa13@list.ru; Ugryumova Svetlana D., D.Sc., professor.

их комбинации, структуре, качеству, а также соблюдению режима очистки, ресурса эксплуатации, пропускной способности фильтра (ГБТ 550/2013*; Миклашевский, Королькова, 2000; Угрюмова и др., 2012).

Анализ известных конструкций фильтров позволил сделать вывод, что насыпные фильтры наиболее экономичны, имеют значительный ресурс эксплуатации, просты в обслуживании, имеют фильтрующую загрузку, способную длительное время работать без регенерации. Ориентировочный срок эксплуатации одной зернистой загрузки составляет 3–5 лет, что значительно выше, чем при использовании картриджей, которые необходимо менять каждые 3–5 мес.

Существующие данные и разработки по эксплуатации фильтрующих материалов относятся, как правило, к пресной воде, а достоверные сведения относительно морской воды в настоящее время отсутствуют.

Целью нашего экспериментального исследования была подготовка морской воды требуемого качества путем фильтрации через различные насыпные зернистые перегородки для рыбоводных предприятий, занимающихся культивированием гидробионтов, поскольку выращиваемые гидробионты особенно чувствительны к посторонним примесям в воде, представляющим собой частицы размером от 100 мкм до 1 мм и более (Алексеева и др., 2001; ГБТ 550/2013*).

Материалы и методы

Пробы морской воды были отобраны в трех различных точках бухты Северной пос. Славянка с целью их дальнейшего исследования. Отбор проб производился в апреле 2013 г. на расстоянии 200 м от берега с глубины 10 м в соответствии с действующими методиками (ГОСТ 17.1.5.05-04; ГОСТ Р ИСО 8586-1-2008; Methods ..., 1983).

Исследуемая вода проходила фильтрацию через однослойные и двухслойные насыпные фильтры. В качестве загрузочных материалов для однослойных фильтров нами были подобраны: био-шары, керамзит, электрокорунд (алунд), морской гравий, цеолиты, пластиковая загрузка, пластиковая загрузка в парафине, сульфуголь и морской песок. Также нами было рассмотрено 6 вариантов наполнителей для двухслойных фильтров: керамзит и гравий; керамзит и керамика; морской песок и сульфуголь; морские гравий и песок; цеолиты и пластиковая загрузка; морской песок и пластиковая загрузка в парафине.

Схема экспериментального стенда изображена на рис. 1. Представленный стенд разработан А.И. Фёдоровой и С.Д. Угрюмовой.

Морская вода подается в специальные баки (8), закрепленные на щите. Затем при помощи трубопроводов вода подается в фильтрующие колонны (3), где проходит очистку через насыпную зернистую загрузку (1), находящуюся на разделительной перегородке. Весь процесс контролируют специальные приборы: мутномер (14), ареометр (9), термометр (11), пьезометр (12) и оксиметр (10). Приборы подсоединены одним концом к бакам с отстойной морской водой (8), а другим — к фильтрующей колонне под разделяющей перегородкой. При длительной работе установки происходит активное зарастание пор, и необходима очистка фильтра при помощи промывной воды. Промывная вода подается через трубопровод (7), а выходит соответственно через трубопровод (2). Выгрузка отработанного фильтрующего материала осуществляется через отверстие (6). Сменная зернистая загрузка хранится в специальной емкости (15), состоящая из 10 секций (по количеству видов фильтрующих материалов). Отбор проб осуществляется через трубопровод (4) в мерный стакан (18). Затем проба может быть перемещена из мерного стакана в мерную колбу (19) или мерный цилиндр (17). Также предусмотрена сменная зернистая перегородка (16).

Объем жидкостей, температура, цветность, мутность, прозрачность, запах, привкус и пенистость фильтрата после однослойных и двухслойных насыпных фильтров опре-

* ГБТ 550/2013. Разработка проектного решения оптимальных конструкций насыпных фильтрующих устройств и совершенствование линий для подготовки морской воды на рыбоводных и рыбоперерабатывающих предприятиях, 1-й этап. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. 58 с.

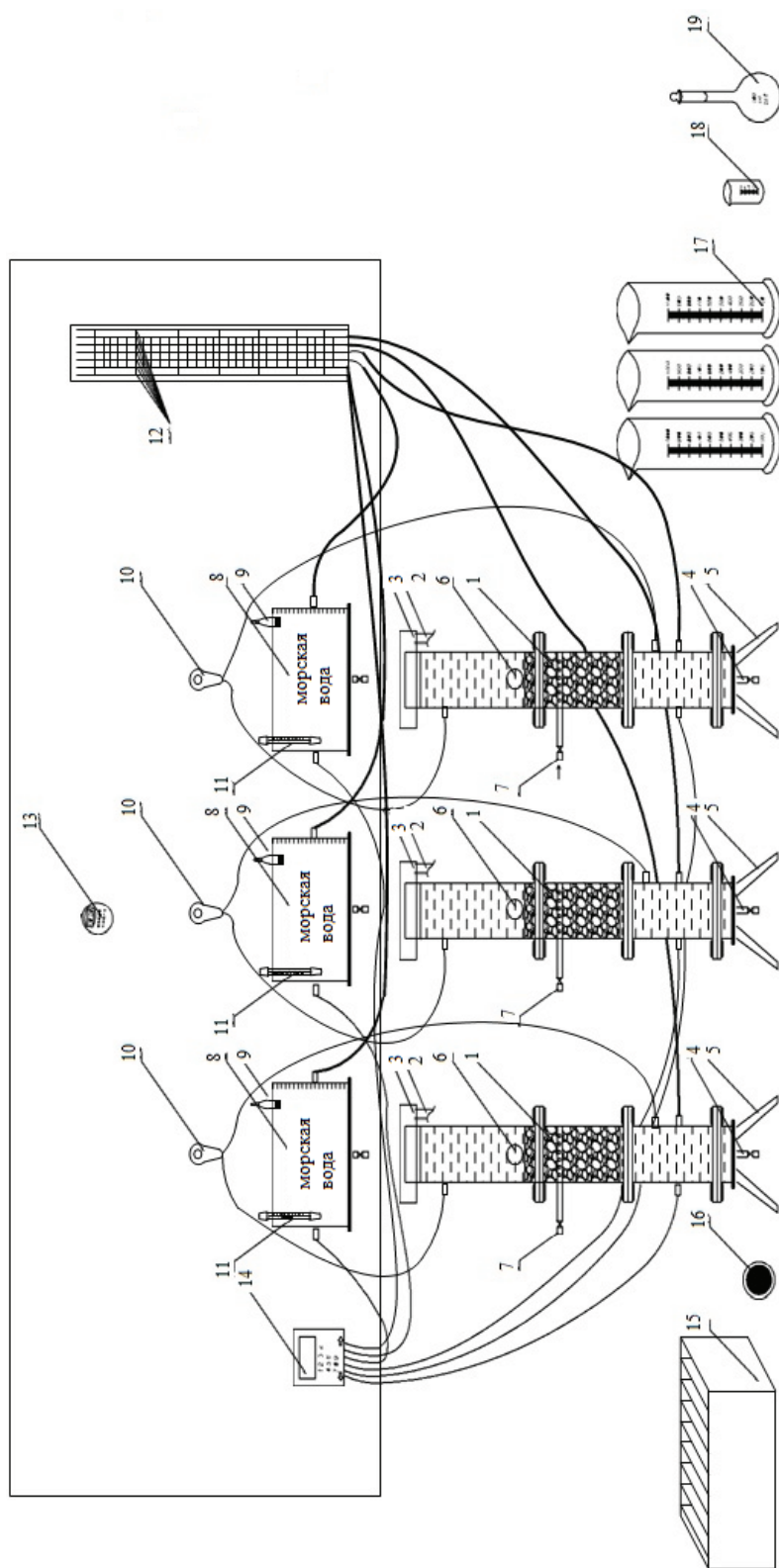


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования процесса фильтрования: 1 — насыпная зернистая загрузка (на разделительной перегородке); 2 — трубопровод для отвода промывной воды; 3 — фильтрующие колонны; 4 — трубопровод отвода фильтрата; 5 — стойки; 6 — отверстие для загрузки насыпной зернистой загрузки; 7 — трубопровод подачи промывной воды; 8 — баки с отстойной морской водой; 9 — ареометр; 10 — оксиметр; 11 — термометр; 12 — пьезометры; 13 — секундомер; 14 — мутномер; 15 — емкость для хранения фильтрующих материалов (10 секций); 16 — сменная перегородка; 17 — мерные цилиндры; 18 — мерный стакан; 19 — мерная колба

Fig. 1. Scheme of experimental stand for testing the filtering process: 1 — filler (on partition wall); 2 — pipe for wash water drainage; 3 — filtering columns; 4 — pipe for filtered water; 5 — rest; 6 — opening for the filler dumping; 7 — wash water supply; 8 — tanks with seawater; 9 — hydrometer; 10 — oximeter; 11 — thermometer; 12 — piezometers; 13 — stopwatch; 14 — nephelometer; 15 — container for filler storage (10 sections); 16 — replaceable partition wall; 17 — measuring cylinders; 18 — measuring jar; 19 — volumetric flask

делялись в соответствии с действующими методиками (ГОСТ 3351-09; ГОСТ 1030-10; ГОСТ Р 52769-2007; ГОСТ Р ИСО 8586-1-2008; Угрюмова и др., 2011; Methods ..., 1983).

Измерение заданной высоты слоя для однослойных и двухслойных насыпных фильтров выполняли в 3 повторностях (Угрюмова, Фёдорова, 2012; Угрюмова и др., 2012).

Основной задачей теории фильтрования является определение скорости фильтрования (v_ϕ) или пропускной способности фильтра (Π_ϕ). Пропускная способность (м/с) определялась в соответствии с функциональной зависимостью:

$$\Pi_\phi(v_\phi) = f(\rho, \mu, \Delta P, t, F, R_0, R_{\phi,n}, V, \tau \dots),$$

где ρ — плотность морской воды, кг/м³; μ — динамическая вязкость, Н · с/м²; ΔP — перепад давлений, Н/м²; t — температура морской воды, °С; F — площадь поверхности фильтрования, м²; R_0 и $R_{\phi,n}$ — сопротивление соответственно осадка и фильтровальной перегородки, м⁻¹; V — объем фильтрата, м³; τ — продолжительность фильтрования, с.

Количество образованного осадка в результате фильтрования (m_0 , кг) определялось по уравнению:

$$m_0 = m_2 - m_1 - \Delta m,$$

где m_1 , m_2 — масса фильтрующей загрузки соответственно до и после фильтрования, кг; Δm — погрешность измерительного прибора, кг.

В экспериментальном исследовании использовали электрометрический способ определения солености морской воды, основанный на измерении относительной электропроводности морской воды с помощью бесконтактного индукционного солемера TDS-4, что позволило ускорить и в принципе увеличить точность ее определения по сравнению с аргентометрическим титрованием (Федосов, Орадовский, 1973; Methods ..., 1983).

Результаты и их обсуждение

Нами осуществлена разработка балльной системы оценки однослойных и двухслойных насыпных фильтров, позволяющая провести сравнительный анализ работы фильтров.

В качестве технической системы принят элемент, с которым непосредственно взаимодействует объект (морская вода). Технической системой являются типовые системы, в которых протекает исследуемый процесс (фильтрование морской воды через насыпные зернистые перегородки). Конфликтующую пару в данном процессе составляют фильтрующие материалы и размеры пор. Один из элементов конфликтующей пары может быть двояким.

Рассматривается система, состоящая из системы фильтрующих колонн и мест забора морской воды, в которой внешней средой является морская вода, а изделием являются одноступенчатые и многоступенчатые насыпные фильтры.

Также разработан перечень ресурсов, имеющихся в нашем распоряжении в процессе исследования (морская вода и фильтрующие материалы). Эти ресурсы называются вещественно-полевыми ресурсами (ВПР). За основу взята теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) Г.С. Альтшуллера (Альтшуллер, 1979; Альтшуллер и др., 1989).

Имеющиеся в нашем распоряжении ресурсы (морская вода, фильтрующие материалы) оценивались по шкале от -1 до +1 балла, где +1 балл — много, вредный, бесплатный, готовый; 0 — достаточный, нейтральный, копеечный; -1 — мало, полезный, дорогой, производственный.

Поскольку рыбоводные предприятия, занимающиеся выращиванием гидробионтов, производят забор морской воды непосредственно из залива или бухты, количество, качество, стоимость и готовность ресурса (морская вода) оценивались как +1 балл, так как его много, он бесплатный и готовый. Использование природных зернистых фильтрующих материалов позволяет увеличить периоды между необходимостью регенерации зернистой загрузки. Данный ресурс по количеству и готовности оценивался как +1 балл: его много и он готовый. По стоимости и качеству он оценивался как 0 баллов, поскольку этот ресурс достаточный, копеечный и нейтральный.

Графики зависимости пропускной способности однослойных насыпных фильтров ($\Pi \cdot 10^{-3}$ м/с) от размеров фильтрующего материала ($d \cdot 10^{-2}$, м) изображены на рис. 2. Сравнительная характеристика фильтрующей загрузки по размеру частиц приведена в табл. 1.

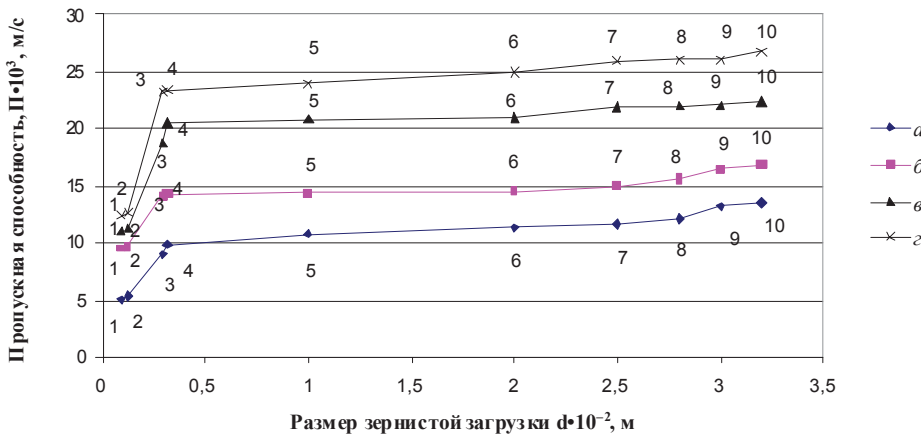


Рис. 2. График зависимости пропускной способности однослойных насыпных фильтров от размеров зернистой загрузки (по диаметру) при разности давлений соответственно над и под перегородкой: *a* — 931,95 Н/м²; *б* — 1863,90 Н/м²; *в* — 2795,85 Н/м²; *г* — 3727,80 Н/м²; 1 — морской песок; 2 — сульфуголь; 3 — пластиковая загрузка; 4 — пластиковая загрузка в парафине; 5 — керамика; 6 — цеолиты; 7 — морской гравий; 8 — электрокорунд (алунд); 9 — керамзит; 10 — биошары

Fig. 2. Dependence of discharge capacity for single-layer filters on diameter of the filler granules under different pressure gradient across the partition wall: *a* — 931.95 N/m²; *б* — 1863.90 N/m²; *в* — 2795.85 N/m²; *г* — 3727.80 N/m². Types of filler: 1 — sea sand; 2 — sulphonated coal; 3 — plastic; 4 — plastic in paraffin; 5 — ceramics; 6 — zeolite; 7 — gravel; 8 — alundum; 9 — haydite; 10 — bio-balls

Таблица 1

Сравнительная характеристика фильтрующей загрузки по размеру частиц

Table 1

Comparison of filler granules fineness	
Фильтрующая загрузка	Размер частиц по диаметру (d), м
Биошары	$3,2 \cdot 10^{-2}$
Керамзит	$3,0 \cdot 10^{-2}$
Электрокорунд (алунд)	$2,8 \cdot 10^{-2}$
Гравий (морской)	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Цеолиты	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Керамика	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Пластиковая загрузка в парафине	$0,32 \cdot 10^{-2}$
Пластиковая загрузка	$0,3 \cdot 10^{-2}$
Сульфуголь	$0,125 \cdot 10^{-2}$
Песок (морской)	$0,1 \cdot 10^{-2}$

На рис. 2 отчетливо прослеживается прямая зависимость пропускной способности от размеров зернистой фильтрующей загрузки. Наибольшей пропускной способностью обладает материал биошары ($\Pi_{\text{биш}} = 26,7 \cdot 10^{-3}$ м/с), однако данный материал в наименьшей степени задерживает взвешенные механические примеси в морской воде. Наименьшей пропускной способностью обладает морской песок, однако этот зернистый материал обеспечивает максимальное задержание механических примесей при фильтровании.

Графики зависимости пропускной способности однослойных насыпных фильтров ($\Pi \cdot 10^3$, м/с) от времени фильтрования (τ , с) представлены на рис. 3.

Обычно размер пор фильтрующей перегородки больше размера взвешенных частиц, однако только первые порции фильтрата уносят с собой не задержанные пере-

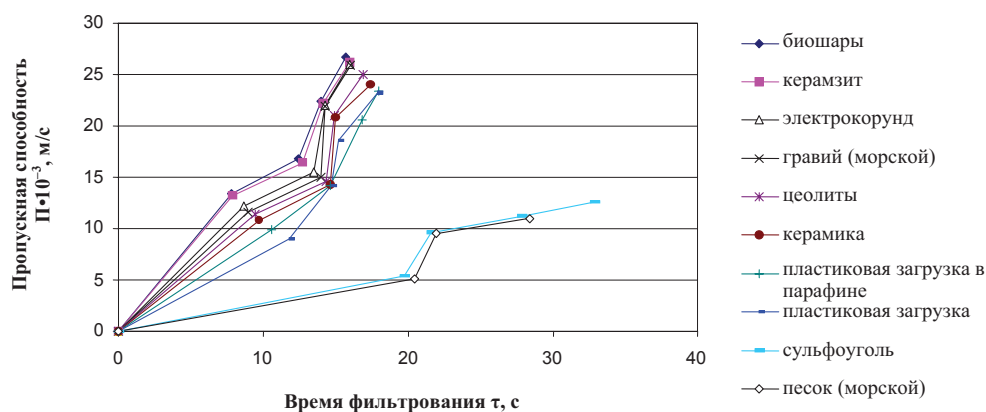


Рис. 3. График зависимости пропускной способности однослойных фильтров от времени фильтрования

Fig. 3. Dependence of discharge capacity for single-layer filters on time of filtering

городкой частицы. В дальнейшем устья пор перекрываются сводами из частиц, которые предохраняют капилляры от засорения. По мере фильтрования образуется слой осадка, толщина которого увеличивается. Этот слой начинает играть основную роль в задержании последующих частиц, размеры которых больше размеров капилляров осадка, и пропускная способность фильтра снижается (ГБТ 550/2013; Угрюмова и др., 2007).

Экспериментально установлено физическое противоречие (ФП), мешающее достижению исследовательской задачи: в процессе фильтрования происходит быстрое зарастание пор фильтрующих материалов, и качество очистки снижается, следовательно, возникает необходимость достичь увеличения пропускной способности фильтра, сокращения времени процесса очистки морской воды и уменьшения зарастания пор фильтрующих материалов.

График сравнительного анализа пропускной способности однослойных и двухслойных насыпных фильтров ($\Pi \cdot 10^3$, м/с) от объемов пропускаемой через фильтр морской воды ($V \cdot 10^{-4}$, м³) представлен на рис. 4. Результаты экспериментального исследования морской воды на солесодержание в апреле 2013 г. представлены в табл. 2.

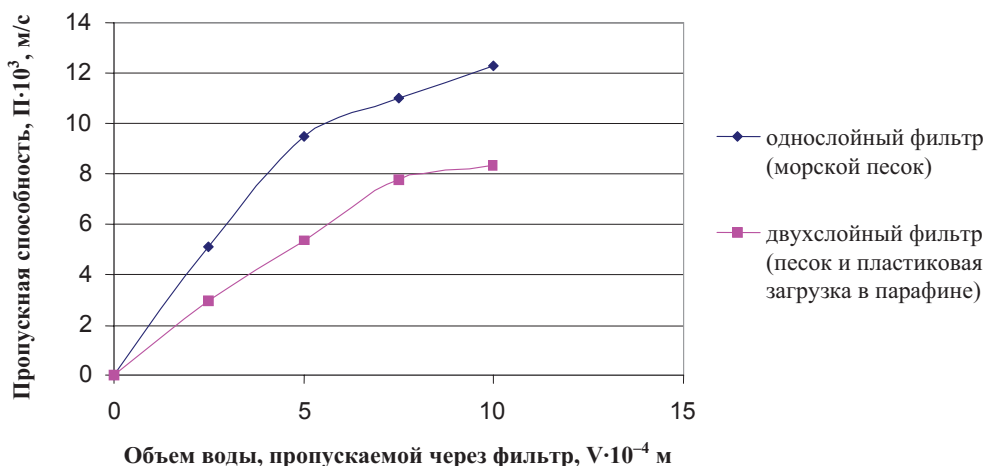


Рис. 4. График сравнительной оценки пропускной способности однослойного и двухслойного фильтров

Fig. 4. Comparative discharge capacity for single-layer and double-layer filters

Значения солёности в пробах незначительно различаются, на это могли повлиять следующие факторы: гранулометрический состав грунтов и состав проб воды, отобранных в зоне смешения пресных и морских вод (геохимический барьер). Проба №

Таблица 2

Результаты экспериментального исследования морской воды на солесодержание
в апреле 2013 г. в бухте Северной, ‰

Table 2

Seawater salinity in the Severnaya Bay in April 2013, ‰

Номер пробы	Солесодержание до процесса фильтрации	Солесодержание после процесса фильтрации	Вероятность опреснения после использования зернистых материалов, %
1	33,93	33,92	0
2	33,81	33,81	0
3	33,87	33,86	1
4	33,74	33,92	0
5	33,79	33,81	1
6	33,85	33,86	0

1 фильтровалась через биошары, керамзит и электрокорунд (алунд). Проба № 2 фильтровалась через морской гравий, цеолиты и керамику. Ни один из этих фильтрующих материалов не способствовал снижению солености в пробах. Проба № 3 фильтровалась через пластиковую загрузку в парафине, пластиковую загрузку, сульфуголь и морской песок. Пробы № 4, 5, 6 проходили фильтрацию через двухслойные фильтры с насыпной зернистой перегородкой. Проба № 4 фильтровалась через керамзит и гравий; керамзит и керамику. Проба № 5 фильтровалась через морской песок и сульфуголь; морской гравий и морской песок. Проба № 6 фильтровалась через цеолиты и пластиковую загрузку; песок и пластиковую загрузку в парафине. Как показали исследования, незначительное снижение солености наблюдалось после применения в качестве наполнителя фильтров сульфугля.

Анализ пропускной способности однослойных и двухслойных насыпных фильтров позволил сделать вывод, что наиболее эффективными являются двухслойные фильтры с наполнителем морской песок и пластиковая загрузка.

В табл. 3 представлены результаты органолептической оценки качества морской воды после фильтрации через насыпные зернистые материалы.

Через каждый тип фильтрующей загрузки (площадь сита — $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$) пропускался заданный объем морской воды V ($2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$). Температура пропускаемой через фильтрующую загрузку морской воды была 20°C . Для достоверности эксперимента исследования повторялись с температурой 60°C , поскольку при повышении температуры органолептические свойства воды изменяются.

Рыбохозяйственные водные объекты или их участки могут относиться к одному из трех классов качества: к высшей категории (очень чистая) относятся места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных и ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охранные зоны хозяйств любого типа для искусственного разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений; к первой категории (чистая) относятся водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода; ко второй категории (слабо загрязненная) относятся водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей (ГОСТ 17.1.2.04-01; Перечень ..., 1999*). При этом на поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей, морская вода не должна иметь посторонней окраски и передавать посторонних запахов и привкусов мясу гидробионтов (ГОСТ 17.1.3.07-99; ОСТ 155 37 2-87; Перечень ..., 1999*).

Исследование показало, что после фильтрации морской воды через подобранные нами фильтрующие материалы качество фильтрата отвечало высшей и 1-й категориям, что соответствует нормам морской воды для рыбоводных предприятий, занимающихся

* Перечень рыбохозяйственных нормативов: ПДК и ОБУВ вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М., 1999. 35 с.

Результаты органолептической оценки качества морской воды после фильтрования через зернистые материалы (Альпшуллер, 1979; Альпшуллер и др., 1989; Угрюмова и др., 2012)

Results of organoleptic evaluation of the seawater quality after filtration through granulated materials (from: Альпшуллер, 1979; Альпшуллер и др., 1989; Угрюмова и др., 2012)

Тип фильтра, фильтрующий материал	Объем воды, м³	Пропускная способность фильтра, м/с	Температура, °С	Цветность, град по Кориолису (< 35 град — малоцветные, > 35 град — цветные)	Мутность и прозрачность, баллы	Запах, баллы	Содержание соли, привкус, мг/л	Пенистость				
Однослойные насыпные фильтры												
Биошары	2,5·10 ⁻⁴	13,4·10 ⁻³	20	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	500	Солёный	Отсутствует
	5,0·10 ⁻⁴	16,8·10 ⁻³										
	7,5·10 ⁻⁴	22,4·10 ⁻³	60	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	26,7·10 ⁻³										
Керамзит	2,5·10 ⁻⁴	13,2·10 ⁻³	20	33	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	16,4·10 ⁻³										
	7,5·10 ⁻⁴	22,1·10 ⁻³	60	34	Малоцвет.	2	Опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	26,1·10 ⁻³										
Электрокорунд (алунд)	2,5·10 ⁻⁴	12,1·10 ⁻³	20	33	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	15,5·10 ⁻³										
	7,5·10 ⁻⁴	22,0·10 ⁻³	60	34	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	26,0·10 ⁻³										
Гравий (морской)	2,5·10 ⁻⁴	11,6·10 ⁻³	20	33	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	14,9·10 ⁻³										
	7,5·10 ⁻⁴	21,9·10 ⁻³	60	34	Малоцвет.	2	Опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	25,9·10 ⁻³										
Цеолиты	2,5·10 ⁻⁴	11,4·10 ⁻³	20	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	0	Отсутствует	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	14,5·10 ⁻³										
	7,5·10 ⁻⁴	21,0·10 ⁻³	60	32	Малоцвет.	0	Прозрачн.	1	Оч. слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	25,0·10 ⁻³										
Пластиковая загрузка в парафине	2,5·10 ⁻⁴	9,9·10 ⁻³	20	33	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	14,2·10 ⁻³										
	7,5·10 ⁻⁴	20,5·10 ⁻³	60	34	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	23,3·10 ⁻³										

Пластиковая загрузка	2,5·10 ⁻⁴	9,0·10 ⁻³	20	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	14,1·10 ⁻³	60	33	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	18,6·10 ⁻³	20	36	Цвет.	2	Опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	23,2·10 ⁻³	60	37	Цвет.	2	Опалесц.	0	Отсутствует	«	«	«
Сульфуголь	2,5·10 ⁻⁴	5,3·10 ⁻³	20	31	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	9,6·10 ⁻³	60	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	0	Отсутствует	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	11,2·10 ⁻³	20	35	Малоцвет.	0	Прозрачн.	1	Оч. слабый	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	12,6·10 ⁻³	60	36	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
Песок (морской)	2,5·10 ⁻⁴	5,1·10 ⁻³	20	34	Малоцвет.	1	Опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	9,5·10 ⁻³	60	35	Малоцвет.	1	Опалесц.	1	Слабый	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	11,0·10 ⁻³	20	31	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	12,3·10 ⁻³	60	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
Двухслойные насыпные фильтры												
Керамзит и гравий (морской)	2,5·10 ⁻⁴	17,34	20	34	Малоцвет.	1	Опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	26,40	60	35	Малоцвет.	1	Опалесц.	1	Слабый	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	28,20	20	31	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	32,10	60	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
Керамзит и керамика	2,5·10 ⁻⁴	17,81	20	35	Малоцвет.	1	Опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	27,30	60	36	Малоцвет.	1	Опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	29,05	20	30	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	34,0	60	31	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
Песок (морской) и сульфуголь	2,5·10 ⁻⁴	40,20	20	36	Малоцвет.	1	Опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	43,14	60	37	Малоцвет.	1	Опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	57,55	20	33	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	66,48	60	34	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
Гравий (морской) и песок	2,5·10 ⁻⁴	29,38	20	31	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	34,13	60	32	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	2	Слабый	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	39,01	20	30	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	48,0	60	31	Малоцвет.	1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«	«
Цеолиты и пластиковая загрузка	2,5·10 ⁻⁴	22,33	20	35	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	5,0·10 ⁻⁴	29,90	60	36	Малоцвет.	0	Опалесц.	0	Отсутствует	«	«	«
	7,5·10 ⁻⁴	33,75	20	33	Малоцвет.	0	Прозрачн.	0	Отсутствует	«	«	«
	1,0·10 ⁻³	34,17	60	34	Малоцвет.	0	Опалесц.	0	Отсутствует	«	«	«

Окончание табл. 3
Table 3 finished

Тип фильтра, фильтрующий материал	Объем воды, м³	Пропускная способность фильтра, м/с	Температура, °С	Цветность, град по Кориолису (< 35 град — малоцветные, > 35 град — цветные)		Мутность и прозрачность, баллы		Запах, баллы	Содержание соли, привкус, мг/л		Пенистость
				32	33	0	Прозрач.		0	Отсутствует	
Песок и пластиковая загрузка в парафине	2,5·10 ⁻⁴	35,43	20	Малоцвет.		0	Прозрач.	0	Отсутствует	500	Соленый
	5,0·10 ⁻⁴	38,88		Малоцвет.							
	7,5·10 ⁻⁴	40,21	60	Малоцвет.		1	Сл. опалесц.	1	Оч. слабый	«	«
	1,0·10 ⁻³	49,93		Малоцвет.							

культивированием гидробионтов. В особенности для фильтрации морской воды подойдут керамика, электрокорунд, цеолиты и морской песок, однако несмотря на то что сульфоголь является отличным сорбентом, его использование не допускается, поскольку он придает цветность и мутность морской воде. При повышении температуры до 60 °С запах и привкус усиливались на 1 балл. Все пробы содержали 500 мг/л солей и в соответствии с действующим стандартом (ГОСТ 17.1.3.07-99) относятся к соленым. Пенистость отсутствовала во всех пробах морской воды, даже при повышении температуры фильтра.

Заключение

Разработан алгоритм поиска ВПР с целью повышения эффективности фильтра в направлении усовершенствования фильтрующей загрузки по отличительным показателям фильтра.

Экспериментально установлено, что подобранные нами объем, структура фильтрующих материалов и комбинация их составляющих обеспечивают максимальную пропускную способность.

На основании эксперимента сделан вывод, что пропускная способность биосаров самая высокая ($\Pi_{\text{бш}} = 26,7 \times 10^{-3}$ м/с). Это обусловлено тем, что размеры частиц биосаров ($d_{\text{бш}} = 3,2 \cdot 10^{-2}$ м) при образовании на их поверхности осадка предохраняют капилляры в наименьшей степени, чем в таком фильтрующем материале, как морской песок, чья пропускная способность самая низкая ($\Pi_{\text{м.п}} = 3,0 \cdot 10^{-3}$ м/с). Пропускная способность двухслойного фильтра самая высокая у комбинации керамзит + гравий ($\Pi_{\text{к+г}} = 6,01 \cdot 10^{-3}$ м/с), а самая низкая пропускная способность у комбинации морской песок + пластиковая загрузка в парафине ($\Pi_{\text{п+п.п}} = 2,94 \cdot 10^{-3}$ м/с).

В результате органолептической оценки и определения солености морской воды до и после фильтрации через насыпные зернистые материалы было установлено, что полученный фильтрат отвечает требованиям, предъявляемым к рыбоводным предприятиям.

Исходя из этого был сделан вывод о том, что подойдут все подобранные нами фильтрующие материалы, в особенности керамика, электрокорунд, цеолиты и морской песок, однако несмотря на то, что сульфоголь является отличным сорбентом, его использование не допускается, поскольку он придает цветность и мутность морской воде, а также при его использовании наблюдается незначительное снижение солености.

Было установлено, что значительное повышение температуры морской воды усиливает органолептические свойства, такие как цветность, мутность, запах и привкус.

Анализ пропускной способности однослойных и двухслойных насыпных фильтров позволил сделать вывод, что наиболее эффективными являются двухслойные фильтры с наполнителем морской песок и пластиковая загрузка.

В результате проведенного анализа сформулировано идеальное решение исследовательской задачи. Экспериментально установлено ФП, мешающее достижению исследовательской задачи, так как в процессе фильтрования происходит быстрое зарастание пор фильтрующего материала и качество очистки снижается.

Суммарная площадь поверхности всех песчинок зернистой загрузки очень велика. В процессе контакта тонкодисперсные взвеси, содержащиеся в морской воде, протекающей через загрузку, притягиваются к порам и оседают на них. При увеличении скорости протекания воды через загрузку сверх установленной нормы происходит срыв загрязнений с зерен. Поэтому скорость фильтрации ограничена, а производительность фильтра прямо пропорциональна площади сечения фильтрующей колонны (ГБТ 550/2013).

Дальнейшее исследование будет направлено на увеличение пропускной способности и уменьшение зарастания пор фильтрующих материалов.

Полученные данные могут быть использованы при проектировании установок для подготовки морской воды в линиях культивирования гидробионтов на рыбоводных предприятиях.

В настоящее время подана заявка на полезную модель. Присвоен № рег. 2013149736, дата приоритета 06.11.2013 г.

Список литературы

Алексеева Л.П., Драгинский В.Л., Дружинина Г.В. и др. Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении : сб. мат-лов. — М. : ВИМИ, 2001. — 51 с.

Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука : монография. — М. : Сов. радио, 1979. — 184 с.

Альтшуллер Г.С., Злотин Б.Л., Зусман А.В. Теория и практика решения изобретательских задач : метод. рекомендации. — Кишинев, 1989. — 127 с.

Миклашевский Н.В., Королькова С.В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры : монография. — СПб. : Арлит, 2000. — 240 с.

Угрюмова С.Д., Кучеренко Л.В., Перебейнос А.В., Макарова Е.В. Управление отходами пищевых производств на основе безотходных технологий : монография. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2007. — 231 с.

Угрюмова С.Д., Фёдорова А.И. Оценка надежной эксплуатации фильтрующей загрузки в линии культивирования дальневосточного трепанга // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2012. — Т. 27. — С. 171–180.

Угрюмова С.Д., Фёдорова А.И., Лоншаков С.А. Физические особенности процесса фильтрования морской и пресной воды через насыпные перегородки // Фундаментальные и прикладные вопросы естествознания : мат-лы 54-й Всерос. науч. конф. — Владивосток : ТОВ-МИ, 2011. — Т. 3. — С. 191–193.

Угрюмова С.Д., Фёдорова А.И., Панюкова И.В. Экспериментальное исследование насыпной загрузки в процессе фильтрования морской воды // Приморские Зори — 2012. Международные научные чтения : сб. науч. тр. — Владивосток, 2012. — С. 241–245.

Федосов М.В., Орадовский С.Г. Современные методы рыбохозяйственных морских гидрохимических исследований // Определение солёности морской воды. — М. : Пищ. пром-сть, 1973. — С. 37–44.

Methods of seawater analysis / eds. K. Grasshoff, K. Kremling, M. Ehrhardt. — Weinheim : Verlag Chemie, 1983.

Поступила в редакцию 27.12.13 г.