

Н.С. СЕРПОКРЫЛОВ
Л.В. БОРОНИНА
С.З. ТАЖИЕВА

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ПРУДОВОЙ ВОДЫ НА ФИЛЬТРАХ С РАДИАЛЬНО-ВОСХОДЯЩИМ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ

*RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF POND WATER PURIFICATION
ON THE FILTER RADIAL UPDRAFTS FLUID*

Приводятся результаты экспериментальных исследований работы фильтров с радиально восходящим потоком жидкости на прудовой воде по подбору материала загрузки. Определены расчетные и эксплуатационные параметры: высота загрузки, скорость фильтрования, размер фракции, время сорбции. Установлено, что бескольматационное выделение аммонийного азота на сорбционных фильтрах оборотных вод рыбоводных прудов с сохранением пищевой базы обеспечивает экспериментально рассчитанный слой щебня.

Ключевые слова: *фильтрующая загрузка, азот аммонийный, цеолит, взвешенные вещества, эффективность очистки, прудовая вода*

Отличительной особенностью очистки вод рыбоводных производств с помощью фильтров является установление режима, обеспечивающего выделение взвешенных веществ до 70–75 %, таким образом, чтобы не возникало коагулирования пор сорбентов и сохранялись продукты питания для рыб. Обеспечить заданную эффективность очистки и возврата продуктов питания для рыб с очищенной и/или промывной водой можно путем регулирования технологических параметров фильтрования [1–10].

Проведены экспериментальные исследования (рис. 1) по выбору фильтрующих материалов для фильтров с радиально восходящим потоком жидкости, включающие в себя два этапа: 1-й – определение эффективности очистки вод от взвешенных веществ и аммонийного азота при нисходящем фильтровании через слой загрузки высотой 200 мм (рис. 1, а): щебень (фракции 40–60 и 20–30 мм); керамзит (20–25); керамзитобетон (20–25); резиновая крошка (5–6); пенополистирольные гранулы (2–5); 2-й этап – экипировка модели радиального фильтра (рис. 1, б) выбранной загрузкой и проведение исследований в радиальном направлении фильтрования.

The results of experimental studies of the filters with radially upward flow of fluid in the pond water on the selection of downloads of the material and its main technological parameters: loading height, filtration rate, grain size, the sorption time.

Keywords: *filtering media, ammonia nitrogen, zeolite, suspended solids, purification efficiency, pond water*

Проведены исследования по изучению сорбционных свойств цеолитов (клиноптилолита) и адсорбента-катализатора (АК-ЦМ): в лабораторных условиях выполняли по методике НИИ ВОДГЕО [1-3]; в опытно-промышленных условиях – на моделях диаметром 0,15 и высотой загрузки 0,8 и 1,2 м.

Исследования влияния технологических факторов на прудовой воде проведены на модели водоприемно-очистного устройства (рис. 2) в соответствии с заявкой на патент №2015111316/13 от 27.03.2015 г. [11]. Рабочей жидкостью являлась прудовая вода Кизанского рыбоводного завода. Установка работала в режиме радиально-восходящего фильтрования с центральным подводом жидкости для механической очистки (взвешенные вещества, планктон) и в режиме восходящего фильтрования для сорбции азота аммонийного на клиноптилолите. Толщина загрузки составляла 0,1 м, высота – 0,5; 0,8; 1,2 м. Подача воды из пруда осуществлялась погружным насосом, подвешенным на плоту. Расход подаваемой воды обеспечивала скорость фильтрования 1-8 м/ч. Исследования проводились в мае-июне 2015 г. Результаты исследований представлены в табл. 1, 2 и в виде графиков (рис. 3, 4).

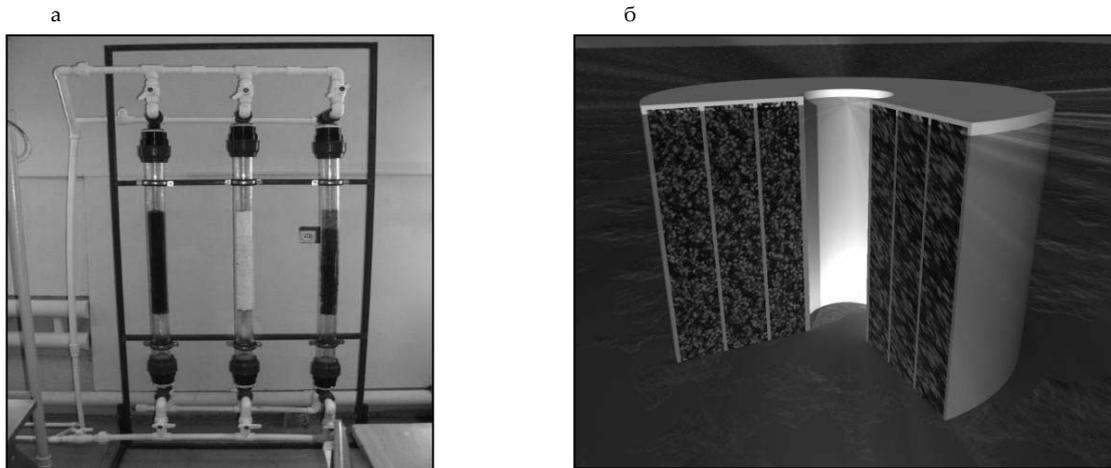


Рис. 1. Схемы лабораторных установок: а – по выбору фильтрующих загрузок; б – по определению технологических параметров режима очистки вод

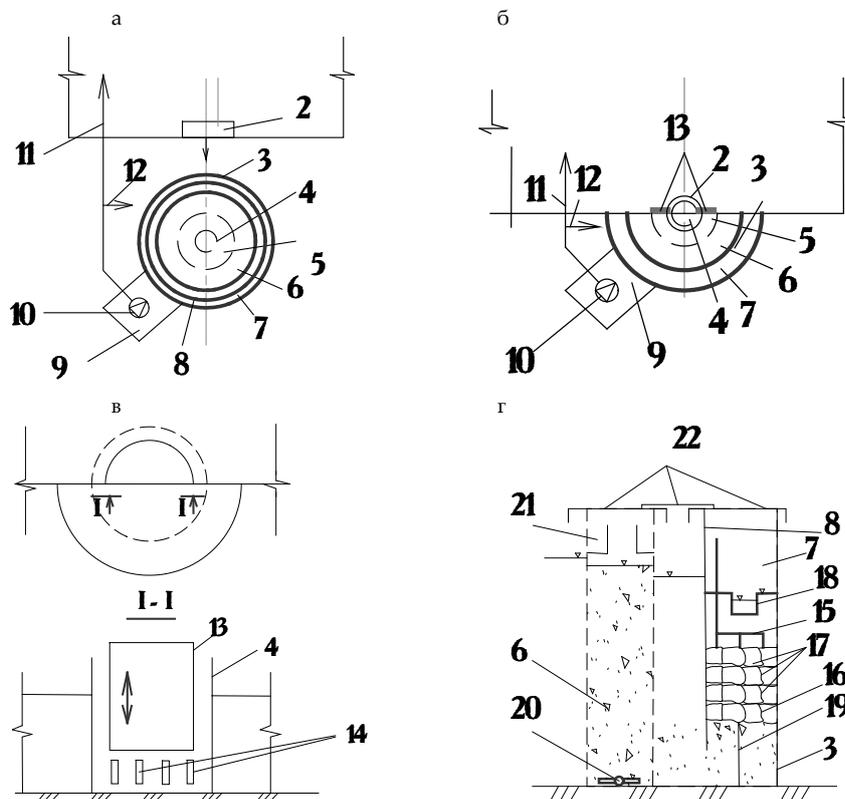


Рис. 2. Водоприемно-очистное устройство для рыбоводных акваторий (прудов): а – водоприемно-очистное устройство для рыбоводных акваторий в виде цилиндра, расположенное вне акватории; б – водоприемно-очистное устройство для рыбоводных акваторий в виде полуцилиндра, расположенное на берегу; в – фрагмент вертикального цилиндрического колодца с отверстиями; г – фрагмент фильтрующих второй и третьей по ходу движения воды секций

Сгруппируем экспериментальные данные табл. 1 и 2 в таблицу оценки эффективностей очистки вод от ВВ и NH_4^+ с учетом фракционного состава и высоты фильтрующего слоя (табл. 3).

Сравним влияние размера фракций на эффективность очистки вод от ВВ и NH_4^+ при рав-

ных скоростях фильтрования и высоте загрузки (рис. 4, табл. 3). Можно заметить, что эффективность очистки вод от NH_4^+ при всех типах фракций загрузок практически одинакова. Разница в значениях не превосходит ошибку аналитического определения.

Таблица 1

Интервал остаточных концентраций взвешенных веществ и аммонийного азота при скорости фильтрования 1-8 м/ч

№ п/п	Слой загрузки h, м	Остаточная концентрация ВВ/ NH_4^+ при $V_{\text{ф}}$ м/ч					
		1	2	4	5	6	8
Фракция 2,0-3 мм							
1	<u>2,0-3,0</u> 0,5	<u>4,8-5,6</u> 0,42-0,51	<u>5,5-8,5</u> 0,48-0,62	<u>6,4-9,5</u> 0,55-0,70	<u>8,1-10,8</u> 0,62-0,78	<u>10,0-14,1</u> 0,70-0,82	<u>12,5-16,7</u> 0,75-0,91
2	<u>2,0-3</u> 0,8	<u>4,4-5,2</u> 0,36-0,48	<u>5,3-7,9</u> 0,42-0,48	<u>4,8-7,0</u> 0,50-0,58	<u>5,5-8,0</u> 0,56-0,66	<u>6,7-10,5</u> 0,62-0,74	<u>8,5-14,0</u> 0,65-0,76
3	<u>2,0-3,0</u> 1,2	<u>2,7-3,5</u> 0,26-0,32	<u>2,6-4,9</u> 0,28-0,42	<u>3,8-6,0</u> 0,42-0,52	<u>0,49-7,2</u> 0,50-0,20	<u>5,6-8,2</u> 0,61-0,70	<u>7,1-9,2</u> 0,65-0,70
Фракция 1,5-2,5 мм							
1	0,5	<u>3,0-4,0</u> 0,3-0,51	<u>4,1-7,0</u> 0,35-0,58	<u>5,5-8,0</u> 0,45-0,52	<u>6,5-9,5</u> 0,50-0,60	<u>10,2-13,1</u> 0,55-0,67	<u>12,1-15,2</u> 0,62-0,7
2	0,8	<u>2,4-3,2</u> 0,2-0,5	<u>3,5-5,2</u> 0,28-0,40	<u>4,1-6,0</u> 0,35-0,45	<u>5,2-7,1</u> 0,46-0,54	<u>6,4-10,0</u> 0,52-0,6	8,3-12,0 0,55-0,72
3	1,2	<u>1,0-2,5</u> 0,1-0,2	<u>2,8-4,5</u> 0,21-0,30	<u>3,5-5,5</u> 0,31-0,40	<u>4,5-6,0</u> 0,41-0,5	<u>5,2-7,8</u> 0,51-0,6	6,7-11,0 1,6-0,8
Фракция 1,0-2,0 мм							
1	0,5	<u>1,0-2,2</u> 0,2-0,35	<u>2,0-3,2</u> 0,32-0,5	<u>2,5-3,5</u> 0,35-0,43	3,2-4,5 0,38-0,48	<u>4,0-5,5</u> 0,42-0,54	<u>5,1-6,5</u> 0,48-0,6
2	0,8	<u>0,8-1,5</u> 0,15-0,22	<u>1,2-1,8</u> 0,24-0,30	1,5-2,2 0,26-0,36	<u>1,8-2,5</u> <u>0,32-0,40</u>	<u>2,0-2,6</u> 0,38-0,46	<u>2,2-4,0</u> 0,42-0,50
3	1,2	<u>0,5-0,9</u> 0,12-0,20	<u>0,71-1,2</u> 0,15-0,21	<u>1,0-1,2</u> 0,22-0,31	<u>1,1-1,5</u> <u>0,25-0,35</u>	<u>0,2-2,0</u> 0,28-0,40	<u>1,5-2,2</u> 0,34-0,45

Таблица 2

Эффективность очистки прудовых вод \mathcal{E} , %, от взвешенных веществ ВВ и аммонийного азота NH_4^+ при скорости фильтрования 1-8 м/ч

№ п/п	Слой загрузки h, м	\mathcal{E} , %, ВВ/ NH_4^+							Средний	%
		1	2	4	5	6	8			
Фракция от 2,0-3,0 мм										
1	0,5	<u>77,9</u> 94,5	<u>63,1</u> 94,2	<u>0,5</u> 93,4	<u>50,0</u> 92,6	<u>36,3</u> 92,0	<u>23,1</u> 91,3	<u>51,82</u> 93,2	145,0	
2	0,8	<u>74,7</u> 95,1	<u>65,6</u> 95,0	<u>68,9</u> 94,0	<u>64,2</u> 93,2	<u>54,7</u> 92,4	<u>41,5</u> 92,0	<u>61,6</u> 94,1	155,7	
3	1,2	<u>85,6</u> 96,8	<u>80,5</u> 96,1	<u>74,2</u> 94,8	<u>67,9</u> 93,9	<u>63,7</u> 92,3	<u>56,8</u> 91,6	<u>71,6</u> 94,3	165,9	
Фракция 1,5-2,5 мм										
1	0,5	<u>81,5</u> 95,6	<u>75,8</u> 94,9	<u>64,2</u> 94,6	57,9 93,9	<u>44,2</u> 93,1	<u>38,9</u> 92,7	<u>60,9</u> 94,1	155,0	
2	0,8	<u>85,2</u> 96,1	<u>79,4</u> 96,2	<u>64,7</u> 95,6	<u>57,9</u> 94,4	<u>56,8</u> 93,7	<u>46,3</u> 93,0	<u>65,0</u> 94,8	159,8	
3	1,2	<u>91,1</u> 98,3	<u>81,3</u> 97,1	<u>76,3</u> 96,2	<u>72,4</u> 93,9	<u>65,8</u> 92,7	<u>55,3</u> 91,2	<u>73,7</u> 95,5	169,1	
Фракция 1,0-2,0 мм										
1	0,5	<u>91,6</u> 96,7	<u>86,3</u> 95,4	<u>84,2</u> 95,6	<u>79,5</u> 95,2	<u>69,5</u> 94,5	<u>66,8</u> 93,9	<u>79,65</u> 95,2	174,1	
2	0,8	<u>93,4</u> 97,9	<u>92,1</u> 96,8	<u>90,2</u> 96,5	<u>88,7</u> 96,0	<u>88,0</u> 95,3	<u>83,4</u> 94,9	<u>89,1</u> 96,2	185,3	
3	1,2	<u>96,3</u> 98,6	<u>95,6</u> 98,0	<u>94,2</u> 97,1	<u>93,2</u> 96,7	<u>91,6</u> 96,2	<u>90,2</u> 95,6	<u>93,5</u> 97,0	190,5	

Таблица 3

Сравнительная эффективность очистки вод от ВВ и NH_4^+ с учетом фракционного состава и высоты фильтрующего слоя

№ п/п	$H_{\text{загр}}, \text{м}$	Средняя эффективность очистки, %:		
		ВВ	NH_4^+	сумма
Фракция 2,0-3,0 мм				
1	0,5	51,8	93,2	145,0
2	0,8	61,6	94,1	155,7
3	1,2	71,6	94,3	165,9
Фракция 1,5-2,5 мм				
1	0,5	60,9	94,1	155,0
2	0,8	65	94,8	159,8
3	1,2	73,7	95,5	169,1
Фракция 1,0-2,0 мм				
1	0,5	79,7	95,2	174,9
2	0,8	89,1	96,2	185,3
3	1,2	93,4	97,1	190,5

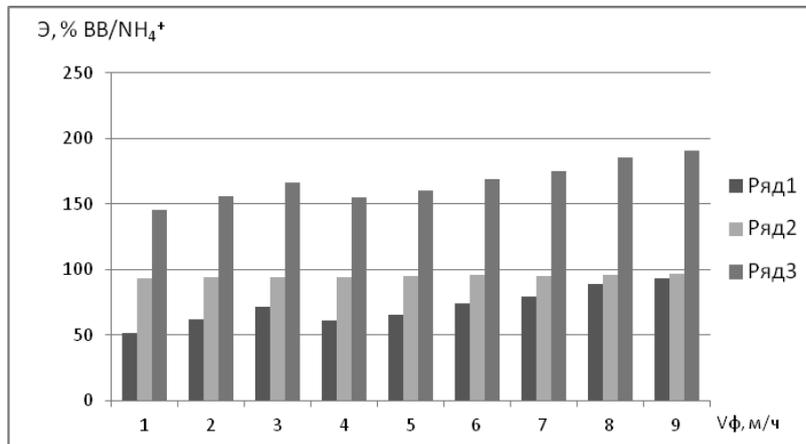


Рис. 3. Эффективность очистки прудовых вод по взвешенным веществам и аммонийному азоту при скорости фильтрования 1 - 8 м/ч: ряд 1 – ВВ; ряд 2 – NH_4^+ ; ряд 3 – сумма; 1, 4, 7 – высота загрузки 0,5 м; 2, 5, 8 – высота загрузки 0,8 м; 3, 6, 9 – высота загрузки 1,2 м

Таблица 4

Сравнительная эффективность очистки вод от ВВ и NH_4^+ с учетом фракционного состава и высоты фильтрующего слоя

Высота загрузки, дм	Эффективность очистки вод, %			Фракция, мм
	ВВ	NH_4^+	сумма	
5	51,8	93,2	145,0	2,0–3,0
5	60,9	94,1	155,0	1,5–2,5
5	79,7	95,2	174,9	1,0–2,0
8	60,9	94,1	155,0	1,5–2,5
8	79,7	95,2	174,9	1,0–2,0
8	61,6	94,1	155,7	2,0–3,0
8	65,0	94,8	159,8	1,5–2,5
8	89,1	96,2	185,3	1,0–2,0
12	71,6	94,3	165,9	2,0–3,0
12	73,7	95,5	169,1	1,5–2,5
12	93,4	97,1	190,5	1,0–2,0

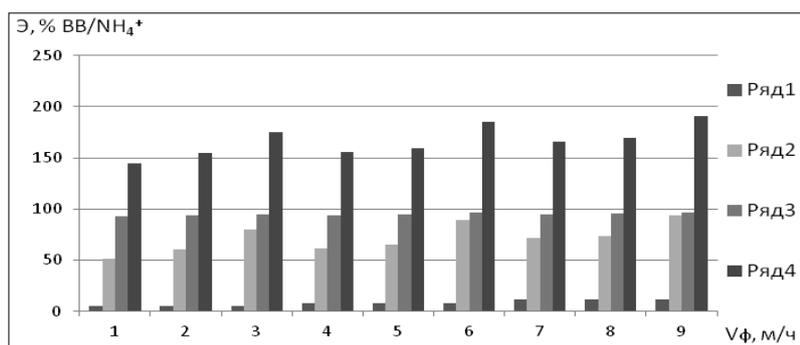


Рис. 4. Сравнительная эффективность очистки прудовой воды в зависимости от скорости фильтрования, размера фракций и высоты загрузки: ряд 1-3 – высота загрузок 5 дм; ряд 4-6 – высота загрузок 8 дм; ряд 7-9 – высота загрузок 12 дм; ряд 2 – эффективность (%) по ВВ; ряд 3 – эффективность (%) по NH₄⁺; ряд 4 – суммарный эффект очистки (%)

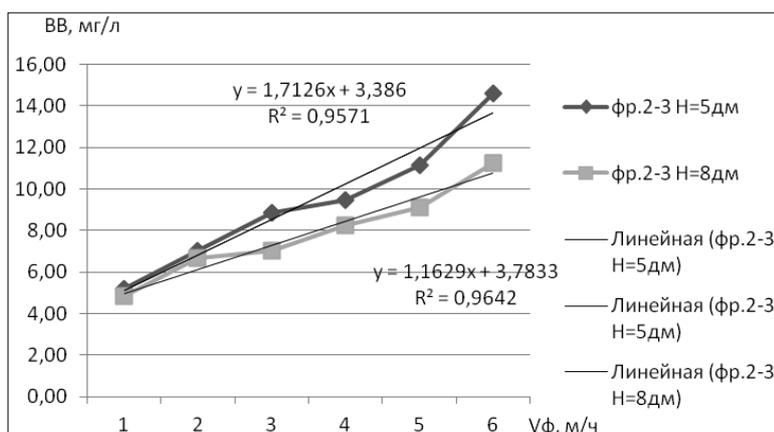


Рис. 5. Зависимость остаточных ВВ в очищенных водах, мг/л, от скорости фильтрования при очистке прудовых вод, м/ч: 1-1; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-8; ряд 1 – фракция 2-3 мм, высота загрузки 0,5 м; ряд 2 – фракция 2-3 мм, высота загрузки 0,8 м; ряд 3 – фракция 1,5-2,5 мм, высота загрузки 0,5 м; ряд 4 – фракция 1,5-2,5 мм, высота загрузки 0,8 м

Таблица 5
Остаточные концентрации ВВ при фильтровании прудовой воды через водоприемно-очистное устройство

Размер фракций, мм	Высота загрузки Н, дм	Скорость фильтрования, м/ч					
		1	2	4	5	6	8
2-3	5	5,21	7,02	8,85	9,45	11,15	14,60
2-3	8	4,82	6,65	7,05	8,25	9,10	11,25
1,5-2,5	5	3,50	5,05	6,75	8,00	10,65	13,12
1,5-2,5	8	2,80	4,35	5,05	6,15	8,21	10,15

Исходя из остаточных концентраций в очищенных водах по ВВ, для сохранения части продуктов питания в очищенных водах рекомендуются загрузки фракциями 1,5-2,5 и 2-3 мм, высотой 0,5 и 0,8 м (табл. 4, рис. 4).

Поскольку для практики эксплуатации важно иметь остаточные концентрации ВВ, которые представлены кормовыми элементами, определим соот-

ветствующие зависимости от скорости фильтрования (рис. 5).

С учетом «рабочих» фракций 2-3 и 1,5-2,5 мм выразим расчетные зависимости остаточных концентраций ВВ через данные табл. 5.

Представим линейную зависимость остаточных концентраций от скорости фильтрования при различных диаметрах фракций и высоте загрузки клиноптилолита (рис. 6, 7).

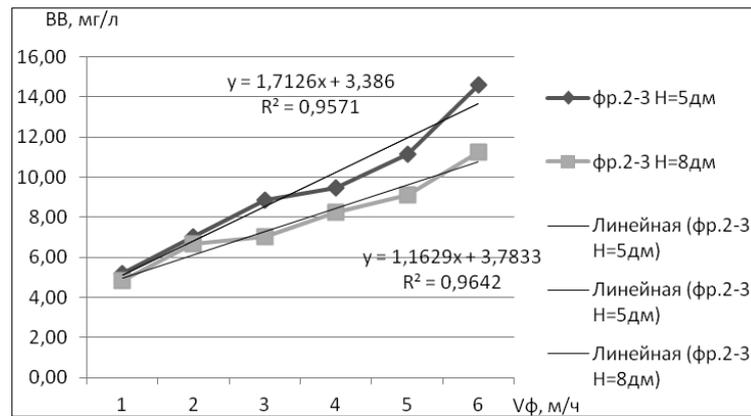


Рис. 6. Зависимость остаточных ВВ в очищенных водах, мг/л, от скорости фильтрации при очистке прудовых вод, м/ч: 1 - 1; 2 - 3; 3 - 4; 4 - 5; 5 - 6; 6 - 8 (фракция 2-3 мм, $H_{\text{загр}} = 0,5$ и $0,8$ м)

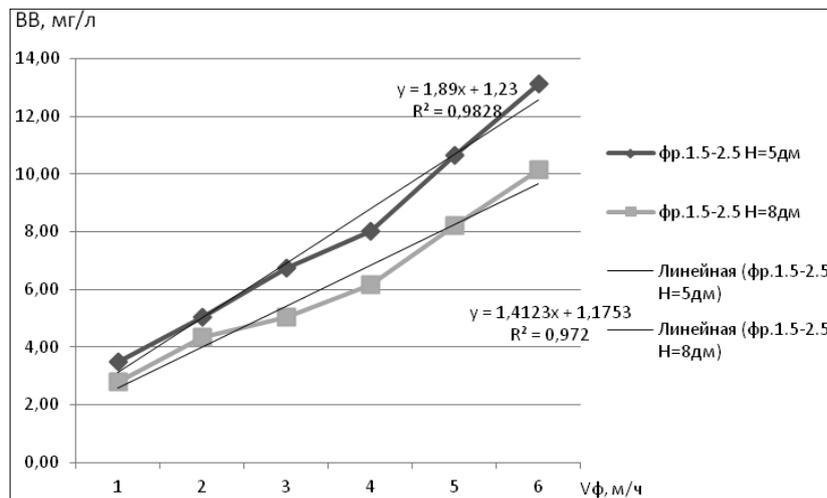


Рис. 7. Зависимость остаточных ВВ в очищенных водах, мг/л, от скорости фильтрации при очистке прудовых вод, м/ч: 1 - 1; 2 - 3; 3 - 4; 4 - 5; 5 - 6; 6 - 8 (фракция 1,5-2,5 мм, $H_{\text{загр}} = 0,5$ и $0,8$ м)

Расчет остаточных концентраций ВВ, мг/л, в зависимости от скорости фильтрации, $x = 1 - 8$ м/ч.

Фракция 2-3 мм:

$$y = 1,7126x + 3,386, (R^2 = 0,9571), H = 0,5 \text{ м}, \quad (4)$$

$$y = 1,1629x + 3,7833, (R^2 = 0,9642), H = 0,8 \text{ м}. \quad (5)$$

Фракция 1,5-2,5 мм:

$$y = 1,89x + 1,23, (R^2 = 0,9828), H = 0,5 \text{ м}. \quad (6)$$

$$y = 1,4123x + 1,1753, (R^2 = 0,972), H = 0,8 \text{ м}. \quad (7)$$

Полученные зависимости (4) – (7) с высокими коэффициентами детерминации (более 0,95) указывают на достоверность концентраций и рекомендуются для расчета количества возвращаемого корма в оборотной прудовой воде.

Выводы. Экспериментально установлено, что бескольматационное выделение аммонийного азота на сорбционных фильтрах оборотных вод рыбозводных прудов с сохранением пищевой базы обе-

спечивает слой щебня 0,6 м двух фракций: 15–20 и 5–10 мм. Анализ полученных результатов позволил определить расчетные и эксплуатационные параметры процесса: приоритетным является сорбент клиноптилолит, время сорбции – 25 мин, скорость фильтрации 2–4 м/ч при высоте загрузки 0,8–1 м и фракции 1–2,5 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гандурина Л.В., Буцева Л.Н. Водорастворимые полимеры, их свойства и области применения // Общественные вопросы развития химической промышленности: Обзорная информация / НИИТЭХИМПИ. М., 1980. Вып. 12 (182). С. 62.
2. Гандурина Л.В. Современные способы повышения качества питьевой воды // Инженерное обеспечение объектов строительства: Обзорная информация / ВНИИТПИ. М., 2003. Вып. 4. С. 59.

3. Гетманцев С.В., Сычев А.В., Гандурина Л.В. Алгоритм выбора эффективного реагента для очистки природных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 9. С. 17–20.

4. Шилов Г.Е. Интегральные кривые однородного уравнения первого порядка // Успехи математических наук. 1950. Т. 5. Вып. 5 (39). С. 193–203.

5. Шилов Г.Е. Математический анализ. Второй специальный курс. М.: Физматлит, 1965.

6. Тажиева С.З. Сравнительная характеристика сорбционных свойств различных цеолитов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 9–16.

7. Боронина Л.В., Тажиева С.З., Колодяжев Ю.В. Исследование работы катализаторов при обеззараживании природной воды // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2011»: материалы Междунар. науч. конф. Астрахань, 2011. С. 94–97.

8. Тажиева С.З. О перспективах применения цеолитов для осветления и обеззараживания воды // Энергоресурсосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2011. С. 110–112.

9. Боронина Л.В., Тажиева С.З. Исследование работы осетровых рыбоводных заводов в Астраханской области // Современное состояние водообеспеченности и пути оптимизации хозяйственной деятельности в зоне западно-подстепных ильменей: материалы науч.-практ. конф. Астрахань, 2011. С. 204.

10. Сизов А.А. Повышение эффективности процесса и надежности систем очистки периодических сбросов сточных вод: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2010. 161 с.

11. Водоприемно-очистное устройство для рыбоводных акваторий (прудов), бассейнов, садков: заявка 2015111316 Российская Федерация: МПК E 02B9/04, E 02B1/02, B01D / Серпокрялов Н.С. (Россия), Боронина Л.В. (Россия), Тажиева С.З. (Россия); заявитель ГАОУ АО ВПО «АИСИ», Серпокрялов Н.С. Заявл. 27.03.15.

Об авторах:

СЕРПОКРЫЛОВ Николай Сергеевич

доктор технических наук,
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения
Ростовский государственный строительный университет
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая, 162,
тел. 8(863) 201-90-87
E-mail: serpokrilov@nm.ru

SERPOKRYLOV Nikolay S.

Doctor in Engineering Science, Professor of the Department
of Water Supply and Sewerage, Honored Worker of Science
and Technology of the Russian Federation,
Rostov State Construction University
344022, Russia, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya st., 162,
tel. 8(863) 201-90-87
E-mail: serpokrilov@nm.ru

БОРОНИНА Людмила Владимировна

кандидат технических наук,
профессор кафедры инженерных систем и экологии
Астраханский инженерно-строительный институт
414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 18,
тел. 8(8512)49-42-15
E-mail: boroninalv@gmail.com

BORONINA Lyudmila V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the
Department of Engineering Systems and Ecology, vice-rector
of scientific work
Astrakhan Civil Engineering Institute
414056, Russia, Astrakhan, Tatischeva st., 18,
tel. 8(8512)49-42-15
E-mail: boroninalv@gmail.com

ТАЖИЕВА Светлана Загировна

старший преподаватель кафедры инженерных систем
и экологии
Астраханский инженерно-строительный институт
414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 18,
тел. 8(8512)49-42-15
E-mail: polet-11@mail.ru

TAZHIEVA Svetlana Z.

Senior Lecturer of the Department of Engineering Systems
and Ecology, Head of Postgraduate Department,
Astrakhan Civil Engineering Institute
414056, Russia, of Astrakhan, Tatischeva st., 18,
tel. 8(8512)49-42-15
E-mail: polet-11@mail.ru

Для цитирования: Серпокрялов Н.С., Боронина Л.В., Тажиева С.З. Результаты экспериментальных исследований процессов очистки прудовой воды на фильтрах с радиально-восходящим потоком жидкости // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. №2(23). С. 36-42. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.8.

For citation: Serpokrylov N.S., Boronina L.V., Tazhieva S.Z. Results of experimental studies of pond water purification on the filter radial updrafts fluid // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2016. №2(23). Pp. 36-42. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.8.