

УДК 628.358(043):66.067

**С. З. БЕКБЕРГЕНОВА<sup>а</sup>, А. Э. ХАРЛАМОВА<sup>а</sup>, Н. С. СЕРПОКРЫЛОВ<sup>б</sup>**<sup>а</sup> Государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», г. Астрахань, Россия;<sup>б</sup> ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВ ПОДГОТОВКИ ВОД ДЛЯ РАЗВЕДЕНИЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ (НА ПРИМЕРЕ АРИДНЫХ ЗОН)**

**Аннотация.** В работе приведено теоретическое обоснование, выполнена разработка и исследование новой технологии и соответствующих устройств подготовки вод рыбоводных предприятий. Представлен материал о применении радиальных фильтров с применением цеолита для рыбоводных прудов и особенности очистки оборотных вод рыбоводных акваторий радиально-восходящим фильтрованием, проведены экспериментальные исследования и получены показатели очистки вод рыбоводных предприятий на различных фильтрующих и сорбционных материалах. Полученные данные, при условии накопления и обработки достаточного статистического материала по работе предлагаемых радиальных фильтров, позволят рекомендовать эту конструкцию для реализации технологии водообработки промышленных предприятий по разведению рыб. Это требует внедрения соответствующих технологий и установок очистки оборотных и сбросных сточных вод предприятий рыборазведения в промышленных условиях, а также изучение применимости разработанной технологии для очистки других типов вод рыборазведения.

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

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Российская Федерация располагает огромным рыбохозяйственным фондом, включающим прибрежные (территориальные) воды и внутренние моря, реки, водохранилища и озера. Собственно рыбохозяйственный фонд внутренних вод России к настоящему времени составляет 21 млн га озер, 416 тыс. км рек, свыше 11 млн га водохранилищ, созданных на крупных реках, и многочисленных прудов и водоемов на малых водотоках и балках, выработанных карьерах и пр. Между тем общая продуктивность рыбного хозяйства Волжского бассейна за последние 50 лет уменьшилась в 4,5–5,0 раз. Кроме того, одной из причин снижения рыбопродуктивности водоемов является увеличение в последние годы концентрации аммонийного азота и аммиака до 10–15 ПДК.

Поэтому актуальность решаемой проблемы в данной статье имеет важное социально-экономическое значение для рыбохозяйственной отрасли регионов России.

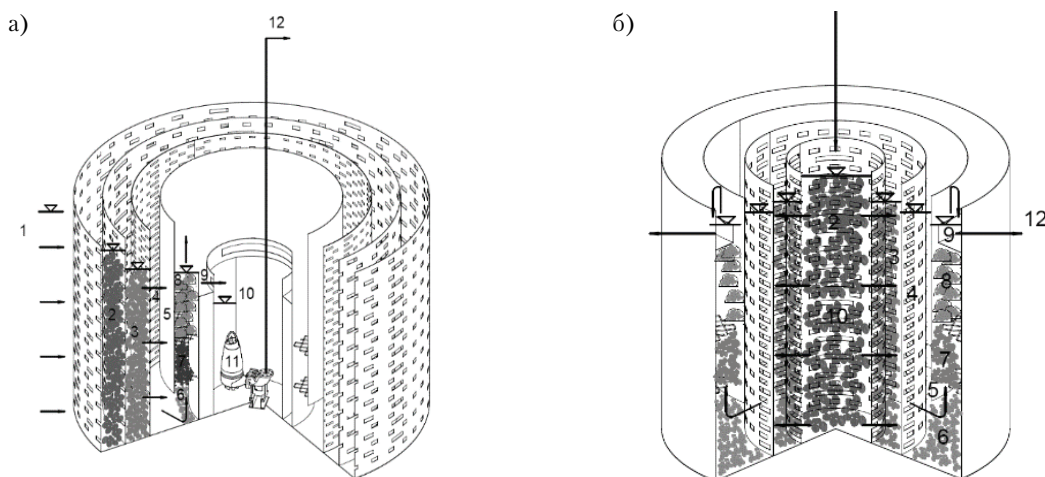
### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Для удаления аммония из вод промышленных предприятий по разведению рыб используются биологические, химические и физико-химические методы, которые разработаны в 80-х годах прошлого века, но применяются в единичных случаях ввиду значительных эксплуатационных затрат. Сорбция на природных цеолитах – сравнительно новая технология очистки вод, опыта применения ее вод рыбоводных комплексов еще нет, а также нет соответствующих технических и технологических решений. Разработаны технологии регулирования физико-химических факторов, влияющих на состав вод для выращивания рыб. Исследования в этом направлении проводили отечественные ученые: И. Г. Береза, Ю. И. Вдовин, Е. Л. Войтов, В. В. Дзюбо, Г. Г. Матишов, А. Н. Ким, А. А. Коровушкин, П. А. Михеев, Е. Н. Пономарева, Н. С. Серпокрьлов, В. Н. Швецов и др.

**Цель исследования** – теоретическое обоснование, разработка и исследование новой технологии и устройств подготовки вод рыбоводных предприятий.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

При очистке вод рыбоводных прудов Кизанского рыбоводного завода испытана технологическая схема выделения аммонийного азота фильтрованием сточной воды через клиноптилолит с размером фракций 2...3 мм, смонтированная на мобильной установке (рис. 1). Установлена эффективность выделения аммонийных загрязнений до нормативных величин [1–4].



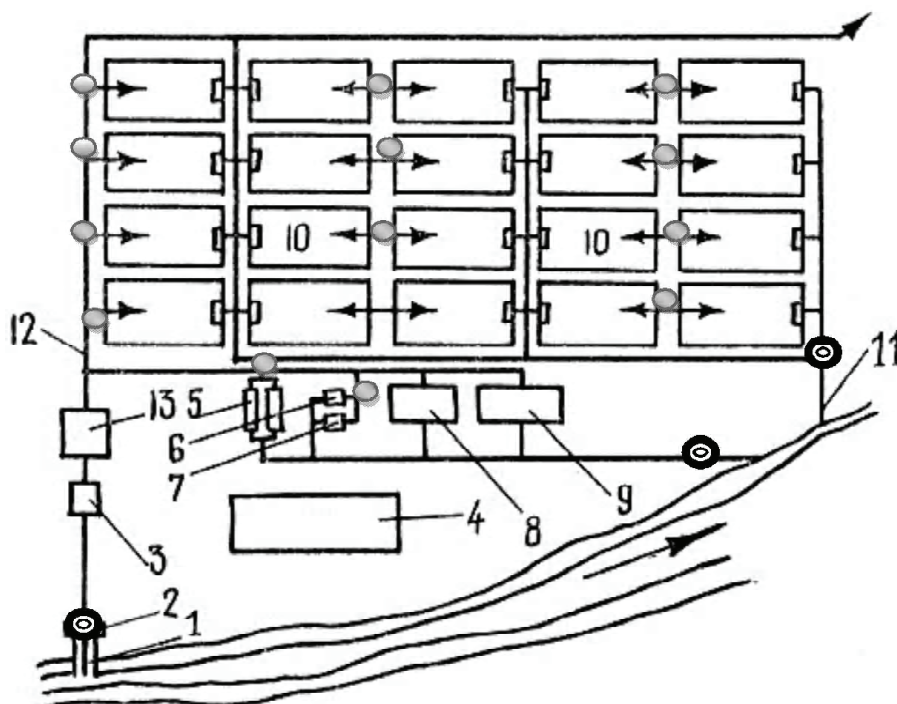
**Рисунок 1** – Расчетные схемы радиальных фильтров для очистки вод рыбоводных предприятий [4]: а) фильтрование исходной воды «снаружи – внутрь»; б) фильтрование исходной воды «изнутри – наружу»: 1 – рыбоводный пруд; 2 – первый по направлению движения воды фильтрующий слой с щебенчатой загрузкой фракцией 15...20 мм; 3 – второй по направлению движения воды фильтрующий слой с щебенчатой загрузкой фракцией 5...8 мм; 4 – дырчатые (щелевые) доходящие до дна цилиндрические перегородки; 5 – глухие не доходящие до дна цилиндрические перегородки; 6 – сорбционная камера, загруженная цеолитом, с восходящим потоком воды; 7 – поддерживающий слой из щебня, в котором размещены дырчатые трубы для водовоздушной промывки; 8 – цеолитовая загрузка в сеточных корзинах с заменой сорбента в течение сезона работы или без корзин при его замене после окончания сезона фильтрования; 9 – кольцевой съемный, подвижный в вертикальной плоскости сборный лоток очищенных вод; 10 – центральная труба фильтра; 11 – насос перекачки очищенной воды; 12 – сброс очищенной воды в пруд.

Приоритетными при этом являются региональные цеолиты с учетом их высокой адсорбционной активности, сравнительно низкой стоимости и возможной безрегенерационной эксплуатацией, что обусловлено особенностью строения их кристаллической структуры, поскольку размеры внутренних пор соизмеримы с молекулами аммонийного азота.

Для заводов с прямоточным водоснабжением в зависимости от качества воды источника поверхностного водоснабжения очистка может осуществляться непосредственно в водозаборе (рис. 2, позиция 1) или в специальном сооружении (поз. 2). Используемая в рыбоводных прудах вода (поз. 11) перед сбросом очищается до требуемого качества на стационарных сооружениях.

Авторами предлагается новый подход к формированию системы водообработки осетровых рыбоводных предприятий. Забор свежей воды из источника водоснабжения вести только для пополнения объемов испарения и инфильтрации, сброс вод из прудов осуществлять только технологический или аварийный. С учетом нормативов ихтиологов о необходимости обновления минимум каждые 14 суток объема качества воды в искусственном резервуаре для выращивания рыб предлагается организовать оборотное водообеспечение рыбоводного предприятия.

Для этого на выпуске 11 (рисунок 2) устанавливается стационарная очистная установка, обеспечивающая очистку оборотных вод до нормативных требований по азоту аммонийному в очищенной жидкости с возвратом их по линии 12 в пруды. Например, примем, что объем каждого из 20 прудов (рисунок 1) равен 1 000 м<sup>3</sup>, тогда суточная производительность очистной установки составит  $20 \times 1\,000 / 14 = 1\,430$  м<sup>3</sup>/сут, (60 м<sup>3</sup>/час).



**Рисунок 2** – Схема водного хозяйства осетрового рыбоводного завода: 1 – водозабор; 2 – насосная станция; 3 – отстойник; 4 – хозяйственный центр; 5 – садки молоди; 6 – инкубационный цех; 7, 8 – дафниевые бассейны; 9 – бассейны ВНИРО (личинки и молоди рыб); 10 – пруды; 11 – сбросная сеть; 12 – водоподающая сеть; 13 – напорный бассейн; ● – мобильное; ⊙ – стационарное фильтрующее водоприемно-очистное устройство.

Полевые испытания очистки прудовых вод (таблица) проведены на модели (рис. 1): внутренний диаметр фильтрующей секции с загрузкой из цеолита фракцией 2...3 мм равен 0,2 м, наружный – 0,25 м. Объем цеолитовой загрузки высотой 0,8 м составлял 0,057 м<sup>3</sup>, масса загрузки 62 кг. Скорость фильтрования 2...4 м/ч, расход прудовой воды 0,14...0,30 м<sup>3</sup>/час. При работе установки в среднем 10 часов в сутки объем обработанной составил около 200 м<sup>3</sup>, что фиксировалось расходомером.

Усредненные показатели (20 анализов) исходной воды за период испытаний (60 суток) составили, мг/дм<sup>3</sup>: взвешенные вещества – от 2 до 184; перманганатная окисляемость – 18; БПК<sub>5</sub> – 23; ХПК – 39; фосфаты (по Р) – от 1,5 до 17; аммонийный азот – от 3,5 до 17; нитриты – от 0,003 до 0,12; нитраты – от 1,2 до 4,5. Температура воды 22...24 °С, рН – 7,6.

Усредненные показатели очищенной сточной воды за период испытаний равны, мг/дм<sup>3</sup>: взвешенные вещества – 23; перманганатная окисляемость – 12; БПК<sub>5</sub> – 14; ХПК – 23; фосфаты (по Р) – 5,3; азот аммонийный – 0,48; азот нитритов – 0,11, нитратов – 4,5. Температура воды 23...25 °С, рН – 7,6.

С учетом величины удельной динамической сорбции на 62 кг загрузки из цеолита возможно выделение – [(9,1 мг NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/г · 62 000 г / 1 000)] 564 г ионов азота аммонийного. За это время выделено из прудовых вод [(12,5–0,48) · 200)] 2 410 г азота аммонийного, что требовало проведения (2 410/564) минимум 5 регенераций цеолитовой загрузки, т. е. через 11–12 суток.

Как показали наблюдения, при опытно-промышленных исследованиях сорбционная емкость цеолита была близка к исчерпыванию на 8–9 сутки, т. е. с учетом фактически времени работы длительность фильтроцикла составляла 80–90 час. Регенерацию ионообменной способности цеолита после водяной промывки обратным током очищенной воды с интенсивностью 12...15 л/с·м<sup>2</sup> проводили раствором 2 % NaCl и 5 % NaOH в течение 20–30 минут, восстанавливая в среднем на 93 % первоначальную сорбционную емкость цеолита. Однако требуются длительные технологические наблюдения, чтобы окончательно сделать вывод, что более целесообразно: замена цеолита или его регенерация.

Одним из интересных вопросов в плане фильтрации малоконцентрированных суспензий является попытка регулирования баланса задержанных загрязнений. Такой подход в очередной раз подтверждает жизнеспособность теории проф. Д. М. Минца, рассматривающей фильтрование как двуединый процесс адгезии/прилипания и суффозии/отрыва частиц взвеси в толще фильтрующей загрузки.

Рекомендуемые расчетные технические параметры фильтра-адсорбера:

- крупность зерен 2 мм, высота слоя 1 200 мм;
- сорбционная емкость загрузки 40 г/кг;
- плотность по насыпному весу 1,2 т/м<sup>3</sup>;
- защитный слой жидкости над загрузкой 0,3;
- загруженный в фильтр цеолит по высоте слоя сорбента используется до 80 % его сорбционной емкости [5].

## ВЫВОДЫ

После того, как будет накоплен достаточный статистический материал по работе рассматриваемых фильтров, можно будет вернуться к анализу и материализации рассматриваемой концепции.

Перспективами дальнейшей темы будет продолжение исследования по внедрению разработанных технологий и установок очистки оборотных и сбросных сточных вод предприятий рыборазведения в промышленных условиях, а также изучение применимости разработанной технологии для очистки других типов вод рыборазведения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серпокрьлов, Н. С. Методика расчета и технико-экономические показатели радиально-восходящего фильтрования в режимах «изнутри – наружу» и «снаружи – внутрь» / Н. С. Серпокрьлов, С. З. Тажиева. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 3 (29). – С. 33–38.
2. Серпокрьлов, Н. С. Результаты экспериментальных исследований процессов очистки прудовой воды на фильтрах с радиально-восходящим потоком жидкости / Н. С. Серпокрьлов, Л. В. Боронина, С. З. Тажиева. – Текст : непосредственный // Градостроительство и архитектура. – 2016. – Том 6, № 2 (23). – С. 36–42.
3. Серпокрьлов, Н. С. Особенности очистки оборотных вод рыбоводных акваторий радиально-восходящим фильтрованием / Н. С. Серпокрьлов, Л. В. Боронина, С. З. Тажиева. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 3 (13). – С. 49–52.
4. Патент на полезную модель № 165167 Российская Федерация, МПК E02B 5/08. Водоприемно-очистное устройство для рыбоводных акваторий (прудов), бассейнов, садков : заявл. 27.03.2015 ; опубл. 10.10.2016 / Серпокрьлов Николай Сергеевич, Боронина Людмила Владимировна, Тажиева Светлана Загировна. – № 2015111316/13 : патентообладатели Государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет» (ГАОУ АО ВО «АГАСУ»). – Бюл. № 28. – 2 с. : ил. – Текст : непосредственный.
5. Серпокрьлов, Н. С. Проектирование радиальных фильтров с применением цеолита для рыбоводных прудов / Н. С. Серпокрьлов, С. З. Тажиева. – Текст : электронный // Актуальные проблемы развития городов : электронный сборник научных трудов по материалам II открытой республиканской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, 01 марта 2018 г., г. Макеевка. – Макеевка : ДонНАСА, 2018. – С. 606–609. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/studconf/2018/Sbornik\\_APRG\\_2018.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/studconf/2018/Sbornik_APRG_2018.pdf) (дата обращения: 14.04.2022).

Получена 11.04.2022

### С. З. БЕКБЕРГЕНОВА <sup>a</sup>, А. Е. ХАРЛАМОВА <sup>a</sup>, М. С. СЕРПОКРИЛОВ <sup>b</sup> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИСТРОЇВ ПІДГОТОВКИ ВОД ДЛЯ РОЗВЕДЕННЯ ОСЕТРОВИХ РИБ (НА ПРИКЛАДІ АРИДНИХ ЗОН)

<sup>a</sup> Державна автономна освітня установа Астраханської області вищої освіти «Астраханський державний архітектурно-будівельний університет», м. Астрахань, Росія; <sup>b</sup> ФДБОУ ВО «Донський державний технічний університет», м. Ростов-на-Дону, Росія

**Анотація.** У роботі наведено теоретичне обґрунтування, виконано розробку та дослідження нової технології та відповідних пристроїв підготовки вод рыбоводних підприємств. Представлено матеріал про застосування радіальних фільтрів із застосуванням цеоліту для риболовних ставків та особливості очищення оборотних вод рыбоводних акваторій радіально-висхідним фільтруванням, проведено експериментальні дослідження та отримано показники очищення вод риболовних підприємств на різних фільтровальних та сорбційних матеріалах. Отримані дані, за умови накопичення та опрацювання достатнього статистичного матеріалу щодо роботи пропонованих радіальних фільтрів, дозволять рекомендувати цю конструкцію для реалізації технології водообробки промислових підприємств із розведення риб. Це вимагає впровадження відповідних технологій та установок очищення оборотних та скидних стічних вод підприємств рыборозведення у промислових умовах, а також вивчення застосовності розробленої технології для очищення інших типів вод рыборозведення.

**Ключові слова:** фільтровальне завантаження, азот амонійний, цеоліт, зважені речовини, ефективність очищення, ставкова вода.

SVETLANA BEKBERGENOVA <sup>a</sup>, ANNA KHARLAMOVA <sup>a</sup>,  
NIKOLAY SERPOKRYLOV <sup>b</sup>  
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND DEVICES FOR WATER  
PREPARATION FOR BREEDING STURGEON (ON THE EXAMPLE OF ARID  
ZONES)

<sup>a</sup> State Autonomous Educational Institution of the Astrakhan Region of Higher Education «Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering», Astrakhan, Russia;

<sup>b</sup> FSBEI HE «Don State Technical University», Rostov-on-Don, Russia

**Abstract.** The paper provides a theoretical justification, the development and research of a new technology and appropriate devices for the preparation of water for fish farms have been carried out. Material is presented on the use of radial filters with the use of zeolite for fish ponds and the features of purification of circulating waters of fish-breeding waters by radially ascending filtration, experimental studies are carried out and indicators of water purification of fish-breeding enterprises on various filtering and sorption materials are obtained. The obtained data, subject to the accumulation and processing of sufficient statistical material on the operation of the proposed radial filters, will make it possible to recommend this design for the implementation of water treatment technology for industrial fish breeding enterprises. This requires the introduction of appropriate technologies and installations for the treatment of circulating and waste water from fish farming enterprises in industrial conditions, as well as the study of the applicability of the developed technology for treating other types of fish farming waters.

**Key words:** filter loading, ammonium nitrogen, zeolite, suspended solids, purification efficiency, pond water.

**Бекбергенова Светлана Загировна** – преподаватель спецдисциплин колледжа жилищно-коммунального хозяйства Государственного автономного образовательного учреждения Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», г. Астрахань, Россия. Научные интересы: модернизация и технологическое развитие водоохранных предприятий на базе наилучших доступных технологий.

**Харламова Анна Эдуардовна** – старший преподаватель кафедры пожарной безопасности и водопользования Государственного автономного образовательного учреждения Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», г. Астрахань, Россия. Научные интересы: совершенствование технологических процессов, оборудования систем водоснабжения и водоотведения; мониторинг состояния водных ресурсов, их очистка и рациональное использование.

**Серпокрылов Николай Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия; заслуженный деятель науки РФ; федеральный эксперт научно-технической сферы Минобрнауки РФ; академик ЖКХ РФ. Научные интересы: очистка поверхностных, хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод физико-химическими и биологическими методами; системы аэрации природных и сточных вод.

**Бекбергенова Світлана Загірівна** – викладач спецдисциплін коледжу житлово-комунального господарства Державної автономної освітньої установи Астраханської області вищої освіти «Астраханський державний архітектурно-будівельний університет», м. Астрахань, Росія. Наукові інтереси: модернізація та технологічний розвиток водоохоронних підприємств на базі найкращих доступних технологій.

**Харламова Ганна Едуардівна** – старший викладач кафедри пожежної безпеки та водокористування Державної автономної освітньої установи Астраханської області вищої освіти «Астраханський державний архітектурно-будівельний університет», м. Астрахань, Росія. Наукові інтереси: удосконалення технологічних процесів, обладнання систем водопостачання та водовідведення; моніторинг стану водних ресурсів, їх очищення та раціональне використання.

**Серпокрилов Микола Сергійович** – доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання та водовідведення ФДБОУ ВО «Донський державний технічний університет», м. Ростов-на-Дону, Росія; заслужений діяч науки РФ; Федеральний експерт науково-технічної сфери Міністерства освіти РФ; академік ЖКГ РФ. Наукові інтереси: очищення поверхневих, господарсько-побутових і промислових стічних вод фізико-хімічними і біологічними методами; системи аерації природних і стічних вод.

**Bekbergenova Svetlana** – is a teacher, of Special Disciplines at the College of Housing and Communal Services, State Autonomous Educational Institution of the Astrakhan Region of Higher Education «Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering», Astrakhan, Russia. Scientific interests: modernization and technological development of water protection enterprises based on the best available technologies.

**Kharlamova Anna** – is a senior lecturer, Fire Safety and Water Use Department, State Autonomous Educational Institution of the Astrakhan Region of Higher Education «Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering», Astrakhan, Russia. Scientific interests: improvement of technological processes, equipment of water supply and sanitation systems; monitoring of the state of water resources, their purification and rational use.

**Serpokrylov Nikolay** – D. Sc. (Eng.), Professor, Water Supply and Sanitation Department, FSBEI HE «Don State Technical University», Rostov-on-Don, Russia; Federal expert of the scientific and technical sphere of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation; Academician of Housing and Communal Services of the Russian Federation. Scientific interests: purification of surface, household and industrial wastewater by physico-chemical and biological methods; natural and wastewater aeration systems.