

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОФИТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ УЗВ ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА

С.В. Кононцев, Л.А. Саблий, Ю.Р. Гроховская

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г. Киев, Украина*

*Национальный университет водного хозяйства и природопользования,
г. Ровно, Украина*

USE OF MACROPHYTES FOR DECONTAMINATION OF WATER IN RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS FROM NITROGEN COMPOUNDS

S. Konontsev, L. Sablii, Y. Grokhovskaya

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine,*

*National University of Water Management and Nature Resources,
Rivne, Ukraine*

Реферат. Удаление из загрязнённой воды УЗВ соединений азота является наиболее важным процессом к комплексу сооружений по восстановлению качества воды для возможности повторного использования. Распространённая схема трансформации путём нитрификации с последующей денитрификацией характеризуется рядом проблемных вопросов, которых удаётся избежать, используя для удаления азотистых соединений высшие водные растения – плейстофиты.

Ключевые слова: макрофиты, биологическая очистка, биотрансформация.

Abstract. Removal of nitrogen compounds from contaminated water of Recirculating Aquaculture Systems is the most critical process in the entire complex of facilities for water renovation and re-use. The most commonly used transformation pattern by means of nitrification with further de-nitrification is characterized by some "bottlenecks" which may be easily avoided when using higher aquatic plants – pleistophytes for removal of nitrogen compounds.

Key words: macrophytes, biological decontamination, biological transformation.

Экономическая эффективность деятельности рыбоводческих ферм, работающих по принципу УЗВ, во многом определяется обеспечением необходимого уровня очистки загрязненной воды. Максимальные темпы роста рыб при оптимальных условиях содержания и кормления будут возможны лишь в том случае, когда загрязнённая в бассейнах вода будет очищена до допустимых параметров, позволяющих использовать её повторно.

Основным лимитирующим показателем загрязнения воды в УЗВ являются различные формы азота. Большинство схем биологической очистки предусматривают трансформацию азотистых соединений путём перевода токсичного для рыб аммонийного азота и аммиака в нитриты и менее токсичные нитраты с последующей денитрификацией. В условиях очистных сооружений процессы нитрификации происходят достаточно медленно, что объясняется особенностями метаболизма нитрифицирующих бактерий и конкурентными отношениями с другой микрофлорой [1]. Обеспечение для процесса денитрификации анаэробных или аноксидных условий также сопряжено с некоторыми проблемными вопросами. Редукция нитрата до атмосферного азота за счёт жизнедеятельности бактерий рода *Pseudomonas* эффективно протекает лишь при избытке в воде углеводов. В практике УЗВ достаточно часто для осуществления этого этапа в воду вводят метанол. Таким образом, анализ работы существующих сооружений биологической очистки УЗВ подтверждает теоретическое предположение относительно низкой эффективности процесса удаления азота с помощью аммонифицирующих, нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий. В условиях УЗВ практически невозможным является обеспечение доминирования в биоценозе биофильтра автотрофных нитробактерий. Они значительно уступают в темпах роста гетеротрофным группам, обязательно присутствующим в воде бассейнов. Биоценоз фильтра таким образом саморегулируется в зависимости от концентрации загрязнений на входе, гидравлических параметров и других факторов. Однако в любом случае нитрифицирующие бактерии доминировать в нём не будут. Поскольку для большинства биофильтров характерна низкая

удельная мощность по трансформации/удалению соединений азота, эти сооружения занимают значительные площади, превышающие площади под сами рыбоводческие бассейны. В силу перечисленных выше факторов возможность эффективного использования потенциала нитрифицирующих бактерий в очистных сооружениях для восстановления качества циркуляционной воды УЗВ является сомнительной.

С нашей точки зрения, для удаления соединений азота животного происхождения лучше использовать водные растения. В таком случае происходит непосредственное изъятие аммонийного азота из воды растениями без необходимости предварительной трансформации минерального азота в два этапа. Успешный опыт работы отдельных УЗВ, интегрированных с комплексами по выращиванию сельскохозяйственных культур в системах гидропоники, подтверждает перспективность использования такой биотехнологии. При создании оптимальных условий для макрофитов, они в процессе роста достаточно быстро усваивают растворённые в воде минеральные формы азота и трансформируют их в органический азот. Таким образом, растения в процессе жизнедеятельности изымают минеральные формы азота, и, особенно, аммонийный азот из загрязненной воды, используя его в основном на прирост собственной биомассы. В данном случае растения не зависят от конкуренции с остальными гидробионтами, принимающими участие в процессах биологической очистки воды; извлечение увеличивающейся в процессе естественного размножения и роста биомассы растений из фитореактора также не является проблемой. Кроме всего, в единице поверхности/объёма очистного сооружения можно культивировать большую биомассу растений, несравнимую с биомассой нитрифицирующих и азотфиксирующих бактерий в биофильтре. Это значит, что фитореактор будет характеризоваться более высокой производительностью по изъятию соединений азота. Характеристики загрязнённой воды УЗВ (высокое содержание взвешенных веществ) в большинстве случаев существенно ограничивают возможность культивировать в очистных сооружениях

погружённые формы макрофитов. Такие условия значительно усложняют процессы фотосинтеза у растений, приводят к рассеиванию света в толще воды и другим негативным для метаболизма растений факторам. В тех же условиях плавающие водные растения могут эффективно усваивать с помощью корневой системы растворённый в воде азот и при этом не испытывать негативного влияния взвеси на листья, находящиеся над водой. Именно поэтому среди водных растений наиболее перспективными для использования в очистных сооружениях являются широко распространённые в наших широтах представители семейства Araceae Juss. – *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., *Lemna minor* L. и *L. gibba* L., а также тропический вид *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Это свободно плавающие на поверхности воды растения – плейстофиты. Согласно данным многих исследований, они характеризуются высокими темпами роста, способны очень быстро изымать из воды загрязняющие вещества, в т.ч. соединения азота и фосфора, трансформируя их в собственную биомассу [2,3,4]. Кроме того, рясковые служат ценной растительной подкормкой для большинства видов рыб, культивируемых в УЗВ: тилляпий, клариевого сома и др. [5]. Таким образом, при культивировании свободноплавающих макрофитов для утилизации загрязняющих биогенных веществ, появляется перспектива получения растительной подкормки для рыб.

Главной задачей обеспечения биотрансформации соединений азота и фосфора с помощью плавающих водных растений является разработка биореактора соответствующей конструкции. Для создания оптимальных условий для растений-очистных агентов необходимо обеспечить надлежащее освещение (в большинстве случаев природного освещения будет недостаточно). Также необходимо определить предельно допустимые концентрации основных загрязнений, превышение которых будет приводить к угнетению и гибели растений. Гидравлические условия в таком фитореакторе должны обеспечивать равномерное распределение растений по поверхности воды, в конструкции необходимо предусмотреть невозможность выноса растений с выходящим током воды. Поскольку в данном сооружении процесс

продуцирования фитомассы фактически будет осуществляться только в верхнем слое, рабочая глубина может составлять от 5 до 20 см (более мощная корневая система эйхорнии требует глубины воды до 20-25 см).

В схеме очистных сооружений УЗВ фитореакторы необходимо проектировать после предварительной механической очистки от крупных нерастворённых примесей (преимущественно фекалий и остатков корма) и биологической очистки на биофильтре. При эффективной работе биофильтра можно ожидать снижение БПК и ХПК до 10-15 и 20-30 мг/л соответственно, одновременно часть аммонийного азота может быть переведена в нитраты или нитриты. Таким образом, в фитореактор будет поступать предварительно очищенная вода с высоким содержанием соединений азота, относительно небольшими концентрациями соединений фосфора и других органических веществ, – именно в таких условиях процесс изъятия растениями аммония будет наиболее эффективным. Другие физико-химические параметры воды, поступающей на очистку, будут достаточно приемлемы для условия культивирования растений: допустимые для рыб диапазоны колебания температурного режима, активной реакции, общей жёсткости и других параметров не будут критичными для таких растений, как ряска или эйхорния. Достаточно важным технологическим элементом фитореактора является система освещения, – для обеспечения эффективного фотосинтеза интенсивность светового потока должна быть близкой к природной инсоляции. Исходя из необходимости установки мощных источников освещения, необходимо провести детальный анализ технико-экономических показателей отдельных их видов. Одним из экономически обоснованных вариантов может быть использование люминесцентных ламп (достаточно дешёвые светильники и лампы); в эксплуатации более экономными являются светодиодные лампы, но их стоимость вместе с пусковыми модулями значительно выше. Так или иначе, но затраты на освещение фитореактора с водными растениями будут в результате ниже затрат на эксплуатацию громоздкого и малоэффективного комплекса «нитрификатор-денитрификатор». Использование в процессах

восстановления качества воды растений позволяет значительно улучшить кондиции качества воды, что невозможно при использовании микрофлоры.

Проведённые нами предварительные исследования относительно возможности культивирования местных видов макрофитов *Lemna minor*, *L. gibba* и *Spirodela polyrrhiza* показали перспективность включения таких растений в системы очистки воды УЗВ. Эти виды растений проявили достаточную стойкость к высоким концентрациям органических соединений, быстрые темпы размножения и наращивания биомассы. Более сложным оказалось культивирование в созданных условиях эйхорнии (*Eichhornia crassipes*). Преимущества использования этого вида связаны с более высокой скоростью метаболизма сравнительно с другими плавающими растениями. Также по сравнению с рясковыми удельная биомасса эйхорнии на единицу площади фитореактора может быть выше в 3-4 раза. Это означает, что потенциальная очистительная способность фитореактора с эйхорнией будет пропорционально выше. Однако не до конца изученным остаётся вопрос адаптации этого растения к условиям УЗВ, – достаточно часто в наших широтах наблюдается периодическое отмирание растений в осенне-зимний период при культивировании его в аквариумах. Некоторые вопросы также могут возникнуть также с утилизацией прироста биомассы эйхорнии, – для скармливания рыбам её необходимо предварительно перерабатывать, тогда как рясковые можно скармливать непосредственно после вылова из сооружения.

Список использованных источников

1. Якоб Брайнбалле, 2010. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Eurofish – international organization, Копенгаген, 70 с.
2. Culley D., Rejmankova E., Kvet J., Frye J., 1981. Production, chemical quality and use of duckweeds (Lemnaceae) in aquaculture, waste management, and animal feeds. Journal of the World Mariculture Society V.12, p. 27-49.
3. Skillicorn Paul, Spira William, Journey William, 1993. Duckweed

aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries. Washington, DC: The WorldBank, 76 p.

4. Landesman L., Parker N., Fedler C., Konikoff M., 2005. Modeling duckweed growth in wastewater treatment systems. *Livestock Research for Rural Development, Vol. 17, Art.#61*. URL: <http://www.lrrd.org/lrrd17/6/land17061.htm>; дата доступа: 07.02.15 г.

5. Fasakin E., Balogun A., Fasuru B., 1999. Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuff in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research*, 30(5), p. 313.