

Нацыянальная акадэмія навук Беларусі  
Палескі аграрна-экалагічны інстытут

**П**  
**А**

**РЫРОДНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПАЛЕССЯ:**

**САБЛІВАСЦІ І ПЕРСПЕКТЫВЫ РАЗВІЦЦЯ**

Выпуск **15**

Брэст  
«Альтернатыва»  
2024



НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ



ПАЛЕСКІ АГРАРНА-ЭКАЛАГІЧНЫ ІНСТЫТУТ

# **ПРЫРОДНАЕ АСЯРОДДЗЕ ПАЛЕССЯ:**

**АСАБЛІВАСЦІ І ПЕРСПЕКТЫВЫ РАЗВІЦЦА**

**Зборнік навуковых прац**

*Заснаваны ў 2008 годзе*

**Выпуск 15**

Брэст  
«Альтэрнатыва»  
2024

УДК [502/504+574](476-13)(082)

**Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця** : зборнік навуковых прац / Нацыянальная акадэмія навук Беларусі, Палескі аграрна-экалагічны інстытут; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Вып. 15. – 128 с. – ISBN 978-985-521-818-1.

У зборніку навуковых прац змешчаны матэрыялы, прысвечаныя абагульненню нацыянальнага і замежнага вопыта па захаванні ландшафтнай і біялагічнай разнастайнасці Палесся і сумежных тэрыторый ва ўмовах антрапагеннай трансфармацыі асяроддзя, рацыянальнаму выкарыстанню зямельных (глебавых) і водных рэсурсаў рэгіёна, экалагасумяшчальным тэхналогіям у раслінаводстве і выкарыстанні адходаў, а таксама па выпрацоўцы шляхоў вырашэння актуальных праблем Палесся з мэтай дасягнення ўстойлівага сацыяльна-эканамічнага развіцця дадзенага трансгранічнага рэгіёна.

Выданне адрасавана навукоўцам, спецыялістам сельскай, лясной гаспадарак і органаў аховы навакольнага асяроддзя, выкладчыкам і студэнтам адпаведных спецыяльнасцей УВА.

**Рэдакцыйная калегія:**

М. В. Міхальчук (галоўны рэдактар),

А. М. Ажгірэвіч, М. А. Багдасараў, В. М. Босак, А. А. Волчак, С. Я. Галаваты, В. Т. Дзямянчык,  
Л. М. Іёвік, І. І. Кірвель, М. В. Клебановіч, А. П. Ліхацэвіч, Ул. Ф. Логінаў, П. С. Лопух, М. А. Пастухова,  
Т. А. Раманава, В. С. Хоміч, Л. С. Цвірко, Н. Ф. Цярлецкая,  
А. А. Брыль (адказны сакратар)

ISBN 978-985-521-818-1

© Палескі аграрна-экалагічны інстытут  
НАН Беларусі, 2024  
© Афармленне. ПВГУП «Издательство  
Альтернатива», 2024

## ЗМЕСТ

## НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

<b>Е. А. Брыль, Л. Н. Иовик, Н. В. Михальчук</b> КАНЦЕРОГЕННЫЙ И НЕКАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА С РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИЕЙ, ВЫРАЩЕННОЙ В ГЕОХИМИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ЗОНАХ .....	6
<b>А. Н. Лицкевич, М. В. Гришко, А. Ф. Демянчук, Л. А. Кутаева, О. Е. Чезлова, Л. И. Чирук</b> АНАЛИЗ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ОАО ОРХ «СЕЛЕЦ» .....	16
<b>Н. В. Михальчук, П. В. Качанович, М. М. Дашкевич, М. И. Хвацевский</b> ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ОГОРОДНЫХ УЧАСТКОВ ЖИЛОЙ УСАДЕБНОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ ПИНСК И БЕРЕЗА .....	26
<b>О. Е. Чезлова</b> ВОЗРАСТАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ГРИБНОГО ОТХОДА .....	36
<b>В. Н. Штепа, А. В. Козырь, В. В. Ярмош, А. Б. Шикунец</b> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ АКВАПОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	42

## ЭКАЛОГІЯ

<b>В. Т. Демянчик, В. В. Демянчик</b> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ <i>ACROSPERHALUS PALUSTRIS</i> В УРБАНИЗИРОВАННОМ ЛАНДШАФТЕ БРЕСТА (БЕЛАРУСЬ)	52
<b>В. Т. Демянчик, В. В. Демянчик, В. П. Рабчук</b> ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ <i>STURMUS VULGARIS</i> В БРЕСТЕ .....	58
<b>Н. Ю. Колбас</b> ПЛОДЫ ПИЩЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАК НУТРИЦЕВТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	62
<b>А. Н. Лицкевич, М. В. Гришко, О. Е. Чезлова, Л. А. Кутаева, Л. И. Чирук, А. М. Подлужная, М. М. Дашкевич</b> ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД .....	71
<b>Н. А. Уланов, А. Н. Уланов</b> ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РЕСУРСЫ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОЛУГОВЫХ ПОСТБОЛОТНЫХ АГРОЛАНДШАФТОВ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ .....	79
<b>Л. С. Цвирко<sup>1</sup>, Е. С. Селькина<sup>2</sup>, Е. И. Плетнева<sup>3</sup></b> ЛЕПТОСПИРОЗ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ: ЭПИДЕМИОЛОГО-ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА .....	87
<b>В. В. Шималов</b> МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОФАУНЫ ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ (CHIROPTERA, VESPERTILIONIDAE) В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БЕЛАРУСИ .....	95

## СЕЛЬСКАЯ ГАСПАДАРКА

<b>А. С. Антонюк, Н. Ф. Терлецкая, А. Н. Гапонюк</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВО ДЕКОРАТИВНЫХ КУЛЬТУР (ОБЗОР) .....	100
<b>Т. И. Новикова, И. А. Левченко</b> ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ РАСТВОРИМЫХ УГЛЕВОДОВ (САХАРОВ) В СЕНАЖАХ .....	111
<b>М. А. Пастухова, З. А. Зайцева, Б. В. Шелюто</b> СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА В КОНСЕРВИРОВАННЫХ КОРМАХ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ .....	117
<b>В. К. Сердеров, Б. К. Атамов, Д. В. Сердерова</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВЫСОКОГОРНОЙ ПРОВИНЦИИ ДАГЕСТАНА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЛЕКЦИИ КАРТОФЕЛЯ .....	123

УДК 628.3:621.3

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ АКВАПОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Н. Штепа, А. В. Козырь, В. В. Ярмош, А. Б. Шикунец

*Полесский государственный университет, Пинск, Беларусь*

**Аннотация.** На основе анализа литературных источников и предварительных исследований определено, что темп роста и состояние гидробионтов и растений фитомодуля значимо зависит от следующих параметров водного раствора, в котором они выращиваются: температура, уровень кислотно-щелочного баланса pH, содержание аммиак/аммоний ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ ), нитратов ( $\text{NO}_3$ ), нитритов ( $\text{NO}_2$ ) и других минеральных компонентов. Экспериментальная оценка редукции азотистых соединений с использованием безреагентного электролизного агрегата продемонстрировала высокий эффект удаления поллютантов, в том числе и общую стабилизацию показателей водных растворов через 24 и 48 часов после окончания прямого электрического воздействия. Сделан вывод, что улучшение производственных параметров технологии аквапонных систем с целью поддержания обоснованных показателей качества воды в замкнутом контуре без изменения минерального состава растворов может быть достигнуто путем включения в их состав электрохимических установок; предложена усовершенствованная схема выращивания гидробионтов и фитопродукции.

**Ключевые слова:** аквапонные системы, электролизные процессы, азотистые соединения, редукция загрязнителей.

## IMPROVEMENT OF SCHEMES AQUAPON SYSTEMS USING ELECTROLYSIS TECHNOLOGIES

V. N. Shtepa, A. V. Kozyr, V. V. Yarmosh, A. B. Shikunets

*Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Based on the analysis literary sources and preliminary studies, it was determined that the growth rate and well-being of hydrobionts and phytomodule plants significantly depend on the parameters of the aqueous solution in which they are grown, among them: temperature, acid-base balance pH, ammonia/ammonium content ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ ), nitrates ( $\text{NO}_3$ ), nitrites ( $\text{NO}_2$ ) and other mineral constituents. Experimental studies of the reduction nitrogenous compounds using the reagentless electrolysis unit demonstrated high effect of the pollutant removal, including the stabilization aqueous solution indicators two day after the end direct electrical exposure. It is concluded that it is advisable to improve the production parameters of the technology aquaponic systems in order to maintain reasonable indicators of the water quality in closed circuit without changing the mineral composition solutions by including electrochemical installations in their composition; the improved scheme for growing hydrobionts and phytoproducts is proposed.

**Keywords:** aquaponic systems, electrolysis processes, nitrogenous compounds, pollutant reduction.

**Введение.** Выращивание рыбы и фитопродукции в аквапонной системе происходит при многократном использовании одного и того же объема воды, подвергаемого обработке и вновь возвращаемого в рыбоводные ёмкости [1, 2]. В таком виде водооборотная система позволяет обеспечивает контроль за процессами выращивания и осуществить мероприятия по ее оптимизации. Темпы роста рыбы в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) в 2 раза превышают ее рост в искусственных бассейнах, в 3 раза в садках и в 5 раз в прудах, а отдельных видов в природе – в 10 раз [2]. В то же время гидропонный модуль позволяет круглогодично получать качественную фитопродукцию [3]. Так, современные технологии ведения индустриального рыбного хозяйства и автоматизация УЗВ в оптимальных условиях и при использовании комбикормов с кормовым коэффициентом 0,9–1,0 обеспечивают выращивание клариевого сома от 1 грамма до товарной массы (1 килограмм) всего за шесть месяцев (180 суток). Нормой для предприятий со стандартными установками и комбикормами с кормовым коэффициентом 1,3–1,6 можно считать 9 месяцев (270 суток) [4, 5].

Известно, что несъеденный корм приводит к чрезмерным нагрузкам на систему механической и биологической фильтрации, а также к дополнительным экономическим расходам, поскольку повышенная концентрация азотистых соединений уменьшает поедание корма и снижает темпы массонакопления гидробионтов. Одним из способов улучшения продуктивности УЗВ, в том числе за счет снижения концентрации азотистых и фосфорных соединений, выступает аквапоника – комбинированный симбиотический способ ведения сельскохозяйственных работ, интегрирующий получение растительных продуктов питания на гидропонной основе в сочетании с индустриальным рыбоводством, технологические воды которого обеспечивают растения

органическими выделениями в качестве естественных удобрений [6]. Проведенные ранее исследования с использованием гидробионтов вида клариевый сом показали, что использование фитомодулей в УЗВ позволяет снизить концентрацию  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$  с  $3,69 \pm 0,10$  до  $1,10 \pm 0,06$ ,  $\text{NO}_2$  с  $0,46 \pm 0,02$  до  $0,13 \pm 0,01$ , а  $\text{NO}_3$  с  $45,13 \pm 1,92$  до  $21,87 \pm 0,99$  [2]. Стабилизация гидрохимического режима привела к улучшению физического состояния гидробионтов, тем самым повысив поедаемость корма и общую продуктивность системы.

В то же время столь высокие результаты достигаются благодаря строгому соблюдению ряда технологических условий и параметров. Ключевыми факторами при выращивании товарного клариевого сома, а соответственно и фитопродукции, являются: кормление сбалансированными кормами, технологически обоснованные температурный и гидрохимический режимы, а также оптимальные показатели плотности посадки и своевременная сортировка. Детализируя, можно констатировать, что темп роста и самочувствие клариевого сома напрямую зависит, среди прочих, от следующих параметров водного раствора: температура, уровень кислотно-щелочного баланса pH, содержание аммиак/аммоний ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ ), нитратов ( $\text{NO}_3$ ), нитритов ( $\text{NO}_2$ ), фосфатов ( $\text{PO}_4$ ), железа (Fe) и других минеральных составляющих [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что усовершенствование технологии аквапонных систем (АС) с целью поддержания обоснованных показателей качества воды в замкнутом контуре без изменения минерального состава растворов является достаточно актуальной научно-практической задачей.

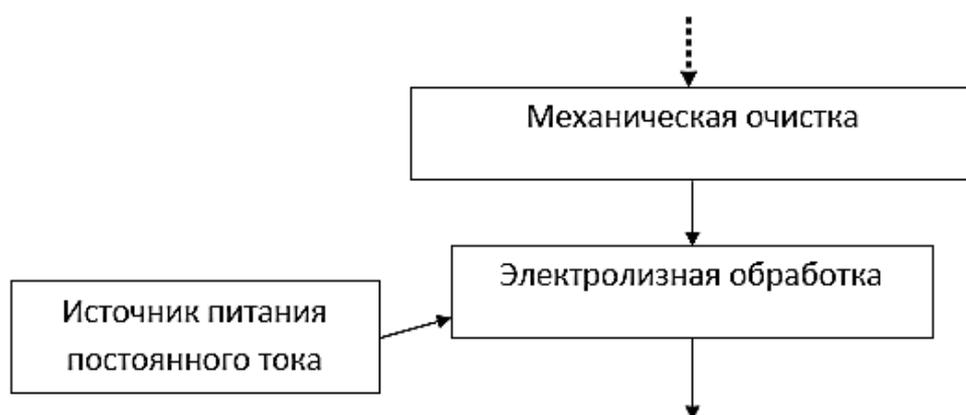
Цель работы состояла в усовершенствовании схем АС путём использования безреагентных электролизных агрегатов.

**Методы исследования и оборудование.** В качестве биологического объекта использовались особи клариевого сома. Базовые технологические требования к показателям качества воды в аквапонной системе, которые необходимо поддерживать:

- гидробионт обладает широким пределом толерантности по отношению к pH и оптимальной величиной для него является 6,0–8,5; летальный исход наступает при значении pH менее 4 или более 11.
- аммиак/аммоний ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ ) – основной продукт метаболизма рыб, постоянно выделяющийся в воду в процессе жизнедеятельности; нормативные требования до 0,5 мг/л;
- нитриты ( $\text{NO}_2$ ) в основном образуются в результате окисления содержащегося в воде аммиака бактериями нитромоладами и по своей сути являются переходной формой в процессе окисления нитратов и крайне опасным токсикантом – нормативный показатель до 0,1 мг/л;
- нитраты ( $\text{NO}_3$ ) – конечный продукт окисления азотистых соединений в результате деятельности нитробактерий, нормативные требования содержания – до 2 мг/л.

Была создана структурная схема электротехнологического комплекса водообработки с использованием электролизера (рисунок 1).

### **Вода на обработку (из ёмкости выращивания гидробионтов)**

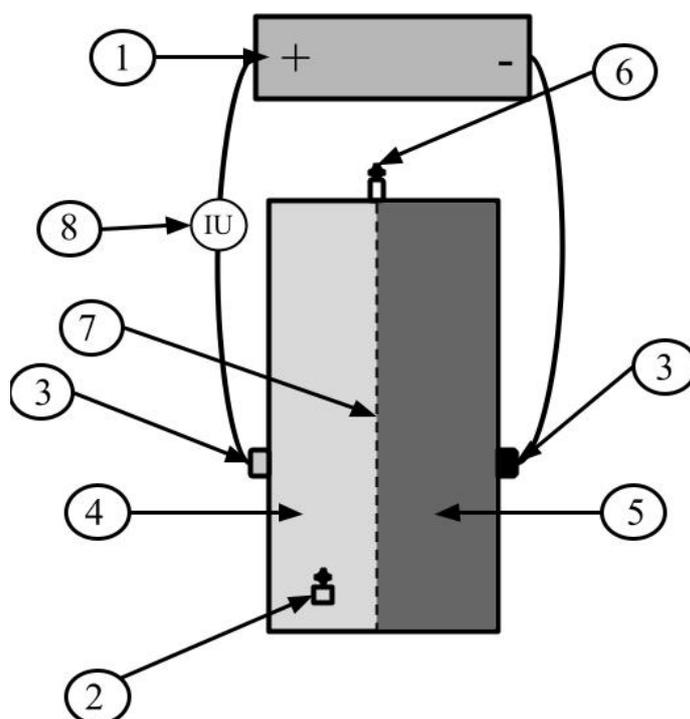


### **Вода после обработки (в ёмкости выращивания гидробионтов)**

**Рис. 1.** Структурная схема электротехнологического комплекса очистки воды аквапонной системы с использованием электролизной обработки

**Fig. 1.** Structural diagram of the electrotechnological complex for water treatment of the aquaponic system using electrolysis treatment

Схема подключения электролизного блока представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Схема электролизного блока окислителя: 1 – источник питания, 2 – входной кран, 3 – токоподводы, 4 – анодная зона, 5 – катодная зона, 6 – выходной кран, 7 – пассивная мембрана, 8 – измеритель вольт-амперных характеристик

**Fig. 2.** Diagram of the electrolytic oxidizer unit: 1 – power supply, 2 – input valve, 3 – current leads, 4 – anode zone, 5 – cathode zone, 6 – output valve, 7 – suction membrane, 8 – voltage-ampere characteristics meter

Роль электродов (анода и катода) выполнял графит, который засыпался в соответствующие пластиковые корпуса внутри электролизера. Вольт-амперный режим работы: сила тока –  $27 \text{ A} \pm 5 \text{ A}$ , напряжение –  $18 \text{ V} \pm 3,5 \text{ V}$ . Расход воды – порядка  $20 \text{ м}^3/\text{сутки}$ .

Ключевые физико-химические процессы, которые должны обеспечить предполагаемый эффект: прямое анодное окисление и воздействие электрохимически образованных окислителей (атомарный кислород, перекись водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) и более активные кратковременно существующие соединения); восстановление загрязнителей за счет процессов на отрицательном электроде (катоде).

Перед началом проведения эксперимента гидробионты кормились, и после этого выдерживался период 12 часов до начала исследований (с целью гарантированного загрязнения водного раствора УЗВ).

В ходе проведения исследований контролировались следующие показатели: концентрация TAN (аммиак/аммоний –  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ , нитриты –  $\text{NO}_2$ , нитраты –  $\text{NO}_3$ ) – с помощью капельных тестов НИЛПА согласно методике производителя; водородный показатель pH – с помощью портативного pH-метра для измерений с погружением Thermo Scientific с погрешностью измерений  $\pm (0,01 \text{ ед. pH} + 1 \text{ дискрета})$ ; светопроницаемость воды измерялась с использованием спектрофотометра ПЭ-5400 по методике производителя.

Пробоотборы выполнялись в емкости выращивания гидробионтов и на выходе электролизного окислителя при работе системы в байпасном циркуляционном режиме. Также после окончания обработки измеряли показатели водного раствора через 24 и 48 часов в емкостях выращивания клариевого сома. Эксперименты имели трехкратное повторение для повышения достоверности результатов, которые оценивались на основе критерия Кохрена.

**Результаты и их обсуждение.** Обобщенные результаты электролизной обработки водного раствора представлены в таблице 1.

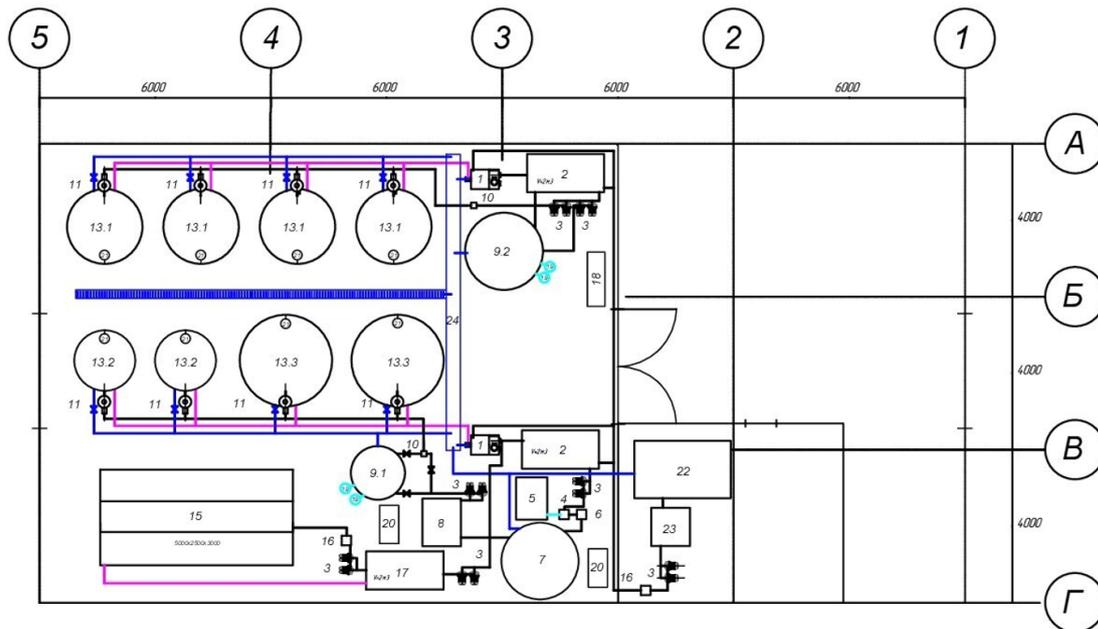
**Таблица 1** – Результаты экспериментальных исследований электролизного воздействия на технологическую воду установки выращивания гидробионтов**Table 1** – Results of experimental studies of electrolysis impact on process water of the hydrobiont growing plant

Проба/показатель	NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л	pH, ед. pH	Светопроницаемость, %
Исходная	0,90	0,50	6,00	8,42	64,70
6 часов работы (емкость)	0,70	0,30	0,00	8,68	66,50
6 часов работы (окислитель)	0,70	0,30	0,00	8,61	62,20
11 часов работы (емкость)	0,70	0,30	0,00	8,31	63,20
11 часов работы (окислитель)	0,70	0,30	0,00	8,23	62,20
Емкость через 24 часа	0,50	0,10	3,00	8,30	60,10
Емкость через 48 часов	0,50	0,20	12,00	8,43	60,15

Полученный эффект подтверждает теоретические выкладки и обосновывается, как и предполагалось, тем, что в нейтральных и слабощелочных водных растворах, содержащих ионы аммония, нитрат- и нитрит-анионы, при пропускании постоянного электрического тока, генерируются окислители и восстановители; при этом на поверхности электродов имеет место протекание процессов, приводящих к нитрификации-денитрификации и способствующих удалению азотсодержащих соединений. Одно из главных преимуществ предложенного метода – безреагентность, что позволяет использовать его, например, в качестве стадий водоподготовки в бессточных технологиях гидропоники для выращивания гидробионтов, а также в пищевой промышленности [8].

Таким образом, можно сделать выводы о перспективности практического использования электролизных процессов при усовершенствовании АС.

Систематизируя исследования [9] и результаты экспериментальных данных (таблица 1), можно предложить комбинированный биотехнологический комплекс с объединением классических подходов и электрохимических способов воздействия на водные растворы (рисунок 3).



**Рис. 3.** Технологическая схема размещения оборудования аквапонной системы с электролизными элементами: 1 – фильтр механической очистки, 2 – ёмкость буферная, 3 – насосная станция, 4 – эжектор, 5 – озонатор, 6 – напорный электролизёр, 7 – флотатор, 8 – рН-корректор, 9 – биологический фильтр, 10 – УФ-установка, 11 – безнапорный оксигенатор, 13 – ёмкость (бассейн), 15 – аквапонный модуль, 16 – электролизёр-активатор, 17 – ёмкость-накопитель, 18 – шкаф управления, 19 – воздуходувка, 20 – источник постоянного тока, 21 – автоматическая кормушка, 22 – станция водоподготовки, 23 – резервуар чистой воды, 24 – коллектор

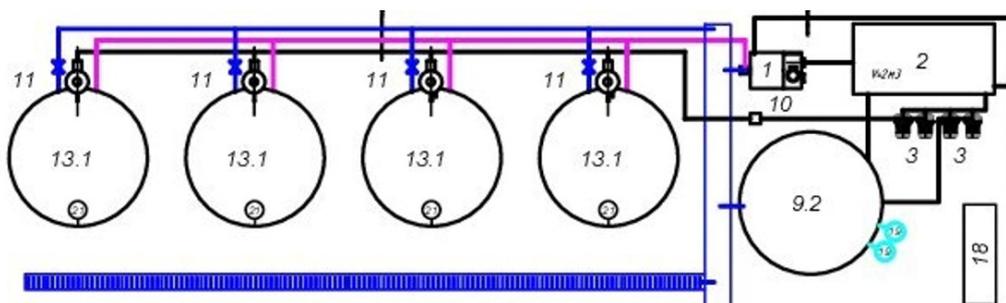
**Fig. 3.** Process layout of aquaponic system equipment with electrolysis elements: 1 – mechanical cleaning filter, 2 – buffer tank, 3 – pump station, 4 – ejector, 5 – ozonator, 6 – pressure electrolyzer, 7 – flotator, 8 – pH corrector, 9 – biological filter, 10 – UV installation, 11 – non-pressure oxygenator, 13 – capacity (pool), 15 – aquapon module, 16 – activator cell, 17 – storage tank, 18 – control cabinet, 19 – blower, 20 – DC source, 21 – automatic feeder, 22 – water treatment station, 23 – clean water tank, 24 – collector

Усовершенствованная аквапонная система (рисунок 1) состоит из 2-х крупных блоков: УЗВ и гидропонного модуля.

Установка замкнутого водоснабжения включает: бассейны для рыб (различной формы и объема); подсистему водоподготовки (отстойники, флотатор, барабанные фильтры); подсистему обеззараживания (биофильтр с плавающей загрузкой, озонатор, электролизный блок очистки); корректор рН (на основе электролизных процессов); устройство стерилизации воды (ультрафиолетовые лампы); подсистему аэрации (безнапорные оксигенаторы); циркуляционные насосы (группы насосного оборудования для обеспечения циркуляции воды и технологических процессов); измерительное оборудование (термометры, измерители рН и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)).

В гидропонный модуль входят следующие компоненты: подсистема гидропонного выращивания растений (каналы для выращивания растений методом NFT (техника питательного слоя); подсистема создания благоприятных условий для роста и развития растений (вентиляционное оборудование, фитоосвещение); подсистема подготовки питательного раствора (активатор, рН-корректор, отстойник); циркуляционные насосы (группы насосного оборудования для обеспечения циркуляции воды и технологических процессов).

На рисунках 4 и 5 представлены схемы размещения оборудования с внедрением электрохимических элементов.



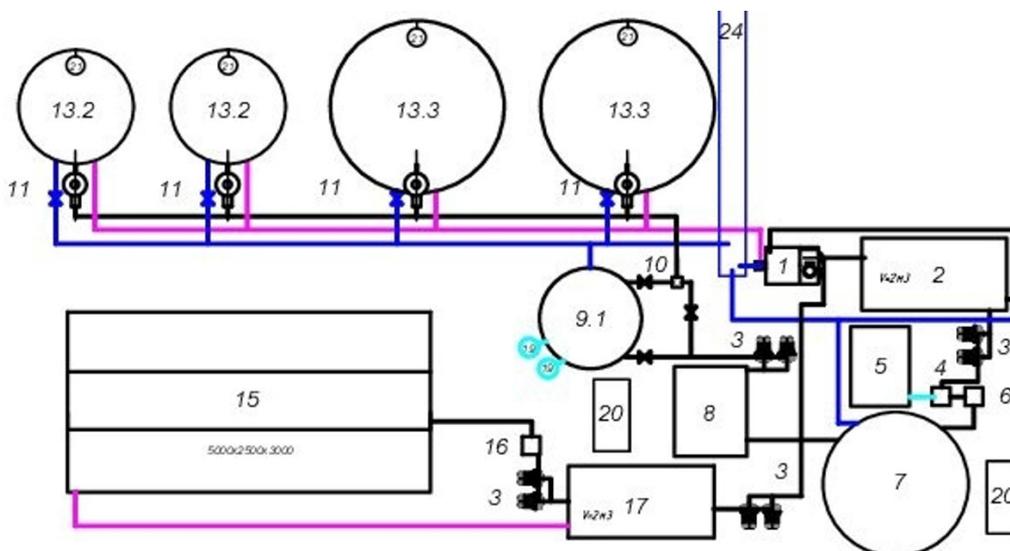
**Рис. 4.** Технологическая схема оборудования УЗВ с классической компоновкой (нумерация согласно рисунка 3)

**Fig. 4.** Process flow diagram of equipment for a recirculating water supply plant with a classic layout (numbering according to Fig. 3)

Целесообразность объединения в единый комплекс классических решений и подходов с использованием электролизных процессов и агрегатов (рисунки 3–5) вызвана наличием негативных функциональных сторон каждого из структурных решений:

- классическая схема менее энергозатратна, но сильно подвержена негативному воздействию нештатных ситуаций резкого увеличения загрязнителей водных растворов, особенно нитритов; запуск биофильтров достаточно длительный и сложный производственный процесс, как и его штатное функционирование;
- схема с использованием электрохимических агрегатов технологически более сложная, включая обслуживание, и имеет более высокий расход ресурсов.

Комбинирование подсистем (рисунки 4 и 5) позволит сгладить указанные недостатки с потенциальной синергией биохимических и электрохимических процессов. Обоснованный комплекс внедряется в филиале «Ресурсный центр ЭкоТехноПарк-Волма» УО «Республиканский институт профессионального образования».



**Рис. 5.** Технологическая схема оборудования аквапонной системы с электрохимическими агрегатами (нумерация согласно рисунка 3)

**Fig. 5.** Process flow diagram of aquaponic system equipment with electrochemical units (numbering according to Fig. 3)

**Заключение.** Экспериментальные исследования безреагентной электролизной обработки водных промышленных установок по выращиванию гидробионтов продемонстрировали положительный эффект по удалению азотистых соединений: эффект редукации азота аммонийного – 22 % (постдействие через 24 часа – 44 %, через 48 часов – 44 %); эффект редукации нитритов – 40 % (постдействие через 24 часа – 80 %, через 48 часов – 60 %); эффект редукации нитратов – 100 % (постдействие через 24 часа – 50 %, через 48 часов – 100 %). Повышение концентрации нитратов через 48 часов объясняется доминированием эффекта нитрификации над денитрификацией без прямого воздействия электрического тока.

Электрохимические процессы очистки растворов аквапонных установок обеспечивают технологическую стабилизацию значений поллютантов, что позволит усовершенствовать классические схемы соответствующих систем, включив в них электролизные агрегаты.

Перспективным направлением исследований является определение воздействия электролитически активированных растворов непосредственно на самих гидробионтов и растения фитомодулей.

### Список использованной литературы

1. Отчет FAO. Подкомитет по аквакультуре 2022 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fao.org/3/cb9459ru/cb9459ru.pdf>. – Дата доступа : 28.08.2022.
2. Власов, В. А. Выращивание африканского сома (*Clarias gariepinus* Burchell) в промышленных условиях / В. А. Власов, М. Фатталахи, А. О. Касумян // Современное состояние и перспективы развития аквакультуры в России. – М., 2008. – С. 41–49.
3. Козырь, А. В. Влияние аквапонного модуля на содержание азотистых соединений в тепловодных установках замкнутого водоснабжения при выращивании клариевого сома (*Clarias Gariepinus*) / А. В. Козырь, Л. С. Цвирко // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук : навучна-практычны журнал. – 2019. – № 1. – С. 87–94.
4. Клариевый сом – перспективный объект промышленного рыбоводства : монография / В. В. Ярмош [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2020. – 203 с.
5. Скорость роста клариевого сома на экспериментальных комбикормах / А. В. Астренков [и др.] // Инжиниринг : теория и практика : материалы II международной научно-практической конференции, Пинск, 6 мая 2022 г. / Министерство образования Республики Беларусь [и др.] ; редкол. : В. И. Дунай [и др.]. – Пинск : ПолесГУ, 2022. – С. 48–50.
6. Козырь, А. В. Влияние электролизных процессов на концентрацию азотистых соединений и продуктивность фитомодуля аквапонной системы / А. В. Козырь, В. Н. Штепа, Е. В. Таразевич // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки : збірник / Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка; відповідальний редактор О. В. Нанка. – Харків : ХНТУСГ, 2021. – Вип. 211 «Інноваційне, технічне та технологічне забезпечення галузі тваринництва». – С. 40–43.
7. Томеди, Э. М. Африканский сом – перспективный объект аквакультуры / Э. М. Томеди, А. М. Тихомиров // Рыбоводство и рыболовство. – 2000. – № 4. – С. 14.
8. Штепа, В. Н. Оценка эффективности параметров безреагентной электролизной очистки сточных вод от азотсодержащих соединений / В. Н. Штепа [и др.] // Гальванотехника и обработка поверхности : научный журнал. – 2022. – Том 30. – № 4. – С. 48–56.
9. Проскуренко, И. В. Замкнутые рыбоводные установки / И. В. Проскуренко. – Москва : ВНИРО, 2003. – 152 с.

### References

1. Otchet FAO. FAO report. Subcommittee on Aquaculture [Podkomitet po akvakul'ture] 2022 [Electronic resource]. (in Russian)
2. Vlasov, V. A., Cultivation of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell) in industrial conditions [Vyrashhivanie afrikanskogo soma (*Clarias gariepinus* Burchell) v industrial'nyh uslovijah] / V. A. Vlasov, M. Fattalahi, A. O. Kasumjan // Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija akvakul'tury v Rossii, 2008. – P. 41–49. (in Russian)
3. Kozyr', A. V. The effect of the aqua foam module on the content of nitrogenous compounds in closed-water thermal water supply installations during the cultivation of *Clarias catfish* (*Clarias Gariepinus*) [Vlijanie akvaponnogo modulja na sodержanie azotistykh soedinenij v teplovodnyh ustanovkah zamknutogo vodosnabzhenija pri vyrashhivanii klarievogo soma (*Clarias Gariepinus*)] / A. V. Kozyr', L. S. Cvirko // Vesnik Paleskaga dzjarzhaŭnaga universitjeta. Seryja pryrodaznaŭchych navuk : nauchno-prakticheskij zhurnal, 2019. – No. 1. – P. 87–94. (in Russian)
4. Jarmosh, V. V. [et al.] Clary catfish – a promising object of industrial fish farming: monograph [Klarievyy som – perspektivnyj ob'ekt industrial'nogo rybovodstva: monografija]. – Pinsk, 2020. – 203 p. (in Russian)
5. Astrenkov, A. V. [et al.] The growth rate of sodium catfish on experimental compound feeds [Skorost' rosta klarievogo soma na jeksperimental'nyh kombikormah] Engineering: theory and practice : Materials of the II International

---

Scientific and Practical Conference, Pinsk, May 6, 2022; ed. Board: V. I. Dunai [et al.]. Pinsk, 2022. – P. 48–50. (in Russian)

6. Kozyr', A. V. The influence of electrolysis processes on the concentration of nitrogenous compounds and the productivity of the phytomodule of the aquaponic system [Vlijanie jelektroliznyh processov na koncentraciju azotistyh soedinenij i produktivnost' fitomodulja akvaponnoj sistemy] / A. V. Kozyr', V. N. Shtepa, E. V. Tarazevich // Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehničnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka. Tehnični nauky. – Pinsk, 2021. – P. 40–43. (in Russian)

7. Tomedi, Je. M. African catfish – a promising object of aquaculture [Африканский сом – перспективный объект аквакультуры] / Je. M. Tomedi, A. M. Tihomirov // Rybovodstvo i rybolovstvo, 2000. – No. 4. – P. 14. (in Russian)

8. Shtepa, V. N. [ et al.]. Evaluation of the efficiency of parameters of reagent-free electrolysis wastewater treatment from nitrogen-containing compounds [Оценка эффективности параметров безрегентной электролизной очистки стоčnih вод от азотсодержащих соединений] // Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti : nauchnyj zhurnal, 2020. – Vol. 30. – No. 4. – P. 48–56. (in Russian)

9. Proskurenko, I. V. Closed fish-breeding installations [Zamknutyje rybovodnye ustanovki]. – Moscow, 2003. – 152 p. (in Russian)

*Поступила в редакцию 04.04.2023*