

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОНИТОРИНГА ПРУДОВЫХ ВОДОЕМОВ С КАРТИРОВАНИЕМ И ВЫДЕЛЕНИЕМ ЗОН БИОРЕМЕДИАЦИИ

^{1,2}Медведева Л.Н.

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Российская Федерация

²ФГБУ ВО Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены материалы, раскрывающие вопросы проведения биосферного мониторинга на водохозяйственных системах. Обоснованы основные концептуальные подходы к применению умных (информационных) и природосберегающих технологий в прудовом бизнесе. С учетом возрастающей хозяйственной деятельности человека ключевыми требованиями к организации мониторинга становятся: мобильность и оперативность, автоматизированная обработка и хранение данных. Управление экосистемой и поддержание её на высокопродуктивном уровне можно достичь за счет установления определенных взаимоотношений между основными гидробионтами, а сложившаяся пластичность пищевых цепочек должна оперативно подстраиваться под хозяйственную деятельность. Представлены разработки по автоматизации мониторинга за состоянием воды, оздоровлению природных водоемов на основе применения технологии альголизации - вселение микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

Ключевые слова. Аквакультура, биосферный мониторинг, рыбоводные хозяйства, качество воды водоемах, плавсредства, биоремедиация.

CONCEPTUAL MODEL OF MONITORING OF POND WATER BODIES WITH MAPPING AND SELECTION OF BIOREMEDIATION ZONES

^{1,2}Medvedeva L.N.

¹FSBSI All-Russian research institute of irrigated agriculture, Volgograd, Russia.

²FGBU VO Volgograd state technical University, Volgograd, Russia.

Abstract. The article presents materials that reveal the issues of biospheric monitoring in water management systems. The main conceptual approaches to the use of smart (information) and environmentally friendly technologies in the pond business are substantiated. Taking into account the growing economic activity of a person, the key requirements for the organization of monitoring are: mobility and efficiency, automated processing and storage of data. Ecosystem management and maintenance at a highly productive level can be achieved by establishing certain relationships between the main hydrobionts, and the existing plasticity of food chains should be quickly adjusted to economic activity. The developments on automation of monitoring of the state of water, improvement of natural reservoirs based on the use of algalization technology - the introduction of microalgae *Chlorella vulgaris* are presented.

Keywords. Aquaculture, biosphere monitoring, fish farms, water quality in reservoirs, watercraft, bioremediation.

Введение. В России, как и в большинстве стран мира, рыбоводство считается частью агропромышленного комплекса и входит в число приоритетов развития. Страна располагает значительными водными ресурсами: 25 млн. га озера, 5 млн. га водохранилища, 155 тыс га пруды, 300 тысяч м² садки. Эра промышленного рыбоводства началась в XIX веке с предпринимательской инициативы и научных экспериментов В.П. Врасского. Сегодня прудовое рыбоводство включает: выращивание рыб в искусственных и естественных водоемах с применением комбикорма систем УЗВ, проведение мониторинга водоемов и определение качества воды, биоресурсов, оздоровление и очистка прудов, установка рыбовыпускных сооружений, рыбоходов, рыбоподъемников, механических устройств для раздачи корма. Россия производит около 1% мирового промышленного производства рыбы (75 тысяч тонн в год), что говорит о высоком потенциале, в тоже время, недостаточном развитии отрасли [3]. Обеспечить развитие прудового рыбоводства позволит, принятая «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года», которая нацелена на

восстановление производственных баз, увеличение производства рыбной продукции, создание чистых линий основных видов промысловых рыб, внедрение умных технологий в организацию рыбного дела и подготовку сбалансированных кормов [10]. Важнейшим аспектом управленческой деятельности рыбоводческих организаций является поддержание биопродуктивности прудов, сокращение производственного цикла от посадочного материала до получения товарной продукции [9]. Связи с усилением антропогенной нагрузки на водоемы, появлением эффекта «цветения воды», которое обеспечивается бурным размножением сине-зеленых водорослей, важным становится проведение технологий альголизации и биоремедиации. Выделяемые сине-зелеными водорослями токсины, оказывают угнетающее действие на зоопланктон и рыб, снижают эффективность прудового бизнеса. В России большинство рыбы выращивается в Южном Федеральном округе: 63,5% от общего объема. Лидерами являются – Краснодарский край, Ростовская и Астраханская области [6]. Основные зоны рыбоводства в России, установленные в законодательном порядке, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные зоны рыбоводства в Российской Федерации.

Зона	Регионы
Первая: 60-75 дней в году с температурой более 15 С°	Бурятская и Удмуртская Республики, Красноярский и Хабаровский край, Тверская, Ивановская, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Псковская, Московская, Нижегородская, Иркутская, Костромская область, Ленинградская, Тюменская и Ярославская области.
Вторая: 76-90 дней в году с температурой более 15 С°	Республики: Башкортостан, Татарстан; Еврейская и Хакасская АО, Алтайский край, Владимирская, Калужская, Курганская, Рязанская, Смоленская, Челябинская, Московская и Нижегородская области.
Третья: 91-105 дней в году с температурой более 15 С°	Республики: Мордовия, Башкортостан, Татарстан, Приморский край, Брянская, Курская, Липецкая, Орловская, Пензенская, Самарская, Тамбовская, Ульяновская и Рязанская области.
Четвертая: 106-120 дней в году с температурой более 15 С°	Белгородская, Воронежская, Оренбургская, Саратовская области
Пятая и шестая: 136 -150 дней в году с температурой более 15 С°	Республики: Кабардино-Балкария, Дагестан, Калмыкия, Чечня, Краснодарский и Ставропольский край, Астраханская, Волгоградская и Ростовская области.

Благоприятный температурно-гидрохимический режим во 3 -5 зонах при правильном использовании технологий позволяет рыбоводам получать высокий прирост рыбы. *Целью исследования является формирование концептуальных подходов к поддержанию высокой продуктивности рыбоводных водоемов через обеспечение биосферного мониторинга и проведение биоремедиации.*

Материалы и методы. Концептуальная модель мониторинга экосистемы рыбоводного пруда представляет собой процесс описания и контроля основных биогидрохимических процессов, протекающих в нем. Под мониторингом понимается система наблюдений и прогноза изменения состояния водных объектов под воздействием природных и антропогенных факторов. С учетом возрастающей хозяйственной деятельности человека ключевыми требованиями к организации процесса мониторинга стали: мобильность и оперативность, получаемой информации, автоматизированная обработка и хранение данных. Гидрологический мониторинг обеспечивает систему наблюдений за состоянием водных объектов, включая оценку процессов природного и антропогенного генезиса, моделирование системы «водосбор – водоток», а также прогнозировать возможные изменения в системе «водосбор – водный объект» [2]. Управление экосистемой и поддержание её на высокопродуктивном уровне должно достигаться за счет установления определенных взаимоотношений между основными гидробионтами. Качественная устойчивость экосистемы пруда – это сложившаяся пластичность пищевых взаимоотношений основных продуцентов, которая может меняться в связи с экстремальными условиями или под целенаправленной хозяйственной деятельностью человека, обеспечивать переключение с одних пищевых объектов на другие. Экологическое нормирование качества воды на современном этапе решает следующую задачу: «для конкретного водоема оценивается его биосферный статус или степень отклонения биоценоза от некоторого оптимального состояния и на основании этого делается вывод об интенсивности антропогенных факторов, как возможной причины происходящих изменений» [3]. Для определения экологически обоснованных норм антропогенного поступления биогенных элементов в экосистему водоёма требуется определять естественную внутригодовую динамику содержания биогенных элементов. Морфометрические показатели системы «водосбор – водоём»: площадь и коэффициент удельного водосбора, объём водоёма и коэффициент условного водообмена влияют на функционирование экосистемы водоёма,

поэтому данные параметры учитываются при разработке экологически обоснованных норм состояния водоема. Компьютерное моделирование состояния рыбоводного пруда невозможно осуществить без детального знания всех уровней экосистемы – от бактерий до фитопланктона. Например, в нагульных прудах фотосинтез фитопланктона протекает значительно интенсивнее, чем деструкция органических веществ, естественно углекислый газ, находясь в наиболее удобной форме, используется фитопланктоном в процессе фотосинтеза. Насыщение воды кислородом идёт главным образом за счёт фотосинтеза [6]. Бактериальные процессы минерализации органических веществ в водной толще и донных отложениях насыщают воду углекислым газом, в результате чего показатель рН сдвигается в кислую сторону. В утренние часы активная реакция воды бывает кислой, а в вечерние – щелочной. Газовый режим рыбоводного пруда теснейшим образом связан с биологическими процессами, протекающими в нём и поэтому для интенсивного развития микробиологических процессов нужно постоянно поддерживать в воде определённые концентрации кислорода, азота и фосфора. Оптимальные показатели состояния экосистемы рыбоводных прудов представлены в таблице 2 [2, 9].

Таблица 2 - Оптимальные значения экосистемы рыбоводных прудов

<i>Показатели</i>	<i>Карповые хозяйства</i>	<i>Форелевые хозяйства</i>
Возвешенные вещества, мг/л	До 25	До 10
Водородный показатель, рН	6,5—8,5	7,0—8,0
<i>Кислород, мг/л</i>	<i>Не менее 5</i>	<i>Не менее 9</i>
Диоксид углерода, мг/л	До 25	До 10
Сероводород, мг/л	Нет	Нет
Окисляемость перманганатная, мг О/л	До 15	До 10
Азот аммонийный, мг NH ⁺ /л	До 1,5	
Нитриты, мг NO ⁺ /л	До 0,05	До сотых долей
Нитраты, мг КОУл	До 2	До 2
Железо общее, мг/л	До 2	До 0,5
Жесткость общая, мг • экв/л	2 - 6	3 -7

Сине-зеленые водоросли, создающие «эффект цветения», сопровождаются выделением и накоплением в водной среде биологически активных веществ и токсинов, представляющих опасность для рыб [8]. По химической структуре токсины сине-зеленых водорослей подразделяются на группы: пептиды (циклические и линейные), алкалоиды и липополисахариды. Первые и вторые являются вторичными метаболитами, т.е. не участвуют в генеральном метаболизме, липополисахариды представляют собой структурные компоненты наружной клеточной мембраны. Можно констатировать, что токсины сине-зеленых водорослей обладают нейро-, иммуно-, гено-, дерматотоксичностью и мутагенностью, что необходимо учитывать рыбоводам. Для снятия «эффекта цветения» воды проводится механическая и биологическая очистка водоемов. В число биологических методов входит альголизация водоемов - вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Для расчёта параметров вселения хлореллы можно воспользоваться, разработанными в ФГБНУ ВНИИОЗ программами для ЭВМ «Система искусственного интеллекта для альголизации пресноводных водоемов Юга России штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в расчете на площадь водного зеркала» (№ 2021617064 от 06.05.2021); «Моделирование параметров процесса альголизации водоема на основе определения степени адаптации *Chlorella Vulgaris* к воде природных и искусственных водоемов» (№ 2021680606 от 13.12.2021) [11,12]. Для вселения *Chlorella vulgaris* можно применять автоматическое плавсредство, разработанное в НИИ (ФГБНУ ВНИИОЗ. Патент на полезную модель 209044 У1, 31.01.2022). В 2022 году творческий коллектив ученых ФГБНУ ВНИИОЗ и ФГБУ ВО ВолгГТУ, в рамках выполнения научного гранта Администрации Волгоградской области: **«Концептуально-методологические основы формирования экологического экотона на водохозяйственных системах с построением агент-ориентированных моделей биосферного мониторинга и биоремедиации» проводил**

исследования по оценке качества воды и состоянию биоресурсов в ООО «Прибой» (Быковский район, Волгоградская область). На балансе у организации находятся несколько прудов. Которые заполняются водой из Волгоградского водохранилища: первый пруд-72га, второй -45га, третий- 38га, четвёртый -25 га, пятый - 11 га, шестой - 1 га. Было проведено картирование одного из прудов, определены зоны для вселения *Chlorella vulgaris* (рисунок 1). Вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 проводилось по технологии, разработанной в ФГБНУ ВНИИОЗ и следующей схеме: март-апрель - 20; май-40; июнь-август - 60 литров на 1 га площади водного зеркала [8].



Рисунок 1 – Схема картирования пруда с выделением зон биоремедиации, ООО «Прибой», Волгоградская область

Исследования за состоянием воды в прудах позволило выявить определенные закономерности: количественные показатели водорослей колебались в пределах от 0,084 до 69,86 млн. кл/л; общая биомасса от 0,016 до 5,9 г/м³ в зависимости от сезона [8]. Основу биомассы составляли четыре отдела водорослей: диатомовые, сине-зелёные, зелёные и пиррофитовые. *Chlorella vulgaris* была зарегистрирована с июня по август в опытном пруде от 0,1 до 10 % от общей массы фитопланктона. Максимальная численность сине-зелёных водорослей была отмечена в контрольном пруде. Содержание растворенного кислорода не опускалось ниже рыбохозяйственной нормы, было на уровне: 5,5 – 19,4 мг О₂/дм³ Максимальные показатели кислорода: 12,4 – 19,4 мг О₂/дм³ были зарегистрированы в зонах вселения *Chlorella vulgaris*.

Таблица 3 – Показатели состояния воды в прудах ООО Прибой, 2022 год

Показатели	Контрольный пруд	Опытный пруд
pH	6.3 – 7.9	7.6-8.2
Растворенный кислород, мг О ₂ /дм ³	4.9 -5.6	8,2 -9,7
БПК _{полн.} , мгО ₂ /дм ³	0.5-3.4	0.9 -2.3
ХПК, мгО/дм ³	8.4 -23.9	12.1 -25.6
NH ₄ ⁻ мг/дм ³	0.2 -1.36	0.24-0.39
NO ₂ ⁻ мг/дм ³	0.006 – 0.037	0.006 – 0.020
P – PO ₄ ³⁻ мг/дм ³	0.03 – 0.08	0.03 -0.59
Fe _{щ.} мг/дм ³	н/о-0.19	н/о-0.13
Σ биоген мг/дм ³	3.599 -5.091	2.919 – 2.935

Источник: по материалам исследования

Для мониторинга водоемов используются приборы: термооксиметры, pH-метры, метеостанции, датчики уровня воды, надводные и подводные видеокамеры, интеллектуальное программное обеспечение на базе нейронных сетей [1,4,5]. Применение стационарных постов гидрохимического мониторинга не позволяет охватить все водные объекты, на которых требуется проведение мониторинга, по оценке качества воды. Расширение сети стационарных постов нерационально, так как требует значительных материальных затрат на установку, обеспечение сохранности и

работоспособности. Традиционные методы мониторинга с отбором проб и их анализом в стационарных или полевых лабораториях также не лишены недостатков. Так, в любом случае, отбор проб требует выдвижения к водному объекту квалифицированных сотрудников, использование лодочных средств и значительное количество приборов для отбора проб. При проведении анализа в стационарных лабораториях значительно увеличивается время получения результатов, вероятность ошибок, что может дать неверную оценку экологической ситуации. Проведение анализа в мобильных лабораториях сокращает время получения результатов, но требует повышенных затрат на организацию мониторинга за счет необходимости оснащения мобильной лаборатории и привлечения к исследованиям подготовленных специалистов. На современном этапе развития умных технологий значительная часть задач мониторинга водных ресурсов может быть передана роботизированным мобильным комплексам, способным проводить экспресс-анализ параметров воды, оперативно, с привязкой к конкретному водному объекту, передавать информацию о результатах проведенных анализов пользователю, сохранять и архивировать полученные данные. Готовыми решениями являются разработки испанской компании, в их числе модуль «Smart Water PRO», реализованный в проекте «Дрон на Волге», который способен определять качество в искусственных и естественных водоёмах с пресной и солёной водой. Система включает в себя датчики анализа: pH, окислительно-восстановительного потенциала, растворенного кислорода, проводимости, температуры. Российская компания ООО «Мераприбор» производит аналог – цифровой датчик «Аква МП-700.010», который позволяет одновременно измерять 9 физико-химических параметров, связанных с контролем качества воды, а именно: pH среды, температуру, мутность жидкости (мг/л), удельную электропроводимость, минерализацию, общее количество растворенных твердых веществ [4]. Датчик имеет компактные размеры (диаметр 75мм, длина (без крюка) 288мм, длина с крюком 394мм) и прочный полимерный корпус, соответствующий классу пылевлагозащиты IP68. Данное устройство устойчиво к помехам, а за счет применения цифровой обработки сигналов обеспечивает исключительную надежность измерений. На рисунке 2 датчики испанской и российских компаний для мониторинга водной среды.



Рисунок 2 – Модуль «Smart Water» (А) и многопараметрический зонд «Аква МП-700.010» (Б)

Результаты и обсуждение. Для определения качества воды в водоемах В ООО «Прибой» проводилось испытание, разработанного в ФГБНУ ВНИИОЗ плавсредства, способного в режиме онлайн передавать данные по 16 параметрам. В качестве основы конструкции дистанционно управляемого, автоматизированного плавсредства был выбран катамаран. Плавсредство конструктивно состоит из двух гидродинамически обтекаемых корпусов, которые обеспечивают необходимый запас устойчивости. В рубке размещаются: блок-системы управления плавсредством с интегрированной системой геолокационного позиционирования; механизм поворота с блоком датчиков для мониторинга параметров воды; блок беспроводной передачи информации с датчиков мониторинга параметров воды на удаленное устройство; механизм поворота консоли крепления электродвигателя; блок питания с контроллером заряда. Предлагаемая концепция плавсредства, предназначенного для проведения биосферного мониторинга, обеспечивает максимальную готовность к использованию и минимизации времени на его перевод в рабочее состояние. Управление плавсредством осуществляется с ПДУ или планшета по беспроводным каналам связи. Сигнал с датчиков передается на удаленное устройство, на

котором в режиме реального времени можно видеть измеряемые параметры. На удаленном устройстве с помощью специального ПО параметры мониторинга архивируются и сохраняются для дальнейшей аналитической обработки. Испытания **автоматического дистанционно** управляемого **плавсредства** для оценки качества воды и состояния биологических ресурсов на рыбоводных прудах ООО «Прибой» показали достаточную эффективность. Передача данных осуществлялась на расстоянии более 1 км (рисунок 2, 3).

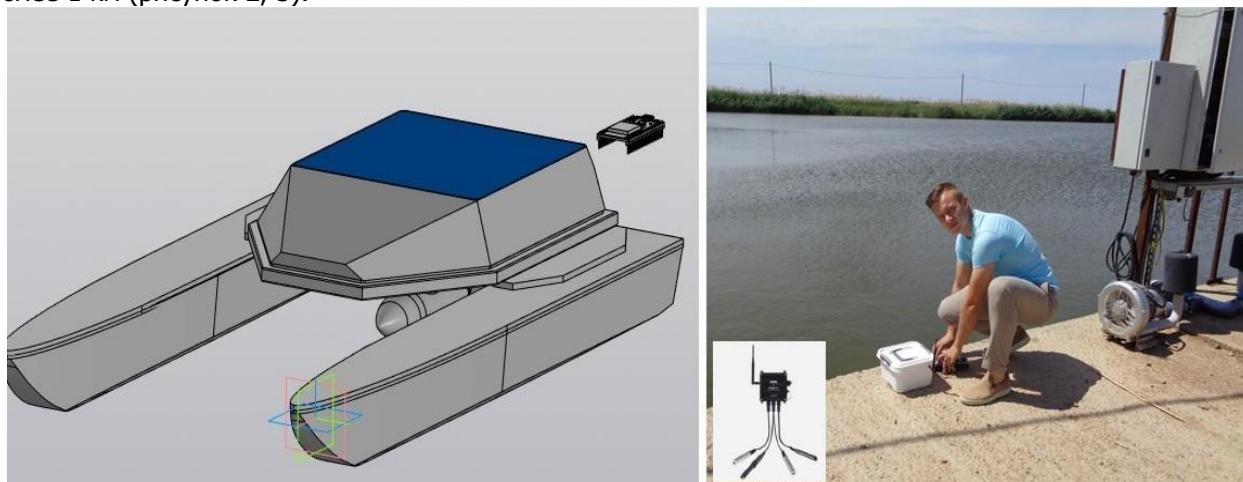


Рисунок 3 – Модель дистанционно управляемого, автоматизированного плавсредства, предназначенного для проведения биосферного мониторинга на водоемах

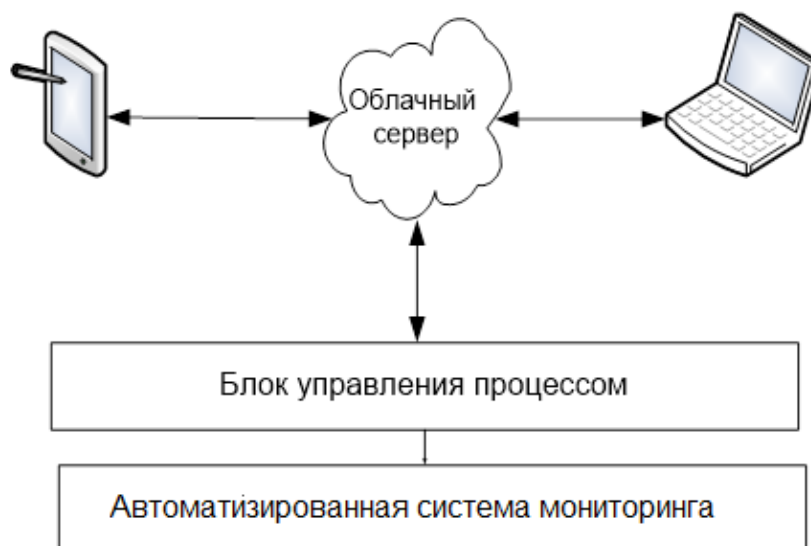


Рисунок 4 – Схема передачи данных при проведении биосферного мониторинга водоемов.

Выводы. Концептуально-методологические основы формирования биосферного мониторинга с картированием и выделением зон биоремедиации на водохозяйственных системах и рыбоводных прудах позволяют повысить эффективность предпринимательской деятельности и обеспечить продвижение инноваций. Разработка автоматизированного плавсредства для проведения биосферного мониторинга позволит улучшить контроль за состоянием воды водоемах. Искусственный интеллект (artificial intelligence) и предписывающая аналитика (prescriptive analytics) позволяют обеспечить управление прудовым бизнесом с учетом территориальных особенностей. Полученная в ходе исследования доказательная база применения штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в оздоровлении водоемов, использовании в качестве живого корма, расширяет представления о биологических технологиях в прудовом бизнесе. Анализируя и изучая переходные сообщества (экотоны), которых русский ученый В.И. Вернадский называл «эффектами сгущения в природе», ученые ФГБНУ ВНИИОЗ расширяют представления о процессах биосферного мониторинга и применения нейронных сетей на водохозяйственных объектах.

Список использованных источников

1. Автоматизированная система управления многофункциональными устройствами докорма и защиты рыбы в прудовых хозяйствах [Электронный ресурс] // В.Е. Костин, А.В. Савчиц, А.С. Корнеев, В.А. Ким // 17-я научно-практическая конференция ППС ВПИ (филиал) ВолгГТУ, Волгоград. 2018. С. 48-50.
2. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы // Т. В. Гусева [и др.]-М.: Социально-экологический союз, 2000. 148 с.
3. Гурина И.В., Медведева Л.Н., Рогачев А.Ф., Медведев А.В. Конвергентная платформа smart agriculture и применение цифровых информационных технологий в агробизнесе // Учет и статистика. 2019. 3. С. 74-84
4. К вопросу создания ведомственной автоматизированной системы гидрологического мониторинга / Г. Х. Исмаилов, Т. И. Беглякова // Природообустройство. 2011. N 3. С. 43-46.
5. Кропотова, Н.А. Роботизированная платформа, обеспечивающая мониторинг обстановки на водных объектах / NovaInfo, 2020. № 114. С. 2-4. - URL: <https://novainfo.ru/article/17741> (дата обращения 30.09.2022)
6. Мелихов В.В., Сизов Ю.И., Медведева Л.Н., Плотников А.С., Федоров А.Л. Развитие прудового предпринимательства на конвергентной природосберегающей платформе // Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция "АКВАКУЛЬТУРА 2021"). Редколлегия: И.М. Донник [и др.]. Ростов-на-Дону, 2021. С. 45-49.
7. Медведева Л. Н., Фролова М. В., Московец М. В., Медведев А. В. Внедрение природосберегающих технологий – экологический императив в развитии регионов // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2019. Т. 21. С. 126 -140.
8. Московец М.В., Фролова М.В., Птицына Л.А., Торопов А.Ю. Особенности влияния штамма *Chlorella vulgaris* ИФР N C-111 на качество воды в прудовом рыбоводстве // Орошаемое земледелие, 2019. № 3. С.46-49.
9. Муратова Е. Н. Организация прудового хозяйства: оценка доходности и перспективы развития // International agricultural journal. 2019. №4. С 195-203.
10. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года // М.: ФГБНУ «Роинформагротех», 2019. 68 с.
11. Фролова М.В., Московец М.В., Торопов А.Ю. Использование кормовой добавки хлореллы при выращивании стерляди в прудовых хозяйствах // Орошаемое земледелие, 2020. №3. С.54-57.
12. Roiss O., Medvedeva L.N. New Horizons for the Application of Microalgae in the National Economy // ICT Systems and Sustainability Proceedings of ICT4SD, 2020. V 1. PP. 733-740.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 6 от 20 декабря 2021 года «Концептуально-методологические основы формирования экологического экотона на водохозяйственных системах с построением агент-ориентированных моделей биосферного мониторинга и биоремедиации».