УДК 574.55

DOI: 10.35809/2618-8279-2019-3-12

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ШТАММА CHLORELLA VULGARIS ИФР №С-111 НА КАЧЕСТВО ВОДЫ В ПРУДОВОМ РЫБОВОДСТВЕ

FEATURES OF THE INFLUENCE OF THE STRAIN CHLORELLA VULGARIS IGF NUMBER C-111 WATER QUALITY IN POND FARMING

М.В. Фролова, кандидат биологических наук,

М.В. Московец,

Л.А. Птицына,

А.Ю. Торопов

M.V. Frolova, candidate of biological sciences,

M.V. Moskovets,

L.A. Pticyna,

A.Ju. Toropov

Всероссийский научно-исследовательский институт
орошаемого земледелия

All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture

В статье описаны экологические проблемы прудового рыбоводства Российской Федерации, причины, ухудшающие качество воды, снижения рыбопродуктивности. Особый вред качеству воды приносят монокультуры одного из видов сине-зеленых водорослей (цианобактерий), которые вызывают «цветение» воды, засоряют агрегаты электро- и насосных станций, при разложении выделяют неприятный запах и ядовитые вещества, портят качественный состав воды, вызывают гибель рыбы и наносят серьезное повреждение водным экосистемам. Несмотря на имеющийся опыт во всем мире по восстановлению экологического состояния водоемов и смягчения последствий развития сине-зеленых водорослей, проблема «цветения» воды до настоящего времени остается актуальной. Представлены различные методы решения этой проблемы, причем особое внимание уделено технологии аквакультуры с использованием зеленых водорослей. Приведены результаты исследования по вселению в пруды микроводоросли хлореллы – штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 с целью улучшения качества воды. При выполнении работы были учтены результаты гидрохимических и гидробиологических анализов воды исследуемых объектов, объемы и кратность вселения хлореллы. Установлено, что присутствие хлореллы подавляет развитие сине-зеленых водорослей и создает благоприятные условия для массового развития зеленых, что объясняется структурной перестройкой фитопланктона в пользу зеленых водорослей. Получены положительные результаты по качественному составу гидрохимических и гидробиологических показателей качества воды в прудах после многократного вселения хлореллы. Доказано, что хлорелла оказывает положительное влияние не только на качество воды в прудовом рыбоводстве, но и способствует улучшению кормовой базы водоемов, так как она отличается высоким содержанием белков, липидов, углеводов и минеральных веществ.

The article describes the environmental problems of pond fish farming in the Russian Federation, the reasons that worsen the quality of water, reducing fish productivity. Particular harm to water quality bring monocultures of one of the species of blue-green algae (cyanobacteria), which cause «blossoming» of water, clog the units of electric and pumping stations, when decomposing emit an unpleasant smell and toxic substances, spoil the quality of water, cause death of fish and cause serious damage to aquatic ecosystems. Despite the experience in the world to restore the ecological status of water bodies and mitigate the effects of blue-green algae, the problem of «blossoming» of water is still relevant. Various methods of solving this problem are presented, and special attention is paid to the technology of aquaculture using green algae. The results of the study of the universe in ponds microalgae *Chlorella* – *Chlorella vulgaris*, strain IGF number C-111 with the objective of improving water quality. The results of hydrochemical and hydrobiological analyses of water of the studied objects, the volume and multiplicity of *Chlorella* introduction were taken into account in the performance of the work. It was found that the presence of *Chlorella* inhibits the development of blue-green algae and creates favorable conditions for the mass development of green, due to the structural restructuring of phytoplankton in favor of green algae. Positive results were obtained on the qualitative composition of hydrochemical and hydrobiological indicators of water quality in ponds after multiple introduction of *Chlorella*. It is proved that *Chlorella* has a positive effect not only on the quality of water in pond fish farming, but also contributes to the improvement of the forage base of reservoirs, as it has a high content of proteins, lipids, carbohydrates and minerals.

Ключевые слова: прудовое рыбоводство, *Chlorella vulgaris*, фитопланктон, зеленые водоросли, сине-зеленые водоросли, цветение воды, качество воды, гидрохимические параметры, рыбопродуктивность

Key words: pond fish farming, *Chlorella vulgaris*, phytoplankton, green algae, blue-green algae, water-bloom, water quality, hydrochemical parameters, fish production

Введение. Причиной снижения рыбопродуктивности рыбоводных хозяйств являются несколько факторов. Это плохое качество воды с отсутствием полезных питательных веществ, концентрация аммиака и нитратов в воде, отравления и заболевания рыб, обусловленные влиянием «цветения» воды, вызванного сине-зелеными водорослями. При «цветении» воды в водоемах биомасса водорослей скапливается в прибрежной части и разлагается. Разлагающиеся водоросли вызывают негативные явления и в самом водоеме: снижение содержания кислорода, появление токсинов в воде, образование заморных зон, гибель гидробионтов [3]. В ходе увеличения трофического статуса водоема тенденцию к доминированию начинают приобретать сине-зеленые водоросли. При повышении концентрации биомассы водорослей до 100 мг/л сухого вещества и более падает кислородная продуктивность клеток, усиливаются процессы разложения, идущие с поглощением кислорода. В среде накапливаются органические вещества и продукты их распада, в том числе и токсичные, характеризующиеся широким спектром биологического действия [4, 12].

Водоросли, являясь неотъемлемой частью природных экосистем, представляют собой источник разнообразных ценных и уникальных биоорганических соединений, они богаты белками, витаминами, микроэлементами и биологически активными веществами. Это способствует широкому спектру использования водорослей. Выделяя в окружающую среду различные биологически активные вещества, они способны оказывать регуляторное воздействие на другие организмы [9].

Проводимые ранее (в 2011-2012 годах) работы по биологической реабилитации Черноисточинского и Верхне-Выйского питьевых водохранилищ привели к значительному улучшению качества воды по эколого-гидрохимическим и эколого-гидробиологическим параметрам, о чем свидетельствовало отсутствие «цветения» водоемов, вызванное сине-зелеными водорослями, снижение индекса сапробности. Произошло значительное снижение концентрации ряда загрязняющих веществ: железа, марганца, меди, нефтепродуктов, а также уменьшение запаха и улучшение качества воды по гидрохимическим показателям до второго класса по индексу загрязнения воды [5].

Несмотря на принимающиеся за последние годы меры по улучшению экологического состояния водоемов, проблема «цветения» воды остается актуальной. Разложение массы сине-зеленых водорослей сопровождается специфическим неприятным запахом, биомасса в нагонах составляет 2-3 кг/м². Многие ученые и предприятия предлагали и использовали различные методы защиты водоемов от «цветения»: физические (меха-

нические), химические, биологические, бактериальные и другие. Однако эти методы требуют высоких затрат и не эффективны [7,11]. Наиболее перспективным и экологически безопасным методом предотвращения «цветения» воды является вселение микроводоросли *Chlorella vulgaris* [6]. Кроме того, хлорелла является дешевым экологически безопасным кормовым ресурсом для рыб, зоопланктона, зообентоса. Преимущества микроводорослевых технологий являются основой для создания крупномасштабного производства микроводорослей в Южной России [1].

Реформирование отечественного рыбного хозяйства предполагает развитие инновационных и ресурсосберегающих производств. В этом аспекте все большее значение приобретают технологии аквакультуры с использованием водорослей.

Целью работы являлось предотвращение «цветения» воды, вызванного сине-зелеными водорослями, и улучшение ее качества в различных водоемах.

Материалы и методы. Исследования проводили на базе ИП КФХ Лозина Я.В. (Волгоградская область, Средне-Ахтубинский район, п. Волжанка).

Исследуемыми объектами были:

пруд Бирючья балка (контрольный) – площадь зеркала 13 га,

пруд №8 (опытный) – площадь зеркала 10 га,

пруд №9 (опытный) – площадь зеркала 11 га.

В ходе проведения научного эксперимента учитывали показатели гидрохимического и гидробиологического состояния водоемов, адаптацию штамма

Chlorella vulgaris ИФР №С-111 к воде из-учаемых объектов.

Проводили работы по вселению штамма в опытные пруды №8 и №9 и наблюдения за его влиянием на состояние природного планктона в стадии «цветения» воды. При вселении хлореллы в пруды учитывали кратность и объемы вселения (таблицы 1, 2).

Пробы воды за период с мая по сентябрь текущего года для гидрохимических и гидробиологических анализов отбирали в опытных прудах №8 и №9 и контрольном пруду Бирючья балка. Периодичность отбора – один раз в месяц.

Выполнение анализов воды проводили в аккредитованных лабораториях ФГБНУ ВНИИОЗ, ФГУ «Эксплуатация Волгоградского водохранилища», ФГНУ Волгоградского отделения ГосНИОРХ.

Для проведения научно-исследовательской работы использовали общеизвестные методики. Выращивание штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 проводили на элективной питательной среде (N-64, P-8, Fe-0,1, Co-0,001, Cu-0,001 мг/л). Определение плотности культуры выполняли по оптическому светопропусканию и подсчету клеток в камере Горяева. Пробы воды оценивали по нормативам качества воды и водных объектов рыбохозяйственного значения [8].

Результаты и обсуждение. В результате проведенных опытов было выявлено заметное увеличение зеленых водорослей при вселении хлореллы в опытных прудах №8 и №9 и сине-зеленых водорослей в контрольном пруду Бирючья балка, куда хлореллу не вселяли (таблица 3).

Таблица 1 – Фактор А – Кратность вселения хлореллы в водоемы

Пруд №8		Пруд №9	
Плотность клеток -10 млн/мл		Плотность клеток – 10 млн/мл	
месяц	кратность	месяц	кратность
май	2*	май	1***
июнь	2*	июнь	1***
июль	3**	июль	2*
август	3**	август	2*
сентябрь	2*	сентябрь	1***

Примечание: * – интервал внесения хлореллы в водоем 15 дней, ** – интервал внесения хлореллы в водоем 10 дней, *** – интервал внесения хлореллы в водоем 30 дней

Таблица 2 – Фактор В – Объемы вселения хлореллы (л/га)

Пруд №8		Пруд №9	
Плотность клеток – 10 млн/мл		Плотность клеток -10 млн/мл	
месяц	количество литров	месяц	количество литров
май	10	май	15
июнь	10	июнь	15
июль	15	июль	30
август	15	август	30
сентябрь	10	сентябрь	15
итого	1 500		1 815

Таблица 3 – Состояние фитопланктона исследуемых прудов
(численность клеток, тыс.кл./л)

Наименование	Бирючья балка			Пруд №8			Пруд №9		
	июнь	август	сентябрь	июнь	август	сентябрь	июнь	август	сентябрь
Синезеленые водоросли	1 970	2 230	2 230	1 900	843	520	1 400	750	490
Зеленые водоросли	1 810	1 800	1 700	2 100	4 740	5 100	2 380	4 950	5 500

Таблица 4 – Гидрохимические показатели прудов (мг/дм³)

Показатель	Бирючья балка			Пруд №8			Пруд №9			ПДК для водоемов, мг/дм ³
	июнь	август	сентябрь	июнь	август	сентябрь	июнь	август	сентябрь	
Кислород растворенный	7,7	6,3	6,4	8,5	9,2	9,2	8,7	9,5	9,5	не менее 6,0
Реакция среды	8,5	8,7	8,6	7,6	7,8	7,9	8,0	7,1	7,8	6,5-8,5
Нитриты	0,03	0,03	0,08	0,04	0,02	0,07	0,03	> 0,02	0,08	0,08
Нитраты	39,00	42,00	42,00	2,70	1,55	2,00	32,00	1,68	1,80	40,10
БПК ₅	3,90	4,90	5,07	3,48	2,94	1,36	3,08	2,70	2,30	3,00
ХПК	44,5	23,8	20,6	25,6	15,0	15,0	15,5	13,3	12,8	15,0
Хлориды	235	230	233	231	220	220	226	210	200	300
Кальций	150	80	100	129	65	70	133	60	67	180
Марганец	0,078	0,074	0,090	0,057	0,064	0,740	0,060	0,062	0,072	0,100
Железо растворенное	0,031	0,034	0,022	0,030	0,037	0,129	0,030	0,034	0,125	0,300
Фосфаты	0,130	0,050	0,185	0,162	0,050	0,106	0,150	0,050	0,110	0,150

Таблица 5 – Качество воды (по ИЗВ) в опытных и контрольном прудах

Наименование пруда	Величина ИЗВ	Класс качества воды	Описание класса
Бирючья балка (контрольный)	1,340	третий	умеренно загрязненная
Пруд №8 (опытный)	0,911	второй	чистая
Пруд №9 (опытный)	0,885	второй	чистая

В течение исследуемого периода в контрольном пруду численность клеток сине-зеленых водорослей возросла (с 1 970 до 2 230 тыс.кл./л), их биомасса также увеличилась (с 0,4 до 0,7 мг/л), а численность клеток и биомасса зеленых водорослей, наоборот, уменьшились, что вызвало «цветение» воды и негативно сказалось на ее качестве.

В опытных прудах №8 и №9 при вселении хлореллы значительно увеличилась численность клеток зеленых водорослей (до 5 500 тыс.кл./л) и их биомасса (до 3,5-4,0 мг/л), численность клеток и биомасса сине-зеленых водорослей, напротив, существенно снизились. Это оказало положительное влияние на качество воды в данных водоемах, и «цветения» ее в течение периода исследования отмечено не было.

Результаты гидрохимических анализов воды показали, что вода опытных прудов на протяжении периода наблюдений отличалась стойким уменьшением концентрации различных форм соединений азота, ХПК и БПК, содержание прочих анализируемых компонентов варьировало в узком диапазоне, и тенденции к его увеличению замечено не было. Следует отметить, что в пруду №9, куда хлореллу вселяли чаще, чем в пруд №8, и несколько большим рекомендуемым технологией объемом, гидрохимические показатели воды были выше (таблица 4).

Анализ качества воды изучаемых водоемов свидетельствовал, что в воде контрольного пруда содержание растворенного кислорода к окончанию периода исследований снижалось (с 7,7 до 6,4 мг/дм³), а количество нитратов и фосфатов в ней превышало нормативные показатели предельно допустимых концентраций (ПДК) для водоемов рыбохозяйственных комплексов. Кроме того, химическое потребление кислорода (ХПК) в этом водоеме значительно превышало ПДК в течение всего периода исследований. В опытных прудах №8 и №9 показатели ХПК были несколько выше ПДК в начале исследований, но к их окончанию они

значительно снизились. Аналогичная закономерность была отмечена по биологическому потреблению кислорода (БПК₅), который является одним из интегральных показателей загрязненности водоема, то есть по значению этого показателя можно судить об эффективности процессов очистки воды.

В результате проведенных исследований было выявлено улучшение качества воды в опытных прудах №8 и №9. По значению индекса загрязнения воды (ИЗВ) вода этих прудов была отнесена ко второму классу качества (чистая). Вода контрольного пруда Бирючья балка была отнесена к третьему классу (умеренно загрязненная) (таблица 5) [10].

Заключение. Вселение хлореллы (штамм *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111) в водоем улучшает гидрохимический и гидробиологический состав воды, способствует стойкому уменьшению химического и биологического потребления кислорода и купированию увеличения содержания неблагоприятных компонентов в воде.

Также вселение хлореллы способствует значительному снижению количества сине-зеленых водорослей, увеличению зеленых, прекращению и предотвращению «цветения» воды.

Хлорелла оказывает положительное влияние на качество воды и способствует своим наличием улучшению кормовой базы водоема.

Отечественными и зарубежными учеными доказано, что наибольший эффект достигается при использовании именно суспензии хлореллы, так как рыбы получают не только биомассу водорослей, но и продукты жизнедеятельности их клеток (витамины, аминокислоты, ферменты), находящиеся в растворе, а также все минеральные вещества, которые имелись в составе питательной среды [2].

Библиографический список

1. Абдулагатов, И.М. Микроводоросли и их технологии в энергетике и защите окружающей среды. [Текст] / И.М. Абдулагатов, А.Б. Алзхасов, Г.Д. Догеев и др. // Юг России: Экология, развитие. – Москва, 2008. – С. 166-183.
2. Дмитриевич, Н.П. Влияние условий культивирования на витаминный состав суспензии водорослей *Chlorella vulgaris* (beijerinck) и *Scenedesmus acutus* (meyer). [Текст] / Н.П. Дмитриевич, Т.В. Козлова // Биотехнология: достижения и перспективы развития. Сборник материалов II международной научно-практической конференции. Полесский государственный университет. – г. Пинск, 2018. – С. 58-60.
3. Мелихов, В.В. Экологические проблемы эвтрофирования внутренних континентальных водоемов Юга России и биологический метод повышения качества воды. [Текст] / В.В. Мелихов, П.И. Кузнецов и др. // Межвузовский сборник науч. статей под редакцией О.А. Полумордвинова. – Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2013. – №2 (5) Спецвыпуск. – С. 61-67.
4. Мелихов, В.В. Мониторинг экологического состояния водохранилищ ВДСК при альголизации штаммом хлореллы ИФР №С-111 [Текст] / В.В. Мелихов, П.И. Кузнецов и др. // Орошаемое земледелие. – 2014. – №1, январь. – С. 47-50.
5. Кульчев, В.В. Применение альголизации питьевых водоемов Нижнетагильского промышленного узла [Текст] / В.В. Кульчев, В.А. Почечун // Медицина труда и промышленная экология. НИИ медицины труда им. Н.Ф. Измерова. – Москва, 2015. – С. 20-21.
6. Мелихов, В.В. Проблема развития аквакультуры в Волго-Каспийском районе [Текст] / В.В. Мелихов, А.Г. Болотин и др. // Формирование и развитие сельскохозяйственной науки в XXI веке. Сборник научных статей ФГБНУ ПНИИАЗ, Астраханская область. – Солонее Займище, 2016. – С. 230-235.
7. Мелихов, В.В. Влияние биотехнологий на рост эффективности рисоводства на юге России [Текст] / В.В. Мелихов, Л.Н. Медведева и др. // Региональная экономика. Юг России. ВГУ. – г. Волгоград, 2016. – С. 82-89.
8. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения / сост.: М.В. Соколова, М.В. Медянкина, С.Н. Анисова, А.Т. Лебедев. – М.: Изд-во ВНИРО, 2011. – 257 с.
9. Пестис, В. Новое слово в технологиях аквакультуры / В. Пестис, Т. Козлова, А. Козлов // Наука и инновации. – Минск: Издательский дом «Белорусская наука», 2018. – С. 28-34.
10. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. [Текст] / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко // Критерии оценки качества водных экосистем. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – Часть 2. – С. 463.
11. Goncalves, Ana L., Pires, Jose C.M., Simoes Manuel. A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. // Algal research-biomass biofuels and bioproducts. – 2017. – Jun. – T. 24, Part: B. – Special issue: SI Page: 403-415.
12. Paerl H.W., Hall N.S., Calandrino E.S. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change // Science of the Total Environment. – 2011. – Apr. – T. 409. – №10. – P. 1739-1745.

Дополнительные сведения об авторах:

Мария Викторовна Фролова, старший научный сотрудник, vnioz-algo@yandex.ru,
Мария Васильевна Московец, старший научный сотрудник, vnioz-algo@yandex.ru,
Людмила Алексеевна Птицына, научный сотрудник, vnioz-algo@yandex.ru,
Алексей Юрьевич Торопов, научный сотрудник, vnioz-algo@yandex.ru

Bibliographic list

1. Abdulagatov, I.M. Microalgae and their technologies in energy and environmental protection. / I.M. Abdulagatov, A.B. Alzhasov, G.D. Dogeev etc. // South of Russia: Ecology, development. – Moscow, 2008. – P. 166-183.
2. Dmitrovich, N.P. Influence of cultivation conditions on the vitamin composition of algae suspension *Chlorella vulgaris* (beijerinck) and *Scenedesmus acutus* (meyer) / N.P. Dmitrovich, T.V. Kozlova // Biotechnology: achievements and prospects of development. Collection of materials of the II international scientific-practical conference. Polesky state University. – Pinsk, 2018. – P. 58-60.
3. Melihov, V.V. Ecological problems of eutrophication of internal continental reservoirs of the South of Russia and biological method of water quality improvement. V.V. Melihov, P.I. Kuznecov, etc. // interuniversity collection of scientific articles under the editorship of O.A. Polumordvinova. – Astrakhan GAOU AO VPO «AISI», 2013. – №2 (5) Special issue. – P. 61-67.
4. Melihov, V.V. Ecological monitoring of the reservoirs vdsk if legalisatie strain of *Chlorella* IGF №C-111 / V.V. Melihov, P.I. Kuznecov, etc. // Irrigation. – 2014. – №1, January. – P. 47-50.
5. Kolchev, V.V. Application of legalisatie drinking of the waters of the Nizhny Tagil industrial node / V.V. Kolchev, V.A. Pochechun // Occupational Medicine and industrial ecology. Research Institute of labor medicine named after N. F. Izmerova. – Moscow, 2015. – P. 20-21.
6. Melihov, V.V. The Problem of aquaculture development in the Volga-Caspian region / V.V. Melihov, A.G. Bolotin, etc. // Formation and development of agricultural science in the XXI century. Collection of scientific articles FEDERAL state scientific institution «PNIIS», Astrakhan oblast. – Salt Zaymische, 2016. – P. 230-235.
7. Melihov, V.V. Influence of biotechnologies on rice growing efficiency in the South of Russia [Text] / V.V. Melihov, L.N. Medvedeva, etc. // Regional economy. South of Russia. VSU. – Volgograd, 2016. – P. 82-89.
8. Standards of water quality of water bodies of fishery value, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water bodies of fishery value / comp. M.V. Sokolova, M.V. Medjankina, S.N. Anisova, A.T. Lebedev. – M.: Publishing house VNIRO, 2011. – 257 p.
9. Pestis, W. A new word in aquaculture technologies / W. Pestis, T. Kozlova, A. Kozlov // Science and innovation. – Minsk: Publishing house «Belarusian science», 2018. – P. 28-34.
10. Shitikov, V.K. Quantitative Hydroecology: methods of system identification. / V.K. Shitikov, G.S. Rozenberg, T.D. Zinchenko // Criteria for assessing the quality of aquatic ecosystems. – Togliatti: IMB Russian Academy of Sciences, 2003. – Part 2. – P. 463.
11. Goncalves, Ana L., Pires, Jose C.M., Simoes Manuel. A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. // Algal research-biomass biofuels and bioproducts. – 2017. – Jun. – T. 24, Part: B. – Special issue: SI Page: 403-415.
12. Paerl H.W., Hall N.S., Calandrino E.S. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change // Science of the Total Environment. – 2011. – Apr. – T. 409. – №10. – P. 1739-1745.

Additional information about the authors:

Marija Viktorovna Frolova, senior researcher, vnioz-algo@yandex.ru,
Marija Vasil'evna Moskovec, senior researche, vnioz-algo@yandex.ru,
Ljudmila Alekseevna Pticyna, researcher, vnioz-algo@yandex.ru,
Aleksej Jur'evich Toropov, researcher, vnioz-algo@yandex.ru