УДК 574.55

DOI: 10.35809/2618-8279-2019-4-13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ЕСТЕСТВЕННОЙ РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ

USING MICROALGAE TO IMPROVE WATER QUALITY AND NATURAL FISH PRODUCTION

М.В. Фролова, кандидат биологических наук,
М.В. Московец,
Л.Н. 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

Серьезной проблемой является ухудшение качества воды поверхностных водных объектов, которое в большинстве случаев не отвечает нормативным требованиям и оценивается как неудовлетворительное практически для всех видов водопользования [7]. В статье описаны проблемы неблагоприятного экологического состояния прудового рыбоводства южного региона Российской Федерации, причины снижения рыбопродуктивности и качества воды ниже предельно допустимого для рыбохозяйственных комплексов. Неудовлетворительное состояние воды довольно часто обусловлено избыточным количеством сине-зеленых водорослей, которые при разложении, кроме прочего, выделяют ядовитые вещества и вызывают «цветение» воды. В результате этого происходят снижение кислородного режима водоема, заморы рыб, а также засорение насосных станций при подаче воды [8]. Поэтому нивелирование негативного воздействия сине-зеленых водорослей на качество прудовой воды, а также его предупреждение представляют актуальность. Описан биологический метод улучшения качества воды и увеличения рыбопродуктивности – вселение в пруды микроводоросли хлореллы – штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Приведены гидрохимические, гидрологические и гидробиологические показатели качества воды до и после вселения хлореллы, а также объемы ее вселения. Установлено, что хлорелла подавляет развитие сине-зеленых водорослей и создает благоприятные условия для массового развития зеленых, это происходит из-за структурной перестройки фитопланктона в пользу зеленых водорослей, и тем самым улучшает качество воды. Доказано положительное влияние хлореллы, обладающей высоким содержанием белка, липидов, углеводов, минеральных веществ на существенное увеличение прироста рыбы и, следовательно, рыбопродуктивности.

A serious problem is the deterioration of the water quality of surface water bodies, which in most cases does not meet regulatory requirements and is assessed as unsatisfactory for almost all types of water use [7]. The article describes the problems of the unfavorable ecological state of pond fish farming in the southern region of the Russian Federation, the reasons for the decline in fish productivity and water quality below the maximum permissible for fishery complexes. The unsatisfactory state of water is often caused by an excess of blue-green algae, which, when decomposed, among other things, produce toxic substances and cause the «bloom» of water. As a result, there is a decrease in the oxygen regime of the reservoir, fish kills, as well as clogging of pumping stations during water supply [8]. Therefore, the leveling of the negative impact of blue-green algae on the quality of pond water, as well as its prevention is relevant. A biological method for improving water quality and increasing fish productivity is described – the introduction of *Chlorella vulgaris* microalgae into the ponds – strain *Chlorella vulgaris* IGF No.C-111. Hydrochemical, hydrological and hydrobiological indicators of water quality before and after the introduction of *Chlorella*, as well as the volumes of its introduction are given. It has been established that *Chlorella* inhibits the development of blue-green algae and creates favorable conditions for the mass development of green algae, this is due to the structural reorganization of phytoplankton in favor of green algae, and thereby improves water quality. The positive effect of *Chlorella*, which has a high content of protein, lipids, carbohydrates, and minerals, has been proved to significantly increase the growth of fish and, consequently, fish productivity.

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. Российская Федерация обладает уникальным водно-ресурсным потенциалом. Суммарные ресурсы пресных вод России оцениваются в 10 803 км³/год. Возобновляемые водные ресурсы (объем годового стока рек на территории России) составляют 4 861 км³, или 10% мирового речного стока [5].

Прудовое рыбоводство – высокопродуктивная отрасль, основанная на развитии и выращивании рыб в управляемых человеком условиях. Рыбоводство характеризуется высокой степенью использования всех компонентов кормовой базы водоемов – фитопланктона, зоопланктона и водной растительности [3]. За рубежом наиболее развитые прудовые рыбоводные хозяйства имеются в Японии, Дании, Норвегии, Израиле [10]. В России в условиях рыночной экономики перед рыбной промышленностью стоят задачи увеличения объема производства рыбной продукции, повышения ее качества и снижения стоимости [10]. Один из перспективных путей повышения рыбопродуктивности водоемов – это использование биологических добавок [2]. Однако для развития прудового хозяйства необходимо в первую очередь поддерживать в водоемах качество воды, соответствующее нормативам предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения [8]. Плохое качество воды с отсутствием полезных питательных веществ, высокая концентрация аммиака и нитратов в воде обусловлены ее «цветением», вызываемым сине-зелеными водорослями, биомасса которых скапливается в прибрежной части и разлагается [12]. Разлагающиеся водоросли вызывают ряд негативных явлений в водоеме: снижение содержания кислорода, появление токсинов, образование заморных зон, гибель гидробионтов [6]. Несмотря на принимаемые в последние годы меры по улучшению экологического состояния водоемов, проблема «цветения» воды остается актуальной [9]. Одним из эффективных методов улучшения качества воды в водоемах служит технология, основанная на восстановлении гидробионтов-фильтраторов, к которым относится биотехнология предотвращения «цветения» воды с помощью альголизации водоема штаммами протококковых водорослей [7]. Вселение микроводоросли *Chlorella vulgaris* является наиболее перспективным и экологически безопасным методом предотвращения «цветения» воды [4]. Кроме того, хлорелла адсорбирует органические и неорганические загрязнители, патогенные микроорганизмы и является дешевым экологически безопасным кормовым ресурсом для рыб, зоопланктона, зообентоса [11]. Преимущества микроводорослевых технологий являются основой для создания крупномасштабного производства микроводорослей в Южной России [1].

Таблица 1 – Гидрохимические показатели воды (мг/дм³) в контрольном пруду №2

Наименование	май	июнь	июль	август	сентябрь	ПДК
pH	8,00	8,10	8,20	8,62	8,60	6,50-8,50
Mn	0,078	0,085	0,096	0,142	0,123	0,100
Растворенный кислород	6,3	6,5	6,2	6,0	6,0	не менее 6,0
Cl	76,0	75,0	75,6	75,0	86,8	300,0
Ca	67,7	77,8	78,4	50,8	88,0	180,0
NO ₃ (нитраты)	1,99	1,81	1,86	2,54	2,63	40,10
NaNO ₃ (нитриты)	0,422	0,250	1,830	0,090	0,090	0,080
ХПК	48,3	53,1	67,9	53,7	53,3	15,0
БПК ₅	2,90	3,00	7,10	9,19	9,20	3,00
P	0,15	0,16	0,20	0,18	0,18	0,16
Fe	0,252	0,300	0,241	0,332	0,333	0,300

Таблица 2 – Гидрохимические показатели воды (мг/дм³) в опытном пруду №1

Наименование	май	июнь	июль	август	сентябрь	ПДК
pH	7,70	7,68	7,46	7,70	7,42	6,50-8,50
Mn	0,038	0,061	0,011	0,031	0,040	0,100
Растворенный кислород	6,6	7,8	7,9	8,2	8,2	не менее 6,0
Cl	49,8	71,4	76,2	86,6	88,6	300,0
Ca	42,0	92,8	61,4	69,0	87,0	180,0
NO ₃ (нитраты)	3,41	1,73	2,17	1,86	1,59	40,10
NaNO ₃ (нитриты)	0,080	0,070	0,069	0,060	0,060	0,080
ХПК	35,80	19,44	16,30	15,00	15,00	15,00
БПК ₅	3,14	3,15	3,00	2,90	2,90	3,00
P	0,141	0,130	0,140	0,140	0,160	0,160
Fe	0,200	0,300	0,064	0,184	0,290	0,300

Таблица 3 – Гидрохимические показатели воды (мг/дм³) в опытном пруду №4

Наименование	май	июнь	июль	август	сентябрь	ПДК
pH	7,80	7,88	7,10	7,10	6,59	6,50-8,50
Mn	0,027	0,050	0,076	0,100	0,091	0,100
Растворенный кислород	6,5	6,8	7,1	7,9	8,1	не менее 6,0
Cl	53,0	77,0	70,0	79,8	85,8	300,0
Ca	35,0	98,4	64,4	58,0	72,0	180,0
NO ₃ (нитраты)	1,94	1,68	2,12	2,13	1,64	40,10
NaNO ₃ (нитриты)	0,087	0,076	0,070	0,070	0,070	0,080
ХПК	27,9	24,0	18,0	15,1	15,0	15,0
БПК ₅	3,20	3,20	3,10	3,00	2,90	3,00
P	0,152	0,152	0,153	0,160	0,150	0,160
Fe	0,300	0,300	0,072	0,188	0,300	0,300

Таблица 4 – Биомасса водорослей в исследуемых прудах (мг/л)

Название пруда	Название водорослей	май	июнь	июль	август	сентябрь
Опытный пруд №1	зеленые	0,049	0,901	1,774	1,897	2,154
	сине-зеленые	0,126	1,230	0,850	0,320	0,170
Опытный пруд №4	зеленые	0,026	0,270	0,326	0,576	1,003
	сине-зеленые	0,296	0,271	0,210	0,047	0,020
Контрольный пруд №2	зеленые	0,175	0,310	0,220	0,200	0,167
	сине-зеленые	0,202	0,250	1,009	2,366	2,407

Целью данной научно-исследовательской работы являлось обоснование применения биологического метода улучшения качества воды и увеличения рыбопродуктивности путем вселения в пруды микроводоросли хлореллы – штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111.

Материалы и методы. Объектами для проведения исследований являлись три пруда на базе ИП КФХ Лозина Я.В. в селе Волжанка Волгоградской области, практически идентичных по площади водного зеркала (60-61 га). Их средняя глубина – 1,4 м, максимальная глубина – 2,5 м. Источником водоснабжения прудов является Волгоградское водохранилище.

Выполнение гидрохимических и гидробиологических анализов воды исследуемых прудов проводили по общепринятым методикам в аккредитованных лабораториях ФГУ «Эксплуатации Волгоградского водохранилища», «Ниже-волжрыбвод», ФГНУ ВНИИОЗ.

При выполнении исследований учитывали следующие показатели: pH, растворенный кислород, Mn, P, Fe, Cl, Ca, NO₃ (нитраты), NaNO₂ (нитриты), ХПК (химическое потребление кислорода), БПК₅ (биологическое потребление кислорода), состояние фитопланктона (численность клеток тыс. кл./л, биомасса мг/л водорослей), адаптация хлореллы к прудовой воде, рыбопродуктивность прудов.

Пробы воды на гидрохимические и гидробиологические показатели отбирали по пяти квадратам каждого пруда: опытных прудов (№1 и №4), куда вселяли хлореллу; контрольного пруда №2, альголизацию которого не проводили. Периодичность отбора – один раз в месяц.

Пробы воды на фитопланктон в прудах отбирали в период с мая до вселения хлореллы и после проведения альголизации до сентября включительно.

Результаты и обсуждение. Гидрохимические анализы воды показали, что

проведенные экспериментальные работы по вселению хлореллы в опытные пруды способствовали улучшению ее качества относительно качества воды в контрольном пруду. О чем свидетельствовали такие показатели, как ХПК и БПК.

ХПК (химическое потребление кислорода) – показатель содержания органических веществ в воде. Он является одним из основных показателей степени загрязнения поверхностных вод органическими соединениями. В контрольном пруду №2 ХПК в течение всего исследуемого периода значительно превышало предельно допустимую концентрацию для водоемов рыбохозяйственных комплексов, что отрицательно повлияло на качество воды (таблица 1).

В опытных прудах №1 и №4 по мере вселения хлореллы значение этого показателя снижалось и уже в августе и сентябре было в пределах допустимой нормы (таблицы 2, 3).

БПК₅ поверхностных вод измеряли для оценки насыщенности органическими веществами, способными к окислению биохимическим путем, среды обитания гидробионтов. Это один из интегральных показателей загрязненности водоема. К окончанию проведения научного эксперимента значения БПК₅ в опытных прудах №1 и №4 после ежемесячного вселения хлореллы снизились.

Следует отметить, что благоприятное действие хлореллы способствовало по-

вышению класса воды опытных прудов №1 и №4 – от загрязненной до умеренно загрязненной, а класс воды контрольного пруда №2, куда хлореллу не вселяли, наоборот, понизился – от умеренно загрязненной до грязной.

Анализ проб воды на фитопланктон показал заметное снижение количества биомассы сине-зеленых водорослей в опытных прудах к окончанию проведения научно-исследовательской работы относительно ее исходного содержания в этих прудах до вселения хлореллы, в контрольном пруду количество биомассы сине-зеленых в течение этого же периода увеличилось (таблица 4).

Также вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в опытные пруды оказало положительное влияние на соотношение зеленых и сине-зеленых водорослей, что сказалось на улучшении качества воды.

Рыбопродуктивность в опытных прудах №1 и №4 увеличилась в сравнении с рыбопродуктивностью в контрольном пруду №2. Так, средний прирост карпа за период научных исследований в опытных прудах составил от 1 110 до 1 620 г, в контрольном пруду – 863 г; прирост веслоноса в опытных прудах составил 2 720 грамм, в контрольном пруду – 2 520 г; прирост белого амура в опытных прудах №1 и №4 был 1 729 г и 1 750 г соответственно, в контрольном пруду – 1 015 г.

Заключение. Штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 оказывает положительное влияние на качество прудовой воды, которое проявляется в том числе в стойком уменьшении концентраций неблагоприятных форм соединений азота и улучшении показателей химического потребления кислорода и биологического потребления кислорода.

Присутствие хлореллы в водоеме подавляет развитие сине-зеленых водорослей и создает благоприятные условия для массового развития зеленых водорослей.

Применение альголизации в прудовом рыбоводстве в значительной степени повышает рыбопродуктивность.

Библиографический список

1. Абдулагатов, И.М. Микроводоросли и их технологии в энергетике и защите окружающей среды / И.М. Абдулагатов, А.Б. Алхасов, Г.Д. Догеев [и др.] // Юг России: Экология, развитие. – Москва, 2008. – С. 166-183.
2. Буяров, В.С. Эффективность применения биологически активных добавок в рыбоводстве / В.С. Буяров, Д.А. Юшкова // Вестник Орел ГАУ. – 2016. – №3 (60). – С. 30-38.
3. Дмитриевич, Н.П. Влияние на рост молоди *Brachydaniorerio* (Buchanan) и *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) кормов с добавлением суспензии хлореллы / Н.П. Дмитриевич // Innowacyjne dzialania i gospodarstwa na obszarach wiejskich: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Торунь, 2015 г. / Uniwersytet Mikotaja Kopernika w Toruniu [и др.]. – Торунь, 2015. – С. 10-12.
4. Дмитриевич, Н.П. Влияние условий культивирования на витаминный состав суспензии водорослей *Chlorella vulgaris* (beijerinck) и *Scenedesmus acutus* (meyen) / Н.П. Дмитриевич, Т.В. Козлова // Биотехнология: достижения и перспективы развития: матер. II междунар. науч.-практ. конф., г. Пинск, 7-8 декабря 2017 г. / Полесский государственный университет [и др.]. – Пинск, 2018. – С. 58-60.
5. Сорокина, Е.И. Экологические проблемы водных объектов Волгоградской области / Е.И. Сорокина, Л.Н. Маковкина // Актуальные проблемы права: матер. IV Междунар. науч. конф., г. Москва, ноябрь 2015 г. / ВНИИОЗ [и др.]. – М.: Буки-Веди, 2015. – С. 173-176.
6. Мелихов, В.В. Экологические проблемы эвтрофирования внутренних континентальных водоемов Юга России и биологический метод повышения качества воды / В.В. Мелихов [и др.] // Научный потенциал регионов на службу модернизации: межвуз. сб. научн. ст. / ГАОУ АО ВПО АИСИ; под ред. О.А. Полумордвинова. – Астрахань, 2013. – №2 (5) Спецвыпуск. – С. 61-67.
7. Мелихов, В.В. Мониторинг экологического состояния водохранилищ ВДСК при альголизации штаммом хлореллы ИФР №С-111 / В.В. Мелихов [и др.] // Орошаемое земледелие. – 2014. – №1. – С. 47-50.
8. Мелихов, В.В. Биотехнология на службе здоровья экосистем водоемов и человека / В.В. Мелихов [и др.] // Здоровье и экология. – 2006. – №3 (37). – С. 18-19.
9. Мелихов, В.В. Проблема развития аквакультуры в Волго-Каспийском районе / В.В. Мелихов [и др.] // Формирование и развитие сельскохозяйственной науки в XXI веке: сб. науч. ст. / ФГБНУ ПНИИАЗ; под ред. А.С. Щербакова. – Солёное Займище, 2016. – С. 230-235.
10. Нечипорук, Т.В. Перспективы развития прудового рыбоводства в современных экономических условиях / Т.В. Нечипорук, Т.Х. Плиева // Вестник ОрелГАУ. – 2016. – №1. – С. 58.
11. Петис, Витольд. Новое слово в технологиях аквакультуры / Витольд Петис, Тамара Козлова, Александр Козлов // Наука и инновации. – 2018. – №4. – С. 14.
12. Green Technologies: The Basis for Integration and Clustering of Subjects at the Regional Level of Economy / V.V. Melikhov [et al.] // Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. – [S. l.]: Springer, 2017. – P. 365-382.

Дополнительные сведения об авторах:

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

Bibliographic list

1. Abdulagatov, I.M. Microalgae and their technologies in energy and environmental protection / I.M. Abdulagatov, A.B. Alkhasov, G.D. Dagaev [et al.] // South of Russia: Ecology, development. – Moscow, 2008. – P. 166-183.
2. Buyarov, V.S. Effectiveness of biologically active additives in fish farming / V.S. Buyarov, D.A. Yushkova // Vestnik Orel GAU. – 2016. – No.3 (60). – P. 30-38.
3. Dmitrovich, N.P. Influence on the growth of *Brachydaniorerio* (Buchanan) and *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) juvenile feeds with the addition of *Chlorella* suspension / N.P. Dmitrovich // Innowacyjne dzialania i gospodarstwa na obszarach wiejskich: тез. docl. international. science.-prakt. Conf., Torun, 2015 / Uniwersytet Mikotaja Kopernika w Toruniu [et al.]. – Torun, 2015. – P. 10-12.
4. Dmitrovich, N.P. Influence of cultivation conditions on the vitamin composition of the suspension of algae *Chlorella vulgaris* (beijerinck) and *Scenedesmus acutus* (meyen) / N.P. Dmitrovich, T.V. Kozlova // Biotechnology: achievements and development prospects: collection of materials of the II international scientific and practical conference, Pinsk, 7-8 December, 2017 / Polesky state University [et al.]. – Pinsk, 2018. – P. 58-60.
5. Sorokina, E.I. Environmental problems of water bodies in the Volgograd region / E.I. Sorokina, L.N. Makovkina // Actual problems of law: materials of the IV international conference. science. Conf., Moscow, November 2015 / VNIIOZ [et al.]. – Moscow: Buki-Vedi, 2015. – P. 173-176.
6. Melikhov, V.V. Ecological problems of eutrophication of inland continental reservoirs in the South of Russia and a biological method for improving water quality / V.V. Melikhov [et al.] // The scientific potential of the regions in the service of modernization: Intercollegiate collection of scientific works. articles edited by / GAOU JSC VPO AISI; edited O.A. Polumordvinov. – Astrakhan, 2013. – No.2 (5) special Issue. – P. 61-67.
7. Melikhov, V.V. Monitoring of the ecological state of vdsk reservoirs under algolization by the *Chlorella* strain of IFR No.S-111 / V.V. Melikhov [et al.] // Irrigated agriculture. – 2014. – No.1. – C. 47-50.
8. Melikhov, V.V. Biotechnology in the service of health of water bodies and human ecosystems / V.V. Melikhov [et al.] // Health and ecology. – 2006. – No.3 (37). – P. 18-19.
9. Melikhov, V.V. the Problem of aquaculture development in the Volga-Caspian region / V.V. Melikhov [et al.] // Formation and development of agricultural science in the XXI century: Collection of scientific articles / Federal state scientific institution PNIIS; edited A.S. Scherbakova. – Salty Zaymishche, 2016. – P. 230-235.
10. Nechiporuk, T.V. Prospects for the development of pond fish farming in modern economic conditions / T.V. Nechiporuk, T. Kh. Plieva // Vestnik Oreggau. – 2016. – No.1. – P. 58.
11. Petis, Witold. New word in aquaculture technologies / Witold Petis, Tamara Kozlova, Alexander Kozlov // Science and innovation. – 2018. – No.4. – P. 14.
12. Green Technologies: The Basis for Integration and Clustering of Subjects at the Regional Level of Economy / V.V. Melikhov [et al.] // Integration and Clustering for Sustainable Economic Growth. – [S. l.]: Springer, 2017. – P. 365-382.

Additional information about the authors:

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