УДК 631.6.03

DOI: 10.35809/2618-8279-2020-1-10

СУСПЕНЗИЯ ХЛОРЕЛЛЫ – НАПРАВЛЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ ВОДОЕМА

CHLORELLA SUSPENSION-DIRECTED EFFECT ON THE ECOSYSTEM OF THE RESERVOIR

А.Ю. Торопов,
М.В. Фролова, кандидат биологических наук,
М.В. Московец

A.Yu. Toropov,
M.V. Frolova, candidate of biological sciences,
M.V. Moskovets

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия

All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture

Статья посвящена негативным процессам, происходящим в водоемах, – в одном из главных ресурсов человечества, которые приобрели глобальный характер и в настоящее время являются предметом активных исследований. В настоящее время рациональное использование аквакультуры, охрана и очистка водоемов рассматриваются как средства для экономического роста и достижения экологических целей. При этом важное место уделяется научному подходу к проблеме и поиску путей решения профильными организациями в сотрудничестве с бизнесом. В контексте основных проблем снижения самоочищающих свойств водоема рассмотрено деструктивное воздействие сине-зеленых водорослей на качество воды, влияние цианобактерий на другие виды гидробионтов. Описан один из методов повышения качества воды, посредством которого возможно улучшить гидробиологический режим водоема. В приведенной биотехнологии особое внимание уделяется зеленым протококковым водорослям, способным восстанавливать водный баланс фитопланктона, влияющий на весь биоценоз. Определена степень влияния сроков альголизации на количество клеток и биомассу сине-зеленых водорослей с учетом глубины, температуры, площади, численности и биомассы фитопланктона. Описана методика применения данной биоманипуляции. Представлены материалы по эффективности использования и апробирования ее в естественном водоеме многоцелевого назначения. Обосновано вселение хлореллы с целью восстановления трофических цепочек, для купирования негативных процессов массового цветения на экосистему водоема. Полученные результаты научного исследования с точки зрения ихтиологического анализа рекомендованы для практического применения с целью экологического оздоровления и восстановления водоемов рыбохозяйственного и иного целевого назначения.

The article is devoted to negative processes occurring in reservoirs – one of the main resources of mankind, which have become global in nature and are currently the subject of active research. Currently, the rational use of aquaculture, protection and treatment of reservoirs are considered as means for economic growth and achieving environmental goals. At the same time, an important place is given to the scientific approach to the problem and the search for solutions by specialized organizations in cooperation with business. In the context of the main problems of reducing the self-cleaning properties of the reservoir, the destructive effect of blue-green algae on water quality, the influence of cyanobacteria on other types of hydrobionts is considered. It describes one of the methods for improving water quality, through which it is possible to improve the hydrobiological regime of the reservoir. In this biotechnology, special attention is paid to green protococcal algae that can restore the water balance of phytoplankton, which affects the entire biocenosis. The degree of influence of algalization terms on the number of cells and biomass of blue-green algae is determined, taking into account the depth, temperature, area, number and biomass of phytoplankton. The method of applying this biomanipulation is described. Materials on the effectiveness of its use and testing in a natural multi-purpose reservoir are presented. The introduction of *Chlorella* in order to restore trophic chains, to stop the negative processes of mass flowering on the ecosystem of the reservoir is justified. The obtained results of scientific research from the point of view of ichthyological analysis are recommended for practical application for the purpose of ecological improvement and restoration of reservoirs of fishery and other purpose.

Ключевые слова: альголизация, сине-зеленые, цветение, хлорелла, фитопланктон, самоочищающие, гидробионты

Key words: legalizacija, blue-green, flowering, *Chlorella*, phytoplankton, self-cleaning, aquatic organisms

Введение. Вода – основа жизни всех живых организмов на Земле, она также является стратегическим ресурсом в экономической безопасности государства. Причем значение воды на Земле и ее недостаток в международных отношениях обсуждаются на высшем уровне и часто конфликтным способом. Безответственное отношение к водным ресурсам запускает процессы, приводящие к эвтрофированию водоемов, что усложняет дальнейшее их использование по целевому назначению [5]. Экологические проблемы, связанные с эксплуатацией водных ресурсов, затрагивают все сферы жизни человека и ставят под угрозу развитие как самого человека, так и всего живого. Жизненно важной становится сама проблема наличия питьевой воды, которая с каждым днем превращается во все более дефицитный продукт. В стратегии экологической безопасности РФ выделена важность мониторинга воздействия на экосистему и прохождения экологической экспертизы.

В водоемах многоцелевого назначения наблюдается повышенное содержание азота в различных формах, а также других химических веществ в концентрации, превышающей ПДК. Их избыточное содержание приводит к нарушению саморегуляции численности гидробионтов [9]. В связи с этим меняется качественный и количественный состав гидробионтов водоема. При нарушении баланса массовое развитие получают отдельные представители фитопланктона, которые выходят на доминирующие позиции. Од-

ним из таких представителей являются сине-зеленые водоросли. Их способность к раннему развитию приводит к тому, что они начинают вытеснять другие виды, подавлять их за счет интенсивного размножения путем деления клеток и роста. Массовое развитие цианобактерий, широко распространенных в пресноводном планктоне, может вызывать цветение воды [1]. Причиной увеличения масштаба цветения водоемов сине-зелеными водорослями считается избыточная нагрузка на водоемы биогенных веществ. Такие виды, как *Microcystis*, *Anabaena* и *Aphanizomenon* являются продуцентами органических отложений, при отмирании они оседают на дно, что приводит к их накоплению [7]. При достижении концентрации биомассы этих водорослей 100 мг/л сухого вещества и более падают самоочищающие свойства водоема, усиливаются процессы окисления органического вещества, идущие с поглощением кислорода [11].

В процессе жизнедеятельности негативные виды водорослей выделяют биологически активные экзогенные метаболиты, в том числе и токсины, которые оказывают угнетающее действие на другие виды водорослей, а также на рыб и беспозвоночных. Наличие таких водорослей приводит к резкому ухудшению газового и гидрохимического режимов водоема. Контакт с водой или потребление рыбы из водоема, подверженного интенсивному цветению, могут стать причинами возникновения гаффской болезни. Отмирание и разложение мас-

сы сине-зеленых водорослей в водоеме сопровождается неприятным запахом, интенсивность и характеристика которого определяются видом водорослей и их количеством.

В периоды стагнации водной толщи, когда прекращается обогащение кислородом нижних слоев воды верхними, возникает аноксия, то есть бескислородный режим, и тогда химическое состояние в придонных слоях и донных отложениях сдвигается к восстановительным условиям, благоприятствующим выделению из донных осадков токсикантов, например, тяжелых металлов [3].

Очевидно, что приемы борьбы с цианобактериальным цветением водоемов должны быть связаны с применением биотехнологий, ориентированных на усиление лимитирующих факторов цветения и понижение способности сине-зеленых водорослей к фотосинтезу. Одним из перспективных методов направленного воздействия на экосистему является альголизация водоема планктонным штаммом *Chlorella vulgaris* [8]. Анализ биопродукционных процессов и умение их регулировать позволяют эффективно использовать *Chlorella vulgaris* для повышения продуктивности водоема. Влияние хлореллы на повышение способности воды к самоочищению осуществляется через определенные трофические взаимоотношения организмов и достигается за счет стимуляции последовательного развития отдельных звеньев пищевой цепи. Водные гидробионты являются составной частью

Цветение воды в заливе Волгоградского водохранилища СНТ Дзержинец-Винновка

экосистемы, и их функционирование влияет на формирование качества воды [4]. Хлорелла также является кормом для зоопланктона (рачков, коловраток и др.), который, поглощая хлореллу, пропускает через свой кишечник и воду, тем самым уничтожая огромное количество бактерий. Таким образом, вся экосистема водоема участвует в процессе самоочищения. Кроме этого, хлорелла является природным пробиотиком и обладает антагонистическими свойствами к патогенным микроорганизмам, поэтому способствует гибели этих микробов.

Рост и развитие хлореллы происходит при потреблении углекислого газа, находящегося в воде, и выделении кислорода, что приводит к обогащению воды растворенным кислородом, достаточным для активизации окислительных, биологических и других процессов, влияющих на очищение воды [9]. Наличие кислорода играет важную роль и для минерализации органических веществ – важного процесса самоочищения воды. Так, аммиак, как правило, при наличии окислителей переходит в нитриты, но эти соединения очень нестойки и при наличии кислорода окисляются до нитратов. Нитраты являются конечным продуктом при минерализации органических азотсодержащих веществ [10].

От других представителей фитопланктона хлорелла отличается возможностью жизнедеятельности в широком температурном диапазоне (от 2 до 40°C) и способностью развития с периода таяния льда. Поэтому альголизация водоема ранней весной или подледное внесение хлореллы дают больший эффект [2, 6]. Активное поглощение хлореллой неорганических производных азота и фосфора не оставляет возможности для массового развития сине-зеленых, а также других видов патогенных водорослей [12].

Цель проведения данных научных исследований состояла в определении эффективности взаимодействия штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 и сине-зеленых водорослей, а также метода альголизации для улучшения качества воды в водоемах Нижнего Поволжья с учетом их гидрологического режима.

Материалы и методы. Научный эксперимент проводили по общепринятым методикам в прудовых хозяйствах различных регионов России в период с 2016 по 2019 годы.

Апробацию технологии вселения хлореллы выполняли на прудах ИП КФХ Лозина Я.В. Волгоградской области.

Взятие проб воды на количественный и качественный состав гидробионтов (фитопланктона) проводили по 5 квадратам с учетом температуры на глубине от 0,5 до 2 м. Площадь зеркала 60 га.

Разлагающаяся масса сине-зеленых водорослей
в береговой зоне водоема СНТ Дзержинец-Винновка

Таблица 1 – Состояние фитопланктона в опытном пруду

Название водорослей	май	июнь	июль	август	сентябрь
зеленые	$\frac{3\,456}{0,049}$	$\frac{28\,400}{0,901}$	$\frac{35\,160}{1,774}$	$\frac{45\,552}{1,897}$	$\frac{56\,733}{2,154}$
сине-зеленые	$\frac{11\,400}{0,126}$	$\frac{33\,302}{1,230}$	$\frac{30\,360}{0,850}$	$\frac{28\,480}{0,320}$	$\frac{18\,104}{0,170}$

Примечание: в числителе – количество клеток (тыс.кл/л), в знаменателе – биомасса (мг/л).

Адаптацию вселяемого штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 и его культивирование проводили в лаборатории ФГБНУ ВНИИОЗ.

В работе использовали результаты собственных исследований по современному состоянию гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов.

Результаты и обсуждение. Научный эксперимент по альголизации опытного пруда на базе ИП КФХ Лозина Я.В. Волгоградской области в период с мая по сентябрь доказал, что регулярное вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 в пруд благоприятно сказывается на изменении фитопланктона. Анализ его состояния показал, что вселение хлореллы оказывает положительное влияние на соотношение зеленых и сине-зеленых водорослей. К концу вегетационного периода протококковые зеленые водо-

росли характеризовались значительным увеличением биомассы – с 0,049 до 2,154 мг/л, развитие сине-зеленых водорослей проявило тенденцию к сокращению (таблица 1). Также было отмечено распространение хлореллы по всей акватории водоема.

Результаты производственного внедрения данной технологии в прудовых хозяйствах Ростовской области и Ставропольского края показали ее эффективность. Водоемы, подвергшиеся вселению хлореллы, отличались нормализацией гидрологического режима, уменьшением эвтрофирования, отсутствием массового замора рыбы, повышением продуктивности (использование корма уменьшилось на 20% при том же выходе товарной рыбы) и качества товарной продукции.

Заключение. Альголизация водоема с применением планктонного штамма *Chlorella vulgaris* ИФР №С-111 создает условия для естественных механизмов процесса самоочищения и нормализации гидробиологического режима водоема.

Применение этого биологического метода позволяет создать систему оздоровления водной среды путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества с преобладанием зеленых водорослей и благоприятно влияет на экологическую обстановку.

Данная технология рекомендуется к использованию в прудовых хозяйствах для оздоровления и восстановления используемых водоемов, снижения затрат на выращивание рыбы и повышения ее качества.

Библиографический список

1. Абакумов, В.А. Новое в изучении водных экосистем и организмов: концепция экологической репарации / В.А. Абакумов // Вода: технология и экология. – 2007. – №2. – С. 70-71.
2. Богданов, Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* BIN для получения биомассы и очистки сточных вод: пат. RU 2 192 459 C1 Российская Федерация / Н. И. Богданов. – №2192459; заявл. 18.04.2001; опубл. 10.11.2002, Бюл. №31.
3. Зайнутдинова, Э.М. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием водных растений / Э.М. Зайнутдинова, Г.Г. Ягафарова // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20, №3. – С. 150-152.
4. Мелехова, О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова [и др.]; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
5. Мелихов, В.В. Современные экологические проблемы загрязнения водных ресурсов Волжского бассейна и пути их решения / В.В. Мелихов // Экологические проблемы загрязнения водоемов Волжского бассейна, современные методы и пути их решения: матер. Всероссийской науч.-практ. конф., г. Волгоград, 15-16 апреля 2004 г. / ФГБНУ ВНИИОЗ [и др.]; под ред. В.В. Мелихова [и др.]. – Волгоград, 2004. – С. 3-9.
6. Мелихов, В.В. Биологическая мелиорация водоемов Волгоградской области / В.В. Мелихов, И.П. Кружилин, П.И. Кузнецов [и др.]. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: сб. докл. III международ. науч. конф., г. Минск, 17-22 сентября 2007 г. / ВНИИОЗ [и др.]. – Минск, 2007. – С. 85-86.
7. Мелихов, В.В. Биотехнология – на службе здоровья экосистем водоемов и человека / В.В. Мелихов, П.И. Кузнецов, С.В. Яковлев // Здоровье и экология. – 2006. – №3 (37). – С. 18-19.
8. Московец, М.В. Биологическая мелиорация пресноводных водоемов / М.В. Московец, В.В. Мелихов, И.П. Кружилин, П.И. Кузнецов // Деловая слава России 2008. – №6 (24). – С. 28-31.
9. Остроумов, С.А. Биологический механизм самоочищения в природных водоемах и водотоках: теория и приложения / С.А. Остроумов // Успехи современной биологии. – 2004. – Т. 124, №5. – С. 429-442.
10. Остроумов, С.А. Водные экосистемы и организмы / С.А. Остроумов, Н.Н. Колотилова, Н.Ф. Пискункова, Н.В. Карташева, М.Я. Лямин, В.М. Краевский; под ред. С.А. Остроумова; МГУ. – М.: Диалог-МГУ, 1999. – С. 45-46.
11. Фролова, М.В. Экологические проблемы водных ресурсов Волжского бассейна / М.В. Фролова, О.П. Комарова, М.В. Московец, Л.А. Птицына, А.Ю. Торопов // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: сб. науч. ст. II междунауч.-практ. интернет-конференции, с. Солонное Займище, 28 февраля 2017 г. / ФГБНУ ПНИИАЗ [и др.]. – Солонное Займище, Астраханская область, 2017. – С. 51-55.
12. Фролова, М.В. Экологическая оценка современной биотехнологии улучшения качества воды для агроландшафтов Волго-Донского междуречья / М.В. Фролова, А.А. Зибарев, М.В. Московец // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – №3 (55). – С. 94-101.

Дополнительные сведения об авторах:

Алексей Юрьевич Торопов, научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, vniiioz-algo@yandex.ru,

Мария Викторовна Фролова, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, vniiioz-algo@yandex.ru,

Мария Васильевна Московец, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, vniiioz-algo@yandex.ru

Bibliographic list

1. Abakumov, V.A. New in the study of aquatic ecosystems and organisms: the concept of ecological reparations / V. A. Abakumov // Water: technology and ecology. -2007. – No.2. – P. 70-71.
2. Bogdanov, N.I. Strain of microalgae *Chlorella vulgaris* BIN for obtaining biomass and wastewater treatment: Pat. 2192459 Russian Federation / N.I. Bogdanov applicant and patentee; application 18.04.2001; publ. 10.11.2002, bul. No.31.
3. Zaynutdinova, E.M. Wastewater Treatment from heavy metal ions using water plants / E.M. Zaynutdinova, G.G. Yagafarova // Bashkir chemical journal. – 2013. – T. 20, No.3. – P. 150-152.
4. Melekhova, O.P. Biological control of the environment: bioindication and biotesting: textbook. student's guide. no. studies' institutions / O.P. Melekhova [et al.]; ed. by O.P. Melekhova and E.I. Egorova. – Moscow: Academy. – 2007. – 288 p.
5. Melikhov, V.V. Modern ecological problems of pollution of water resources of the Volga basin and ways of their solution / V.V. Melikhov // Environmental problems of water pollution in the Volga basin, modern methods and ways to solve them: mater. All-Russian scientific-practical Conf., Volgograd, April 15-16, 2004 / VNIIOZ [et al.]; ed. Col. V.V. Melikhov [et al.]. – Volgograd, 2004. – P. 3-9.
6. Melikhov, V.V. Biological reclamation of reservoirs of the Volgograd region / V.V. Melikhov, I.P. Kruzhilin, P.I. Kuznetsov [et al.] // Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality: collection of docl. III mezhhdunarod. scientific Conf., Minsk, September 17-22, 2007 / VNIIOZ [et al.]. – Minsk, 2007. – P. 85-86.
7. Melikhov, V.V. Biotechnology – at the service of health of ecosystems of reservoirs and humans / V.V. Melikhov, P.I. Kuznetsov, S.V. Yakovlev // Health and ecology. – 2006. – No.3 (37). – P. 18-19.
8. Moskovets, M.V. Biological reclamation of freshwater reservoirs / M.V. Moskovets, V.V. Melikhov, I.P. Kruzhilin, P.I. Kuznetsov // Delovaya Slava Rossii. – 2008. – No.6 (24). – P. 28-31.
9. Ostroumov, S.A. Biological mechanism of self-purification in natural reservoirs and watercourses: theory and applications / S.A. Ostroumov // Advances in modern biology. – 2004. – Vol. 124, No.5. – P. 429-442.
10. Ostroumov, S.A. Aquatic ecosystems and organisms / S.A. Ostroumov, N.N. Kolotilova, N.F. Piskunov, N.In. Kartasheva, M.Y. Lyamin, V.M. Kraevsky; ed. S.A. Ostroumov; MSU. – Moscow: Dialogue-MSU, 1999. – P. 45-46.
11. Frolova, M.V. Ecological problems of water resources of the Volga basin / M.V. Frolova, O.P. Komarova, M.V. Moskovets, L.A. Ptitsina, A.Yu. Toropov // Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management: collection of scientific articles II Interd. Science-practice. Internet conferences, Salty Zaymishche village, 28.02.2017/ FGBNU PNIIAZ [et al.]. – Salty Zaymishche, Astrakhan region, 2017. – P. 51-55.
12. Frolova, M.V. Ecological assessment of modern biotechnology of water quality improvement for agricultural landscapes of the Volga-don interfluvium / M.V. Frolova, A.A. Zibarev, M.V. Moskovets // Proceedings of lower Volga agrobiodiversity complex: Science and higher professional education. – 2019. – No.3 (55). – P. 94-101.

Additional information about the authors:

Aleksey Jur'evich Toropov, researcher of the irrigation land reclamation department, vniiioz-algo@yandex.ru,

Marija Viktorovna Frolova, senior researcher of the irrigation land reclamation department, vniiioz-algo@yandex.ru,

Marija Vasil'evna Moskovets, senior researche of the irrigation land reclamation department, vniiioz-algo@yandex.ru