
NATURAL RESOURCES

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2021.4.20.12>

Melikhov V. V.¹, Medvedeva L.N.^{2*}, Frolova M.V.³, Moskovets M.V.⁴

^{1, 2, 3, 4} All-Russian Research Institute of Irrigated, Volgograd, Russia;

² Volgograd state technical University, Volgograd, Russia

* Corresponding author (milena.medvedeva2012[at]yandex.ru)

Received: 28.09.2021; Accepted: 18.10.2021; Published: 15.12.2021

BIOTECHNOLOGIES IN ENSURING THE QUALITY OF NATURAL WATER IN THE TSIMLYANSK RESERVOIR

Research article

Abstract

The article discusses the issues of the state of natural water in the Tsimlyansk reservoir, suggests biotechnology aimed at preserving biological resources and improving water quality. The main factors affecting the state of natural water are natural biological processes in reservoirs and active human activity. The Tsimlyansk reservoir has been experiencing a high anthropogenic load for many years, gradually losing its ability to self-repair. Heated and enriched with organic, mineral substances, the surface layer of water creates favorable conditions for the vital activity of problematic biogens, causes the rapid development of blue-green algae. Bioremediation allows for suspending the degradation of the fishery reservoir, the Tsimlyansk reservoir, with unique natural complexes. Developed at the All-Russian Scientific Research Institute of Hunting and Breeding Named After Professor B.M. Zhitkov (Volgograd, Russia) biotechnology, which is the introduction of *Chlorella vulgaris* IFR No. C 111 strain into the bays of the Tsimlyansk reservoir makes it possible to improve the sanitary and hygienic indicators of water, reduce the blooming effect, improve the species composition of biological aquatic and coastal resources.

Keywords: reservoirs, water quality, ecology, "water blooming", green and blue-green microalgae, zooplankton, biotechnology, *Chlorella vulgaris* strain IFR No. C-111.

Мелихов В.В.¹, Медведева Л.Н.^{2*}, Фролова М.В.³, Московец М.В.⁴

^{1, 2, 3, 4} Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Россия;

² Волгоградский государственный технический университет

* Корреспондирующий автора (milena.medvedeva2012[at]yandex.ru)

Получена: 28.09.2021; Доработана: 18.10.2021; Опубликована: 15.12.2021

БИОТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ПРИРОДНОЙ ВОДЫ В ЦИМЛЯНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Научная статья

Аннотация

В статье поднимаются вопросы состояния природной воды в Цимлянском водохранилище, предлагается биотехнология, направленная на сохранение биологических ресурсов и улучшение качества воды. Основными факторами, влияющими на состояние природной воды, являются естественные биологические процессы в водоемах и активная хозяйственная деятельность человека. Цимлянское водохранилище в течение многих лет испытывает высокую антропогенную нагрузку, постепенно теряет способность к самовосстановлению. Прогретый и обогащенный органическими, минеральными веществами поверхностный слой воды создает благоприятные условия для жизнедеятельности проблемных биогенов, вызывает бурное развитие синезеленых водорослей. Приостановить деградацию рыбохозяйственного водоема – Цимлянского водохранилища с уникальными природными комплексами позволяет биоремедиация. Разработанная в ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград, Россия) биотехнология – вселение в заливы Цимлянского водохранилища штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С 111 позволяет улучшить санитарно-гигиенические показатели воды, снизить «эффект цветения», улучшить видовой состав биологических водных и прибрежных ресурсов.

Ключевые слова: водохранилища, качество воды, экология, «цветение воды», зеленые и синезеленые микроводоросли, зоопланктон, биотехнология, штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111.

1. Введение

Цимлянское водохранилище было создано в 1953 году на реке Дон при сооружении ГЭС, энергия от которой предназначалась для промышленных и сельскохозяйственных предприятий, развития городов. Водоохранилище занимает обширную долину Дона в его нижнем и среднем течении и имеет четыре плеса: Верхний, Чирской, Потемкинский, Приплотинный. Общая площадь водосбора Цимлянского водохранилища составляет 255000 кв. км, среднемноголетний годовой сток – 22,3 куб. км., средняя ширина – 10,4 км, средняя глубина – 8,8 м, площадь зеркала при НПУ – 2702 кв. км. Гидрографическая сеть Цимлянского водохранилища состоит из 15 крупных притоков, из которых 8 левобережных (Иловля, Тишанка, Панышинка, Донская Царица, Аксай Есауловский, Аксай Курмоярский, Мышкова) и 7 правобережных (Верхняя Голубая, Лиска, Чир, Аксенец, Солоная, Цимла и Россось). В приустьевой пойме этих рек образовались мелководные заливы, имеющие большое значение для размножения рыб и развитие зоопланктона. Общая водосборная площадь притоков равна 33200 кв. км, что составляет 13% от общей площади бассейна водохранилища. С течением времени площадь, береговая линия, глубины и другие морфометрические данные водохранилища сильно изменялись, уменьшился сток и увеличились потери от испарения и фильтрации. Известное влияние на общий гидрологический режим водохранилища оказывает режим забора воды гидроэлектростанций, оросительными системами и шлюзами.

К числу факторов, определяющих современный гидрологический и гидрохимический режим Цимлянского водохранилища, условия размножения и развития биологических ресурсов, можно отнести уменьшение речного стока, увеличение антропогенной нагрузки, появление эффекта «взрывного цветения» воды [1]. Одним из важных этапов эволюции водоемов – формирование природной способности к самоочищению, отшлифовка химических и биологических процессов, направленных на снижение загрязняющих веществ, обеспечение условий для жизни и развития организмов [2]. Высокая инсоляция, свойственная южным регионам России, при малой конвекции водной массы в водохранилищах способствует существенному повышению температуры воды в поверхностном слое и на мелководьях [3], [4]. Цимлянское водохранилище относится к классу загрязнённых, 50% проб воды не отвечает санитарно-гигиеническим нормам. Значение индекса Шеннона (степень структурированности биоценоза) составляет менее 1, что указывает на значительное отмирание зоопланктона и формирование илистых масс. Экологическое действие загрязняющих веществ проявляется на нескольких уровнях:

- организменном (наблюдается нарушение отдельных физиологических функций организмов, увеличение гибели рыб и беспозвоночных вследствие прямого отравления);
- популяционном (прослеживается изменение численности и структуры биомассы);
- биоценологическом (усиливается деградация экосистем, уменьшение видового состава, размытость экотонів).

В условиях антропогенного загрязнения водоемов, значительного отмирания фитопланктона, активного развития синезеленых водорослей наблюдается и ухудшение кислородного режима, появление заморных зон, что приводит к гибели рыб и зоопланктона. «Эффект цветения воды» создает проблемы при заборе воды: забиваются фильтры, засоряются агрегаты насосных станций. Интенсивное размножение и широкое распространение синезеленых водорослей со всеми вытекающими из этого негативными последствиями свойственно для большинства водохранилищ во всем мире [5], [6], [7], [8]. Для примера, в 2015 году чрезвычайная ситуация с обеспечением питьевой водой населения г. Пензы возникла из-за массового скопления синезеленых водорослей в местах забора воды из водохранилища. Загрязнение природных водоемов послужило основанием для активизации исследований по предупреждению «цветения водоемов». Имеющиеся методы борьбы с «цветением воды» имеют ряд недостатков: механические требуют высоких финансовых затрат, химические – экологически не безопасны [7], [8]. Решение проблемы лежит в плоскости применения биотехнологий, направленных на повышение качества природной воды на основе вселения зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* штамма ИФР № С-111.

Учеными ФГБНУ ВНИИОЗ (Волгоград) на протяжении многих лет ведутся исследования по использованию биотехнологии – вселение зеленой микроводоросли - *Chlorella vulgaris* штамма ИФР № С-111 в природные и искусственные водоемы. В 2016 году исследования проводились на заливах Волгоградского, Береславского, Варваровского и Карповского водохранилищ, 2021 году на заливах Нижне Яблочный и у хутора Красный Цимлянского водохранилища и были получены положительные результаты. В водоемах хлорелла является типичным планктоном, достаточно удобна для постановки опытов и проведения разносторонних исследований (рисунок 1).

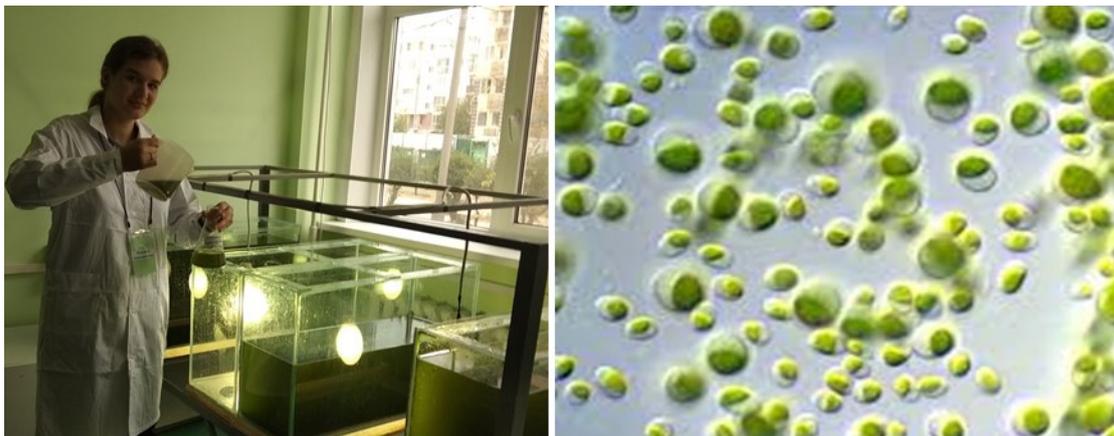


Рис. 1 – Гидробиологическая лаборатория ФГБНУ ВНИИОЗ, клетки *Chlorella vulgaris* под микроскопом

По количеству научных, научно-просветительских работ хлорелле принадлежит первое место среди всех микроводорослей нашей планеты [9]. От других представителей фитопланктона микроводоросль *Chlorella vulgaris* отличается возможностью жизнедеятельности в широком температурном интервале (от 2 до 40°C), устойчивостью к шоковым реакциям (замораживание) и способностью развития в экстремальных условиях (термальные воды) [10], [11]. Хлорелла способна развиваться в сточной воде коксохимического производства с концентрацией фосфора до 1 г/дм³ [10].

В процессе фотосинтеза хлорелла выделяет большое количество кислорода (до 14 мг/дм³), который, находясь в атомарном состоянии (*instatum nascendi*), обладает повышенной способностью к окислению. Было доказано, что атомарный кислород способен разрывать длинные цепочки углеводов, входящих в состав нефтепродуктов, образовывать свободные радикалы, которые оседая на дно водоемов, подвергаются дальнейшему разложению специфическими нефтеразлагающими бактериями [11]. Тяжелые металлы в этих условиях переходят в высшие степени окисления и образуют с анионами нерастворимые соединения, наблюдается снижение содержания в воде неорганических форм азота и фосфора, поскольку они являются питательными веществами для хлореллы [12].

Утилизация хлореллой различных соединений, содержащих азот и фосфор, происходит достаточно эффективно, в результате, основа для питания и размножения синезелёных водорослей значительно уменьшается [11], [13]. В результате вышеназванных процессов происходит улучшение многих химических, микробиологических и санитарно-гигиенических параметров воды, в том числе и таких важных показателей качества как ХПК и БПК (химическое и биологическое потребление кислорода) [13], [14].

Целью исследования стало изучение состояния воды и биоорганизмов в Цимлянском водохранилище для проведения альголизации в рамках регионального научного гранта по теме: «Восстановление экосистемы Дона на основе повышения потенциала микроводорослей, участвующих в развитии биологических водных ресурсов».

2. Материалы и методы

Учеными ФГБНУ ВНИИОЗ была разработана программа по улучшению качества природной воды на основе применения технологии биоремедиации [15], [16]. Для апробации технологии – вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в Цимлянское водохранилище, были выбраны неглубокие заливы: Нижне Яблочный, залив у хутора Красный с возможностью подъезда к ним в весенний период, чтобы эффективно выполнить наблюдения, оценить возможное влияние на природные планктоценозы (на рисунке 2 схема размещения станций наблюдения).



Рис. 2 – Цимлянское водохранилище со схемой размещения станций наблюдения, 2020-2021 гг.

Нижне Яблочный залив является одним из отрогов большого по акватории Красноярского залива Цимлянского водохранилища, которому свойственно значительная изрезанность береговой линии. Площадь залива 83,2 га, глубины от 0,5 до 6 м. Правый берег относительно высокий с глинистыми обрывами, левый с пойменным лесом, песчаными пляжами. Верховье залива слабо заросло жесткой высшей водной растительностью, но подводная часть в результате мелководности развивается довольно интенсивно.

В разгар «цветения воды» сине-зеленые водоросли создавали довольно высокие концентрации, ведущую роль играли роды: *Microcystis grevillea*, *Planktothrix agardhii* (исследования 2020года, рисунок 3).

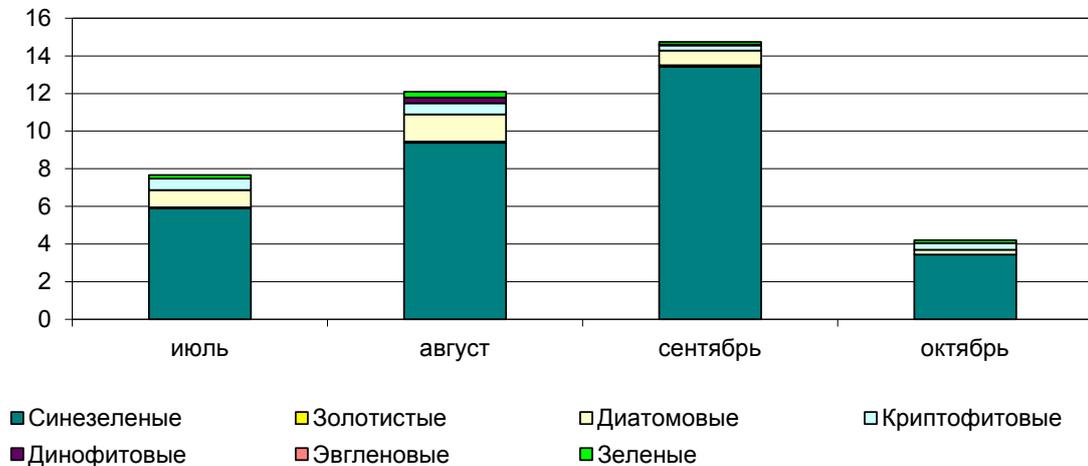


Рис. 3 – Соотношение биомассы (г/м³) фитопланктона разных систематических отделов в Нижне-Яблочном заливе, июль-октябрь 2020 г.

Залив у хутора Красный Котельниковского района Волгоградской области является прибрежной частью Потёмкинского плеса, с глубинами 0,5-5,0 м. В заливе находится питьевой водозабор г. Котельниково. В период нагонных явлений, акватория подвергается заселением огромных масс синезеленых водорослей. В период максимального прогрева воды 25,3⁰С (июль 2020 года) регистрировалось наибольшее видовое разнообразие – 42 вида, на синезеленые водоросли приходилось 50%, на зеленые, диатомовые и криптофитовые – 30% (рисунок 4).

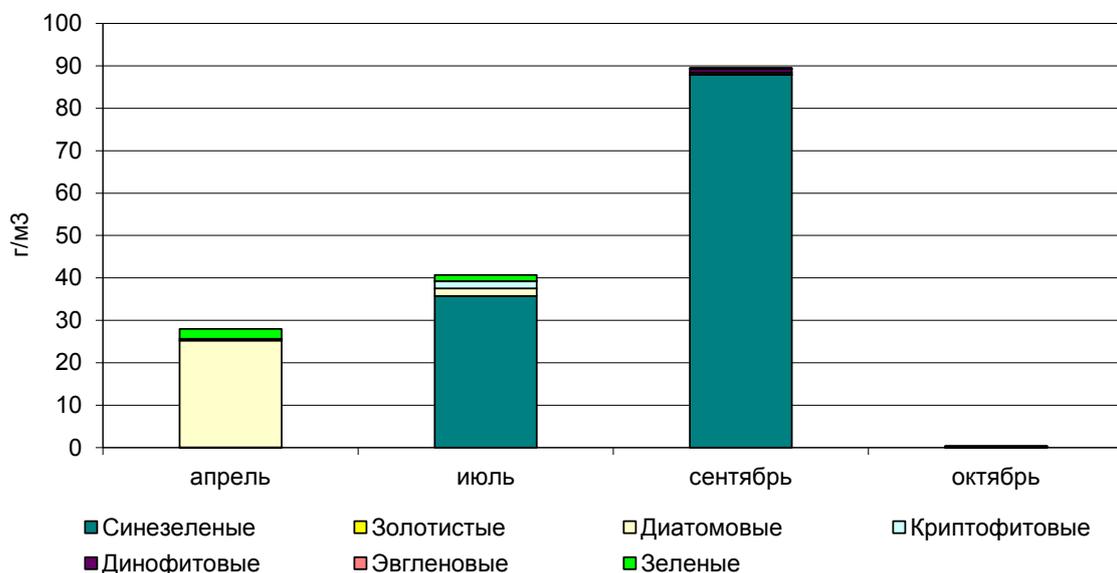


Рис. 4 – Соотношение биомассы (г/м³) фитопланктона разных систематических отделов в заливе х. Красный апрель-сентябрь 2020 г.

В структуре синезеленых водорослей преобладали: *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon floss-aquae.*, *Microcystis aeruginosa*, их биомасса в поверхностных слоях водоема достигала: 2,0 - 3,5 кг/м³. «Взрывное цветение» воды обеспечивал род *Microcystis aeruginosa*, в наветренной береговой зоне водохранилища его накапливалось до 10,5 кг/м³

По данным исследования 2021 года с мая в заливе Нижне-Яблочном уже наблюдалось значительное увеличение сине-зеленых водорослей (рисунок 5).

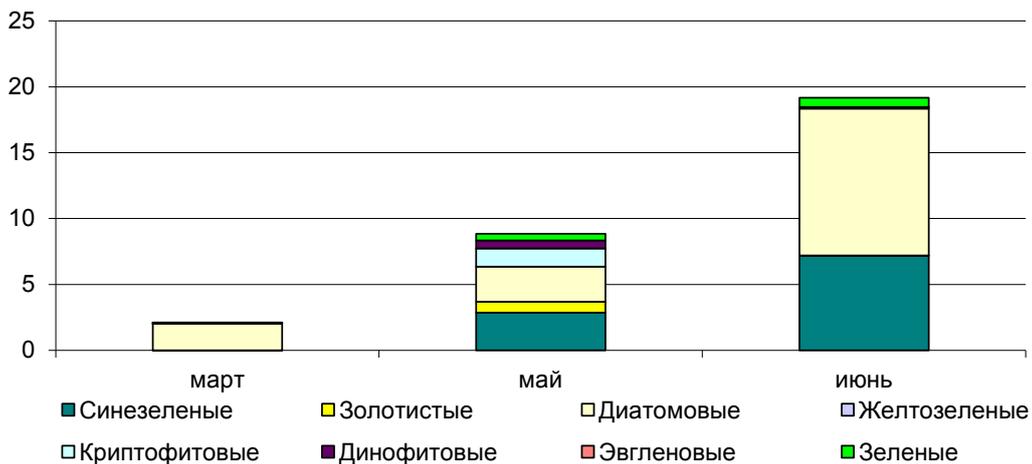


Рис. 5 – Соотношение биомассы (г/м³) фитопланктона разных систематических отделов в Нижне-Яблочном заливе, март-июнь 2021 г.

В 2021 году для обеспечения работ по научному гранту были определены станции наблюдения на Цимлянском водохранилище, составлен график отбора проб воды, зоопланктона и вселения штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 (таблица 1).

Таблица 1 – График отбора проб воды, зоопланктона, вселение штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, 2021 год

Дата	Залив Нижне Яблонный (контрольный)	Залив у хутора Красный (опытный)
18 мая	Отбор проб воды	Отбор проб воды и вселение хлореллы
17 июня	Отбор проб воды	Отбор проб воды и вселение хлореллы
16 июля	Отбор проб воды	Отбор проб воды и вселение хлореллы
17 августа	Отбор проб воды	Отбор проб воды и вселение хлореллы
14 сентября	Отбор проб воды	Отбор проб воды и вселение хлореллы

3. Результаты и обсуждения

В биореакторе (Патент РФ на полезную модель № 191241 «Установка для выращивания хлореллы», 2019 год, правообладатель ФГБНУ ВНИИОЗ), по согласованной рецептуре (Патент РФ № 1751981, правообладатель Н.И. Богданов) проводилось культивирование суспензии хлореллы в аквариумах при оптимальной температуре (+30° С) и комнатном освещении (лампа ДРЛФ-400 - 30000 лк). Качество суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 определялось по техническим условиям ТУ 9291-003-1200-1826-05 (Патент РФ № 1751981) с помощью приборов: колориметр фотоэлектрический концентрационный (КФК-ХЛ 4,2) для определения оптической плотности и коэффициента пропускания суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, рН метр для определения рН суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, микроскоп биологический бинокулярный.

В целях адаптации штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С 111 к воде Цимлянского водохранилища и в последующем вселение в водоем был произведен эксперимент в лабораторных условиях. Отбор проб воды производили батометром в трех точках залива у хутора Красный Цимлянского водохранилища на глубине 2,5 м, 1 м, 0 (для эксперимента брали усредненные пробы). В 6-ти пластиковых сосудах было залито 0,4 л нефилтрованной водохранилищной воды. Один сосуд был контрольный, в остальные добавлено по: 1, 5, 25, 100 мл суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 с плотностью клеток 60 млн./мл. После экспозиции в течение четырех суток при естественном освещении и температуре (+20 – +25° С) был получен следующий результат: в контрольном сосуде (0) никаких признаков развития водорослей не отмечено; в сосуде с добавлением 1 мл штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 был обнаружен зоопланктон без признаков «цветения» воды. В поле зрения микроскопа наравне с естественным фитопланктоном отчетливо были видны клетки хлореллы. В третьем сосуде, куда добавляли 5 мл суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, было обильное развитие зоопланктона. В поле зрения микроскопа хлореллы было больше, чем естественного фитопланктона. В остальных трех сосудах, где было внесено по 25, 50, 100 мл суспензии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, интенсивность окраски шла по нарастающей до темно-зеленого цвета. По техническим условиям темно-зеленая окраска свидетельствует о сильном развитии хлореллы.

Вывод: естественная вода Цимлянского водохранилища вполне подходила для развития штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Учитывая хороший рост штамма на воде Цимлянского водохранилища, было прокультивировано 20 литров суспензии хлореллы, предназначенной для дальнейшего культивирования и внесения в залив у хутора Красный.

4. Заключение

На основе проведенных исследований была получена доказательная база, что природная вода Цимлянского водохранилища вполне подходит для развития штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, а использование биоремедиации положительно сказывается на качестве природной воды и состоянии зоопланктона, что, несомненно, должно привести к оздоровлению водоема, развитию рыб и беспозвоночных.

5. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта №7 от 10 декабря 2020 года «Восстановление экосистемы Дона на основе повышения потенциала микроводорослей, участвующих в развитии биологических ресурсов».

Conflict of Interest

None declared.

Конфликт интересов

Не указан.

References

1. Сорокина Е. И. Экологические проблемы водных объектов Волгоградской области / Е. И. Сорокина, Л. Н. Маковкина // Актуальные проблемы права: материалы IV Международная научная конференция, ноябрь 2015.– М.: Буки-Веди. – 2015.– С. 173-176.
2. Tollefson J. Forecasting efforts target harmful plankton blooms / Tollefson J. // Nature. – 2018. – Vol. 555 (7698). – P. 569-570.
3. Никитин О. В. Экотехнологии восстановления водных объектов: конспект лекций / О. В. Никитин, В. З. Латыпова // ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Институт экологии и природопользования. Кафедра прикладной экологии. [Электронный ресурс] URL:<http://zilant.kfu.ru/course/view.php?id=367> (дата обращения 20.08.2021).
4. Wang J. Identification of the “source” and “sink” patterns influencing non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir Area / Wang J., Shao J., Wang D., et al. // J. Geogr. Sci. – 2016. – Vol. 26 (10). – P. 1431-1448.
5. Carmichael W.W. Boyer Health impacts from phytoplankton harmful algae blooms: implications for the North American Great Lakes / Carmichael W.W. // Harmful Algae. – 2016. – Vol. 54. – P. 194-212.
6. Bertani I. Tracking cyanobacteria blooms: Do different monitoring approaches tell the same story? / Bertani I., Steger Cara E., et. al. // Science of The Total Environment, 2017. January. – Vol. 575. – P. 294-308.
7. Morse R.E. Controls on the initiation and development of blooms of the dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef in lower Chesapeake Bay and its tributaries / Morse R.E., Mulholland M.R., Hunley W.S., et al. // Harmful Algae. – 2013. – Vol. 28. – P. 71-82.
8. Ndlela L. L. An overview of cyanobacteria bloom occurrences and research in Africa over the last decade / Ndlela L. L., Oberholster P. J., Van Wyk J. H., Cheng P. H. // Harmful Algae. – 2016. – Vol. 60. – P. 11-26.
9. Чернова Е.Н. Физические и химические методы воздействия на цианобактериальное «цветение» водоемов. Обзор. / Е. Н. Чернова, Я. В. Русских, З.А. Жаковская // Региональная экология.– 2018. – № 3 (53). – С. 39-61.
10. Павлова О.А. Экологическое состояние сообщества фитопланктона водоемов Санкт-Петербурга после мероприятий по дно очистке / О.А. Павлова, Н.В. Игнатьева и др. // Материалы V Всероссийской конференции по водной экотехнологии, посвященной памяти Б.А. Флорова. Том I «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Современные методы исследования состояния поверхностных вод в условиях антропогенной нагрузки». Борок, 28 октября-1 ноября 2014. –С. 86 –92.
11. Melikhov V.V. Environmental imperative in the use of microalgae / K. Medvedeva, V.V. Melikhov // In the collection: Collection of materials of the IV scientific-practical conference. – 2019. – P. 196-200.
12. Goncalves A. L., Pires, Jose C.M., Simoes, Manuel. Wastewater polishing by consortia of *Chlorella vulgaris* and activated sludge native bacteria //Journal of cleaner production. – 2016. – Oct. – Vol. 133. – P. 348-357.
13. Yang J. R.. Disturbance – induced phytoplankton regime shifts and recovery of cyanobacteria dominance in two subtropical reservoirs / Yang J. R., Isabwe H. Lv., et al. // Water Res.– 2017. – T. 120. – P. 52-63.
14. Yang Z. Nutrient reduction magnifies the impact of extreme weather on cyanobacterial bloom formation in large shallow Lake Taihu (China) / Yang Z., Zhang M., Shi X., Kong F., Ma R., Yu Y. // Water Research.– 2016.– Oct 15. – Vol. 103. – P. 302-310.
15. Фролова М.В. Современная биотехнология в улучшении качества воды открытых водоемов многоцелевого назначения / М.В. Фролова, О.П. Комарова, М.В. Московец // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.– 2018. – № 4 (52). – С. 213-218.
16. Торопов А.Ю. Суспензия хлореллы - направленное воздействие на экосистему водоема / А.Ю. Торопов, М.В. Фролова, М.В. Московец // Орошаемое земледелие.– 2020. – № 1. – С. 46-49.
17. Медведева Л.Н. Внедрение природосберегающих технологий - экологический императив в развитии регионов / Л.Н. Медведева, М.В. Фролова, М.В. Московец, А.В. Медведев // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика.– 2019. – Т. 21. № 4. – С. 126-140.
18. Московец М.В. Суспензия хлореллы – направленное воздействие на экосистему водоема / Московец М.В., Торопов А.Ю., Фролова М.В. // Орошаемое земледелие.– 2020.–№ 1. – С. 46-49.

19. Roiss O. New Horizons for the Application of Microalgae in the National Economy / Medvedeva, L.N., Roiss, O. // *Advances in Intelligent Systems and Computing* this link is disabled.–2021. – 1270. P. 733 –740

References in English

1. Sorokina E. I. Ekologicheskie problemy vodnyh ob"ektov Volgogradskoj oblasti [Environmental problems of water bodies of the Volgograd region] / E. I. Sorokina, L. N. Makovkina // *Aktual'nye problemy prava: materialy IV Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya, noyabr' 2015.*– M.: Buki-Vedi, 2015.– P. 173-176. [in Russian]

2. Tollefson J. Forecasting efforts target harmful plankton blooms / Tollefson J. // *Nature.* – 2018. – Vol. 555 (7698). – P. 569-570.

3. Nikitin O. V. Ekotekhnologii vosstanovleniya vodnyh ob"ektov: konspekt lekcij [Ecotechnologies for the restoration of water bodies: lecture notes] / O. V. Nikitin, V. Z. Latypova // FGAOU VPO «Kazanskij (Privolzhskij) federal'nyj universitet». Institut ekologii i prirodopol'zovaniya. Kafedra prikladnoj ekologii. [Electronic resources] URL:<http://zilant.kfu.ru/course/view.php?id=367> (accessed 20.08.2021). [in Russian]

4. Wang J. Identification of the “source” and “sink” patterns influencing non-point source pollution in the Three Gorges Reservoir Area / Wang J., Shao J., Wang D., et al. // *J. Geogr. Sci.* – 2016. – Vol. 26 (10). – P. 1431-1448.

5. Carmichael W.W. Boyer Health impacts from phytoplankton harmful algae blooms: implications for the North American Great Lakes / Carmichael W.W. // *Harmful Algae.* – 2016. – Vol. 54. – P. 194-212.

6. Bertani I. Tracking cyanobacteria blooms: Do different monitoring approaches tell the same story? / Bertani I., Steger Cara E., et. al. // *Science of The Total Environment*, 2017. January. – Vol. 575. – P. 294-308.

7. Morse R.E. Controls on the initiation and development of blooms of the dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef in lower Chesapeake Bay and its tributaries / Morse R.E., Mulholland M.R., Hunley W.S., et al. // *Harmful Algae.* – 2013. – Vol. 28. – P. 71-82.

8. Ndlela L. L. An overview of cyanobacteria bloom occurrences and research in Africa over the last decade / Ndlela L. L., Oberholster P. J., Van Wyk J. H., Cheng P. H. // *Harmful Algae.* – 2016. – Vol. 60. – P. 11-26.

9. Chernova E.N. Fizicheskie i himicheskie metody vozdejstviya na cianobakterial'noe «cvetenie» vodoemov. Obzor [Physical and chemical methods of influencing the cyanobacterial "bloom" of water bodies. Overview] / E. N. Chernova, YA. V. Russkih, Z.A. Zhakovskaya // *Regional'naya ekologiya.*– 2018. – № 3 (53). – P. 39-61.

10. Pavlova O.A. Ekologicheskoe sostoyanie soobshchestva fitoplanktona vodoemov Sankt-Peterburga posle meropriyatij po dnouchistke [Ecological state of the phytoplankton community of water bodies in St. Petersburg after bottom cleaning activities] / O.A. Pavlova, N.V. Ignat'eva et al. // *Materialy V Vserossijskoj konferencii po vodnoj ekotekhnologii, posvyashchennoj pamyati B.A. Florova. Tom I «Antropogennoe vliyanie na vodnye organizmy i ekosistemy. Sovremennyye metody issledovaniya sostoyaniya poverhnostnyh vod v usloviyah antropogennoj nagruzki»* [Materials of the V All-Russian Conference on Water Ecotechnology, dedicated to the memory of B.A. Florova. Volume I “Anthropogenic Impact on Aquatic Organisms and Ecosystems. Modern methods of studying the state of surface waters under anthropogenic load conditions ”]. Borok, 28 oktyabrya-1noyabrya.– 2014. –P. 86 –92. [in Russian]

11. Melikhov V.V. Environmental imperative in the use of microalgae / K. Medvedeva, V.V. Melikhov // In the collection: *Collection of materials of the IV scientific-practical conference.* – 2019. – P. 196-200.

12. Goncalves A. L., Pires, Jose C.M., Simoes, Manuel. Wastewater polishing by consortia of *Chlorella vulgaris* and activated sludge native bacteria // *Journal of cleaner production.* – 2016. – Oct. – Vol. 133. – P. 348-357.

13. Yang J. R.. Disturbance – induced phytoplankton regime shifts and recovery of cyanobacteria dominance in two subtropical reservoirs / Yang J. R., Isabwe H. Lv., et al. // *Water Res.*– 2017. – Vol. 120. – P. 52-63.

14. Yang Z. Nutrient reduction magnifies the impact of extreme weather on cyanobacterial bloom formation in large shallow Lake Taihu (China) / Yang Z., Zhang M., Shi X., Kong F., Ma R., Yu Y. // *Water Research.*– 2016.– Oct 15. – Vol. 103. – P. 302-310.

15. Frolova M.V. Sovremennaya biotekhnologiya v uluchshenii kachestva vody otkrytyh vodoemov mnogocelevogo naznacheniya [Modern biotechnology in improving the water quality of open reservoirs for multipurpose purposes] / M.V. Frolova, O.P. Komarova, M.V. Moskovec // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyshee professional'noe obrazovanie.*– 2018. – № 4 (52). – P. 213-218. [in Russian]

16. Toropov A.YU. Suspenziya hlorelly - napravlennoe vozdejstvie na ekosistemu vodoema / A.YU. Toropov, M.V. Frolova, M.V. Moskovec // *Oroschaemoe zemledelie.*– 2020. – № 1. – P. 46-49. [in Russian]

17. Medvedeva L.N. Vnedrenie prirodosbergayushchih tekhnologij - ekologicheskij imperativ v razvitii regionov / L.N. Medvedeva, M.V. Frolova, M.V. Moskovec, A.V. Medvedev // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika.*– 2019. – Vol. 21. № 4. – P. 126-140. [in Russian]

18. Moskovec M.V. Suspenziya hlorelly – napravlennoe vozdejstvie na ekosistemu vodoema / Moskovec M.V., Toropov A.YU., Frolova M.V. // *Oroschaemoe zemledelie.*– 2020.–№ 1. – P. 46-49. [in Russian]

19. Roiss O. New Horizons for the Application of Microalgae in the National Economy / Medvedeva, L.N., Roiss, O. // *Advances in Intelligent Systems and Computing* this link is disabled.–2021. – 1270. P. 733 –740