

Геоэкологическая оценка качества вод пруда Кучинский в Подмосковье по фитопланктону в условиях альголизации

Г. А. Анциферова¹ ✉, Р. М. Нкурунзиза²

¹Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

²Институт прикладной педагогики, Бурунди
(Бульвар Муези Гисабо, 5223 Бужумбура-Бурунди)

Аннотация. Цель – оценить экологическое состояние пруда Кучинский в процессе применения метода альголизации для обоснования критериев качества вод в условиях антропогенной нагрузки.

Материалы и методы. При проведении альголизации в каждый вегетационный сезон отбирались пробы фитопланктона, которые изучались микроскопически. Восстанавливался таксономический и экологический состав сообществ фитопланктона, что далее служило основой применения метода биоиндикации и метода графического анализа таксономических пропорций Разумовского по графикам линейных и логарифмических координат.

Результаты и обсуждение. Состояние экосистемы малого водного объекта на примере пруда Кучинский формировалось в условиях антропогенного воздействия на водосборную территорию, но при постоянной корректировке качества применением альголизации вод. Таксономический и экологический составы микроводорослей и цианобактерий, их оценки обилия позволили рассчитать индекс сапробности, значения средней численности и средней биомассы фитопланктона и определить класс и разряд качества вод. По степени кризисности водная экосистема находится на уровне обратимых изменений, что наглядно подтверждается анализом таксономических пропорций по Разумовскому, по графикам линейных и логарифмических координат.

Выводы. Проведенные исследования подтверждают значимость метода коррекции альгоценоза в формировании экологически благополучной обстановки в водной экосистеме.

Ключевые слова: альголизация, альгоценоз, биоиндикация, водная экосистема, микроводоросли, поверхностные воды, фитопланктон, цианобактерии, экологическое состояние.

Для цитирования: Анциферова Г. А., Нкурунзиза Р. М. Геоэкологическая оценка качества вод пруда Кучинский в Подмосковье по фитопланктону в условиях альголизации // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с. 100-111. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/100-111>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований, связанных с проблемами экологического состояния поверхностных вод при постоянной антропогенной нагрузке, несомненна. Пруд Кучинский является одним из десяти искусственных водных объектов, расположенных на территории городского округа города Балашиха, в которых проводилась реабилитация методом коррекции альгоценоза. Данный альгобиотехнологический метод позво-

ляет управлять качеством вод природных, природно-антропогенных водоемов (озера, водохранилища) и сточных вод (пруды-отстойники промышленных предприятий), предотвращая «цветение» вод цианобактериями и восстанавливая качество вод [6, 7, 12]. Возможные состояния водных экосистем Подмосковья при отсутствии альголизации их вод прослежены на примере прудов, расположенных на территории Новая Москва.

© Анциферова Г. А., Нкурунзиза Р. М., 2023

✉ Анциферова Галина Аркадьевна, e-mail: g_antsiferova@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Альголизация водоема проводилась с 2016 по 2020 годы посредством использования зеленой микроводоросли рода хлорелла в виде штамма *Chlorella Kessleri* ВКПМ А1-11 ARW по методу, разработанному и запатентованному Н.И Богдановым (патент) [5]. В течение проведения альголизации вод отбирались пробы фитопланктона, три раза в каждый вегетационный сезон в мае, июле и сентябре. Исследование заключалось в их изучении с использованием микроскопа Микмед-6 при 120^х- 1200^х-кратном увеличении.

В результате установлены таксономический и экологический составы сообществ микроводорослей и цианобактерий, количественные оценки таксонов. Это позволяет определять эколого-биологическое состояние и степень кризисности водной экосистемы.

Общие выводы подтверждают данные, полученные методом графического анализа таксономических пропорций по Л.В. Разумовскому [9, 10, 11]. С помощью этого метода строятся графики на основе линейных координат (гистограмма), и на основе логарифмических координат. На гистограмме отображается отношение общего числа таксонов к их относительному числу (процентные пропорции) в направлении уменьшения последнего. В логарифмической системе координат результирующие линии строятся с учетом всего спектра таксонов или только с учетом доминирующих и сопутствующих таксонов [4, 8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По таксономическому разнообразию в составе фитопланктона пруда Кучинский, прослеживаются изменения состава сообществ фитопланктона, происходившие в течение пяти лет альголизации водоема.

В 2016 году средняя численность микроводорослей в пруду невысокая, и составляет 0,99 млн. клеток (колоний) на 1 л (млн кл./л). Средняя биомасса низкая – 1,03 миллиграмм на 1 л (мг/л). Значение индекса сапробности 2,06 соответствует III классу качества – «Удовлетворительной чистоты» при разряде качества – 3б «Слабо загрязненные». В общем составе микроводорослей в видовом отношении (рис. 1) доминируют цианобактерии (12 видов) и зеленые водоросли (11 видов).

В 2017 году средняя численность микроводорослей составляет 0,99 млн кл./л. Средняя биомасса остается низкой, составляя 1,36 мг/л. Значение индекса сапробности достигает 1,85, что соответствует III классу качества вод – «Удовлетворительной чистоты» при разряде их качества – 3а «Достаточно чистые». В целом таксономическое разнообразие фитопланктона снижается (рис. 2). В общем составе доминируют зеленые водоросли, которые представлены 7 видами. Диатомовые водоросли представлены 5 видами, цианобактерии насчитывают 4 вида.

В 2018 году средняя численность микроводорослей и средняя биомасса в пруду остаются низкими: 1,01 млн кл./л и 1,2 мг/л соответственно. Показатель индекса сапробности, равный 2,17,

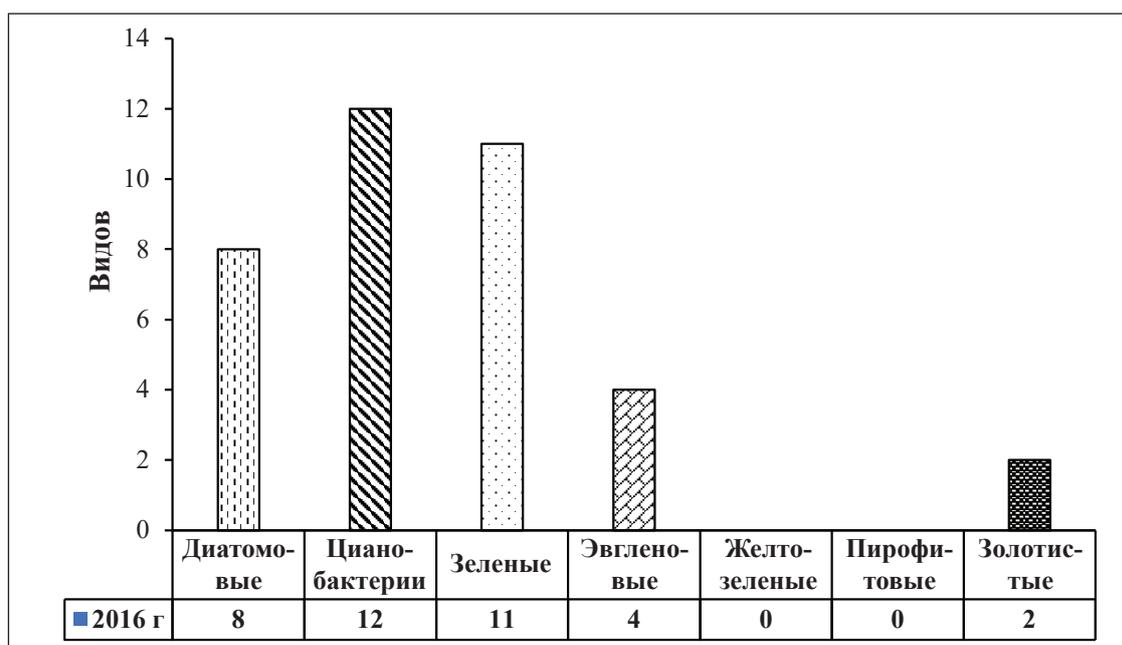


Рис 1. Таксономический состав сообществ микроводорослей и цианобактерий на 2016 год
[Fig. 1. Taxonomic composition of microalgae and cyanobacteria communities for 2016]

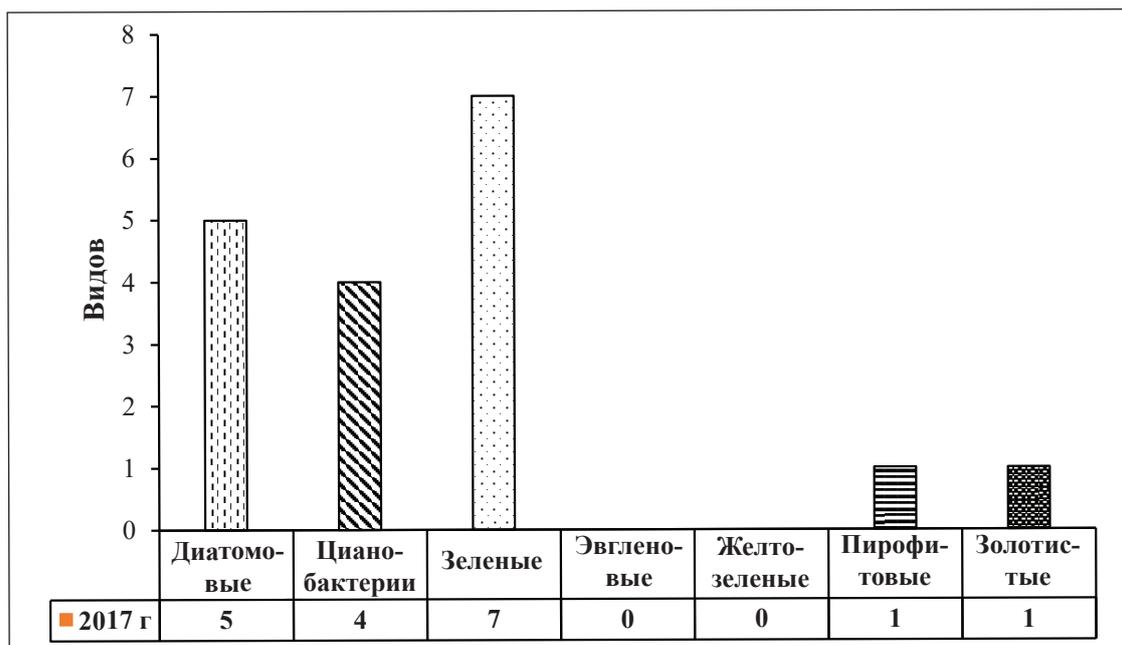


Рис 2. Таксономический состав сообществ микроводорослей и цианобактерий на 2017 год
 [Fig. 2. Taxonomic composition of microalgae and cyanobacteria communities for 2017]

соответствует III классу – «Удовлетворительной чистоты» при разряде качества – 3б «Слабо загрязненные». Отмечается увеличение видового разнообразия цианобактерий и зеленых водорос-

лей, насчитывающих по 13 таксонов, диатомовых, имеющих 12 таксонов, и распространение эвгленовых водорослей, которые в начале процесса альголизации не наблюдались (рис. 3).

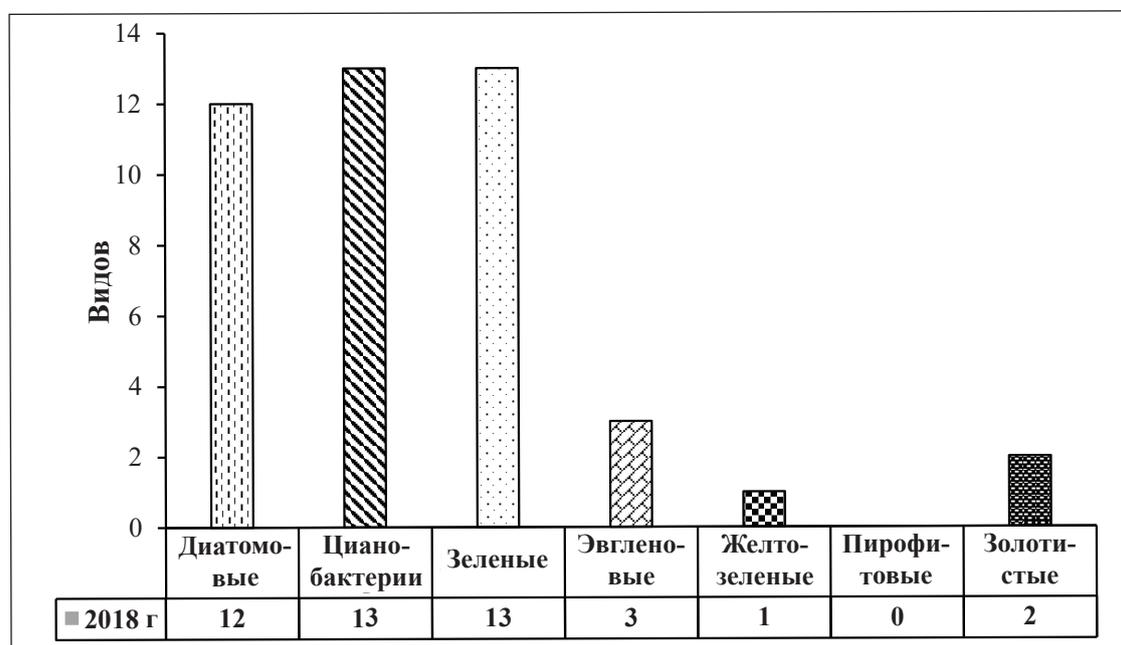


Рис 3. Таксономический состав сообществ микроводорослей и цианобактерий на 2018 год
 [Fig. 3. Taxonomic composition of microalgae and cyanobacteria communities for 2018]

В 2019 году средняя численность таксонов, и биомасса остаются низкими, составляя 0,99 млн кл./л. и 1,67 мг/л соответственно. Значение индекса сапробности 2,19 позволяет относить воды к III классу – «Удовлетворительной чистоты» при

разряде качества – 3б «Слабо загрязненные», что свидетельствует о стабильном экологически благополучном качестве вод. С таксономической точки зрения наблюдается увеличение числа цианобактерий до 17 видов и зеленых водорослей

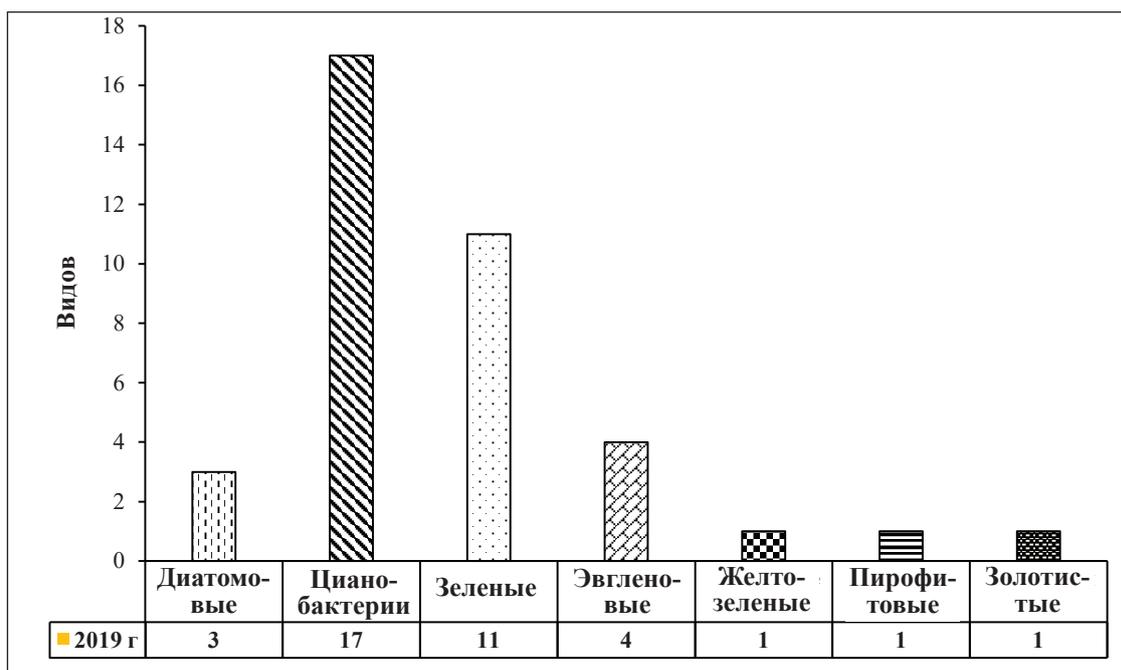


Рис 4. Таксономический состав сообществ микроводорослей и цианобактерий на 2019 год
 [Fig. 4. Taxonomic composition of microalgae and cyanobacteria communities for 2019]

– до 11 видов, а также значительное сокращение эвгленовых водорослей (4 вида) и диатомовых (3 вида), появление желтозеленых, золотистых и пирофитовых водорослей (рис. 4).

В 2020 году средняя численность таксонов невелика, составляя 0,96 млн кл./л. Биомасса увеличивается по сравнению с другими годами до 3,21 мг/л. Значение индекса сапробности, равное 1,71 позволяет отнести воды пруда к III классу

– «Удовлетворительной чистоты» при разряде качества – За «Достаточно чистые». Улучшение качества вод подтверждается таксономическим составом сообществ фитопланктона. Наблюдается увеличение видового разнообразия диатомовых водорослей (11 видов), происходит уменьшение числа видов цианобактерий до 9 видов, зеленых водорослей – до 6 видов и эвгленовых – до 3 видов (рис. 5).

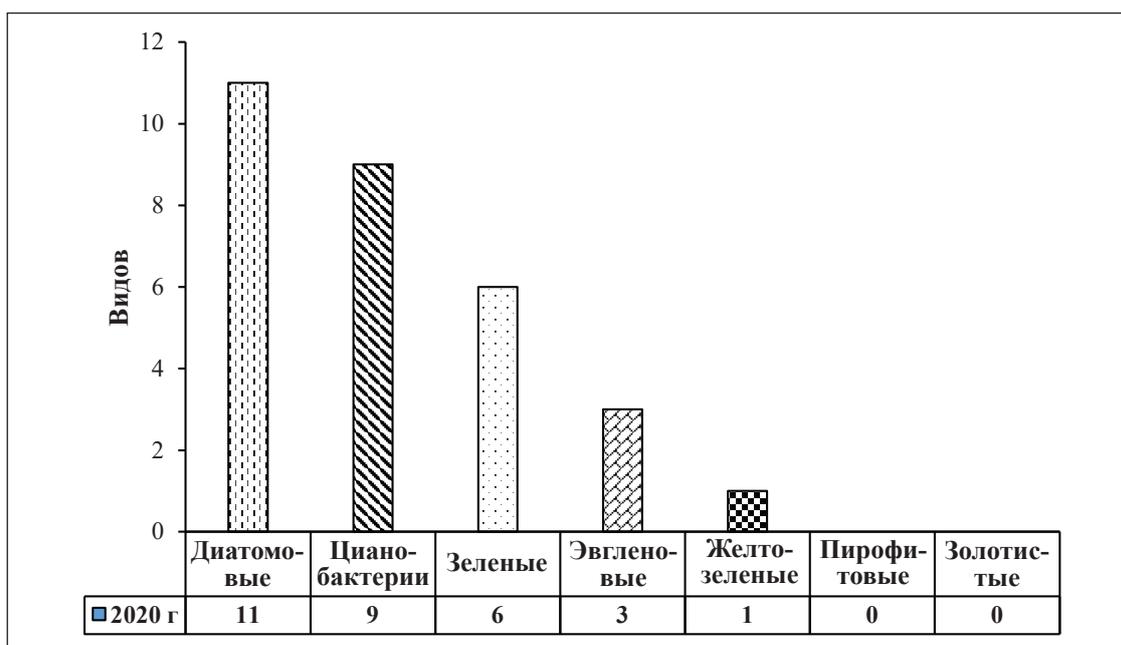


Рис 5. Таксономический состав сообществ микроводорослей и цианобактерий на 2020 год
 [Fig. 5. Taxonomic composition of microalgae and cyanobacteria communities for 2020]

Таксономическая структура сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий пруда Кучинский в 2017-2020 годах, отображенная в линейной системе координат, показана на рисунке 6.

Форма гистограммы соответствует категории рассматриваемого небольшого мелководно-

го водоема [10, 11]. Если анализировать серию трансформаций, проявившихся в пруду в течение 2017-2020 годов, то, по Л. В. Разумовскому [9], в соответствии с его классической трактовкой, они показывают, что пруд не подвергался выраженной антропогенной нагрузке.

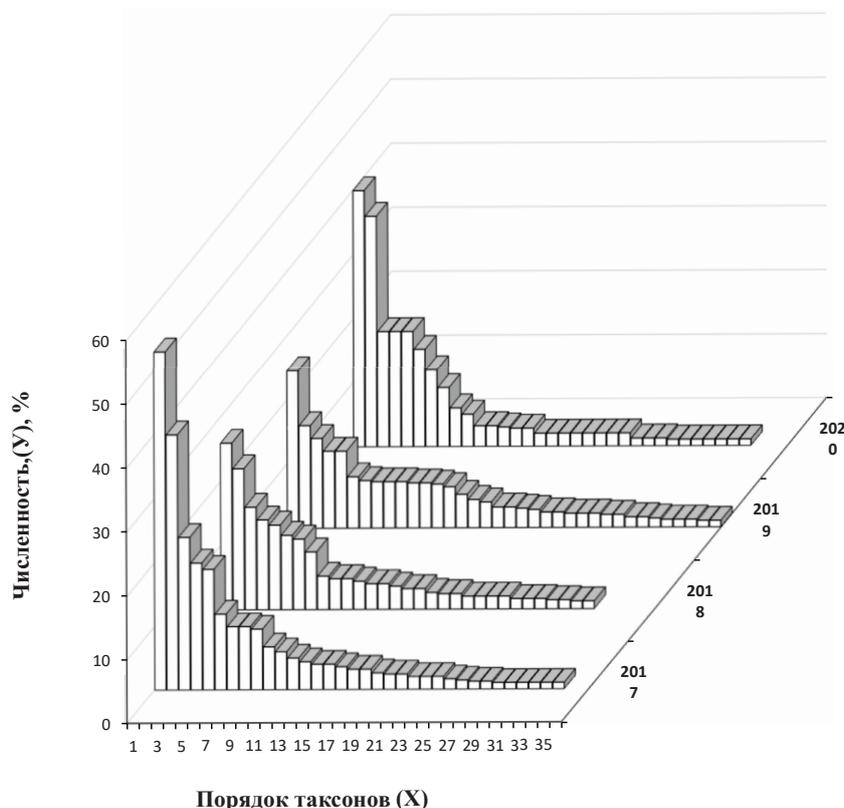


Рис 6. Таксономическая структура сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий пруда Кучинский (линейная система координат)
 [Fig. 6. Taxonomic structure of diatom algae and cyanobacteria communities in the Kuchinsky Pond (linear coordinate system)]

Однако это объяснение для данного водоема не будет верным, поскольку антропогенная нагрузка со стороны водосборной территории осталась на прежнем уровне. Но произошло изменение условий функционирования водной экосистемы, обусловленное влиянием режима коррекции альгоценоза. Именно невозможность вывода об отсутствии выраженной антропогенной нагрузки, по Л. В. Разумовскому, подтверждает положительное воздействие альголизации вод [9].

Серия наблюдаемых трансформаций, которые прослеживаются в таксономической структуре сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий в течение рассматриваемых четырех лет, объясняется сменой сукцессий микроводорослей и цианобактерий, составляющих фитопланктон. Это общая закономерность, характерная для ве-

гетационного сезона любого водоема, поскольку естественно изменяются абиотические и биотические факторы и их соотношения.

Гистограмма 2017 года имеет выраженный экспоненциальный характер распределения. Антропогенная нагрузка сглаживается, наблюдаются пики первых двух таксонов на 50 % и 40 %. Виды *Aphanothece clatrata* W. et G. S. West и *Rhabdoderma lineare* Schmidle et Laut. emend. Hollerb., которые в сентябре 2017 года наблюдались с высокими оценками обилия, обычно указывают на активно протекающие процессы самоочищения вод.

Гистограммы 2018, 2019 и 2020 годов (см. рис. 6) имеют смешанное распределение между логистикой и экспоненциальным распределением. Это не свидетельствует о негативном давлении нагрузки на экосистему, но позволяет,

по Л. В. Разумовскому (2012), сделать вывод о наличии других дополнительных факторов, которые усложняют параметры простой экосистемы [10]. Среди других факторов подобное распределение может объясняться высокими значениями летних температур воздуха, которые наблюдались в 2018 и 2019 годах.

В 2020 году смешанная форма распределения с пиками первых двух таксонов, достигающими 40 % и 35 %, связывается с небольшой задержкой сроков проведения альголизации, обусловленной карантинными мерами в связи с пандемией COVID-19. Это обеспечило свободный рост фитопланктона из-за отсутствия конкуренции с *Chlo-*

rella Kessleri. В пруду наблюдается размножение диатомовых водорослей с благоприятным циклом роста в этот период (см. рис. 5).

Трансформация сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий, которая прослеживается по виду гистограмм, далее находит выражение в логарифмической системе координат. В данной системе распределение отображается как коэффициент корреляции R^2 , расположенный между $0,78 < R^2 < 0,87$. Это свидетельствует о надежном распределении для построения следующего графика (рис. 7); в случае, когда коэффициент $R^2 < 0,56$ статистическое распределение для построения графика ненадежно [7, 8].

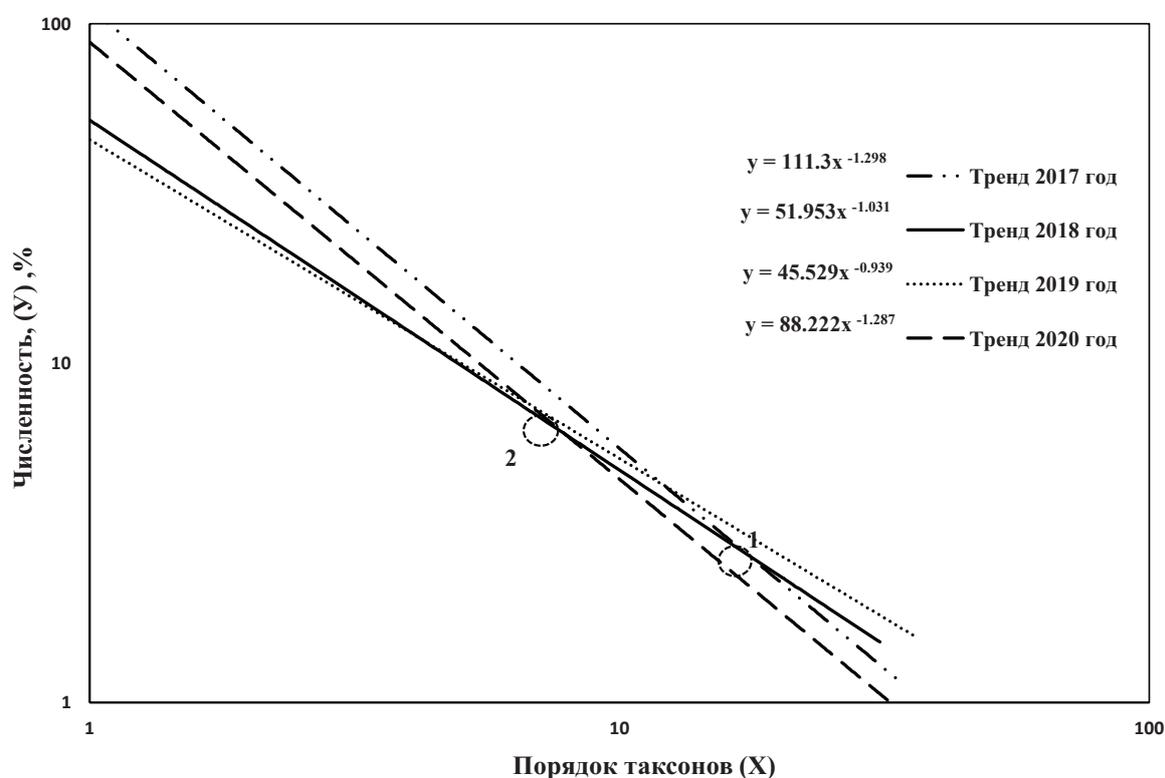


Рис. 7. Трансформации сообществ диатомовых водорослей и цианобактерий пруда Кучинский (логарифмическая система координат $0,78 < R^2 < 0,87$)

[Fig. 7. Transformations of diatom algae and cyanobacteria communities in the Kuchinsky Pond (logarithmic coordinate system $0.78 < R^2 < 0.87$)]

Анализ экологического состояния в логарифмической системе координат также может основываться на критериях уровня нагрузки на экосистему с учетом α -индекса функции мощности (тренда). Автором метода Л. В. Разумовским отмечается, что чем ниже α -индекс, тем выше уровень нагрузки на водоем, и состояние экосистемы находится под угрозой [4, 8].

В. А. Абакумовым предложена система, названная им экологическими модификациями, которые соответствуют определенным критериям

уровня нагрузки на водную экосистему и ее состояние [1, 3]. По значениям α -индексов устанавливается, что для пруда Кучинский α -индекс находится в интервале $-1,298 \leq \alpha < -0,939$ (см. рис. 7).

В 2017 году α -индекс равен $-1,298$, то есть $\alpha < -1,0$, что соответствует «среднему» уровню нагрузки. В этих условиях экосистема находится в состоянии «экологического напряжения».

В 2018 году α -индекс приобретает значение $\alpha < -1,03$; в пруду наблюдался уровень нагрузки, переходящий из «среднего» в «фоновое состоя-

ние». Но делать вывод, что пруд находится в состоянии небольшого напряжения окружающей среды, то есть антропогенная нагрузка уменьшилась, нельзя. Нагрузка не изменилась, это проявляется действие альголизации вод, которая корректирует уровень их загрязнения.

В 2019 году α -индекс равен $-0,939$, что означает $\alpha > -1,0$, это интерпретируется как то, что пруд находится на «низком» уровне нагрузки, то есть что экосистема находится в «фоновом состоянии». При этом наблюдается увеличение видового разнообразия сообществ фитопланктона, поскольку экологические условия очень благоприятные.

В 2020 году, в конце запланированного процесса альголизации, пруд, находясь на постоянном уровне антропогенной нагрузки, имеет показатель α -индекса равный $-1,28$, то есть $\alpha < -1,0$. Уровень нагрузки на водную экосистему характеризуется как «средний». В этих условиях экосистема находится в состоянии «экологического напряжения».

Принимая во внимание центр «вращения», все графики небольших водоемов, на которые не влияет отрицательное воздействие, имеют углы наклона, очень близкие к результирующим линиям, которые характеризуют процентные пропорции внутри комплекса диатомовых водорослей (цианобактерий) [10]. В случае, когда отрицательное воздействие увеличивается, происходит процесс инверсии результирующих линий вокруг определенной точки или локальной области [4, 8].

В итоге изменяется угол наклона результирующих линий. Ссылаясь на работы Л. В. Разумовского и других, в Кучинском пруду произошел процесс инверсии с появлением первого центра «вращения» (см. рис. 7: состояние стабильности по позиции пересечения линий 1, первая фаза трансформации). Это свидетельствует о том, что пруд находится на первой переходной фазе, где экосистема поддерживается комплексом доминирующих и сопутствующих видов в период с 2017 по 2018 годы. В период с 2018 по 2020 годы в пруду произошел переход на вторую фазу трансформации (см. рис. 7: позиция пересечения линий 2, вторая фаза трансформации), когда экосистема поддерживается комплексом доминирующих видов [10].

Кривая 2017-2018 годов, отражающая определенное состояние стабильности, выходит из первой зоны «вращения», что подтверждает упомянутый выше фазовый переход, в другое стабильное состояние. Центр «вращения» показывает, что пруд при стабильной антропогенной нагрузке, воспри-

нимает ее как «низкую» (см. табл. 1). Это происходит вследствие влияния альголизации вод.

Критерии уровня нагрузки на водную экосистему установлены в соответствии со значением α -индекса функции мощности (тренда). Эти критерии позволяют отслеживать изменения в пруду во времени и пространстве пруда и прогнозировать изменения состояния водной экосистемы, которые возможны в будущем.

Таксономический состав сообществ фитопланктона отражает экологическое состояние водной экосистемы. В данном случае виды, населяющие пруд, были изучены в соответствии с зонами сапробности. График экологического качества, построенный на основе суммы показателей численности, дает общую оценку экологического состояния за пять лет процесса биологической реабилитации. Положение средней линии самоочищения вод показывает степень минерализации пруда в конце вегетационного сезона (рис. 8).

В сообществах микроводорослей полисапробные организмы имеют почти равномерное распределение в 2017 и 2020 годах. Значительное количество полисапробных организмов наблюдается с конца вегетационного сезона 2018 года до конца 2019 года с увеличением количества видов цианобактерий. Это связано с повышением летних температур в период с 2018 по 2019 год. Данный период соответствует доминированию в водах процессов восстановления и разрушения органического вещества, превышающего первичное производство. Линия самоочищения находится в зоне бета-мезосапробной на этот период [2].

Метод биоиндикации по фитопланктону отличается высокой чувствительностью по отношению ко всем изменениям факторов, влияющих на качество водной среды. Примером являются изменения температурного фактора в 2018-2019 годы, когда средняя линия сапробности, свидетельствующая об эффективности процессов самоочищения, сместилась в зону β -мезосапробных вод, где она располагалась в 2016 году, до начала альголизации. В вегетационный сезон 2020 года средняя линия сапробности расположена в зоне олигосапробных вод, но при этом следует подчеркнуть, что расширилась значимость видов ксеносапробов. Непосредственная близость от зоны ксеносапробной свидетельствует об успешном процессе восстановления качества вод Кучинского пруда. Хотя все еще существует несколько видов цианобактерий, в пруду не наблюдается «цветения» вод в течение пяти лет альголизации.

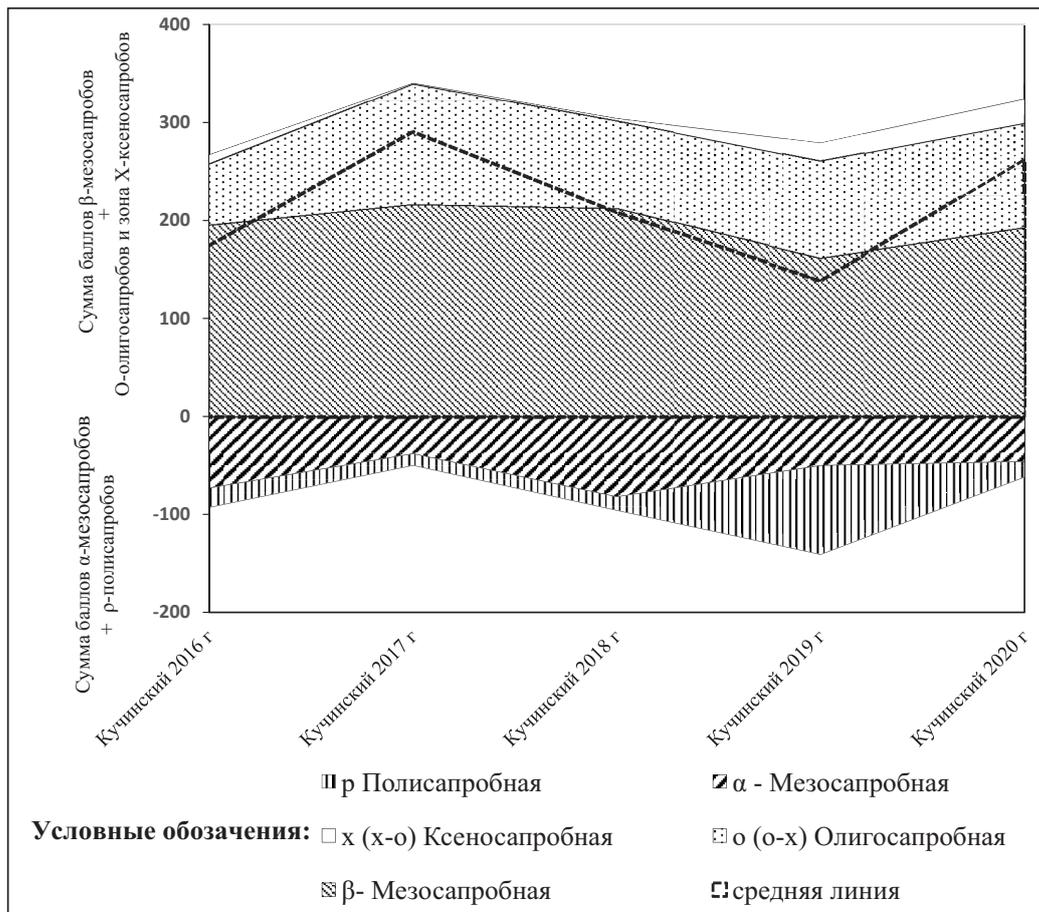


Рис. 8. Эколого-биологическое качество вод пруда Кучинский, 2016-2020 годы [Fig.8. Ecological and biological water quality of the Kuchinsky Pond, 2016-2020]

На территории Новая Москва было исследовано 11 прудов, в составе фитопланктона которых выделялась обширная группа цианобактерий загрязненных местообитаний, признанных продуцентов цианотоксинов. Альголизации данных водных экосистем не проводилось. Они использованы как эталонные для сравнения с прудами Балашиха. На примере прудов Новая Москва прослежено несколько вариантов экологического состояния Подмоскowie при отсутствии альголизации вод (рис. 9).

Анализ в линейных координатах показывает, что в 2017 году гистограммы прудов Заводской и Малый Песевский имеют сигмовидную форму (тип ломаной линии) и имеют пики. Это свидетельствует о хорошем экологическом состоянии прудов. Первые таксоны диатомовых водорослей или цианобактерий ниже 6%, что свидетельствует об их хорошем экологическом состоянии. Вторую группу составляют пруды Ульяновский лесопарк, Верхний Бачуринский, Варваринский, Филинский (озеро Никольское), Ворсинский, Горнево, Васюнинский с гистограммами сигмовидной формы. Для них характерны пики в первых таксонах диатомовых во-

дорослей или цианобактерий менее 20%, что также свидетельствует о том, что водоемы, находясь под воздействием факторов окружающей среды, сохраняют хорошее экологическое состояние.

Гистограммы прудов Картмазовский и Юдановский имеют вогнутую форму (тип экспоненциальной линии), и встречаются пики первых таксонов от 40% до 50%. О неблагоприятном эколого-биологическом состоянии прудов свидетельствует распространение вида загрязненных местообитаний *Anabaena spiroides* Klebahn с оценкой обилия «в массе», то есть на уровне «цветения» вод. Максимальное развитие вида фиксируется в обоих прудах, достигая соответственно 46% и 40%. Специфичность состояния пруда Картмазовского подчеркивает полное преобладание цианобактерий при отсутствии диатомовых водорослей. Присутствие таксона *Ostillatoria lautenbornii* Schmidle с оценками обилия «редко» и «нередко» также свидетельствует, что пруды в условиях антропогенной нагрузки находятся в напряженном экологическом состоянии. Анализ экологического состояния в логарифмической системе координат учитывал

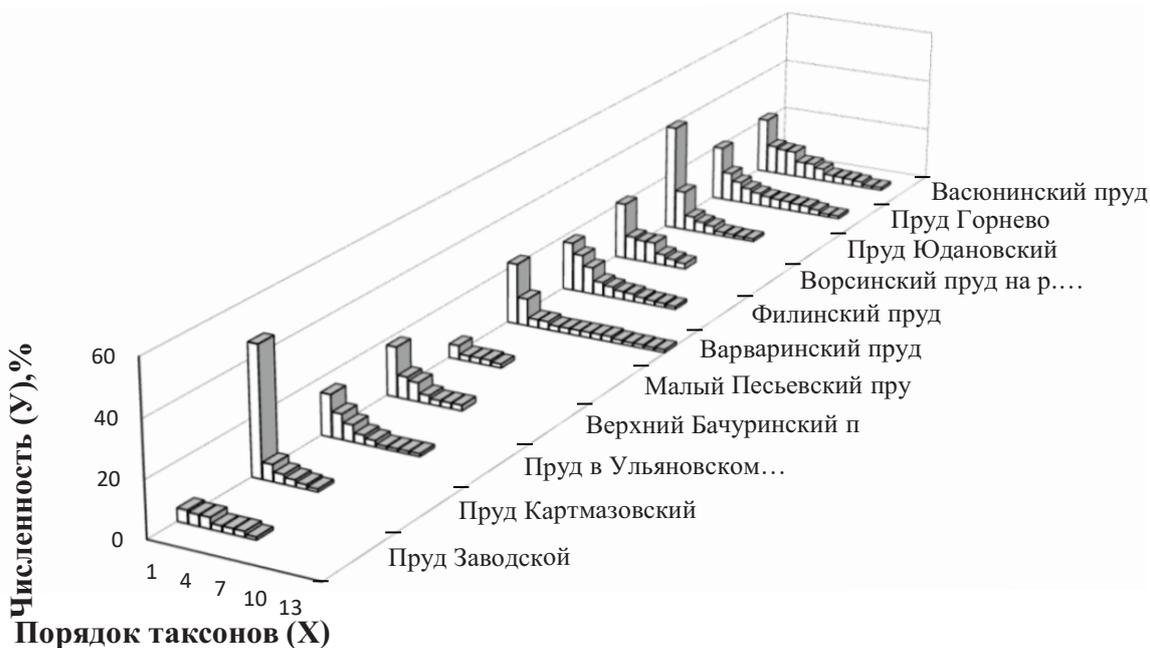


Рис. 9. Таксономическая структура комплексов диатомовых водорослей и цианобактерий в линейной системе координат прудов Новая Москва
 [Fig.9. Taxonomic structure of diatom algae and cyanobacteria complexes in a linear coordinate system of the New Moscow ponds]

только сопутствующие и доминирующие таксоны. Он показывает, экосистемы находятся в хороших экологических условиях. Коэффициент корреляции R^2 находится в диапазоне от 0,76 до 0,98, что свидетельствует о высокой статистической достоверности данных, позволяющих рисовать график в логарифмических координатах.

Анализ положения линий тренда позволяет выделить четыре группы прудов (рис. 10), из которых первую группу (точка 1) составляют пруды Заводский и Малый Песьевский. Изгибы линий тренда (ломаная линия) для этих прудов параллельны, что показывает их развитие в одинаковых экологических условиях.

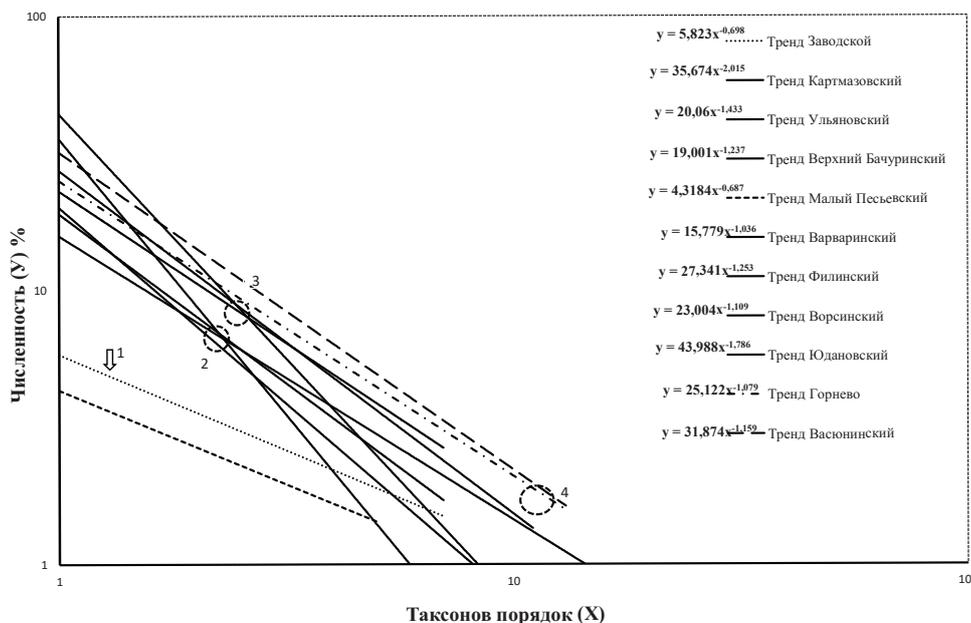


Рис. 10. Преобразование комплексов диатомовых водорослей и цианобактерий $[0,76 < R^2 < 0,98]$ в логарифмическую систему координат прудов Новая Москва
 [Fig. 10. Conversion of diatom algae and cyanobacteria complexes $[0,76 < R^2 < 0,98]$ to the logarithmic coordinate system of New Moscow ponds]

Здесь нет доминирующих видов, и экологический баланс экосистемы поддерживается абиотическим фактором, которым является температура. Для обоих прудов значения α -индекса степенной функции находится в диапазоне от -0,68 до -0,69, то есть $\alpha > -1,0$, что указывает на «низкий» уровень нагрузки на эти водные экосистемы, состояние которых можно определить как «фоновое».

Вторую и третью группы составляют пруды Ульяновский лесопарк, Верхний Бачуринский, Варваринский, Филинский (озеро Никольское), Ворсинский, Юдановский, Картмазовский. На графиках линейных трансформаций отмечается появление двух зон «вращения», то есть точек 2 и 3. Это показывает, что данные пруды соответствуют второй фазе трансформации диатомовых комплексов для водоемов небольших размеров [11]. На данном этапе экосистемы прудов испытывают небольшое естественное и антропогенное давление. Это показывает, что пруды, кривые которых с учетом α -индекса являются прудами второй группы, имеют значения в диапазоне от -1,036 до -2,015. Это позволяет классифицировать пруды как имеющие «средний» уровень нагрузки и отнести их ко второй группе, что характерно для прудов Ульяновский лесопарк, Верхнее Бачуринское, Варваринский, Филинский (озеро Никольское), Ворсинский. Эти пруды находятся в состоянии «экологической напряженности». Высокая антропогенная нагрузка наблюдается для прудов Юдановский и Картмазовский, представляющих третью группу. Для них значения α -индекса находятся в пределах от -1,78 до -2,01 соответственно, и это позволяет квалифицировать их состояние как «экологический регресс», свидетельствующее о том, что пруды находятся в плохих экологических условиях с преобладанием цианобактерий.

Четвертую группу представляют пруды Горнево и Васюнинский. Их пересекающиеся кривые (точка 4) показывают, что их экологическое состояние соответствует первой фазе трансформации и поддерживается доминирующими и сопутствующими видами. У обоих значения α -индекса очень близки, составляя -1,079 и -1,159 соответственно. Эти пруды классифицируются как имеющие «средний» уровень нагрузки, при котором состояние экосистем квалифицируется как находящееся под «экологической нагрузкой».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение пяти лет осуществлялся процесс альголизации вод пруда Кучинский, который со-

проводился изучением таксономического и экологического состава фитопланктона. Следует констатировать, что экологически чистый метод, основанный на использовании зеленой микроводоросли штамма *Chlorella Kessleri* ВКПМ А1-11 ARW поддерживал состояние водоема на стабильно удовлетворительном экологическом уровне.

В 2017 году изучен ряд прудов Подмоскowie, расположенных на территории Новая Москва. Для них характерно широкое развитие видов цианобактерий загрязненных местообитаний, продуцирующих цианотоксины. При отсутствии альголизации они испытывают экологическое состояние, которое рассматривается как «фоновое», соответствующее «среднему» уровню антропогенной нагрузки, и состояние «экологического регресса».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов В. А., Сиренко Л. А. К методу контроля экологических модификаций фитоценозов // *Труды советско-французского симпозиума «Научные основы биомониторинга пресноводных экосистем»*, 1988, с. 117-131.
2. Баринова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. *Разнообразие водорослей-индикаторов в оценке качества окружающей среды*. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006, 498 с.
3. Беспалова Е. В. Графический анализ структуры комплексов микроводорослей межледниковых и современных водных экосистем центра Восточно-Европейской равнины // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2017, № 2, с. 13-20.
4. Беспалова Е. В. Методика интегральной оценки трансформаций водных экосистем // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, № 1, 2019, с. 74-84.
5. Богданов Н. И. *Биологическая реабилитация водоемов*. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 126 с.
6. Искусственные водные объекты бассейна реки Воронеж и альгобиотехнология в управлении качеством вод / Г. А. Анциферова, В. В. Кульнев, С. Л. Шевырев и др. // *Экология и промышленность России*, 2018, т. 22, № 8, с. 50-54.
7. Моделирование и анализ процесса альголизации технологического водоема Новолипецкого металлургического комбината на основе мультифрактальной динамики / В. В. Кульнев, Г. А. Анциферова, А. Н. Насонов и др. // *Экология и промышленность России*, 2019, т. 23, № 10, с. 66-71.
8. Разумовский Л. В. Причины обмеления Галичского озера и возможности восстановления его экосистемы (диатомовый анализ) // *Труды Международной научно-практической конференции «Теория и практика восстановления внутренних водоемов»*, 2007, с. 297-305.
9. Разумовский Л. В., Моисеенко Т. И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных эко-

систем методом диатомового анализа // Доклады РАН, 2009, т. 429, № 2, с. 274-277.

10. Разумовский Л. В. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. Москва: ГЕОС, 2012. 199 с.

11. Разумовский Л. В., Гололобова М. А. Долговременные трансформации диатомовых комплексов в озерах Борое и Глубокое // Вестник Московского университета. Серия 16, Биология, 2014, № 1, с. 19-23.

12. Санитарно-биологическое качество поверхностных вод на урбанизированных территориях / Г. А. Ан-

циферова, Л. М. Акимов, Е. С. Галкина и др. // Материалы международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы географической науки: демографический, социальный, правовой, экономический и экологический аспекты», 2019, с. 369-374.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 25.04.2023

Принята к публикации 05.06.2023

GEOECOLOGY

UDC 582.26/27: 582.277:582.268

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/100-111>

Geocological Assessment of Water Quality of the Kuchinsky Pond Near Moscow by Phytoplankton Under Algolisation Conditions

G. A. Antsiferova¹✉, R. M. Nkurunziza²

¹Voronezh State University, Russian Federation

(1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018)

²Institute of Applied Pedagogy, Burundi

(Muezi Gisabo Boulevard, 5223 Bujumbura-Burundi)

Abstract. The purpose is to assess the ecological condition of the Kuchinsky Pond while applying the algolisation method to substantiate water quality criteria under anthropogenic pressures.

Materials and methods. Phytoplankton samples were taken during algolization in each vegetation season and studied microscopically. The taxonomic and ecological composition of phytoplankton communities was reconstructed, which further served as a basis for applying the bioindication method and the Razumovsky method of graphical analysis of taxonomic proportions using graphs of linear and logarithmic coordinates.

Results and discussion. The state of the ecosystem of a small water body in the example of Kuchinsky Pond was formed under conditions of anthropogenic impact of the catchment area, but with a constant adjustment of water quality using algolization. Taxonomic and ecological composition of microalgae and cyanobacteria, their abundance estimates allowed to calculate saprobicity index, values of average number and average biomass of phytoplankton and determine class and category of water quality. The aquatic ecosystem is at the level of reversible changes in terms of crisis, which is clearly confirmed by the analysis of taxonomic proportions according to Razumovsky, linear and logarithmic coordinates graphs.

Conclusions. The conducted research confirms the importance of the method of correction of the algocenosis in the formation of an ecologically favourable situation in the aquatic ecosystem.

Key words: algolisation, algocenosis, bioindication, aquatic ecosystem, microalgae, surface waters, phytoplankton, cyanobacteria, ecological state.

For citation: Antsiferova G. A., Nkurunziza R. M. Geocological Assessment of Water Quality of the Kuchinsky Pond Near Moscow by Phytoplankton Under Algolisation Conditions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 2, p. 100-111. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/100-111>

© Antsiferova G. A., Nkurunziza R. M., 2023

✉ Galina A. Antsiferova, e-mail: g_antsiferova@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

REFERENCES

1. Abakumov V.A., Sirenko L.A. K metodu kontrolya ekologicheskikh modifikatsiy fitotsenozov [To the method of control of ecological modifications of phytocenoses]. *Trudy sovetsko-frantsuzskogo simpoziuma «Nauchnye osnovy biomonitoringa presnovodnykh ekosistem»*, 1988, pp. 117-131. (In Russ.)
2. Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. *Raznoobrazie vodorosley-indikatorov v otsenke kachestva okruzhayushchey sredy* [The diversity of algae indicators in the assessment of environmental quality]. Tel'-Aviv: Pilies Studio, 2006, 498 p. (In Russ.)
3. Bepalova E. V. Graficheskiy analiz struktury kompleksov mikrovdorosley mezhdnednikovyykh i sovremennykh vodnykh ekosistem tsentra Vostochno-Evropeyskoy ravniny [Graphical analysis of the structure of microalgae complexes of interglacial and modern aquatic ecosystems of the center of the East European Plain]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2017, no. 2, pp. 13-20. (In Russ.)
4. Bepalova E. V. Metodika integral'noy otsenki transformatsiy vodnykh ekosistem [Methodology of integral assessment of transformations of aquatic ecosystems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, no. 1, 2019, pp. 74-84. (In Russ.)
5. Bogdanov N.I. *Biologicheskaya reabilitatsiya vodoemov* [Biological rehabilitation of reservoirs]. Penza: RIO PGSKhA, 2008. 126 p. (In Russ.)
6. *Iskusstvennye vodnye ob"ekty basseyna reki Voronezh i al'gobiotekhnologiya v upravlenii kachestvom vod* [Artificial water bodies of the Voronezh River basin and algobio-technology in water quality management] / G.A. Antsiferova, V.V. Kul'nev, S.L. Shevyrev i dr. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2018, vol. 22, no. 8, pp. 50-54. (In Russ.)
7. Modelirovanie i analiz protsessa al'golizatsii tekhnologicheskogo vodoema Novolipetskogo metallurgicheskogo kombinata na osnove mul'tifraktal'noy dinamiki [Modeling and analysis of the process of algalization of the technological reservoir of the Novolipetsk Metallurgical Combine on

Анциферова Галина Аркадьевна
доктор географических наук, профессор кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0040-6564, e-mail: g_antsiferova@mail.ru
Реми Мари Нкурунзиза
преподаватель-исследователь Института прикладной педагогики Университета Бурунди, г. Бужумбура, Бурунди, ORCID: 0000-0001-5720-925x, e-mail: nremymarie@gmail.com

- the basis of multifractal dynamics] / V.V. Kul'nev, G.A. Antsiferova, A.N. Nasonov i dr. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 10, pp. 66-71. (In Russ.)
8. Razumovskiy L. V. Prichiny obmeleniya Galichskogo ozera i vozmozhnosti vosstanovleniya ego ekosistemy (diatomovyy analiz) [Razumovsky L.V. Causes of shallowing of Lake Galich and the possibility of restoring its ecosystem (diatom analysis)]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutrennikh vodoemov»*, 2007, pp. 297-305. (In Russ.)
9. Razumovskiy L. V., Moiseenko T.I. Otsenka prostanstvenno-vremennykh transformatsiy ozernykh ekosistem metodom diatomovogo analiza [Assessment of spatial and temporal transformations of lake ecosystems by diatom analysis]. *Doklady RAN*, 2009, vol. 429, no. 2, pp. 274-277. (In Russ.)
10. Razumovskiy L.V. *Otsenka transformatsii ozernykh ekosistem metodom diatomovogo analiza* [Assessment of transformation of lake ecosystems by diatom analysis]. Moscow: GEOS, 2012. 199 p. (In Russ.)
11. Razumovskiy L. V., Gololobova M.A. Dolgovremennye transformatsii diatomovykh kompleksov v ozerakh Boroe i Glubokoe [Long-term transformations of diatom complexes in Boroe and Glubokoe lakes]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16, Biologiya*, 2014, no. 1, pp. 19-23. (In Russ.)
12. Sanitarno-biologicheskoe kachestvo poverkhnostnykh vod na urbanizirovannykh territoriyakh [Sanitary and biological quality of surface waters in urbanized territories] / G.A. Antsiferova, L.M. Akimov, E.S. Galkina i dr. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Teoreticheskie i prikladnye problemy geograficheskoy nauki: demograficheskii, sotsial'nyy, pravovoy, ekonomicheskii i ekologicheskii aspekty»*, 2019, pp. 369-374. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 25.04.2023

Accepted: 05.06.2023

Galina A. Antsiferova
Dr. Sci. (Geogr.), Professor at the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0040-6564, e-mail: g_antsiferova@mail.ru
Remy Marie Nkurunziza
Research Lecturer at the Institute of Applied Education, University of Burundi, Bujumbura, Burundi, ORCID: 0000-0001-5720-925x, e-mail: nremymarie@gmail.com