
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕСТРОЕК КОМПЛЕКСОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Е.В. Беспалова

Воронежский государственный университет,
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1; elena_bespalova@bk.ru

Резюме. В статье представлены результаты оценки эколого-биологического состояния Воронежского и Матырского водохранилищ, озер Рамза и Кипец. Анализ структурных перестроек комплексов микроводорослей и цианобактерий водных экосистем Центрального Черноземья проведен с помощью методов таксономических пропорций и линейных трансформаций. Графический анализ позволил подтвердить сделанный ранее автором вывод о выделении трех участков в Воронежском водохранилище и кризисном состоянии Нижнего участка. Структурные перестройки комплексов микроводорослей и цианобактерий Матырского водохранилища свидетельствуют о том, что альголизация способствует улучшению эколого-биологического состояния водоема, подавляя интенсивное развитие цианобактерий. Однако эффект данных мероприятий является непродолжительным. Графический анализ выявил трансформацию озер Рамза и Кипец в связи с изменением природно-антропогенных условий.

Ключевые слова. Микроводоросли, цианобактерии, биоиндикация, структурные перестройки, графический анализ.

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF WATER ECOSYSTEMS OF THE CENTRAL CHERNOZEM REGION ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF RESTRUCTURINGS OF COMPLEXES OF MICROALGAS

E.V. Bespalova

Voronezh State University,
1, Universitetskaya Square, 394018, Voronezh, Russia; elena_bespalova@bk.ru

Abstract. Article contains results of an assessment of an ecological and biological condition of the Voronezh and Matyra reservoirs, the lakes Ramza and Kipets. The analysis of restructurings of complexes of microalgas and cyanobacteria of water ecosystems at the Central Chernozem Region is carried out by means of methods of taxonomical proportions and the linear transformations. The graphic analysis allowed to confirm the conclusion drawn earlier by the author about selection of three sites in the Voronezh reservoir and crisis state of lower site. Restructurings of complexes of microalgas and cyanobacteria of the Matyra reservoir demonstrating that the algolization promotes improvement of an ecological and biological conditions of a reservoir, inhibiting intensive development of cyanobacteria. However the effect of these actions is short. The graphic analysis revealed

transformation of the lakes Ramza and Kipets in connection with change of natural and anthropogenous conditions.

Keywords. Microalgas, cyanobacteria, bioindication, restructurings, graphic analysis

Введение

Воздействие природно-антропогенных факторов на водную экосистему приводит к изменению состояния ее биотического компонента. Отклик биоценоза (и прежде всего комплекса микроскопических водорослей и цианобактерий) на сложившиеся условия служит важным индикационным признаком состояния устойчивости или кризисности водоема. Пока система не лишилась способности восстанавливать себя, она остается в одной и той же «области устойчивости». Как только из элементов разрушенной системы создается новая структура, можно говорить о переходе в новую область устойчивости. Момент перехода представляет собой критическую точку, которая может разделять не только устойчивые состояния, но и неустойчивые, переходные (Экосистемы в критических состояниях, 1989).

В настоящее время разрабатываются критерии, определяющие степень влияния как антропогенных, так и природных условий на устойчивость и биоразнообразие водных экосистем. Сообщества водных организмов, вовлеченные в постоянный круговорот вещества и энергии с окружающей средой, реагируют на изменения ее качества перестройкой соотношения отдельных таксонов, появлением новых доминантных видов. Изменения структурно-функциональной организации сообществ водных организмов в ответ на усиление воздействия неблагоприятного фактора находят отражение в концепции экологических модификаций В.А. Абакумова, в теории трансформации диатомовых комплексов озерных экосистем (Разумовский, 2012; Разумовский, 2014), в биоценологических принципах А. Тинемана и правиле Р. Крогеруса о доминировании видов в экстремальных условиях (Зверев, 2009).

Целью исследования является оценка состояния водных экосистем Центрального Черноземья (Воронежского и Матырского водохранилищ, озер Рамза и Кипец) на основе анализа структурных перестроек комплексов микроскопических водорослей и цианобактерий. Для изучения выбраны водоемы как искусственного, так и естественного происхождения. Воронежское и Матырское водохранилища представляют собой мелководные водоемы руслового типа с замедленным водообменом, расположенные полностью или частично в городской черте. Интенсивное антропогенное воздействие, оказываемое на данные водные объекты, приводит к увеличению загрязнения вод и проявлению процессов эвтрофикации. Показательным является изучение состояния не только водохранилищ, но и естественных водных экосистем Центрального Черноземья на примере проточно-руслowych озер Рамза и Кипец. Данные водоемы расположены в пределах территории государственного природного заповедника «Воронинский», однако испытывают антропогенное воздействие за счет поступления загрязняющих веществ с талым и дождевым стоком с территории водосборов, в результате инфильтрации атмосферных осадков и проникновении их в подземные водоносные горизонты, которые дренируются поверхностными водными системами.

Методы и материалы

Отбор и обработка проб для исследования комплексов микроводорослей и цианобактерий проводились по стандартным методикам, для определения таксонов использовались соответствующие определители (Анциферова, 2014).

Анализ структуры комплексов микроводорослей и цианобактерий проведен при помощи методов таксономических пропорций и линейных трансформаций. Данные подходы хорошо себя зарекомендовали при изучении диатомовых комплексов из озер Европейской части России, Заполярья и горных районов Краснодарского края Л.В. Разумовским и В.Л. Разумовским (Разумовский, 2012; Разумовский, 2014).

Последовательность таксонов по мере увеличения их относительной численности представляется в виде графика ранг/обилие, где по оси абсцисс откладывается порядковый номер таксона в ранжированном ряду, а по оси ординат – его обилие в %. Такие кривые доминирования-разнообразия можно строить как по отдельной пробе, так и по результирующей нескольких проб, объединенных общим временно-пространственным интервалом. По очертаниям и характеру распределения полученных графиков возможна оценка состояния водной экосистемы, а по их преобразованиям – определение внешних и внутренних условий, в которых развивался водоем и происходила трансформация качества его вод. Анализ полученных графиков проводится в линейной и билוגарифмической системе координат. Описание основных моделей соотношения численностей таксонов в сообществе приведено в работах Н.В. Лебедовой и Д.А. Криволицкого (Лебедева, Криволицкий, 2002), В.К. Шитикова и Г.С. Розенберга (Шитиков, Розенберг 2005).

Результаты и их обсуждение

Материалом для анализа состояния Матырского водохранилища послужили пробы, отобранные в период с 2010 по 2016 годы. До 2010 года в водоеме наблюдалось ежегодное «цветение» вод. Интенсивное развитие цианобактерий стало аргументом в пользу проведения альголизации водоема штаммом *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в 2009-2011 годах (Валяльщикова и др., 2014). В результате проведенных мероприятий резко уменьшилось обилие цианобактерий. Если в 2010 году в отдельных частях водохранилища *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. еще встречалась в массе, то в 2011-2012 годах – единично. В 2013 году относительная численность четырех таксонов цианобактерий составляла 28%, а в 2015 и 2016 годах возобновились вспышки их развития, сравнимые с периодом до альголизации. Преобладающие таксоны были представлены *Anabaena flos-aquae* (Lyng.) Breb. и *Microcystis aeruginosa* Kütz emend. Elenk. Это свидетельствует о затухании эффекта альголизации с течением времени и возобновлении кризисных ситуаций в водоеме.

Показательным является не только смена доминирующих видов, но и изменение очертаний графиков таксономических пропорций (рис. 1). График 2010 года имеет вогнутые гиперболические очертания (экспоненциальный тип распределения), в 2011-2012 годах – переходит от вогнутых к выпукло-вогнутым очертаниям. В 2013 году увеличилась доля видов со средними

оценками обилия, график приобрел ярко выраженные выпукло-вогнутые сигмоидальные очертания (логистический тип распределения). Вспышки развития диатомовых водорослей в 2014 году и цианобактерий в 2015-2016 годах находят свое отражение на графиках в виде своеобразных пиков, вызванных присутствием 1-2 таксонов с относительной численностью от 30 до 60%. В результате графики приобретают вогнутые гиперболические очертания (экспоненциальный тип распределения). Пики свыше 40% свидетельствуют о неблагоприятных экологических условиях, складывающихся в акватории Матырского водохранилища.

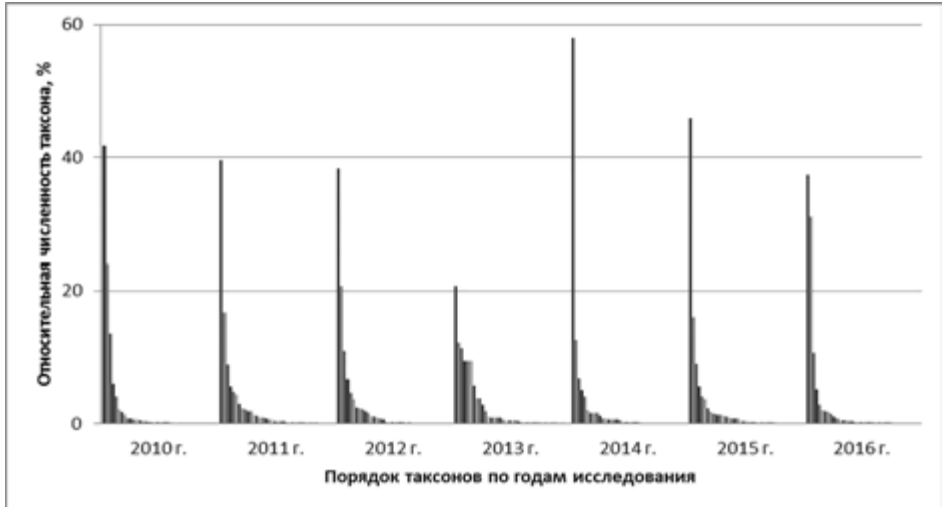


Рисунок 1. Таксономическая структура комплексов микроводорослей и цианобактерий Матырского водохранилища

Анализ комплексов микроводорослей и цианобактерий Матырского водохранилища при помощи метода линейных трансформаций выявил отличие структуры сообществ в 2013 и 2014 годах (рис. 2). Линия тренда 2013 года имеет наименьший угол наклона и отражает перемещение линий 2011-2013 годов от исходной линии 2010 года против часовой стрелки, что связано с изменениями, происходящими в водоеме. Линия тренда 2014 года не пересекает остальные линии в общей точке разворота. Такой распад генерации из-за утраты общего центра может наблюдаться вследствие значительных нагрузок на водоем, не скомпенсированных какими-либо нивелирующими факторами (например, альголизацией). При этом отмечается близость структур 2010, 2015 и 2016 годов, что может служить отражением процессов возвращения водоема к исходному состоянию: преобладанию в сообществах цианобактерий и интенсивному «цветению» вод. Таким образом, можно сделать вывод, что применение альголизации способствует изменению структуры сообществ: нивелируются процессы монодоминирования, цианобактерии уступают позиции диатомовому комплексу. Для предотвращения «цветения» вод необходимо повторное применение альголизации.

Материалом для анализа состояния Воронежского водохранилища послужили пробы, отобранные с 2013 по 2016 годы. Наиболее кризисные состояния были отмечены в Нижнем участке водохранилища. Так, в сентябре 2013 года в Масловском затоне было идентифицировано 3 таксона цианобактерий, при

этом относительная численность представителей рода *Microcystis* (Kütz.) Elenk. достигала 90%, что свидетельствует о нарушении природных связей в сообществах фитопланктона (Анциферова, Беспалова, 2016). В 2015 году кризисная ситуация в Масловском затоне проявилась в июле: также было обнаружено 3 таксона цианобактерий, характерных для загрязненных местообитаний: *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *Microcystis ichthyoblabe* Kütz., *Phormidium mucicola* Hub.-Pestalozzi et.

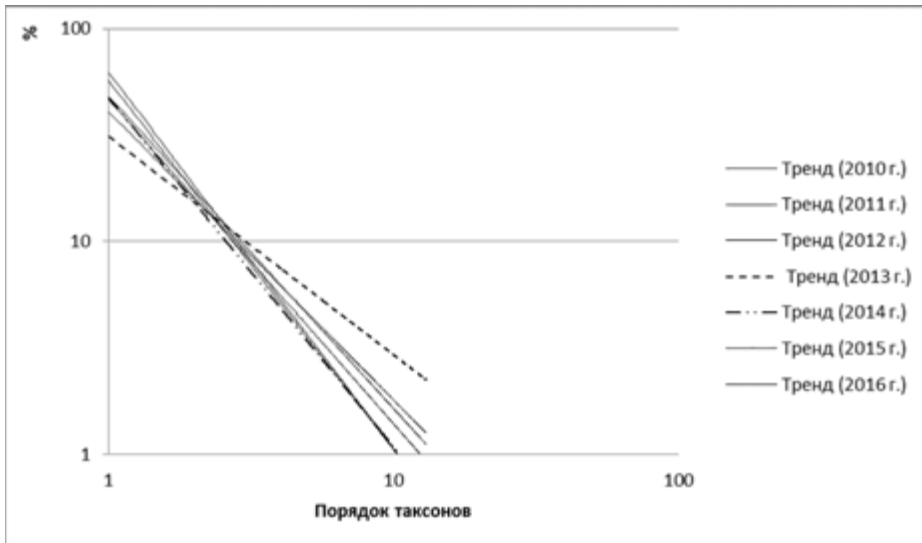


Рисунок 2. Линейные трансформации комплексов микроводорослей и цианобактерий Матырского водохранилища

Анализ проб на всем протяжении водохранилища в 2015 году показал, что кризисные ситуации отмечаются не только в Нижнем участке, но и в Верхнем в различные периоды вегетационного сезона. Так, графики таксономических пропорций приобретают вид ломанной кривой в Нижнем участке (пики доходили в летнее время до 84%) и вогнутые очертания в Верхнем участке (пики доходили до 51% в середине-конце лета, а также в начале осени). В среднем участке графики имеют как вогнутые, так и выпукло-вогнутые очертания в различные периоды вегетационного сезона (пики не превышали 40%), что позволяет выделить своеобразную переходную зону при проведении экологического районирования Воронежского водохранилища (Беспалова, 2017). Структура комплексов микроводорослей и цианобактерий отражена на рис. 3 с помощью результирующих линий, построенных за весь вегетационный сезон 2015 года.

Анализ комплексов микроводорослей и цианобактерий Воронежского водохранилища при помощи метода линейных трансформаций (рис. 4) выявил общую точку пересечения трендов шлюза, Масловского затона и района р. Песчанки в верхней области графика (точка 1). Это является отражением высокой роли доминантов в формировании структуры сообществ Нижнего участка. Тренды Северного моста, Железнодорожного моста, пос. Рыбачий имеют общую точку пересечения в нижней области графика, что свидетельствует о низкой роли доминантов и увеличении биоразнообразия в Верхнем участке (точка 2). Тренды Чернавского и Вогрэссовского мостов пересекают

остальные линии в других точках, однако параллельны между собой, что позволяет их отнести к переходному участку.

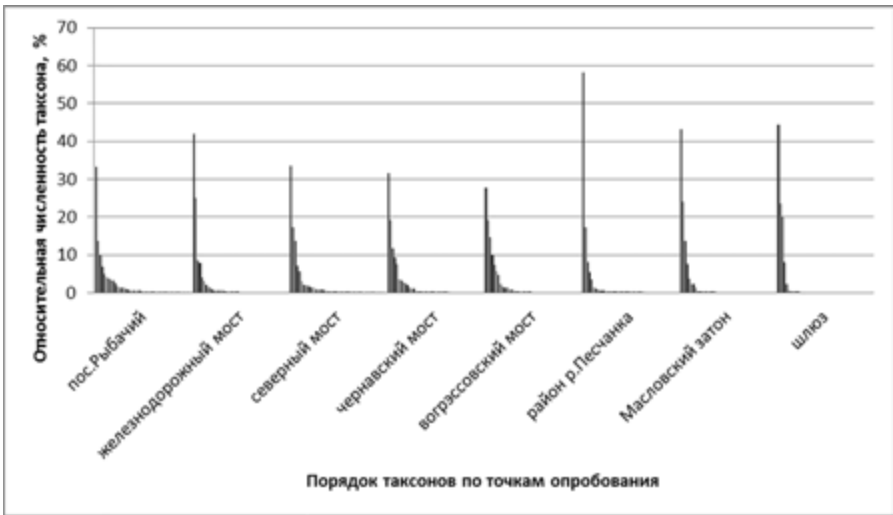


Рисунок 3. Таксономическая структура комплексов микроводорослей и цианобактерий Воронежского водохранилища

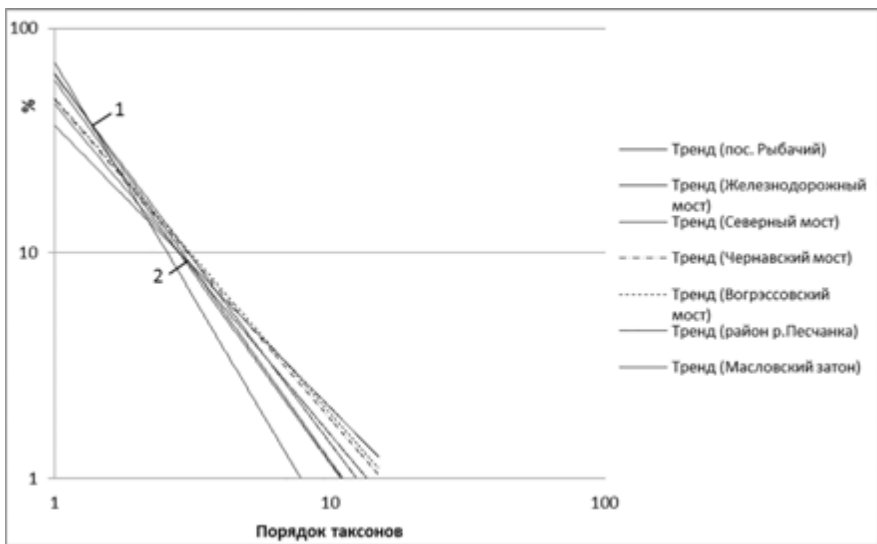


Рисунок 4. Линейные трансформации комплексов микроводорослей и цианобактерий Воронежского водохранилища

Естественные водные экосистемы Центрального Черноземья изучены на примере проточно-руслowych озер Рамза и Кипец, расположенных в пределах территории государственного природного заповедника «Воронинский». Исследования, проведенные ранее Г.А. Анциферовой и Н.И. Русовой, показывают, что для озер Рамза и Кипец характерно высокое видовое разнообразие (Анциферова, Русова, 2015). В развитии микрофитоценозов данных озер выделяется три периода. Период 2007-2009 годов характеризовался услови-

ями средних многолетних климатических показателей. В период 2010-2012 годов наступили стрессовые для сообществ фитопланктона и микрофитобентоса параметры среды обитания, обусловленными аномально высокими летними температурами воздуха и воды. Было зафиксировано снижение видового богатства. Также в это время произошла интенсификации процессов обмеления и зарастания озер высшей водной растительностью, что привело к появлению новых экологических ниш и исчезновению других. Наиболее ярко это проявилось в озере Кипец: количество донных видов уменьшилось более чем в 2 раза, доля видов обрастателей, наоборот, увеличилась. Период 2013-2014 годов характеризовался возвращением температурных показателей к норме. В данный отрезок времени было зафиксировано широкое распространение таксонов-индикаторов органического загрязнения (Русова, 2017).

Анализ структуры комплексов микроводорослей и цианобактерий озера Рамза и Кипец показал, что графики периода 2007-2009 годов имеют выпукло-линейные очертания. Это является следствием высокого биологического разнообразия в связи с обилием экологических ниш.

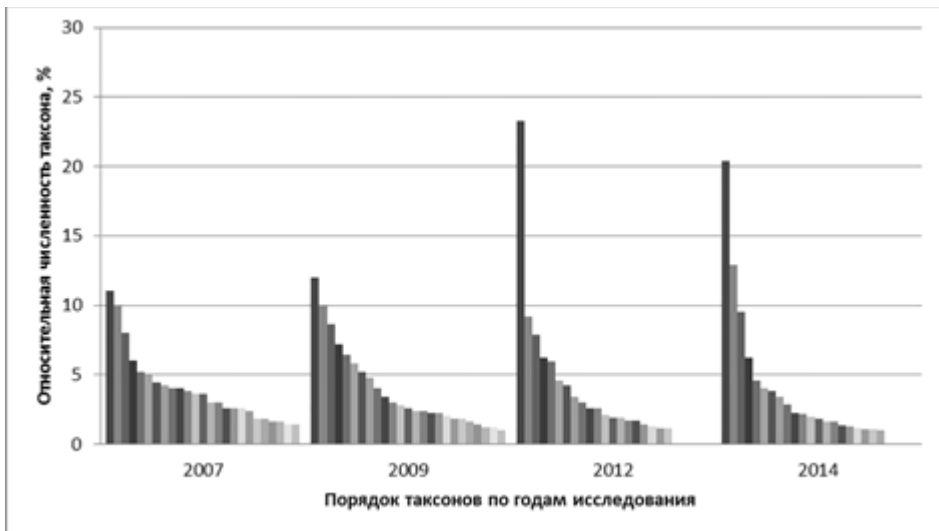


Рисунок 5. Таксономическая структура комплексов микроводорослей и цианобактерий озера Рамза

В результате аномально высоких температур периода 2010-2012 годов произошло снижение видового разнообразия, смена экологических ниш, что привело к формированию новой структуры сообществ. После возвращения климатических температурных показателей к среднестатистическим значениям таксономическая структура комплексов микроводорослей и цианобактерий не восстановилась в рамках 2007-2009 годов. Данные процессы нашли отражение в изменении графиков 2010-2012 и 2013-2014 годов: они приобрели выпукло-вогнутые сигмоидальные (логистический тип распределения) и вогнутые гиперболические очертания (экспоненциальный тип распределения), а пики достигли 20-30% и выше. На рис. 5 графически показаны изменения таксономической структуры комплексов микроводорослей и цианобактерий озера Рамза.

Анализ графиков в билогарифмической системе координат показывает, что в период 2010-2012 годов произошла трансформация структуры сообществ, которая впоследствии не восстановилась (рис. 6). Наоборот, продолжается дальнейшее изменение структуры: тренды 2012 и 2014 года образуют новую генерацию с разворотом по часовой стрелке. В целом, наклон линейных графиков трансформаций, а также переход очертаний графиков таксономических пропорций от выпукло-линейных к гиперболическим свидетельствуют об усилении природно-антропогенного воздействия на водоемы заповедника.

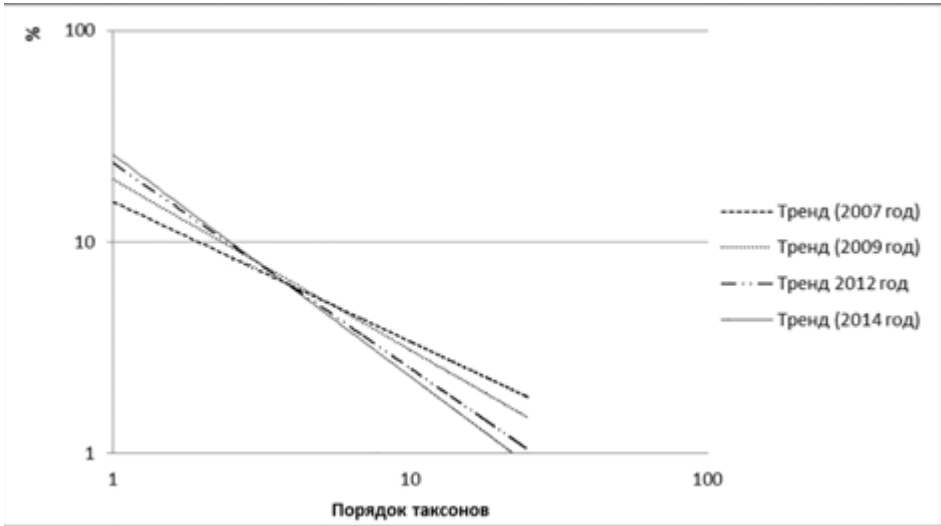


Рисунок 6. Линейные трансформации комплексов микроводорослей и цианобактерий озера Рамза

Выводы

Таким образом, выявлено, что для водохранилищ «искусственной нормой» являются сигмоидальные очертания графиков таксономических пропорций и пики до 40%. Пики выше данного значения, а также переход графиков к непропорциональным гиперболическим очертаниям и очертаниям ломанной линии свидетельствуют о крайне сильном антропогенном воздействии на водные объекты. Такие процессы зафиксированы в различные годы как в Воронежском, так и Матырском водохранилищах. Особенно ярко они проявляются в Нижнем участке Воронежского водохранилища.

Структурные перестройки комплексов микроводорослей и цианобактерий Матырского водохранилища свидетельствуют о том, что альголизация способствует улучшению эколого-биологического состояния водоема, подавляя интенсивное развитие цианобактерий. Однако эффект данных мероприятий является непродолжительным.

Для естественных водных экосистем нормой можно считать выпукло-линейные и выпукло-вогнутые очертания графиков. Появление пиков свыше 20% и переход графиков к непропорциональным гиперболическим очертаниям свидетельствует об увеличении нагрузки на водоем. Такие признаки помогли зафиксировать произошедшую трансформацию озер Рамза и Кипец в связи с изменением природно-антропогенных условий.

Дискуссия

Биоиндикационные исследования Г.А. Анциферовой в 1988 году показали возможность выделения в пределах акватории Воронежского водохранилища двух участков по степени загрязнения – Верхний (от верховьев водохранилища до Чернавского моста) и Нижний (от Чернавского моста до плотины) (Анциферова, 2001). Проведенный автором в 2015 году анализ таксономической и экологической структуры комплексов микроводорослей водохранилища позволил провести экологическое районирование с выделением Верхнего, Среднего и Нижнего участков (Беспалова, 2017). Графический анализ подтвердил сделанный ранее автором вывод о выделении трех участков в водохранилище и кризисном состоянии Нижнего участка. Состояние вод Нижнего участка представляет собой модель возможного негативного развития Воронежского водохранилища.

Изучение экологического состояния Матырского водохранилища Г.А. Анциферовой, В.В. Кульневым, А.А. Валяльщиковым, К.Ю. Силкиным позволило им сделать вывод о положительном влиянии альголизации для уменьшения «цветения» вод (Анциферова, Кульнев, 2015; Валяльщиков и др., 2014). С помощью графического анализа автором были зафиксированы перестройки структуры комплексов микроводорослей под воздействием альголизации. Также исследования автора позволяют сделать вывод, что альголизация не устраняет причины экологического неблагополучия водоемов, а лишь избавляет от симптомов, таких как интенсивное развитие цианобактерий.

Исследования Г.А. Анциферовой и Н.И. Русовой выявили изменения в видовом разнообразии озер Рамза и Кипец под воздействием аномально высоких температур 2010-2012 годов (Анциферова, Русова, 2015). Графический анализ структуры комплексов микроводорослей данных озер, проведенный автором, также зафиксировал произошедшую трансформацию водоемов.

Список литературы

Анциферова Г.А. 2014. Биоиндикация водных экосистем. – Учебно-методическое пособие для вузов. – Воронеж, Издательский дом ВГУ, 57 с.

Анциферова Г.А. 2001. Эволюция диатомовой флоры и межледникового осадконакопления центра Восточно-Европейской равнины. – Труды Воронежского университета, вып. 2. – Воронеж, 198 с.

Анциферова Г.А., Беспалова Е.В. 2016. Состояние водной среды Воронежского водохранилища в связи с экологической ситуацией в Масловском затоне. – Вестник Воронежского гос. ун-та, серия география, геоэкология, № 2, с. 91-100.

Анциферова Г.А., Кульнев В.В. 2015. Эколога-гидробиологический мониторинг состояния водной среды Матырского водохранилища в течение вегетационных сезонов 2010-2012 и 2014-2015 годов. – Материалы международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности». – Воронеж, с. 48-52.

Анциферова Г.А., Русова Н.И. 2015. О географической приуроченности и динамике распространения синезеленых водорослей в озерах государственн-

ного природного заповедника «Воронинский». – Междунар. науч. конференция «Проблемы систематики и географии водных растений». – Борок, с. 13-14.

Беспалова Е.В. 2017. Экологическое районирование Воронежского водохранилища. – Комплексные проблемы техносферной безопасности. Безопасный город и методы решения экологических проблем окружающей среды. Материалы III научно-практической конференции, посвященной 85-летию гражданской обороны России и Году экологии в России. – Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГТУ», ч. I, с.108-118.

Валяльщикова А.А., Силкин К.Ю., Кульнев В.В. 2014. Анализ экологического состояния Матырского водохранилища по данным эколого-гидрохимического и спутникового мониторинга. – Вестник Воронежского государственного университета, серия геология, № 1, с. 110-117.

Зверев А.Т. 2009. Основные законы экологии. – М., Издательский дом Панагель, 171 с.

Лебедева Н.В., Кривоуцкий Д.А. 2002. Биологическое разнообразие и методы его оценки. – География и мониторинг биоразнообразия. – М., Изд. Научного и учебно-методического центра, с. 9-142.

Разумовский Л.В. 2012. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа. – М., Геос, 199 с.

Разумовский В.Л. 2014. Выявление долговременных геоэкологических изменений малых горных озер методами диатомового анализа (Западный и Центральный Кавказ). – Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук: 25.00.36. – М., 25 с.

Русова Н.И. 2017. Геоэкологический мониторинг водных экосистем лесостепной провинции Приволжской возвышенности. – Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук: 25.00.36. – СПб., 23 с.

Шитиков В.К. Розенберг Г.С. 2005. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения. – Количественные методы экологии и гидробиологии (сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). – Тольятти, СамНЦ РАН, с. 91-129.

Экосистемы в критических состояниях. 1989. /Под ред. Ю.Г. Пузаченко. – М., Наука, 155 с.

References

Anciferova G.A. 2014. *Bioindikacija vodnyh jekosistem. Uchebno-metodicheskoe posobie dlja vuzov* [Bioindication of water ecosystems. An educational and methodical grant for higher education institutions]. Voronezh, Izdatel'skij dom VGU Publ., 57 p.

Anciferova G.A. 2001. *Jevoljucija diatomovoj flory i mezhlednikovogo osadkonakoplenija centra Vostochno-Evropejskoj ravniny* [Evolution of diatomic flora and interglacial sedimentation of the center of the East European Plain]. *Trudy*

Voronezhskogo universiteta [Works of the Voronezh university], vol. 2, Voronezh, 198 p.

Anciferova G.A., Bespalova E.V. 2016. Sostojanie vodnoj sredy Voronezhskogo vodohranilishha v svyazi s jekologicheskoj situaciej v Maslovskom zatone [Condition of the water environment of the Voronezh reservoir in connection with an ecological situation in the Maslovka backwater]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarsvennogo universiteta. Serija Geografija. Geojekologija – Bulletin of Voronezh State University. Geography. Geoecology series*, vol. 2, pp. 91-100.

Anciferova G.A., Kul'nev V.V. 2015. Jekologo-gidrobiologicheskij monitoring sostojanija vodnoj sredy Matyrskogo vodohranilishha v techenie vegetacionnyh sezonov 2010-2012 i 2014-2015 godov [Environmental and hydrobiological monitoring of a condition of the water environment of the Voronezh reservoir during the vegetative seasons 2010-2012 and 2014-2015]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti»* [Materials of the international scientific and practical conference «Complex problems of technosphere safety»]. Voronezh, pp. 48-52.

Anciferova G.A., Rusova N.I. 2015. O geograficheskoj priurochennosti i dinamike rasprostraneniya sinezelenyh vodoroslej v ozerah gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Voroninskij» [About a geographical confinedness and dynamics of distribution of blue-green seaweed in lakes of the state natural reserve "Voroninsky"]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferencija «Problemy sistematiki i geografii vodnyh rastenij»* [International scientific conference «Problems of a Systematics and Geography of Water Plants»]. Borok, pp.13-14.

Bespalova E.V. 2017. Jekologicheskoe rajonirovanie Voronezhskogo vodohranilishha.[Ecological division into districts of the Voronezh reservoir]. *Materialy III nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 85-letiju grazhdanskoj oborony Rossii i Godu jekologii v Rossii «Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti. Bezopasnyj gorod i metody reshenija jekologicheskikh problem okruzhajushhej sredy»* [Materials III of the scientific and practical conference devoted to the 85 anniversary of civil defense of Russia and Year of ecology in Russia «Complex problems of technosphere safety. Safe city and methods of the solution of environmental problems of the environment»]. Voronezh, pp.108-118.

Valjal'shnikov A.A., Silkin K.Ju., Kul'nev V.V. 2014. Analiz jekologicheskogo sostojanija Matyrskogo vodohranilishha po dannym jekologo-gidrohimicheskogo i sputnikovogo monitoringa. [The analysis of an ecological condition of the Matyrsky reservoir according to ekologo-hydrochemical and satellite monitoring]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologija – Bulletin of Voronezh State University. Geology series*, vol. 1, pp.110-117.

Zverev A.T. 2009. *Osnovnye zakony jekologii* [Fundamental laws of ecology]. Moscow, Izdatel'skij dom Panagel' Publ., 171 pp.

Lebedeva N.V., Krivoluckij D.A. 2002. Biologicheskoe raznoobrazie i metody ego ocenki [Biological diversity and methods of his assessment]. *Geografija i monitoring bioraznoobrazija* [Geography and monitoring of a biodiversity]. Moscow, Izd. Nauchnogo i uchebno-metodicheskogo centra Publ., pp. 9-142.

Razumovskij L.V. 2012. *Ocenka transformacii ozernyh jekosistem metodom diatomovogo analiza* [Assessment of transformation of lake ecosystems by method of the diatomovy analysis]. Moscow, Geos Publ., 199 p.

Razumovskij V.L. 2014. *Vyjavlenie dolgovremennyh geojekologicheskikh izmenenij malyh gornyh ozer metodami diatomovogo analiza (Zapadnyj i Central'nyj Kavkaz)* [Identification of long-term geocological changes of small mountain lakes by methods of the diatomovy analysis (Western and Central Caucasus Mountains)]. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow, 25 p.

Rusova N.I. 2017. *Geojekologicheskij monitoring vodnyh jekosistem lesostepnoj provincii Privolzhskoj vozvyshennosti* [Geoenvironmental monitoring of water ecosystems of the forest-steppe province of Volga Hills]. Extended abstract of candidate's thesis. St. Petersburg, 23 p.

Shitikov V.K. Rozenberg G.S. 2005. *Ocenka bioraznoobrazija: popytka formal'nogo obobshhenija* [Biodiversity assessment: attempt of formal generalization]. *Kolichestvennye metody jekologii i gidrobiologii (sbornik nauchnyh trudov, posvjashhennyj pamjati A.I. Bakanova)* [Quantitative methods of ecology and hydrobiology (the collection of scientific works devoted to A. I. Bakanov's memory)]. Tol'jatti, SamNC RAN Publ., pp. 91-129.

Jekosistemy v kriticheskikh sostojanijah [Ecosystems in critical conditions]. 1989. Moscow, Nauka Publ., 155 p.

Статья поступила в редакцию: 21.04.2017

После переработки: 10.05.2017