

**ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСОВ
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ МЕЖЛЕДНИКОВЫХ
И СОВРЕМЕННЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЦЕНТРА
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ**

Е. В. Беспалова

Воронежский государственный университет, Россия

Поступила в редакцию 20 марта 2017 г.

Аннотация: В статье представлены результаты графического анализа таксономической структуры комплексов микроводорослей межледниковых и современных водных экосистем центра Восточно-Европейской равнины. Выявленные сходства и различия служат основанием для сравнительной оценки антропогенного и природного воздействия на водоемы.

Ключевые слова: микроводоросли, цианобактерии, графический анализ, биоиндикация, таксономическая структура.

Abstract: The article presents the results of graphical analysis of taxonomic structure of microalgae complexes of interglacial and modern aquatic ecosystems at the centre of the Great Russian Plain. Similarities and differences that have been identified serve now as a basis for a comparative assessment of anthropogenic and natural effects on waters.

Key words: microalgae, cyanobacteria, graphic analysis, bioindication, taxonomic structure.

Антропогенное давление на водные экосистемы выражается в усилении их загрязнения и проявлении в них неблагоприятных экологических процессов, таких как «цветение» вод. Неотъемлемой частью большинства пресноводных водоемов являются микроскопические водоросли. Отклик комплекса микроводорослей на изменение условий среды служит важным индикаторным признаком состояния устойчивости или кризисности водной экосистемы. 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 [15].

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 Л. В. Разумовского, в биоценологических принципах А. Тинемана и правиле Р. Крогеруса о доминировании видов в экстремальных условиях [8, 12].

Для оценки и прогноза состояния современных водных объектов перспективным является изучение межледниковых озер. Комплексные палеоэкологические исследования с привлечением диатомового анализа позволяют получить наиболее достоверную картину эволюции озерных экосистем, оценить направленность изменения качественных характеристик вод, а также выявить переходы через критические состояния. Преимущество данно-

го подхода в том, что мы можем рассмотреть межледниковые водоемы в течение длительного времени их существования в разных климато-ландшафтных обстановках и выявить все стадии развития. Использование при этом графического анализа предоставляет нам новую информационную базу для осмысления процессов эволюции и деградации водных экосистем. Все вышесказанное определяет актуальность исследования состояний межледниковых и современных водных экосистем методами биоиндикации.

Объектами данного исследования являются современные водные экосистемы искусственного происхождения (Воронежское и Матырское водохранилища), межледниковые водные экосистемы (древнеозерные отложения разрезов Челсма-22, Бибирево, Польное Лапино, Балашиха), расположенные в центре Восточно-Европейской равнины. Предмет исследования – комплексы микроскопических водорослей и цианобактерий.

Отбор и обработка проб для исследования комплексов микроводорослей и цианобактерий в водохранилищах проводились по стандартным методикам, для определения таксонов использовались соответствующие определители [5].

При анализе межледниковых водных экосистем использовались архивные и опубликованные материалы по диатомовой флоре из разрезов древнеозерных отложений центра Восточно-Европейской равнины [1, 3].

Анализ структуры сообществ 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 [12, 13].

Для исследования 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 (например, периодом климатического оптимума). По очертаниям и характеру распределения полученных графиков возможна оценка различий и сходства таксономической структуры комплексов, а по их преобразова-

ниям – оценка внешних и внутренних условий, в которых развивался водоем. Анализ полученных графиков проводится в линейной и билогарифмической системе координат. Описание основных моделей соотношения численностей таксонов в сообществе приведено в работах Н. В. Лебедевой и Д. А. Криволицкого, В. К. Шитикова и Г. С. Розенберга [9, 14].

Ледниковая диатомовая флора

Особенность центра Восточно-Европейской равнины состоит в том, что его географическое положение, рельеф и геологическое строение предопределили распространение в неоплейстоцене покровных оледенений в результате неоднократного глобального изменения климата. Аккумулятивная деятельность материковых оледенений создала предпосылки для формирования водоемов в котловинах, связанных с ледниковым рельефом.

Позднеледниковье характеризовалось суровыми природными условиями. Развитие диатомовой флоры было возможным лишь во время межстадиального потепления. Примером перигляциальных ледниковых диатомовых флор является флора разреза Челсма-22, который находится в долине р. Челсма у г. Галича Костромской области [7, 10].

Для разреза характерно низкое видовое разнообразие диатомей, в основном представленное холодолюбивыми видами, такими как *Ellerbeckia arenaria* (Moorex Ralfs) Grawford, *Aulacosira islandica* (O. Mull) Sim., *A. alpigena* (Grun.) Krammer, *A. distans* (Ehr.) Sim., *Tetracyclus emarginatus* (Ehr.) W.Sm., *T. lacustris* Ralfs, *Achnanthes borealis* A. Cl., *A. lanceolata* var. *elliptica* Cl., *Caloneis latiuscula* (Kütz.) Cl., *Fragilaria inflata* (Heid.) Hust., *F. virescens* Ralfs, *F. virescens* var. *mesolepta* Schönf. Наличие *Aulacosira granulata* (Ehr.) Sim в виде спор также подтверждает существование холодного олиготрофного водоема в суровых климатических условиях.

Графический анализ диатомовых комплексов разреза Челсма-22 наглядно отражает природные условия, в которых происходила эволюция водоема (рис. 1). Графики таксономических пропорций на глубинах 6,9, 6,7, 6,5 м имеют очертания ломаной линии, на глубине 4,5 м – вогнутые гиперболические очертания (экспоненциальный тип распределения). Это указывает на неблагоприятные природные условия для развития диатомового комплекса и его кризисное состояние. Такие гистограммы с доминированием одного-двух таксонов и сокращением численности идентифицированных

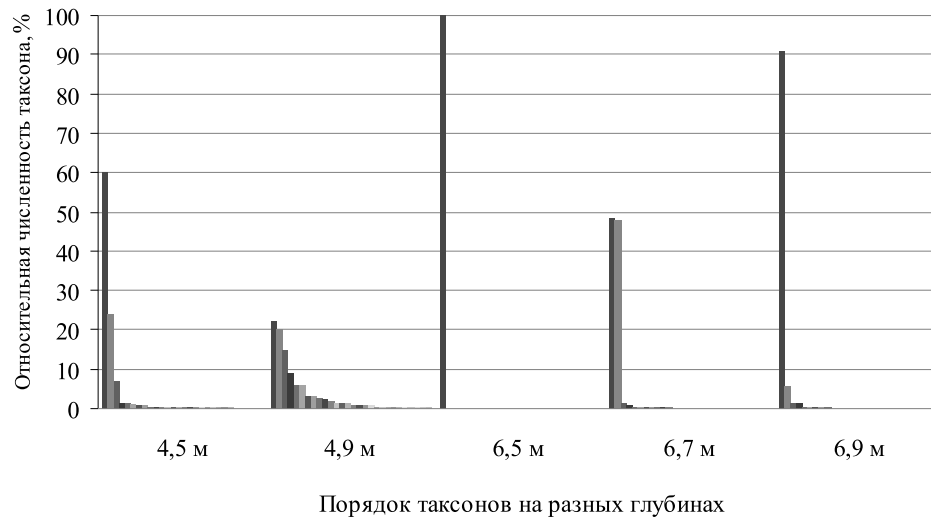


Рис. 1. Таксономическая структура диатомовых комплексов разреза Челсма-22

таксонов характерны для водоемов с неблагоприятной экологической обстановкой, связанной с внешним воздействием абиотического фактора. График таксономических пропорций на глубине 4,9 м имеет более плавные пропорциональные выпукло-вогнутые очертания сигмоидального вида (тип распределения близок к логистическому), что связано с увеличением численности идентифицированных таксонов. Это свидетельствует о наступлении более благоприятных условий для развития диатомового комплекса.

Межледниковая диатомовая флора

В условиях межледниковья, после отступления ледника, складываются близкие к современным ландшафтно-климатические обстановки. В глубоких котловинах зарождаются и формируются озера, историю которых можно восстановить по межледниковым отложениям в бассейне Верхнего Дона (разрез Польное Лапино), в Ярославско-Костромском Поволжье (разрез Бибирево) и в бассейне Верхней Оки (разрез Балашиха).

В развитии Польнолапинского и Бибиревского озер выделяют четыре этапа, последовательно сменяющих друг друга [3].

Первый этап (I) является этапом зарождения и становления водных экосистем в позднеледниковье — начале межледниковья. Диатомовая флора развивалась в олиготрофных среднеглубоких и глубоких водоемах с обширной акваторией. Доминирующие позиции занимали планктонные виды рода *Aulacosira* Thw. и *Stephanodiscus* Ehr., а также бентосные формы диатомей.

Второй этап (II) характеризуется условиями, наиболее благоприятными для развития теплолю-

бивой диатомовой флоры. В это время происходит максимально высокое обводнение водоемов. Преобладали планктонные формы диатомей, в основном представленные видами рода *Stephanodiscus* Ehr., *Cyclotella* (Kütz.) Breb., *Aulacosira* Thw.

Третий этап (III) связан с наступлением климатического оптимума и понижением уровня воды в озерах. Доминирующей группой стали виды обрастатели (в основном рода *Fragilaria* Lyngb.), развитие которых связано с расширением зоны высшей водной растительности. Водоемы становились мезотрофными.

В постоптимальное время выделяется четвертый этап (IV) развития диатомовой флоры. Он связан с наступлением похолодания, а затем кратковременного потепления. В водоемах прослеживался нестабильный гидрологический режим: то резкое обмеление, то обводнение. Водные экосистемы представляли собой мезотрофные, а затем эвтрофные бассейны. Обильно развивались виды обрастатели (в основном рода *Fragilaria* Lyngb.).

В бассейне Верхней Оки разрезы межледниковых отложений изучены у города Балашиха в 10 км восточнее Москвы. Развитие диатомовой флоры разреза Балашиха происходило в условиях климатического оптимума [11, 3]. В составе диатомового комплекса повсеместно доминировали планктонные формы: *Cyclotella* (Kütz.) Breb. (фаза Ia) и *Cyclotella* (Kütz.) Breb. совместно с *Aulacoseira* Thw. (фаза Ib). Обилие видов обрастателей было связано с широким развитием высшей водной растительности.

Сравнение разреза Балашиха с разрезами Польное Лапино и Бибирево показывает, что раз-

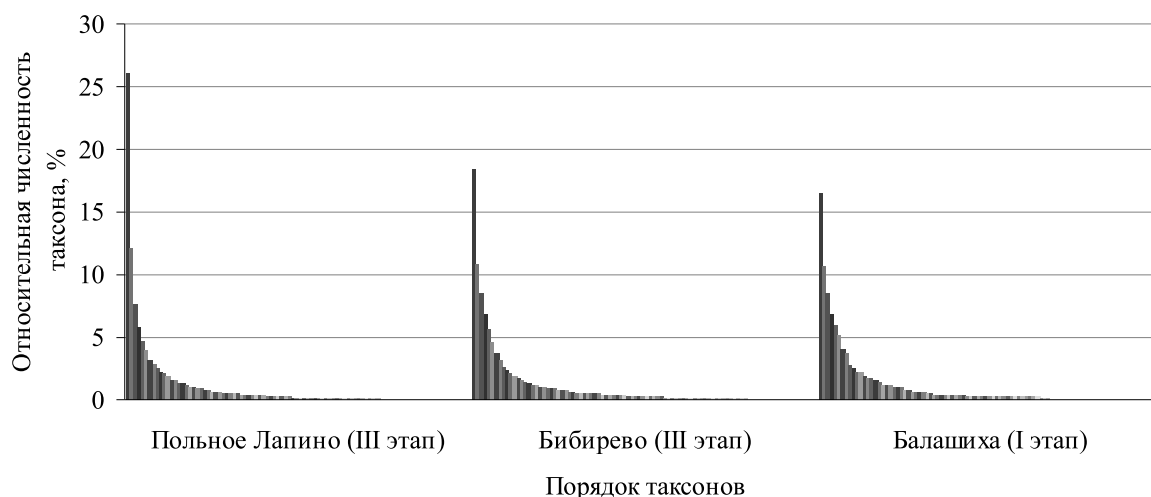


Рис. 2. Таксономическая структура диатомовых комплексов разрезов Польное Лапино, Бибирево, Балашиха

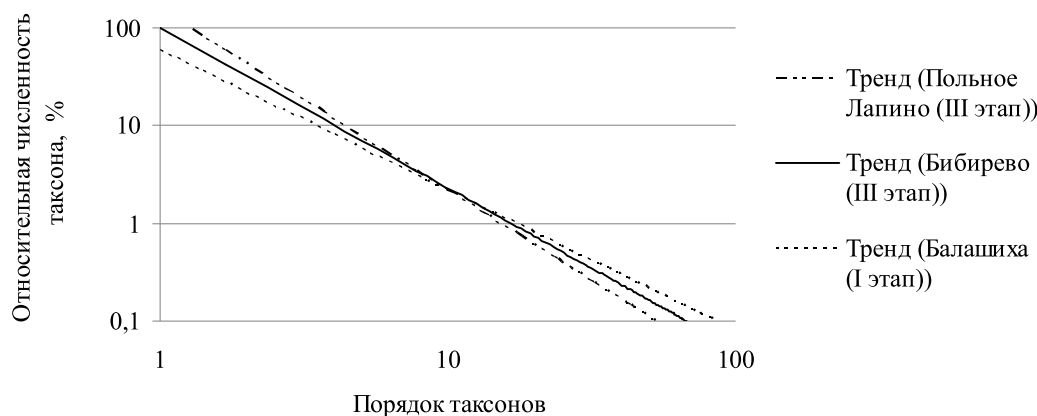


Рис. 3. Линейные трансформации диатомовых комплексов разрезов Польное Лапино, Бибирево, Балашиха

витие флоры древнего Балашихинского озера соответствует третьему этапу развития Польнолапинского и Бибиревского озер и их флоры. Графический анализ (рис. 2) подтверждает данный вывод. Гистограммы, построенные по результирующим линиям трех разрезов, имеют сходные плавные пропорциональные вогнутые гиперболические очертания.

На графике линейных трансформаций (рис. 3) тренды имеют общую точку пересечения, что свидетельствует о развитии водоемов на данных этапах в сходных природно-климатических условиях, а также о близости структур диатомовых комплексов.

Современные комплексы микроводорослей и цианобактерий

Для сравнительного анализа межледниковых и современных водных экосистем выбраны Воронежское и Матырское водохранилища, расположенные на Окско-Донской равнине в Воронежской и Липецкой областях соответственно. Данные

водоемы искусственного происхождения были заложены в непосредственной близости от крупных промышленных центров и испытывают значительное антропогенное воздействие.

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 [6]. 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. Возможно, именно благодаря альголизации удалось избежать кризисных состояний в Матырском водохранилище в аномально жаркие годы.

Последующие годы характеризовались среднестатистическими температурными условиями. В

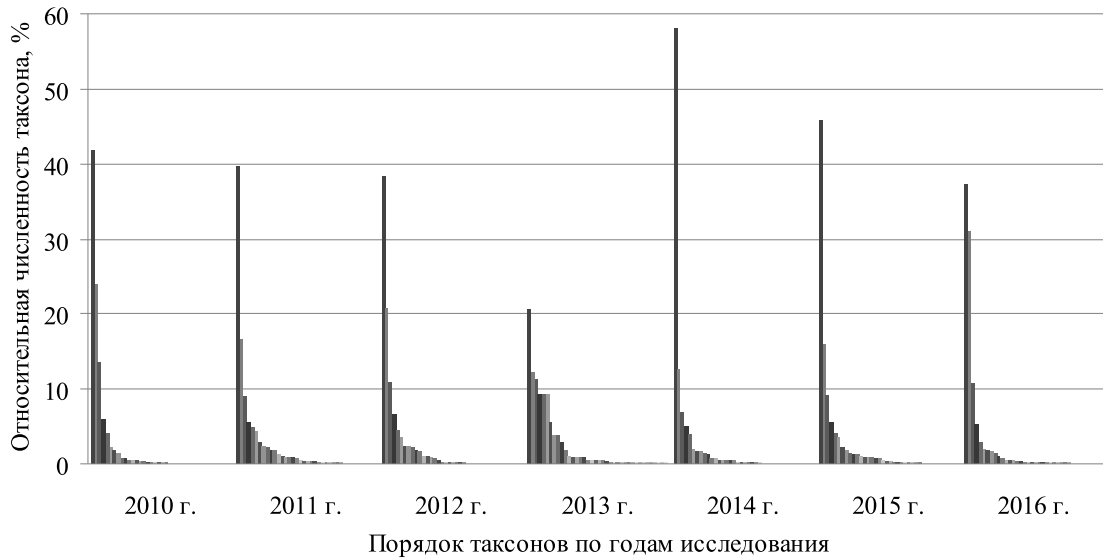


Рис. 4. Таксономическая структура комплексов микроводорослей и цианобактерий Матырского водохранилища

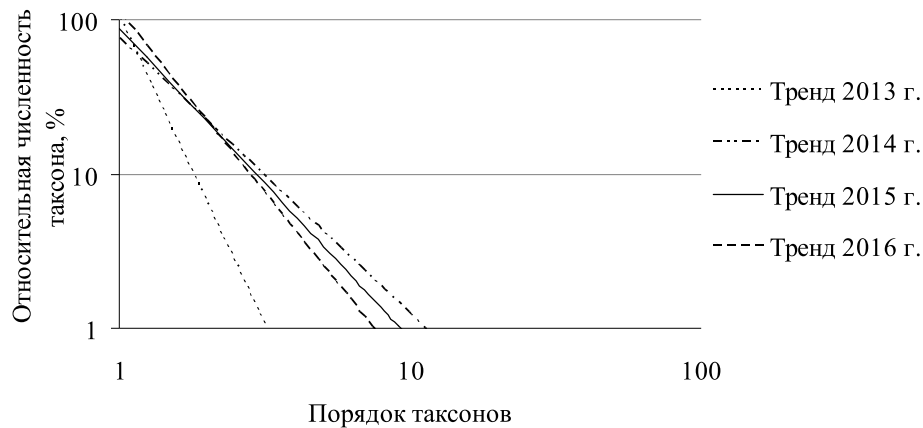


Рис. 5. Линейные трансформации комплексов микроводорослей и цианобактерий Масловского затона (Воронежское водохранилище)

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. 4). График 2010 года имеет вогнутые гиперболические очертания (экспоненциальный тип распределения), в 2011-2012 годах – переходит от вогнутых к выпукло-вогнутым очертаниям (кривые более пологие и более симметричные, по сравнению с кривой 2010 года). В 2013 году – увеличилась

доля видов со средними оценками обилия, график имеет ярко выраженные выпукло-вогнутые сигмоидальные очертания (логистический тип распределения). Вспышки развития диатомовых водорослей в 2014 и цианобактерий в 2015 и 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), порой близкие к очертаниям ломанной линии. Такие пики свидетельствуют о неблагоприятных экологических условиях, сложившихся в акватории Матырского водохранилища.

Материалом для анализа состояния Воронежского водохранилища послужили пробы, отобранные с 2013 по 2016 годы. Наиболее кризисные состояния были отмечены в Нижнем участке водо-

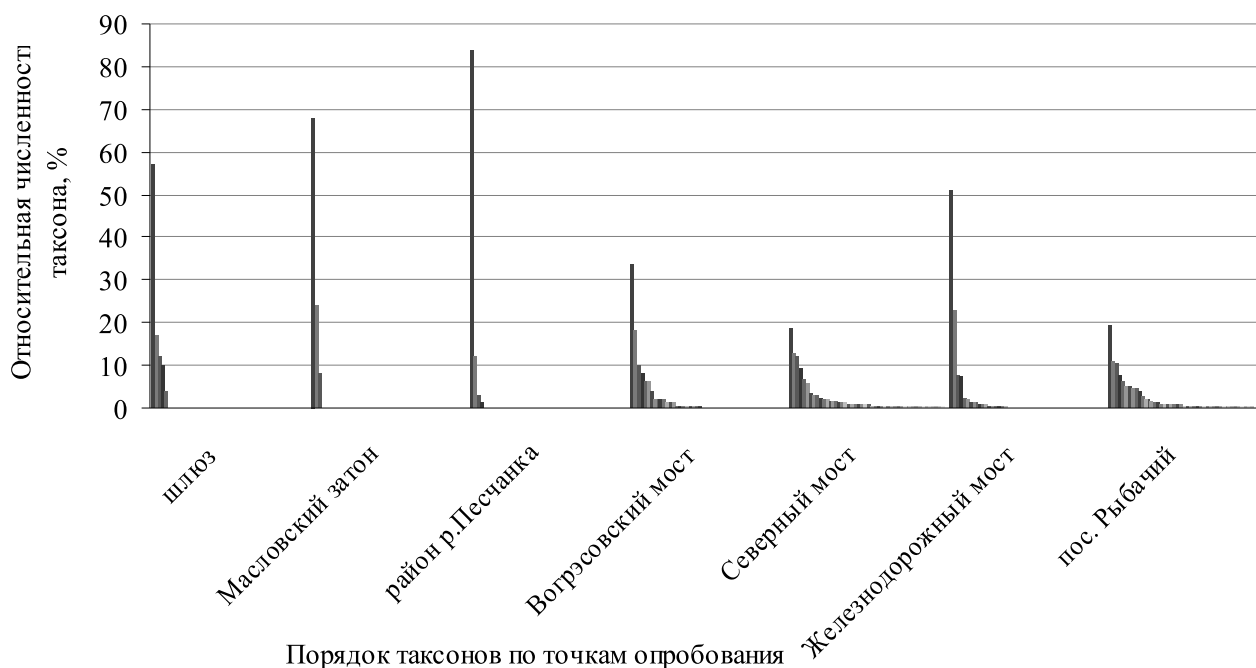


Рис. 6. Таксономическая структура комплексов микроводорослей и цианобактерий Воронежского водохранилища (июль 2015 г.)

охранилища. 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 [2]. 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.

Анализ комплексов микроводорослей и цианобактерий Масловского затона при помощи метода линейных трансформаций выявил «аномальность» структуры сообщества в 2013 году (рис. 5). Линия тренда 2013 года не пересекает остальные линии в общей точке разворота. Такой распад генерации из-за утраты общего центра может наблюдаться вследствие значительных антропогенных нагрузок на водоем.

Графики таксономических пропорций, построенные для Масловского затона, в 2013 и 2015 годах имеют вид ломанной кривой. В другие годы наблюдается сглаживание линий графиков, имеющих вогнутые и выпукло-вогнутые очертания.

Анализ проб показал, что кризисные ситуации отмечаются не только в Нижнем участке, но на всем протяжении Воронежского водохранилища в различные периоды вегетационного сезона. Так,

графики таксономических пропорций преимущественно приобретают вид ломанной кривой (пики до 84 %) в Нижнем участке и вогнутые очертания в Верхнем участке в середине-конце лета, а также в начале осени (рис. 6). В Среднем участке графики имеют выпукло-вогнутые очертания, что позволяет выделить своеобразную переходную зону при проведении экологического районирования Воронежского водохранилища [4].

Таким образом, с помощью графического анализа была произведена оценка степени благоприятности природных условий, в которых происходило эволюционное развитие межледниковых озер. Показано, что доминирование 1-2 таксонов с относительной численностью более 50 % сверхдоминанта графически выражается в виде ломанной кривой. Такие очертания графиков свидетельствуют о неблагоприятных природных условиях позднеледниковья, в которых существовало озеро Челсма-22. Плавные пропорциональные очертания графиков характерны для Балашихинского озера, а также для водоемов Полное Лапино и Бибирево на третьем этапе (III) их развития, которое происходило во время климатического оптимума.

Графическое представление результатов исследования помогает также диагностировать состояние современных водоемов, подверженных природно-антропогенному влиянию. Пики (от 40 до 84 %) на графиках таксономических пропорций Воронежского и Матырского водохранилищ сви-

детельствуют о значительном антропогенном воздействии на водоемы, сравнимом с суровыми условиями позднеледниковья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анциферова Г. А. Состояние водной среды Воронежского водохранилища в связи с экологической ситуацией в Масловском затоне / Г. А. Анциферова, Е. В. Беспалова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2016. – № 2. – С. 91-100.

2. Анциферова Г. А. Перигляциальные диатомовые флоры неоплейстоцена центра Восточно-Европейской равнины / Г. А. Анциферова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – 2000. – № (3) 9. – С. 82-90.

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

4. Беспалова Е. В. Экологическое районирование Воронежского водохранилища / Е. В. Беспалова // 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, 2017. – Ч. I. – С. 108-118.

5. Биоиндикация водных экосистем : учебно-методическое пособие для вузов / сост. Г. А. Анциферова. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 57 с.

6. Валяльщикова А. А. Анализ экологического состояния Матырского водохранилища по данным эколого-гидрохимического и спутникового мониторинга / А. А. Валяльщикова, К. Ю. Силкин, В. В. Кульнев // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – Воронеж, 2014. – № 1. – С. 110-117.

7. Гричук В. П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене / В. П. Гричук. – Москва : Наука, 1989. – 183 с.

8. Зверев А. Т. Основные законы экологии / А. Т. Зверев. – Москва : Издательский дом Панягел, 2009. – 171 с.

9. Лебедева Н. В. Биологическое разнообразие и методы его оценки / Н. В. Лебедева, Д. А. Криволюцкий // География и мониторинг биоразнообразия. – Москва : Издательство Научного и учебно-методического центра, 2002. – С. 9-142.

10. Московский ледниковый покров Восточной Европы / под ред. Г. И. Городецкого, Н. С. Чеботарева, С. М. Шика. – Москва : Наука, 1985. – 237 с.

11. Писарева В. В. Межледниковые отложения в районе г. Балашиха / В. В. Писарева, Ф. Ю. Величневич, С. М. Шик // Доклады АН СССР. – 1979. – Т. 248, № 1. – С. 185-190.

12. Разумовский Л. В. Оценка трансформации озерных экосистем методом диатомового анализа / Л. В. Разумовский. – Москва : Геос, 2012. – 199 с.

13. Разумовский В. Л. Выявление долговременных геоэкологических изменений малых горных озер методами диатомового анализа (Западный и Центральный Кавказ) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / В. Л. Разумовский. – Москва, 2014. – 25 с.

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

15. Экосистемы в критических состояниях / под ред. Ю. Г. Пузаченко. – Москва : Наука, 1989. – 155 с.

REFERENCES

1. Antsiferova G. A. Sostoyanie vodnoy sredy Voronezhskogo vodokhranilishcha v svyazi s ekologicheskoy situatsiyey v Maslovskom zatone / G. A. Antsiferova, E. V. Bepalova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2016. – № 2. – S. 91-100.

2. Antsiferova G. A. Periglytsial'nye diatomovye flory neopleystotsena tsentra Vostochno-Evropeyskoy ravniny / G. A. Antsiferova // Vestnik Voronezhskogo universiteta. Ser. Geologiya. – 2000. – № (3) 9. – S. 82-90.

3. Antsiferova G. A. Evolyutsiya diatomovoy flory i mezhlednikovogo osadkonakopleniya tsentra Vostochno-Evropeyskoy ravniny / G. A. Antsiferova // Trudy Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. – Voronezh, 2001. – Вып. 2. – 198 с.

4. Bepalova E. V. Ekologicheskoe rayonirovanie Voronezhskogo vodokhranilishcha / E. V. Bepalova // Kompleksnye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti. Bezopasnyy gorod i metody resheniya ekologicheskikh problem okruzhayushchey sredy : materialy III nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu grazhdanskoй oborony Rossii i Godu ekologii v Rossii. – Voronezh, 2017. – Ch. I. – S. 108-118.

5. Bioindikatsiya vodnykh ekosistem : uchebno-metodicheskoe posobie dlya vuzov / sost. G. A. Antsiferova. – Voronezh : Izdatel'skiy dom VGU, 2014. – 57 s.

6. Valyal'shchikov A. A. Analiz ekologicheskogo sostoyaniya Matyrskogo vodokhranilishcha po dannym ekologo-gidrokhimicheskogo i sputnikovogo monitoringa / A. A. Valyal'shchikov, K. Yu. Silkin, V. V. Kul'nev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologiya. – Voronezh, 2014. – № 1. – S. 110-117.

7. Grichuk V. P. Istoriya flory i rastitel'nosti Russkoy ravniny v pleystotsene / V. P. Grichuk. – Moskva : Nauka, 1989. – 183 s.

8. Zverev A. T. Osnovnye zakony ekologii / A. T. Zverev. – Moskva : Izdatel'skiy dom Panagel', 2009. – 171 s.

9. Lebedeva N. V. Biologicheskoe raznoobrazie i metody ego otsenki / N. V. Lebedeva, D. A. Krivolutskiy // Geografiya i monitoring bioraznoobraziya. – Moskva : Izdatel'stvo Nauchnogo i uchebno-metodicheskogo tsentra, 2002. – S. 9-142.

10. Moskovskiy lednikovyy pokrov Vostochnoy Evropy / pod red. G. I. Gorodetskogo, N. S. Chebotareva, S. M. Shika. – Moskva : Nauka, 1985. – 237 s.

11. Pisareva V. V. Mezhlednikovye otlozheniya v rayone g. Balashikha / V. V. Pisareva, F. Yu. Velichkevich, S. M. Shik // Doklady AN SSSR. – 1979. – Т. 248, № 1. – S. 185-190.

12. Razumovskiy L. V. Otsenka transformatsii ozernykh ekosistem metodom diatomovogo analiza / L. V. Razumovskiy. – Moskva : Geos, 2012. – 199 s.

13. Razumovskiy V. L. Vyavlenie dolgovremennykh geokologicheskikh izmeneniy malykh gornykh ozer me-

todami diatomovogo analiza (Zapadnyy i Tsentral'nyy Kavkaz) : avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk / V. L. Razumovskiy. – Moskva, 2014. – 25 s.

14. Shitikov V. K. Otsenka bioraznoobraziya: popytka formal'nogo obobshcheniya / V. K. Shitikov, G. S. Rozenberg // Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii : sbornik nauchnykh trudov, posvyashchenny pamyati A. I. Bakanova / pod red. G. S. Rozenberga. – Tol'yatti : SamNTs RAN, 2005. – S. 91-129.

15. Ekosistemy v kriticheskikh sostoyaniyakh / pod red. Yu. G. Puzachenko. – Moskva : Nauka, 1989. – 155 s.

Беспалова Елена Владимировна
аспирант кафедры природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. 8(950)770-00-03, E-mail: elena_bespalova@bk.ru

Bespalova Yelena Vladimirovna
Post-graduate student of the Chair of Geoecology and Environmental Monitoring, Geography, Geoecology and Tourism Department, Voronezh State University, Voronezh, tel. + 7 950 770-00-03, E-mail: elena_bespalova@bk.ru