



УДК 504.455 (574.51)

DOI 10.18413/2075-4671-2018-42-3-414-426

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ВОРОНЕЖСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФИТОПЛАНКТОНА И МИКРОФИТОБЕНТОСА

ECOLOGICAL ZONING OF THE VORONEZH RESERVOIR BASED ON INDICATORS OF PHYTOPLANKTON AND MICROPHYTOBENTOSE

Е.В. Беспалова

E.V. Bespalova

Воронежский государственный университет,
Россия, 394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, 40

Voronezh State University,
40 Hol'zunova, Voronezh, 39468, Russia

E-mail: elena_bespalova@bk.ru

Аннотация

В статье представлена авторская модель районирования акваторий природно-антропогенных водных экосистем, позволяющая выделять участки различной экологической напряженности на основе методов биоиндикации по показателям фитопланктона и микрофитобентоса. Апробация модели на примере Воронежского водохранилища позволила выделить в его акватории три участка. В верхнем участке наблюдается промежуточное положение между экологическим напряжением и экологическим регрессом, в среднем участке водная экосистема находится в состоянии экологического напряжения за счет проявления экотонных свойств. Экологическая ситуация в нижнем участке водохранилища характерна для уровня антропогенного экологического регресса и может рассматриваться как предполагаемый сценарий неблагоприятного развития Воронежского водохранилища. Расчет значений индекса Пантле-Букка в модификации В. Сладечека и индекса Т. Ватанабе показал увеличение степени загрязнения водоема вниз по течению.

Abstract

The author offered model of division into districts of water areas of natural and anthropogenic water ecosystems which allows to allocate sites with various ecological tension. Models are the cornerstone on indicators of phytoplankton and a microphytobenthos. Approbation of model on the example of the Voronezh reservoir allowed to allocate three sites in its water area. The water ecosystem in the top site is in an intermediate position between the ecological tension and ecological regress. On average site the water ecosystem is in a condition of ecological tension due to manifestation of ecoton properties. The ecological situation in the lower site of a reservoir is characteristic of the level of anthropogenic ecological regress and represents the estimated scenario of adverse development of the Voronezh reservoir. Calculation values of indexes of Pantle-Bukk in V. Sladechek's modification and T. Watanabe has shown increase in extent of pollution of a reservoir downstream.

Ключевые слова: районирование, водохранилище, загрязнение, экологические модификации, биоиндикация, фитопланктон, микрофитобентос, графический анализ.

Keywords: zoning, reservoir, pollution, ecological modifications, bioindication, phytoplankton, microphytobenthos, graphic analysis.

Введение

Водохранилища представляют собой гетерогенные объекты, части которых можно выделять по различным признакам. Пространственная неоднородность акватории водоемов находит отражение в моделях экосистем, в основе которых лежат распределенные значения параметров. Такое выделение частей по территориальному признаку называется районированием и служит информационной базой для принятия решений об управлении водным объектом [Баканов, 1997].

В качестве критериев районирования водохранилищ могут выступать гидрологические, морфологические, гидрохимические, гидробиологические и другие характеристики. С экологической точки зрения наибольшее значение имеют варианты разделения акватории водных экосистем на участки по степени их загрязнения, основанные на применении как физико-химических, так и биологических методов.

Ограниченность гидрохимических и гидрофизических подходов к оценке степени загрязнения водных экосистем состоит в том, что они не показывают характер и последствия воздействия на биоту поступающих в водный объект загрязняющих веществ. На основе физико-химических показателей, таких как прозрачность, наличие взвешенных частиц, степень минерализации, ионный состав, чаще всего осуществляются экономическая и технологическая оценка вод, определяется их пригодность для питьевого водоснабжения и рыбоводства.

Биологическая индикация водной среды заключается в оценке ее экологического качества, степени загрязнения, санитарного состояния по структурным и экологическим характеристикам сообществ организмов, по наличию определенных показательных видов-индикаторов и их численности. Преимущество методов биоиндикации состоит в том, что видовой состав гидробионтов служит интегральной характеристикой сложившихся природно-антропогенных условий (климата, рельефа и эколого-геохимических особенностей водосборной поверхности, морфологии и морфометрии водоема, гидрохимических показателей водной среды, степени развития высшей водной растительности и т.д.) за некоторый период времени [Макрушин, 1974; Шитиков, Розенберг, 2005]. Среди гидробионтов-биоиндикаторов широко используются представители фитопланктона и микрофитобентоса, а именно микроводоросли (прежде всего диатомовые) и цианобактерии (ранее именуемые синезелеными водорослями), так как они присутствуют практически во всех водах в качестве доминантов и в системе трофических сетей входят в состав первичных продуцентов.

Цель данного исследования – разработка модели экологического районирования акваторий природно-антропогенных водных экосистем на основе показателей фитопланктона и микрофитобентоса и ее апробация на примере Воронежского водохранилища.

Воронежское водохранилище имеет площадь 70 км² и вытянуто в меридиональном направлении. Водные массы искусственного водоема формируются за счет стока р. Воронеж. В течение года из реки в водохранилище поступает 2.02 км³ воды, что в 10 раз превышает постоянный объем водоема [Дмитриева, 2012]. Следовательно, гидрохимический режим водохранилища в значительной степени определяется качеством речной воды. На водосборной поверхности реки выше по течению располагаются такие города, как Липецк, Грязи, Мичуринск, Чаплыгин и несколько сотен мелких населенных пунктов с множеством рекреационных зон, что существенно усугубляет экологическое состояние водоема [Сейдалиев, Ступин, 2005].

Наибольшее воздействие на водохранилище оказывает окружающая его Воронежская городская агломерация. Ежегодно в искусственный водоем поступает свыше 70 млн м³ производственных сточных вод (в том числе нормативно-чистых 30 млн м³) [Доклад о природоохранной деятельности..., 2014]. Часть предприятий имеет свои выпуски условно-чистых вод в водохранилище, большое количество стоков сбрасывается



через Левобережные очистные сооружения [Сейдалиев, Ступин, 2005]. Неэффективность работы как локальных очистных сооружений на предприятиях, так и городских очистных сооружений приводит к поступлению в водохранилище производственных сточных вод с превышением гигиенических нормативов по содержанию нефтепродуктов, солей тяжелых металлов, жиров, сульфатов, хлоридов и других веществ в десятки раз [Доклад о государственном надзоре ..., 2016]. Сброс нормативно-чистых сточных вод от ТЭЦ-1 зачастую сопровождается опасным «тепловым» загрязнением воды, вызывающем замор рыбы, «цветение» вод, активизацию проникающей способности химических элементов [Богатилов, Косинова, 2013].

Поступающие в водохранилище загрязненные коммунально-бытовые стоки содержат большое количество микроорганизмов и органических веществ [Васильева, Натарева, 2016]. Полный объем стоков данного типа учесть невозможно, так как не все дома индивидуального жилого сектора подключены к централизованной системе канализации.

Водохранилище является приемником ливневых и талых сточных вод с территории города. В связи с тем, что большинство предприятий не имеет сооружений по очистке поверхностного стока, стекающего с промплощадок, в водохранилище поступают воды, загрязненные нефтепродуктами, взвешенными веществами, солями тяжелых металлов. В период весеннего снеготаяния в зависимости от снежности зимы в водохранилище поступает от 30 до 70 млн м³ тонн талых вод, две трети из которых с территории города [Доклад о государственном надзоре ..., 2016].

Одним из аспектов вредного влияния автотранспорта на водохранилище являются сточные воды, образующиеся при мойке автомобилей. Только половина автомоек города имеет механическую очистку стоков перед сбросом в городскую канализацию [Прожорина и др., 2015]. Ежегодно мойка и ремонт автотранспорта осуществляются на берегах р. Песчанка, впадающей в водохранилище. В результате в речной воде фиксируются превышения ПДК по содержанию нефтепродуктов, органических и взвешенных веществ в десятки раз, сульфатов и меди в 4–5 раз. Учитывая, что среднегодовой сток реки достигает 13 млн м³, в водоем вместе с ним поступают сотни тонн загрязняющих веществ [Доклад о государственном надзоре ..., 2016].

Исследования гидрогеохимических проб воды, донных отложений и песков гидронамывов водохранилища показывают, что наблюдается прогрессирующее загрязнение водной экосистемы марганцем, железом, хромом, азотными соединениями при движении с севера на юг, от верховьев водоема к низовью [Смирнова, Кислякова, 2008]. Исследования донных отложений, проведенные Т.В. Соколовой [2015], также свидетельствуют о том, что интенсивность их загрязнения возрастает от верховьев водохранилища к плотине. Минерализация вод составляет от 0.13 до 0.67 г/дм³, максимальные значения характерны для низовья водохранилища. Сравнение химических показателей воды у автодорожного моста (5.5 км выше г. Воронеж) и в районе Чернавского моста (центральная часть) свидетельствует об увеличении содержания азота аммонийного в 4.6 раз, хлоридов в 1.5 раза, цинка в 10 раз, меди в 2 раза вниз по течению [Доклад о государственном надзоре..., 2016].

В публикациях встречаются различные варианты районирования Воронежского водохранилища. Существует схема разделения водоема на пять гидрологических районов, отличающихся друг от друга по гидрологическому, гидробиологическому и метеорологическому режимам. Границами между ними являются мостовые переходы города (Окружной, Железнодорожный, Северный, Чернавский, Вогрэсовский и Плотина) [Смирнова, Кислякова, 2008]. Выделение А.Г. Курдовым [1998] в акватории водохранилища верхней, средней и нижней зон основано на их гидрологическом режиме, морфологических и морфометрических признаках, а границами выделенных зон служат Железнодорожный и Вогрэсовский мосты. Мелководная верхняя зона (средняя глубина 1.9 м) имеет самые малые запасы воды, однако чистота воды наиболее высокая. Средняя

зона характеризуется средними глубинами (2.8 м). Особое внимание в работе А.Г. Курдова [1998] уделено глубоководной нижней зоне (средняя глубина 4.1 м), где водоем больше всего загрязняется коммунальными отходами обширного частного жилого сектора. Изучение макробентических беспозвоночных и зоофитоса показало, что наибольшее видовое разнообразие наблюдается в центральном участке Воронежского водохранилища, наименьшее – в приплотинных литоральных участках [Шишлова, 2004]. Анализ таксономического состава микрофитоценозов позволил выделить в 1988 и 2003 годах два участка (верхний и нижний) по границе Чернавского моста [Анциферова, 2001]. В отличие от исследований Г.А. Анциферовой, предложенная автором модель районирования Воронежского водохранилища предполагает анализ не только таксономического состава (качественный анализ), но и таксономической структуры сообществ микроводорослей и цианобактерий (количественный анализ), в том числе графическими методами, и может применяться и для других водных объектов.

Материалы и методы исследования

Разработанная модель экологического районирования водохранилищ основана на анализе таксономического состава и структуры фитопланктона и микрофитобентоса. Участки различной экологической напряженности выделяются по следующим критериям:

- 1) преобладающая в течение вегетационного сезона по относительной численности группа (диатомовые или цианобактерии) в составе фитопланктона и микрофитобентоса;
- 2) наличие монодоминирования отдельных таксонов (с относительной численностью выше 40 %);
- 3) тип линии тренда и форма гистограммы изменения таксономических пропорций в линейной системе координат.

Для выяснения значений второго и третьего показателя проводится графический анализ таксономической структуры сообществ микроводорослей и цианобактерий. Для этого определяется относительная численность всех идентифицированных таксонов видового и более низкого рангов (форм и разновидностей) для каждого комплекса, отобранного в конкретном пункте наблюдения. Выборки должны быть одинаковы и сопоставимы по объему (500 особей). Далее строятся графики ранг/обилие, где по оси абсцисс откладывается порядковый номер таксона в ранжированном ряду, а по оси ординат – его относительная численность в процентах. Описание моделей соотношения численностей таксонов в сообществе приведено в трудах Н.В. Лебедовой и Д.А. Криволуцкого [2002], В.К. Шитикова и Г.С. Розенберга [2005].

Выделение типов участков, согласно значению указанных критериев, представлено в табл. 1 и основано на анализе многолетних собственных и архивных данных как по современным, так и по неоплейстоценовым водным экосистемам в различных природных условиях при разном уровне нагрузки [Беспалова, 2017а, 2017б, 2017в]. Названия типов участков соотнесены с терминами экологических модификаций по В.А. Абакумову [Абакумов, Сиренко, 1988].

Для определения степени загрязнения отдельных участков водоема также рассчитываются значения индекса сапробности Пантле-Букка в модификации В. Сладечека и индекса Т. Ватанабе. Эти методы позволяют представлять состояние вод числовыми значениями, что обеспечивает возможность сопоставления результатов биологического анализа вод, изученных в разное время и в разных точках опробования [Макрушин, 1974; Баринаева, Медведева, 1998].

Исследования фитопланктона и микрофитобентоса Воронежского водохранилища проводились в период 2013–2016 годов. Отбор проб осуществлялся в 8 точках по всей длине водохранилища (табл. 2). Расположение точек отбора проб по различным берегам водоема объясняется выбором мелководных участков и доступностью места для отбора проб с берега.

Таблица 1
Table 1

Критерии выделения в акватории природно-антропогенных водных экосистем участков различной экологической напряженности
Criteria of allocation of sites of various ecological tension in the water area of natural-anthropogenic water ecosystems

Тип участка и степень экологической напряженности	Относительная численность первого таксона в ранжированном ряду	Тип линии тренда (и форма) гистограмм распределения таксономических пропорций	Преобладающая в течение вегетационного сезона группа (диатомовые водоросли или цианобактерии)
1. «Экологическое напряжение»	20–40 %	логистический (сигмоидальная), экспоненциальный с малым показателем экспоненты (вогнутая)	равные пропорции, цианобактерии или диатомовые водоросли
2. Переход к «экологическому регрессу»	>40 %	экспоненциальный с большим показателем экспоненты (вогнутая, «ломаная линия»)	равные пропорции или диатомовые водоросли
3. «Экологический регресс»			цианобактерии

Таблица 2
Table 2

Точки отбора проб в Воронежском водохранилище
Sampling points in the Voronezh reservoir

№ пробы	Местоположение	Берег
1	Поселок Рыбачий	Правый
2	Железнодорожный мост	Правый
3	Северный мост	Левый
4	Чернавский мост	Левый
5	Вогрэсовский мост	Правый
6	Район реки Песчанка	Левый
7	Масловский затон	Левый
8	Шлюз	Правый

Результаты и их обсуждение

Эколого-биологические исследования Воронежского водохранилища позволили на основании перечисленных в таблице 1 критериев районирования выделить в его акватории три участка (верхний, средний и нижний). Схема районирования акватории водохранилища представлена на рисунке 1.

Для верхнего участка водохранилища характерно преобладание диатомовых водорослей по количеству таксонов и оценкам обилия в течение всего вегетационного сезона; наличие всплесков развития отдельных таксонов диатомовых водорослей; преобладание вогнутой формы графиков распределения таксономических пропорций (рис. 2).

К среднему (переходному) участку относятся точки в районе Чернавского и Вогрэсовского мостов. Здесь наблюдается объединение признаков (обнаружение и диатомовых водорослей, и цианобактерий) в результате взаимодействия фитопланктона и микрофитобентоса соседних участков и их конкуренции за новые экологические ниши. Это позволяет сивелировать неблагоприятные экологические процессы, что проявляется в отсутствии таксонов с относительной численностью более 40 % и находит отражение на гистограммах распределения таксономических пропорций в отсутствии пиков, сигмоидальной и вогнутой форме (рис. 3).

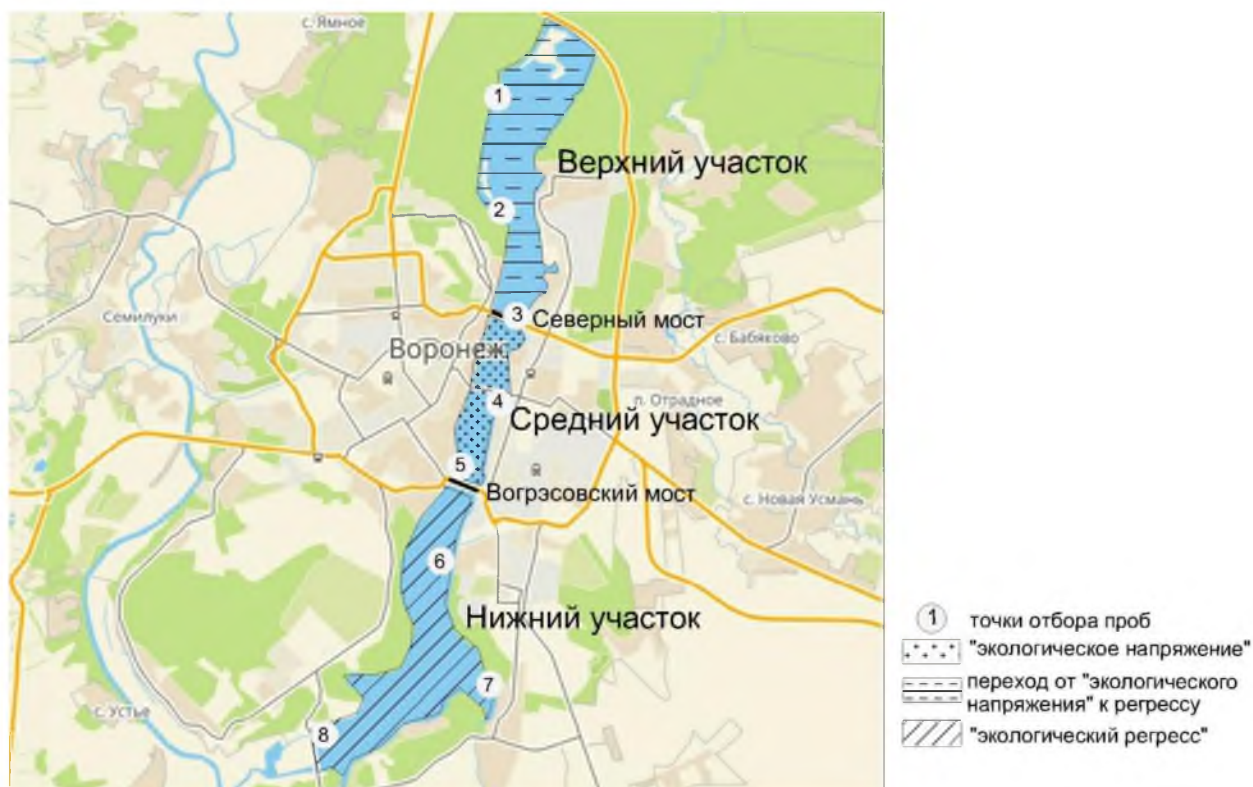


Рис. 1. Схема районирования акватории Воронежского водохранилища
 Fig. 1. Scheme of zoning of the water area of the Voronezh reservoir

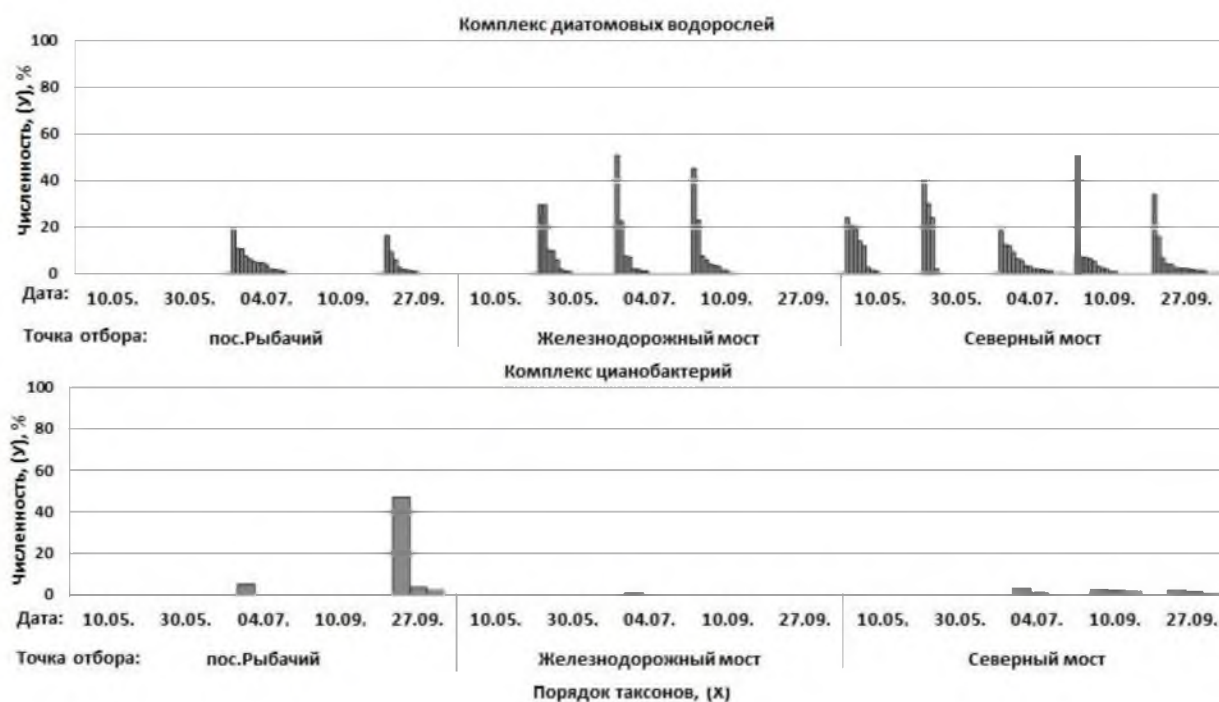


Рис. 2. Таксономическая структура сообществ микроводорослей и цианобактерий
 верхнего участка Воронежского водохранилища
 Fig. 2. Taxonomical structure of communities of microseaweed and cyanobacteria
 of the top site of the Voronezh reservoir

Особый тип структуры сообществ служит главным отличием от соседних участков. Видовое разнообразие занимает промежуточное значение между показателями двух участков. Все это является основанием для выделения переходного участка, своеобразного экотона, сформировавшегося в процессе взаимодействия граничащих друг с другом систем и осуществляющего функцию их соединения [Одум, 1975; Экотоны в биосфере, 1997].

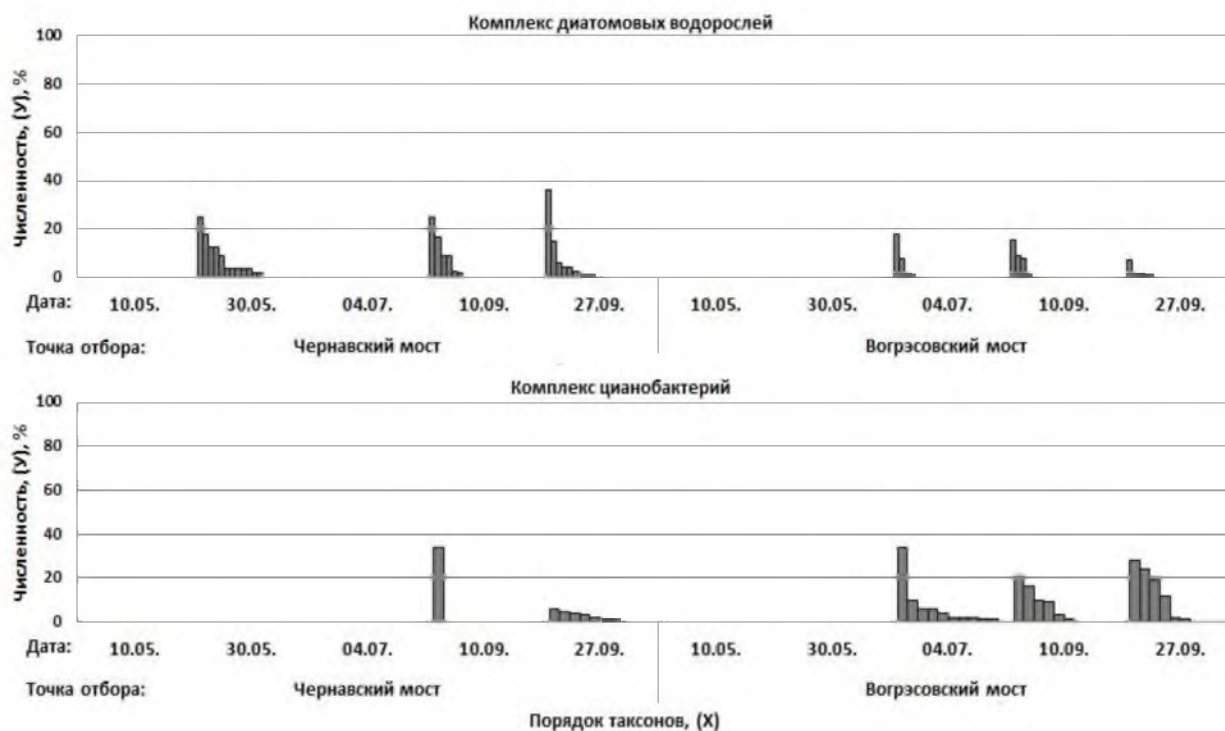


Рис. 3. Таксономическая структура сообществ микроводорослей и цианобактерий среднего участка Воронежского водохранилища

Fig. 3. Taxonomical structure of communities of microalgae and cyanobacteria of the average site of the Voronezh reservoir

Структура сообществ в нижнем участке водохранилища становится обедненной, 2–3 таксона цианобактерий становятся массовыми при единичном развитии других таксонов, периодически наблюдается полное исчезновение диатомей. Гистограммы имеют вогнутую и форму «ломаной линии» (рис. 4).

Наиболее неблагоприятные процессы в Воронежском водохранилище наблюдаются в нижнем участке, где сложились условия для интенсивного развития таксонов цианобактерий, являющихся продуцентами опасных для здоровья людей и животных цианотоксинов [Chorus, Bartam, 1999]. Острота экологической проблемы обусловлена гидравлической связью водохранилища с неоген-четвертичным водоносным комплексом, используемым для водоснабжения населения города Воронежа. Так, в сентябре 2013 года в Масловском затоне относительная численность представителей рода *Microcystis* (Kütz.) Elenk. достигала 90 %, что свидетельствует о нарушении природных связей в сообществах фитопланктона.

В 2015 году кризисная ситуация в Масловском затоне проявилась в июле: сообщества фитопланктона были представлены 3 таксонами цианобактерий, характерных для загрязненных местообитаний: *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *Microcystis ichthyoblabe* Kütz., *Phormidium mucicola* Hub.-Pestalozzi et.

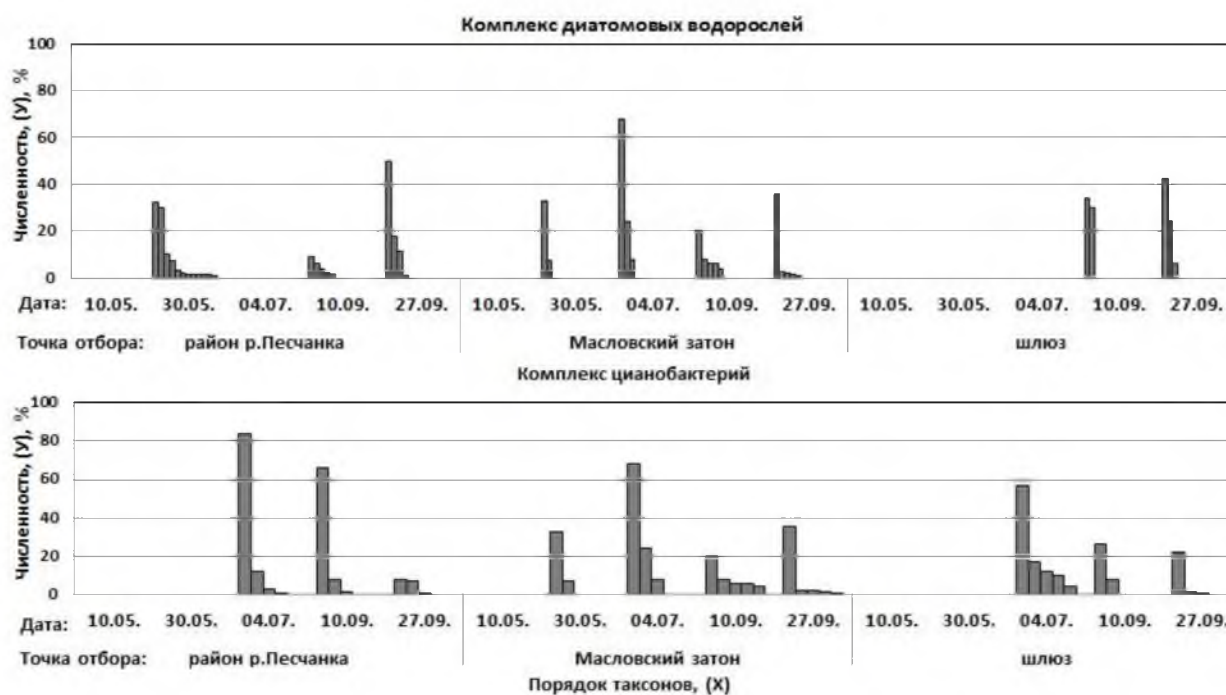


Рис. 4. Таксономическая структура сообществ микроводорослей и цианобактерий нижнего участка Воронежского водохранилища

Fig. 4. Taxonomical structure of communities of microseaweed and cyanobacteria of lower site of the Voronezh reservoir

Анализ таксономической структуры сообществ микроводорослей и цианобактерий в логарифмической системе координат (рис. 5) также подтвердил выделение трех участков в водохранилище [Беспалова, 2017а]. При этом строились степенные тренды согласно принятой методике [Разумовский, 2012].

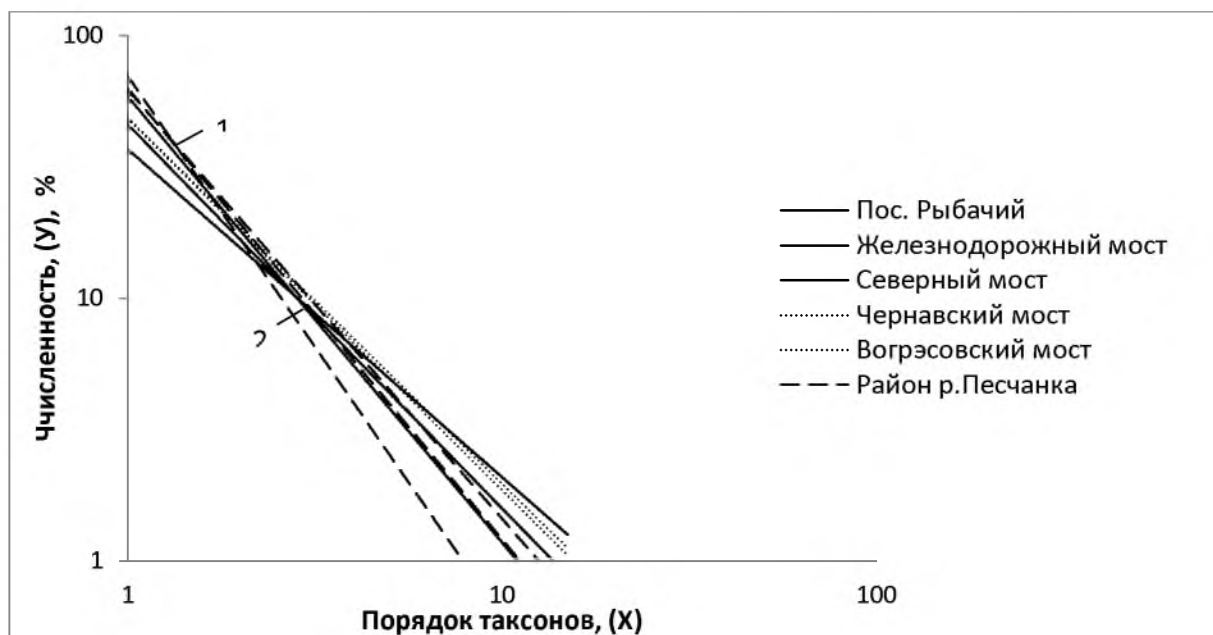


Рис. 5. Таксономическая структура сообществ микроводорослей и цианобактерий в логарифмической системе координат

Fig. 5. Taxonomical structure of communities of microseaweed and cyanobacteria in the logarithmic system of coordinates

Выявлена общая точка пересечения трендов шлюза, Масловского затона и района р. Песчанки в верхней области рисунка, что является отражением высокой роли доминантов в формировании таксономической структуры фитопланктона и микрофитобентоса нижнего участка (точка пересечения обозначена цифрой 1). Тренды Северного моста, Железнодорожного моста, пос. Рыбачий имеют общую точку пересечения в нижней области рисунка как результат низкой роли доминантов и увеличении биоразнообразия в верхнем участке (точка пересечения обозначена цифрой 2). Тренды Чернавского и Вогрэсовского мостов расположены между выделенными точками пересечения № 1 и № 2, практически параллельны между собой, что позволяет отнести их к переходному участку и еще раз подтверждает их свойства своеобразного экотона.

Дополнительно был проведен анализ степени загрязнения водохранилища по значениям индекса сапробности Пантле-Букка в модификации В. Сладечека и индекса Т. Ватанабе. В 2015 году значения индекса сапробности варьировали от 1.53 до 2.01 в течение вегетационного сезона, среднее значение 1.8. По соответствующей шкале воды оцениваются как III класс качества – «умеренно (слабо) загрязненные». Это является следствием достаточной проточности водоема, а также действием процессов самоочищения [Мишон, 2004]. Степень сапробности варьирует от олиго-бета-мезосапробной (α - β) до бета-мезосапробной (β). То есть по степени кризисности эколого-биологического состояния воды водохранилища находятся в стадии обратимых изменений. В пространственном отношении отмечается тенденция возрастания значений индекса и соответственно степени загрязнения вниз по течению (рис. 6).

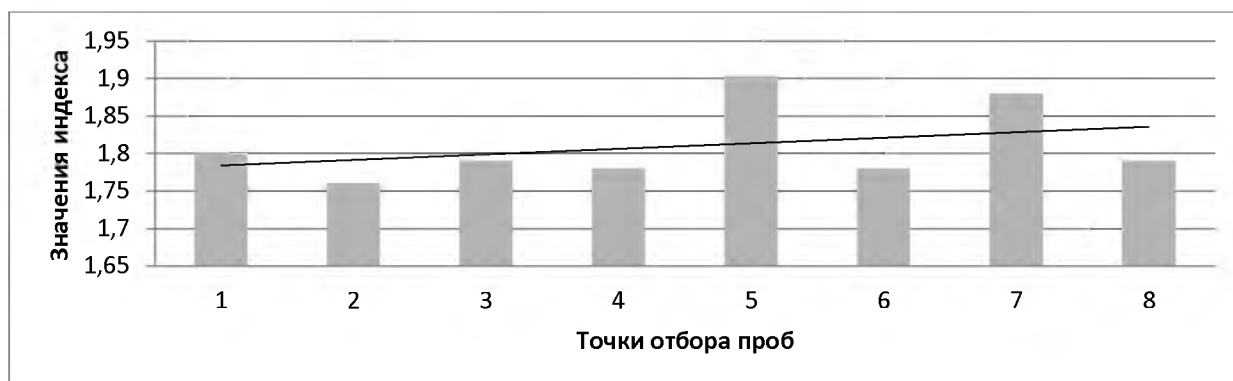


Рис. 6. Средние значения индекса Пантле-Букка в модификации В. Сладечека по точкам отprobования

Fig. 6. Average values of the Pantle-Bukh index in V. Sladchek's modification on approbation points

Согласно проведенному анализу по методу Т. Ватанабе [Барина, Медведева, 1998], более высокие значения индекса DA_{pro} отмечаются по мере приближения к верховью водохранилища, что свидетельствует о большей чистоте воды на данном участке (рис. 7). В нижнем участке значения индекса DA_{pro} колеблются около 50, в некоторых случаях их невозможно рассчитать из-за отсутствия диатомовых водорослей в структуре сообщества.

Для улучшения экологического состояния Воронежского водохранилища предлагается ряд мер, направленных на снижение антропогенного прессинга на водоем:

1) установка новых или модернизация существующих канализационных и локальных очистных систем для предотвращения попадания неочищенных талых и ливневых вод с промышленных площадок, автомобильных и железнодорожных мостов, жилой части города, что позволит снизить количество загрязняющих веществ, поступающий в водоем на всем его протяжении;

2) проведение работ по подключению к централизованной канализации частных жилых домов в районе Отрожки и Березовой рощи, микрорайона Масловка и пос. Таврово, что позволит снизить объемы сброса неочищенных коммунально-бытовых стоков в верхнем и нижнем участках водохранилища соответственно;

3) внедрение новых методов очистки или реконструкция городских очистных сооружений, что позволит снизить количество загрязняющих веществ, поступающих в нижний участок искусственного водоема.

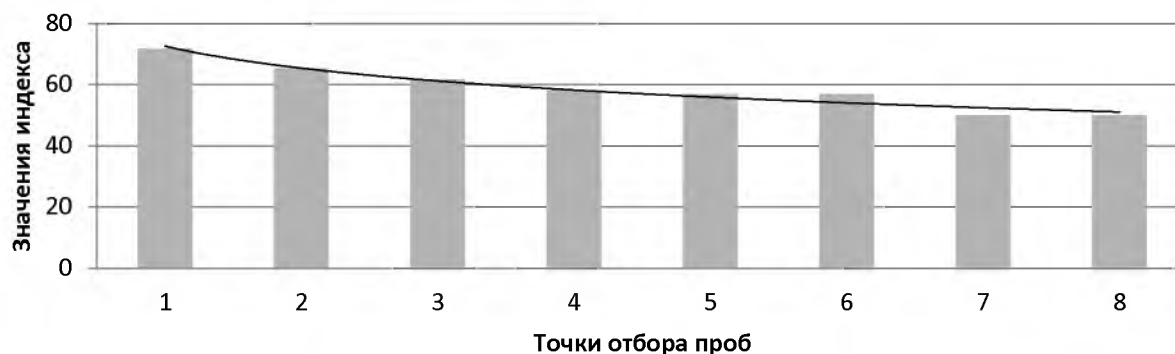


Рис. 7. Средние значения индекса Т. Ватанабе по точкам опробования

Fig. 7. Average values of the index of T. Watanabe on approbation points

Заклучение

Таким образом, разработанная модель районирования акваторий природно-антропогенных водных экосистем позволяет выделять участки различной экологической напряженности по показателям фитопланктона и микрофитобентоса, для чего были введены соответствующие критерии и их количественные градации. На основе предложенной модели проведено экологическое районирование Воронежского водохранилища. В его акватории выделено 3 участка различной экологической напряженности – верхний, средний (переходный, экотонный) и нижний. В верхнем участке наблюдается промежуточное положение между экологическим напряжением и экологическим регрессом, в среднем участке водная экосистема находится в состоянии экологического напряжения за счет проявления экотонных свойств. Ситуация в нижнем участке водохранилища характерна для уровня антропогенного экологического регресса и может рассматриваться как предполагаемый сценарий неблагоприятного развития Воронежского водохранилища. Расчет значений индекса сапробности Пантле-Букка в модификации В. Сладечека и индекса Т. Ватанабе показал увеличение степени загрязнения водоема вниз по течению. Разработанный комплекс мероприятий позволит снизить антропогенный прессинг на водоем.

Список литературы

References

1. Абакумов В.А., Сиренко Л.А. 1988. К методу контроля экологических модификаций фитоценозов. В кн.: Научные основы биомониторинга пресноводных экосистем: труды советско-французского симпозиума. Л., Гидрометиздат, 117–131.

Abakumov V.A., Sirenko L.A. 1988. To a control method of ecological modifications of fitotsenoz. In: Nauchnye osnovy biomonitringa presnovodnyh jekosistem: Trudy sovetsko-francuzskogo simpoziuma [To the method of control of ecological modifications of phytocenoses. Iss: Scientific Foundations of Biomonitoring of Freshwater Ecosystems: Works of the Soviet-French Symposium]. Leningrad, Gidrometizdat, 117–131. (in Russian)



2. Анциферова Г.А. 2001. Эволюция диатомовой флоры и межледникового осадконакопления центра Восточно-Европейской равнины. В кн.: Труды Воронежского государственного университета. Вып. 2. Воронеж, Изд-во ВГУ, 198.
Antsiferova G.A. 2001. Evolution of diatomovy flora and interglacial sedimentation of the center of the Great Russian Plain. In: Trudy Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 2. [Works of Voronezh State University. Issue 2]. Voronezh, Izd-vo VGU. 198. (in Russian)
3. Баканов А.И. 1997. Теоретические основы экологического районирования водохранилищ. Водные ресурсы, 24 (3): 336–343.
Bakanov A.I. 1997. Theoretical bases of ecological division into districts of reservoirs. Water resources. 24 (3): 336–343. (in Russian)
4. Баринова С.С., Медведева Л.А. 1998. Метод Ватанабе в оценке органического загрязнения вод. Альгология, 8 (4): 428–448.
Barinov S.S., Medvedev L.A. 1998. Watanabe's method in assessment of organic pollution of waters. Algology, 8 (4): 428-448. (in Russian)
5. Беспалова Е.В. 2017а. Геоэкологический мониторинг Воронежского водохранилища и прилегающей территории. Вода: химия и экология, (9): 28–36.
Bespalova E.V. 2017a. Geoenvironmental monitoring of the Voronezh reservoir and adjacent territory. Water: chemistry and ecology, (9): 28–36. (in Russian)
6. Беспалова Е.В. 2017б. Графический анализ структуры комплексов микроводорослей межледниковых и современных водных экосистем центра Восточно-Европейской равнины. Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология, (2): 13–20.
Bespalova E.V. 2017b. Graphical analysis of the structure of microalgae complexes in interglacial and modern aquatic ecosystems of the center of the Great Russian Plain. Bulletin of Voronezh State University. Geography series. Geocology, (2): 13–20. (in Russian)
7. Беспалова Е.В. 2017в. Оценка состояния водных экосистем Центрального Черноземья на основе анализа структурных перестроек комплексов микроводорослей и цианобактерий. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, (3): 84–95.
Bespalova E.V. 2017c. Assessment of the condition of water ecosystems of the Central Chernozem region on the basis of the analysis of restructurings of complexes of microalgas and cyanobacteria. Problems of environmental monitoring and model operation of ecosystems, (3): 84–95. (in Russian)
8. Богатиков А.В., Косинова И.И. 2013. Экологические особенности сбросов сточных вод ТЭЦ-1 в поверхностные водоемы. В кн.: Материалы второго молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив» (Воронеж, 12–13 апреля 2013 г.). Воронеж, ИПФ «Воронеж: 69–74.
Bogatikov AV, Kosinova I.I. 2013. Ecological features of sewage discharges of CHPP-1 into surface water bodies. In: Materialy vtorogo molodezhnogo innovacionnogo proekta «SHkola ehkologicheskikh perspektiv» [Materials of the second youth innovative project «School of Ecological Prospects»] (Voronezh, 12–13 April 2013). Voronezh, IPF «Voronezh: 69–74. (in Russian)
9. Васильева М.В., Натарова А.А. 2016. Влияние сточных вод на водные объекты в Воронежской области. Наука. Мысль: электронный периодический журнал, 7(1): 141–145.
Vasilyeva M.V., Natarova A.A. 2016. Influence of sewage on water objects in the Voronezh region. Science. Thought: online periodic magazine, 7(1): 141–145. (in Russian)
10. Дмитриева В.А. 2012. Вклад современных гидрометеорологических процессов в геоэкологическое состояние Воронежского водохранилища. В кн.: Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища: Материалы всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 21 ноября 2012 г.). Воронеж, Научная книга: 67–74.
Dmitriyeva VA. 2012. Contribution of modern hydrometeorological processes to a geoecological condition of the Voronezh reservoir. In: Prioritetnye napravleniya ehkologicheskoy rehabilitacii Voronezhskogo vodohranilishcha: Materialy vserssijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Priority directions of ecological rehabilitation of the Voronezh reservoir: Materials of the All-Russian scientific and practical conference] (Voronezh, 21 November 2012). Voronezh, Nauchnaya kniga: 67–74. (in Russian)
11. Доклад о государственном надзоре за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды Воронежской области в 2015 году. Воронеж: Управление Росприроднадзора по Воронежской области, 2016.



Doklad o gosudarstvennom nadzore za ispol'zovaniem prirodnyh resursov i sostoyaniem okruzhayushchej sredy Voronezhskoj oblasti v 2015 godu. Voronezh: Upravlenie Rosprirodnadzora po Voronezhskoj oblasti, 2016. (in Russian)

12. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2013 году. Управление по охране окружающей среды департамента общественной безопасности администрации городского округа город Воронеж. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2014.

Doklad o prirodohrannoj deyatelnosti gorodskogo okruga gorod Voronezh v 2013 godu. Upravlenie po ohrane okruzhayushchej sredy departamenta obshchestvennoj bezopasnosti administracii gorodskogo okruga gorod Voronezh. Voronezh: Izd-vo VGU, 2014. (in Russian)

13. Курдов А.Г. 1998. Проблемы Воронежского водохранилища. Воронеж, Изд-во Воронежского государственного университета, 168.

Kurdov A.G. 1998. Problemy Voronezhskogo vodohranilishha [Problems of the Voronezh reservoir]. Voronezh, Izd-vo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 168. (in Russian)

14. Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А. 2002. Биологическое разнообразие и методы его оценки. В кн.: География и мониторинг биоразнообразия. М., Изд-во Научного и учебно-методического центра, 9–142.

Lebedeva N.V., Krivoluckij D.A. 2002. Biologicheskoe raznoobrazie i metody ego ocenki. In: Geografija i monitoring bioraznoobrazija. [Biological diversity and methods of its assessment. Iss: Geography and monitoring of a biodiversity.] M., Izdatel'stvo Nauchnogo i uchebno-metodicheskogo centra, 9–142. (in Russian)

15. Макрушин А.В. 1974. Биологический анализ качества вод. Л.: Зоологический институт АН СССР, 60.

Makrushin A.V. 1974. Biologicheskij analiz kachestva vod [Biological analysis of quality of waters]. Leningrad: Zoologicheskij institut AN SSSR, 60. (in Russian)

16. Мишон В. М. 2004. Водоохранилища Центрального Черноземья Воронеж, 137.

Mishon V.M., 2004. Vodohranilishha Central'nogo Chernozem'ja [Reservoirs of the Central Chernozem Region]. Voronezh, 137. (in Russian)

17. Одум Ю. 1975. Основы экологии. Пер. с англ. М., Мир, 740. (Odum E.P., Odum H.T. 1953. Fundamentals of Ecology. Philadelphia: Saunders, 384).

18. Прожорина Т.И., Мокеева В.В., Дворникова В.С. 2015. Исследование возможности внедрения оборотной системы водоснабжения на автомойках г. Воронежа. Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология, (1): 61–65.

Prozhorina T.I., Mokeeva V.V., Dvornikova V.S. 2015. Research of a possibility of introduction of reverse system of water supply on car washes of Voronezh. Bulletin of Voronezh State University. Geography series. Geoecology, (1): 61-65. (in Russian)

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

Razumovsky L.V. 2012. Assessment of transformation of lake ecosystems by method of the diatomic analysis. Moscow: Geos, 199. (in Russian)

20. Сейдалиев Г.С., Ступин В.И. 2005. Мониторинг водных ресурсов Воронежской области: монография. Воронеж: изд-во им Е.А. Болховитинова, 184.

Seydaliyev G.S., Stupin V.I. 2005. Monitoring vodnyh resursov Voronezhskoj oblasti: monografiya [Monitoring of water resources of the Voronezh region: monograph]. Voronezh: publishing house to them E.A. Bolkhovitnova, 184. (in Russian)

21. Смирнова А.Я., Кислякова Е.Н. 2008. Геоэкологические проблемы Воронежского водохранилища. Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология, Воронеж, 198-201.

Smirnova A.Ya., Kislyakova E.N. 2008. Geoenvironmental problems of the Voronezh reservoir. Bulletin of Voronezh State University. Geology series, Voronezh, 198-201. (in Russian)

22. Соколова Т.В. 2015. Методика интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений искусственно созданных водных объектов в условиях природного и техногенного воздействия. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Воронеж, 23.

Sokolova T.V. 2015. Metodika integral'noj jekologo-geohimicheskoy ocenki donnyh otlozhenij iskusstvenno sozdannyh vodnyh obektov v usloviyah prirodnogo i tehnogen'nogo vozdejstviya [Technique of integral ekologo-geochemical assessment of ground deposits of artificially created water objects in the



conditions of natural and technogenic influence]. Abstract. dis. ... cand. geogr. sciences. Voronezh, 23. (in Russian)

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

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

24. Шишлова Ю.В. 2004. Эколого-фаунистическая характеристика макрозообентоса Воронежского водохранилища. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 20.

Shishlova Ju.V. 2004. Jekologo-faunisticheska ja harakteristika makrozoobentosa Voronezhskogo vodohranilishha [Ekologo-faunistichesky characteristic of a macrozoobenthos of the Voronezh reservoir]. Abstract. dis. ... cand. biol. sciences. Voronezh, 20. (in Russian)

25. Экотоны в биосфере / Под ред. В.С. Залетаева. М., РАСХН, 1997.

Jekotony v biosfere [Ecotones in the biosphere] / Pod red. V.S. Zaletaeva. M., RASHN, 1997. (in Russian)

26. Chorus I., Bartam J. 1999. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management. World Health Organization. E&FN Spon, Routledge, London, 416.

Ссылка для цитирования статьи

Reference to article

Беспалова Е.В. Экологическое районирование Воронежского водохранилища по показателям фитопланктона и микрофитобентоса // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, №3. С. 414-426. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-414-426

Bespalova E.V. Ecological Zoning of the Voronezh Reservoir Based on Indicators of Phytoplankton and Microphytobentose // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2018. V. 42, №3. P. 414-426. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-414-426