

В. А. Сенкевич, А. Н. Цыганов, Т. Г. Стойко

ЗООПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ПЕНЗЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА¹

Аннотация.

Актуальность и цели. Зоопланктон является важным компонентом пресноводных экосистем и чутко реагирует на изменение их состояния. Цель исследования – изучить временную и пространственную динамику видовой структуры зоопланктона и провести оценку состояния экосистемы Пензенского водохранилища.

Материалы и методы. Пробы для исследования зоопланктона отобраны на девяти станциях, расположенных по трем створам в акватории водохранилища ежегодно в течение 2013–2015 гг. Для описания долгосрочной динамики использована база данных по видовой структуре зоопланктона водохранилища в период с 1993 по 2007 г.

Результаты. Всего за период исследований с 1993 по 2015 г. в Пензенском водохранилище отмечено 97 видов и форм зоопланктона (коловраток – 53, ветвистоусых – 22 и веслоногих раков – 22 вида). Видовой состав зоопланктона в течение периода исследования остается относительно стабильным и преимущественно состоит из планктонных и эврибионтных видов. Отмечается появление болотных и зарослевых видов, что связано с развитием прибрежных макрофитов. Динамика основных показателей зоопланктонного сообщества по годам в течение 2013–2015 гг. в основном определяется температурой. В пространственном отношении верховья водохранилища характеризуются преобладанием реофильных видов в зоопланктонном сообществе, а срединная часть – лимнофильных.

Выводы. Видовая структура зоопланктонного сообщества в акватории Пензенского водохранилища является типичной для подобных экосистем и соответствует стадии развития водоема.

Ключевые слова: зоопланктонное сообщество, водохранилище, структурные параметры, качество воды.

V. A. Senkevich, A. N. Tsyganov, T. G. Stojko

ZOOPLANKTON COMMUNITY IN THE PENZA WATER STORAGE BASIN

Abstract.

Background. Zooplankton is an important component of freshwater ecosystems and sensitive to changes in their condition. The purpose of the research is to study the temporal and spatial dynamics of species composition of zooplankton and to estimate a state of the ecosystem of the Penza water storage basin.

Material and methods. Samples for the study were collected at nine stations located in three transects in the water area of the Penza water storage basin every year from 2013 to 2015. To describe the long-term dynamics the authors used a database of zooplankton species composition in the Penza water storage basin for the period from 1992 to 2007.

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания Пензенскому государственному университету (проект № 1315).

Results. In total, 97 species and forms of zooplankton (Rotifera – 53, Cladocera – 22 and Copepoda – 22 species) were encountered in the Penza water storage basin in 1993–2015. The species composition of zooplankton during the period remained relatively stable and consisted of planktonic and eurybiontic taxa. However, new species typical for waterlogged and water plant biotopes have appeared in the community due to intensive development of coastal macrophytes. The annual dynamics of main characteristics of the zooplankton community in 2013–2015 years was determined by temperature. The upper reaches of the Penza water storage basin were characterized by a predominance of rheophilic species in the zooplankton community, and the medial part – by limnophilic ones.

Conclusions. The species composition of the zooplankton community in the water area of the Penza water storage basin is typical for this type of ecosystems and corresponds to the developmental stage of the reservoir.

Key words: zooplankton community, water storage basin, structural characteristics, water quality.

Введение

Водохранилища представляют собой искусственные водоемы, созданные, как правило, в долинах рек для накопления и хранения воды с целью использования в хозяйстве человека. Создание водохранилищ осуществляется для рационального использования водных ресурсов: водоснабжения, обеспечения энергией, орошения и судоходства, рыбного промысла, рекреации и пр. Мониторинговые исследования экосистемы водохранилища позволяют своевременно выявить экологические проблемы и найти пути их решения. Одинаково важным при исследовании водохранилища является как оценка современного состояния водоема, так и установление тенденций развития экосистемы в будущем.

Зоопланктон – важный компонент водных экосистем. Он участвует в самоочищении водоема и составляет существенную часть кормовой базы рыб. Зоопланктеры чувствительны к изменениям факторов внешней среды и состояния экосистемы водоема. Анализируя структуру и динамику зоопланктонного сообщества, можно сделать вывод о качестве воды, что особенно важно, когда речь идет о водохранилище. Пензенское водохранилище расположено на р. Сура и является главным водным объектом Пензенской области. Водохранилище было образовано в 1979 г., и его возраст в настоящее время составляет более 35 лет. В связи с активными процессами развития водохранилища и его хозяйственного использования возникает потребность в оценке его состояния. Цель исследования – изучить временную и пространственную динамику видовой структуры зоопланктона и провести оценку состояния экосистемы Пензенского водохранилища.

Материалы и методы

Пензенское водохранилище расположено в лесостепной природной зоне в 10 км выше г. Пензы. Верховье водохранилища разделено на два рукава: правый сурский (р. Сура) и левый узинский (р. Уза). Также выделяется приплотинная часть. Площадь водохранилища составляет 110 км², объем – 0,56 км³, длина – 27 км, средняя ширина – 3,9 км, средняя глубина – 5,2 м, наибольшая глубина – 16,8 м, длина береговой линии – 109 км, средний годо-

вой сток – 1,51 км³ [1]. Общая водосборная площадь (водосборная площадь р. Суры выше плотины) достигает 13 800 км², включая водосборные площади основных питающих его рек: Узы – 5440 км², Кадады – 3620 км², Суры – 4740 км² [2]. Правый берег крутой и лесистый, левый – пологий. Вдоль береговой зоны по левому берегу расположены населенные пункты и животноводческие фермы. Большие площади заняты под посевом сельскохозяйственных культур. Распашка земель ведется вплоть до уреза воды. Отсутствие высшей водной растительности в прибрежной зоне приводит к эрозии и разрушению берегов и создает высокую мутность воды. Уровень воды в течение года колеблется до 5 м с минимумом в марте и максимумом в мае. Весна на водохранилище начинается в конце марта – начале апреля. Безледный период длится с конца апреля до начала декабря [3].

Отбор проб зоопланктона проводили один раз в год в конце августа – начале сентября в период с 2013 по 2015 г. Для изучения были выбраны три станции, расположенные по трем створам в акватории водохранилища: сурский (створ 1), узинский (створ 2) и срединный (створ 3) (рис. 1). Тридцать литров поверхностной воды процеживали через сеть Апштейна (размер ячеек 0,1–0,15 мм) в пластмассовые емкости и фиксировали 4 % раствором формалина. Во время взятия проб на каждой станции измеряли температуру воды, прозрачность, глубину. Прозрачность определяли с помощью диска Секки по стандартной методике. Глубину измеряли при помощи ручного лота. Всего обработано 27 проб зоопланктона.



Рис. 1. Карта Пензенского водохранилища с указанием расположения створов

Для изучения долгосрочной динамики использовали базу данных (163 пробы) по видовой структуре сообщества зоопланктонных организмов Пензенского водохранилища за 1993–1997 гг., 2000–2001 гг., 2003 г. и 2006–2007 гг., материалы которой были опубликованы в работах Стойко, Миловановой [4], Миловановой [3], Стойко [5], Стойко, Янкина [6]. В период с 1993 по 1998 г. пробы были взяты в рукавах и срединной части водохранилища ежемесячно в течение вегетационного сезона. Помимо этого, пробы отбирали в приплотинной части водохранилища ежемесячно в течение всего года. В 2000-х гг. был проведен отбор проб в рукавах и срединной части водохранилища однократно в течение вегетационного сезона.

В лаборатории пробу зоопланктона сгущали до 200 мл отстаиванием. Затем всех особей зоопланктонных организмов определяли и подсчитывали в камере Богорова (объемом 2 мл) прямым микроскопированием (бинокуляр ЛОМО МСП-1, увеличение $\times 40$). При необходимости особей определяли под микроскопом (Биомед-6 ПР2, увеличение $\times 400$). Для видовой идентификации использовали пособия [7, 8]. Биомассу зоопланктона рассчитывали по таблицам зависимости массы организмов от длины тела [9].

На основе полученных данных по видовой структуре зоопланктонных сообществ рассчитывали видовое богатство (S), плотность (N) тыс. экз./м³, биомассу (B) г/м³, доминирующие виды, относительное обилие таксономических групп, а также индексы Раупа – Крика и Шеннона [9–11]. Комплекс доминантных видов оценивали по численности и биомассе: $d = N / \sum N_i \times 100$, где N – численность особей данного вида; $\sum N$ – общая численность особей всех видов. Доминантными считали виды, доля которых от общего числа организмов составляет 10 % и более [12]. Для определения трофического состояния прудов и качества воды рассчитывали коэффициент трофии (E), индекс сапробности по Пантле и Букк в модификации Сладечека [13, 14]. Все расчеты проводили с помощью программ MS Excel 2010 и Past 2,15.

Результаты и обсуждение

Всего в пробах за 2013–2015 гг. обнаружен 41 вид и подвид зоопланктонных организмов (табл. 1): коловраток – 27, ветвистоусых раков – 9 и веслоногих раков – 5. В основном видовой состав Пензенского водохранилища представлен планктонными и эвритопными организмами. Три вида встречались во всех пробах (коловратка *K. c. tecta*, ветвистоусые раки *B. coregoni* и *D. cucullata*). *K. c. tecta* является доминантом по численности на всех станциях (среднее относительное обилие во всех пробах – 33 %), *D. cucullata* доминирует по биомассе на девятнадцати станциях (среднее относительное обилие – 24 %), *B. coregoni* – на восьми станциях (среднее относительное обилие – 9 %). Восемь видов были обнаружены лишь в одной пробе: коловратки *B. calyciflorus*, *B. diversicornis*, *L. scutata*, *T. elongata*, *T. rattus*; ветвистоусые раки *D. longispina*, *D. rostrata*, *G. testudinaria*. Восемь видов отмечены впервые в фауне водохранилища: коловратки *B. budapestiensis*, *L. scutata*, *P. eurypetra*, *S. oblonga*, *T. capucina*, *T. elongata* и ветвистоусые раки *D. rostrata* и *G. testudinaria*. Среднее количество видов на станции за 2013–2015 гг. изменялось в пределах от 7 до 24 со средним значением $15 \pm 1,1$ (стандартная ошибка среднего).

Таблица 1

Видовой состав зоопланктона Пензенского водохранилища на трех створах (1 – сурский, 2 – узинский, 3 – срединный) в 2013–2015 гг.

| Виды | Створы | | | 2013 | | | 2014 | | | 2015 | | |
|---|--------|---|---|------|---|---|------|---|----|------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | | |
| Rotifera | | | | | | | | | | | | |
| <i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851) | – | – | – | – | – | – | + | + | + | | | |
| <i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850) | + | + | – | – | + | – | – | + | – | | | |
| <i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>B. budapestiensis</i> (Daday, 1885) | – | – | – | – | + | – | – | + | – | | | |
| <i>B. calyciflorus</i> (Pallas, 1776) | – | + | – | – | – | – | – | – | – | | | |
| <i>B. diversicornis</i> (Daday, 1883) | – | – | – | – | + | – | – | – | – | | | |
| <i>B. d. homoceros</i> (Wierzejski, 1891) | – | – | – | – | – | – | + | – | – | | | |
| <i>B. quadridentatus quadridentatus</i> (Hermann, 1783) | + | – | – | – | – | – | – | + | – | | | |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834) | – | + | – | – | – | – | + | – | – | | | |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>K. c. tecta</i> (Gosse, 1851) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>K. quadrata</i> (Müller, 1786) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>Lecane scutata</i> (Harring et Myers, 1926) | – | – | – | + | – | – | – | – | – | | | |
| <i>Polyarthra dolichoptera</i> (Idelson, 1925) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>P. major</i> (Burckhardt, 1900) | – | – | – | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>P. euryptera</i> (Wierzejski, 1891) | – | – | – | – | + | + | + | + | + | | | |
| <i>Pompholyx sulcata</i> (Hudson, 1885) | + | + | – | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>Rotaria</i> sp. | – | – | + | – | + | + | – | – | – | | | |
| <i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832) | – | – | – | – | + | – | – | – | – | | | |
| <i>S. oblonga</i> (Ehrenberg, 1831) | + | + | + | – | – | – | – | + | + | | | |
| <i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893) | + | – | – | – | – | – | + | + | + | | | |
| <i>T. tenuior</i> (Gosse, 1886) | – | – | – | + | + | – | – | – | – | | | |
| <i>T. capucina</i> (Wierzejski et Zacharias, 1893) | – | + | – | – | + | – | + | + | – | | | |
| <i>T. elongata</i> (Gosse, 1886) | – | – | – | + | – | – | – | – | – | | | |
| <i>T. pusilla</i> (Lauterborn, 1898) | – | – | – | + | + | – | + | + | – | | | |
| <i>T. rattus</i> (Müller, 1776) | – | – | – | – | + | – | – | – | – | | | |
| Cladocera | | | | | | | | | | | | |
| <i>Bosmina cf. coregoni</i> (Baird, 1857) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>B. longirostris</i> (O. F. Müller, 1785) | + | + | + | – | – | – | – | – | – | | | |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller, 1785) | – | – | – | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>Daphnia cucullata</i> (Sars, 1862) | + | + | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>D. longispina</i> (O. F. Müller, 1785) | – | – | – | – | – | – | – | – | + | | | |
| <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848) | – | – | – | + | + | + | + | + | + | | | |
| <i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841) | – | – | – | – | + | – | – | – | – | | | |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1851) | – | – | – | – | – | + | – | – | – | | | |
| <i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844) | – | – | – | – | + | + | – | + | – | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Соперода | | | | | | | | | |
| <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863) | + | – | + | + | – | + | – | – | – |
| <i>Acanthocyclops americanus</i> (Marsh, 1893) | – | – | – | + | + | + | – | – | – |
| <i>A. venustus</i> (Norman et Scott, 1906) | – | – | – | – | – | – | + | + | + |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857) | + | + | + | + | + | + | – | – | – |
| <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863) | – | – | – | + | + | + | + | + | + |
| Количество видов | 16 | 16 | 13 | 20 | 27 | 20 | 21 | 24 | 19 |

Анализ базы данных показал, что за период с 1993 по 2007 г. всего обнаружено 88 видов зоопланктонных организмов: коловраток – 46, ветвистоусых – 20 и веслоногих раков – 22 вида. По данным Г. Ф. Миловановой [3], видовой состав сообщества зоопланктона по акватории водохранилища в летнее время 1992–1998 гг. представлен 64 видами: коловраток – 38, ветвистоусых – 22 и веслоногих раков – 14. Доминантный комплекс сформирован следующими видами: *A. priodonta*, *K. quadrata*, *K. cochlearis*, *Synchaeta* sp., *B. coregoni*, *B. longirostris*, *Ch. sphaericus*, *D. cuculata*, *Sida crystallina* (O. F. Müller, 1776), *E. gracilis*, *A. vernalis*, *Cyclops vicinus* (Uljanin, 1875), *C. scutifer* (Sars, 1863), *M. leuckarti*, науплиусы, копеподиты. В 2006–2007 гг. в акватории водохранилища было обнаружено по 33–34 вида зоопланктеров [5, 6]. На приплотинном участке в течение 1992–1998 гг. обнаружено 75 видов и форм зоопланктонных организмов: коловраток – 35, ветвистоусых – 21 и веслоногих раков – 19. В этот период чаще всего встречались: *K. quadrata*, *K. longispina*, *Daphnia galeata* (Sars, 1864), *B. longirostris*, *B. coregoni*, *L. kindti*, *Ch. sphaericus*, *E. gracilis*, *Diacyclops languidoides* (Lilljeborg, 1901), *Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853), *M. leuckarti*, *C. scutifer*. Кроме того, отмечено постоянное обилие ювенильных стадий Соперода и Calanoida. Среди доминантов в эти годы были выделены: *B. coregoni*, *B. longirostris*, *Ch. sphaericus*, *D. cuculata*, *D. galeata*, *E. gracilis*, *A. vernalis*, *M. leuckarti*, науплиусы, копеподиты, личинки диаптомусов. Таким образом, структура доминантного комплекса зоопланктонного сообщества Пензенского водохранилища остается относительно стабильной на протяжении всего периода исследования.

Видовой состав зоопланктона в Пензенском водохранилище спустя 35 лет со дня его образования является типичным для водохранилищ на данной стадии развития. До зарегулирования р. Суры на участке будущего Пензенского водохранилища (верхнее течение реки) было обнаружено 40 видов и форм зоопланктонных организмов. Из них коловраток – 34, ветвистоусых – 2 и веслоногих раков – 4 вида [15]. Коловратки преобладали как по числу видов, так и по численности. Сообщество зоопланктона р. Суры было типично коловратным. Господствующая группа – брахиониды. Видовой состав сурского планктона в общем был сходен с окским и волжским до зарегулирования [16]. В Волге до зарегулирования на первом месте по численности стояли: *K. quadrata*, *K. cochlearis*, *A. priodonta*, *B. angularis*, *B. calyciflorus*, *Brachionus bennini* (Leissling, 1924); в Оке – *B. angularis*, *B. calyciflorus*, *B. quadridentatus*; в Суры – *B. calyciflorus*, *B. angularis*, *A. priodonta*, *F. longiseta* (виды даны в порядке убывания их численности). Данные о видовом

составе зоопланктона в Пензенском водохранилище в первые годы (1979–1993 гг.) после зарегулирования отсутствуют. Однако результаты первых исследований (1992–1997 гг.) указывают на формирование в водоеме зоопланктонного сообщества с преобладанием лимнофильных видов [3].

Зоопланктонное сообщество речных экосистем является преимущественно коловратным [17, 18]. После зарегулирования происходит перестройка зоопланктонного сообщества, которая проходит в три стадии. Первая из них – разрушение существовавших до затопления реофильных, фитофильных и других группировок и заселение затопленной суши и толщи воды экологически разнородным населением. Вторая стадия – образование временных группировок, в зоопланктоне – массовое появление рачков и коловраток. В первые годы существования водохранилища наблюдается наибольшее количество таксонов. Это связано с тем, что в водохранилище формируется новый комплекс зоопланктона из большого количества биотопов – рек, прудов, озер, болот и др. Для третьей стадии характерно уменьшение видового разнообразия зоопланктона. Доля коловраток снижается, и начинают преобладать ракообразные. Когда процесс формирования экосистемы водохранилища завершается, сообщество зоопланктона становится лимнофильным, а его видовой состав – относительно постоянным [17, 19, 20].

Основной тенденцией в изменении видового состава зоопланктонного сообщества в Пензенском водохранилище является появление зарослевых и болотных видов, что происходит в результате зарастания береговой зоны макрофитами. Половина из вновь обнаруженных видов в период 2013–2015 гг. зарослевые или болотные: *L. scutata*, *T. capucina*, *T. elongata*, *G. testudinaria*. В 2013 г. таких видов отмечено всего два: на втором створе (узинский рукав) обнаружена коловратка *T. capucina*, живущая как в пелагиале, так и в прибрежных и заболоченных биотопах; на первом створе (сурский рукав) найден еще один вид *T. similis*, предпочитающий прибрежные и заиленные участки. В 2014 г. зоопланктонное сообщество характеризуется большей долей зарослевых видов: на первом створе – коловратки *L. scutata*, *T. tenuior*, *T. elongata* и *T. pusilla*; на втором – *T. tenuior*, *T. capucina*, *T. pusilla* и *T. rattus*; на третьем (срединный створ) – только ветвистоусый рак *G. testudinaria*. В 2015 г. по всей акватории встречается *T. similis*, на первом и втором створах отмечены *T. capucina* и *T. pusilla*. Следует отметить, что три зарослевых вида из рода *Trichocerca* уже были зарегистрированы в водохранилище в 2003 и 2007 г. Появление зарослевых видов является закономерным результатом сукцессионного процесса в водохранилищах [21]. При сохранении современных тенденций зарастания макрофитами количество и численность зарослевых видов в структуре сообщества зоопланктона может увеличиваться.

Наибольшее количество видов зоопланктона в период с 2013 по 2015 г. отмечено в 2014 г., что может быть связано с максимальными значениями температуры воды за исследуемый период. Всего в 2014 г. был обнаружен 31 вид зоопланктеров (коловраток – 20, ветвистоусых – 7 и веслоногих раков – 4 вида). Наименьшее количество видов обнаружено в 2013 г. с более низкими значениями температуры (20 видов зоопланктонных организмов, из них коловраток – 15, ветвистоусых раков – 3 и веслоногих раков – 2 вида). В этом году также отмечены минимальные значения среднего количества видов и биомассы в пробе (рис. 2). В 2015 г. обнаружено 27 видов зоопланктона (коловраток – 19, ветвистоусых – 6, веслоногих раков – 2 вида).

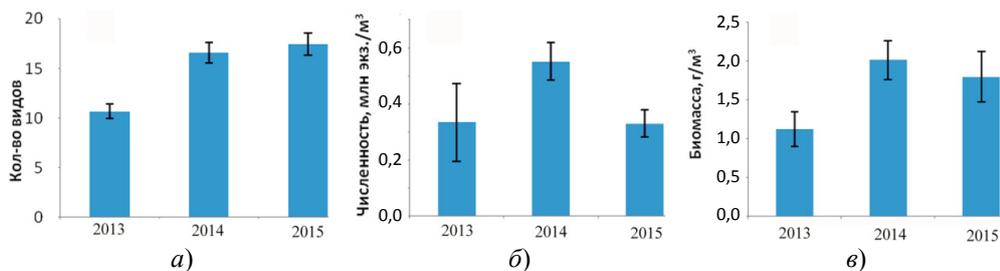


Рис. 2. Динамика среднего количества видов на станции (а), численности (б) и биомассы (в) зоопланктона в Пензенском водохранилище в 2013–2015 гг.

В течение всего периода с 2013 по 2015 г. в сообществе зоопланктона численно преобладают коловратки, однако их доля снижается на протяжении всего периода, а доля ракообразных увеличивается (рис. 3,а). Комплекс доминантов зоопланктонного сообщества по численности представлен коловратками (*K. c. tecta*, *P. major*, *P. sulcata* и *S. oblonga*) и науплиальными личинками циклопов. Годовая динамика видовой структуры сообщества по численности определяется температурой воды, благодаря чему в относительно холодный 2013 г. (температура воды 17 °С) в сообществе преобладает *S. oblonga* (рис. 4,а). В 2014 г. в сообществе преобладает *P. sulcata* (триптобактериофаг), а в 2015 г. – *P. major* (фитофаг), что может быть связано с более активным развитием и отмиранием фитопланктона из-за более высокой температуры воды в 2014 г. По биомассе в структуре сообщества преобладают ракообразные: в 2013 г. доминируют веслоногие раки (54 %), а в 2014–2015 гг. – ветвистоусые раки (53 и 54 % соответственно) (рис. 3,б). Благодаря высокой численности в 2013 г. в сообществе доминирует по биомассе коловратка *S. oblonga*, к которой присоединяются ракообразные (ветвистоусые раки *D. cucullata*, *D. brachyurum*, *L. kindtii* и веслоногие раки *A. americanus*, *A. venustus*, *M. leuckarti*, а так же их копеподные и науплиальные личинки). Годовая динамика в структуре сообщества по биомассе также определяется температурой воды, благодаря чему сохраняется доминирование *S. oblonga* по биомассе (рис. 4,б). Однако различия в структуре сообщества по биомассе между 2014 и 2015 г. связаны с преобладанием в 2014 г. хищного вида *L. kindtii*, который выедает ветвистоусых раков, в частности *D. cucullata*. В 2015 г. доминируют *D. cucullata* и *A. venustus*. Таким образом, динамика таксономической структуры зоопланктонного сообщества от года к году определяется температурой и, по-видимому, опосредованно межвидовыми отношениями.

Динамика зоопланктонного сообщества от года к году связана с постоянным изменением условий обитания в водохранилище и зависит от многих факторов (температура, ветровой режим, уровень воды, степень зарастания берегов и пр.), в том числе вселения новых видов из других водоемов [22, 23]. Существенное влияние температурного режима на обилие зоопланктона Пензенского водохранилища было также установлено по результатам исследований 1992–1994 гг., которые показали, что повышение численности зоопланктоценоза, совпадает с периодами наибольшего прогрева воды и процессами первичной продукции (развитием водорослей в водоеме) [4].

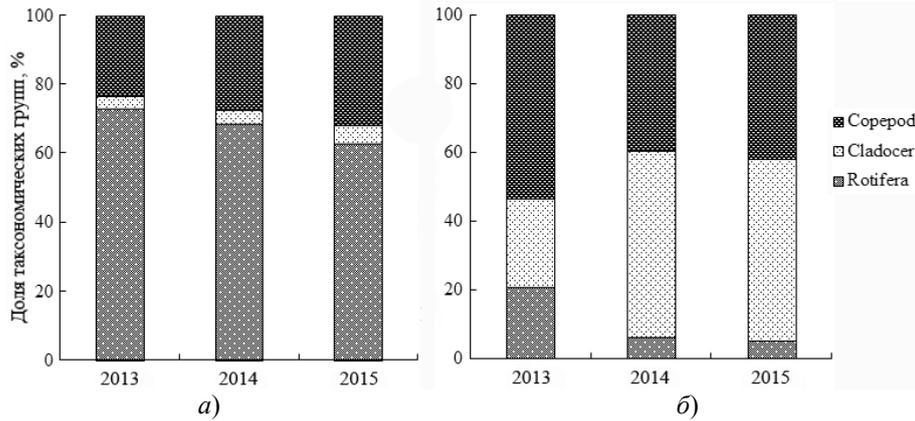


Рис. 3. Динамика таксономической структуры зоопланктонного сообщества в Пензенском водохранилище по численности (а) и биомассе (б) в период с 2013 по 2015 г.

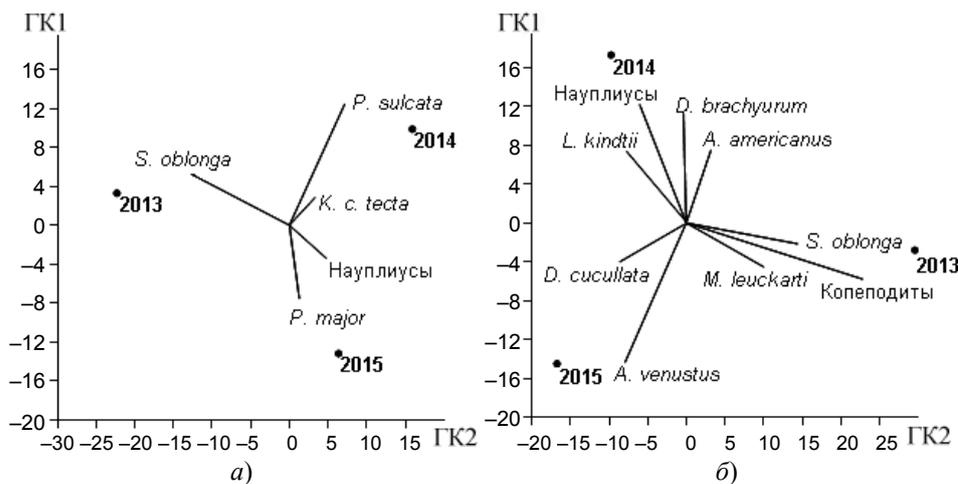


Рис. 4. Результаты ординации зоопланктонного сообщества по доминирующим видам методом главных компонент на основе численности (а) и биомассы (б): а – первая главная компонента GK1 объясняет 73,7 % различий, вторая главная компонента GK2 – 26,3 %; б – GK1 – 67,6 %, GK2 – 32,4 %

По данным за 2013–2015 гг., видовое богатство и численность зоопланктона ниже в срединном створе по сравнению с сурским и узинским, в то время как в распределении биомассы не было выраженных закономерностей (рис. 5). При этом отмечена пространственная неоднородность в структуре сообщества зоопланктона (по численности), связанная с преобладанием коловраток в рукавах водохранилища, а веслоногих раков в срединной части. Доля коловраток в рукавах водохранилища составляла 61–86 %, в то время как в срединной части она была стабильно ниже и изменялась в пределах от 49 до 55 %. Напротив, доля веслоногих раков в срединной части была 37–48 %, а в рукавах водохранилища – всего 11–34 %. Доля ветвистоусых раков на всех створах была небольшой и изменялась в пределах от 3 до 9 % (рис. 6,а). Анализ пространственного распределения сообщества зоопланктона по биомассе показал, что вклад коловраток сообщества значительно снижался и не

превышал 35 % (рис. 6,б). При этом сохранялись закономерности их пространственного распределения, т.е. снижение их доли в срединной части водохранилища. Доля веслоногих раков по биомассе стабильна (36–44 %) за исключением третьего створа в 2013 г., где она сильно возросла (81 %). Значительно увеличивается вклад ветвистоусых раков в структуру сообщества (50–60 %), однако без формирования устойчивых пространственных структур (рис. 6). Подобная пространственная изменчивость структуры сообщества с уменьшением доли коловраток в срединной части водохранилища отмечается также по данным 2006–2007 гг. Таким образом, зоопланктон срединной части водохранилища имеет черты озерной экосистемы (преобладание ракообразных), а рукава подвержены значительному влиянию речного стока. Аналогичные закономерности были отмечены и в Углическом водохранилище, где в нижнем приплотинном и глубоководном участках также усиливается роль ракообразных [24]. По видовому составу и богатству население водохранилища занимает промежуточное положение между речным и озерным. В водохранилищах речного типа в верхнем участке сохраняются речные условия и речное население, в средней части флора и фауна носят промежуточный характер, а в приплотинной зоне приобретают озерные черты [17, 25].

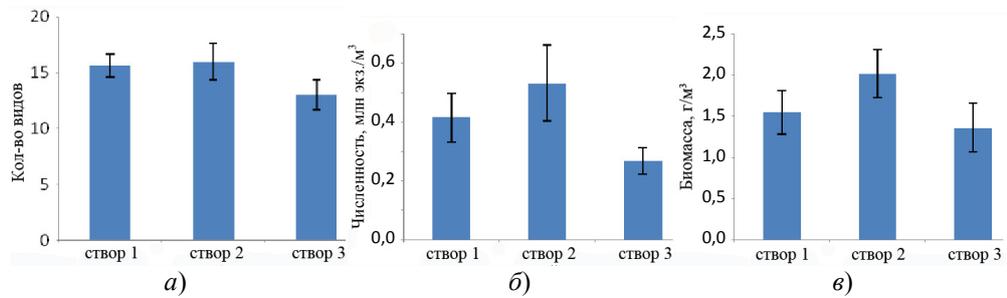


Рис. 5. Динамика среднего количества видов на станции (а), численности (б) и биомассы (в) зоопланктона по створам (1 – сурский, 2 – узинский, 3 – срединный) в Пензенском водохранилище в 2013–2015 гг.

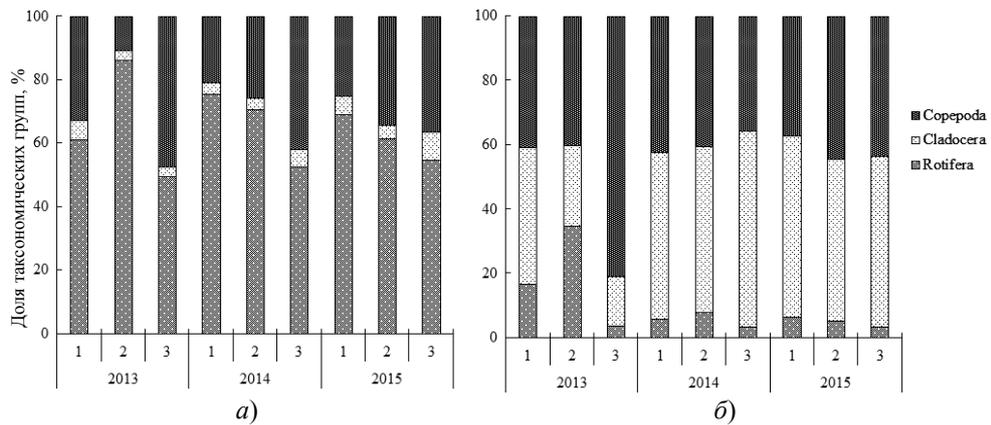


Рис. 6. Пространственное распределение (1 – сурский створ, 2 – узинский, 3 – срединный) таксономической структуры зоопланктонного сообщества в Пензенском водохранилище по численности (а) и биомассе (б)

Согласно индексам Шеннона, сапробности Пантле и Букк и коэффициенту трофии вода Пензенского водохранилища характеризуется в 2013 г. как загрязненная и в 2014–2015 гг. как умеренно загрязненная (табл. 2). Качество воды Пензенского водохранилища в период с 1992 по 2007 г. изменяется не существенно и характеризуется как умеренно загрязненная (III класс качества) [3, 4, собственные данные]. Это свидетельствует о том, что экосистема водохранилища находится в динамическом равновесии и устойчиво функционирует при существующем уровне антропогенной нагрузки.

Таблица 2

Индексы Шеннона (H), Пантле и Букк (S) и коэффициент трофии (E) в сообществе зоопланктона Пензенского водохранилища

| | H _N | H _B | E | S | Класс качества воды | Качество воды |
|-------------|----------------|----------------|------|------|---------------------|-----------------------|
| 2013 | 2,01 | 2,15 | 2,73 | 1,55 | IV | Загрязненные |
| 2014 | 1,87 | 2,37 | 0,78 | 1,39 | III | Умеренно загрязненные |
| 2015 | 2,23 | 2,08 | 2,06 | 1,49 | III | Умеренно загрязненные |

Заключение

Всего за период исследований с 1993 по 2015 г. в Пензенском водохранилище отмечено 97 видов и форм зоопланктона. Из них коловраток – 53, ветвистоусых – 22 и веслоногих раков – 22 вида. Зоопланктонное сообщество Пензенского водохранилища во временной динамике проходит типичные стадии развития. До зарегулирования зоопланктонное сообщество р. Суры было коловратным. Несмотря на отсутствие данных по зоопланктонным сообществам в первые годы существования водохранилища, результаты исследований последующих годов свидетельствуют о том, что речное коловратное сообщество зоопланктона, существующее до создания водохранилища, сменилось прудовым сообществом, где по биомассе преобладают ракообразные. Доля коловраток продолжает падать, но сохраняется в верховьях в связи с реофильностью этого участка водохранилища. Значение ракообразных как доминантов зоопланктонного сообщества продолжает увеличиваться. В настоящее время водохранилище имеет тенденцию к зарастанию высшей водной растительностью, о чем свидетельствует появление зарослевых и болотных видов зоопланктона. Можно предположить, что дальнейшее развитие водохранилища будет направлено в сторону еще большего возрастания доли зарослевых видов зоопланктона.

Выражаем благодарность А. Ю. Асанову, кандидату биологических наук, старшему научному сотруднику, заведующему лабораторией исследований биоресурсов пресноводных водоемов (по Пензенской области и Республике Мордовия) Краснодарского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, за организацию полевых работ на Пензенском водохранилище.

Список литературы

1. **Асанов, А. Ю.** Водные биологические ресурсы Пензенской области. Сурское водохранилище / А. Ю. Асанов // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 14–25.

2. **Абрамов, Б. В.** Об экологических проблемах, связанных с эксплуатацией Пензенского водохранилища на реке Сура / Б. В. Абрамов, Б. В. Лисин, Е. Л. Лебедев, Н. В. Мартынова // Водохозяйственный комплекс России: состояние, проблемы, перспективы : сб. материалов науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию Сурского гидроузла. – Пенза : РИО ПГСХА, 2003. – С. 3–11.
3. **Милованова, Г. Ф.** Экологический мониторинг зоопланктона р. Суры и Сурского водохранилища : дис. ... канд. биол. наук / Милованова Г. Ф. – М., 2000. – 189 с.
4. **Стойко, Т. Г.** Зоопланктон Сурского водохранилища / Т. Г. Стойко, Г. Ф. Милованова // ПОЛЕ. Научно-популярный экологический вестник. – Пенза : ПГПУ, 1996. – Вып. 1. – С. 40–48.
5. **Стойко, Т. Г.** Видовое разнообразие, распределение и структура Cladocera Пензенского водохранилища / Т. Г. Стойко // Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология. – Нижний Новгород : Вектор ТиС, 2007. – С. 332–335.
6. **Стойко, Т. Г.** Современное состояние сообщества зоопланктона Пензенского водохранилища / Т. Г. Стойко, А. В. Янкин // Поволжский экологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 89–94.
7. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зоопланктон. – М. ; СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т. 1. – 495 с.
8. **Стойко, Т. Г.** Планктонные коловратки Пензенских водоемов / Т. Г. Стойко, Ю. А. Мазей. – Пенза : Изд-во ПГПУ, 2006. – 134 с.
9. **Мордухай-Болтовский, Ф. Д.** Материалы по среднему весу беспозвоночных бассейна Дона / Ф. Д. Мордухай-Болтовский // Тр. проблемного и тематического совещания. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1954. – Вып. 2. – С. 223–241.
10. **Андроникова, И. Н.** Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов / И. Н. Андроникова. – СПб. : Наука, 1996. – 189 с.
11. Методы биологического анализа пресных вод. – Л. : Зоол. ин-т АН СССР, 1976. – 168 с.
12. **Абакумов, В. А.** Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / В. А. Абакумов. – СПб. : Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
13. **Мяэметс, А. Х.** Изменения зоопланктона / А. Х. Мяэметс // Антропогенное воздействие на малые озера. – Л. : Наука, 1980. – С. 54–64.
14. **Sladecsek, V.** System of water quality from biological point of view / V. Sladecsek // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. – 1973. – № 7. – 218 p.
15. **Бузакова, А. М.** Годовая динамика зоопланктона реки Суры / А. М. Бузакова // Эколого-фаунистические исследования в нечерноземной зоне Европейской части СССР. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1978. – Вып. 1. – С. 66–72.
16. **Душин, Н. А.** Фауна реки Суры / Н. А. Душин, А. М. Бузакова, А. Г. Каменев. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1983. – 88 с.
17. **Константинов, А. С.** Общая гидробиология / А. С. Константинов. – М. : Высшая школа, 1986. – 472 с.
18. **Крылов, А. В.** Зоопланктон равнинных малых рек / А. В. Крылов. – М. : Наука, 2005. – 263 с.
19. **Дзюбан, Н. А.** Зоопланктон зарегулированной Волги / Н. А. Дзюбан // Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. – М. : Наука, 1984. – С. 60–73.
20. **Тимохина, А. Ф.** Зоопланктон как компонент экосистемы Куйбышевского водохранилища / А. Ф. Тимохина. – Тольятти : Изд-во Самарского научного центра РАН, 2000. – 193 с.
21. **Зилов, Е. А.** Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем) : учеб. пособие / Е. А. Зилов. – Иркутск : Иркут. ун-т, 2008. – 138 с.

22. Лазарева, В. И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища / В. И. Лазарева. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 183 с.
23. Романова, Е. П. Многолетняя динамика видового обилия зоопланктона Куйбышевского водохранилища / Е. П. Романова // Теоретические проблемы и эволюции. Теория, виды, сообщества, экосистемы (V Люблинские чтения). – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2010. – С. 159–164.
24. Столбунова, В. Н. Многолетние изменения зоопланктонного комплекса в Ивановском и Угличском водохранилищах / В. Н. Столбунова // Биология внутренних вод. – 1999. – № 1–3. – С. 92–100.
25. Шурганова, Г. В. Динамика пространственного распределения основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища / Г. В. Шурганова, В. В. Черепенников, Е. В. Артельный // Поволжский экологический журнал. – 2003. – № 3. – С. 297–304.

References

1. Asanov A. Yu. *Vestnik AGTU. Ser.: Rybnoe khozyaystvo* [Bulletin of ASTU. Series: Fishery]. 2015, no. 1, pp. 14–25.
2. Abramov B. V., Lisin B. V., Lebedev E. L., Martynova N. V. *Vodokhozyaystvennyy kompleks Rossii: sostoyanie, problemy, perspektivy: sb. materialov nauch.-prakt. konf., posvyashch. 25-letiyu Surskogo gidrouzla* [The hysroeconomic sector of Russia: condition, problems, prospects: proceedings of the Scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the Sura hydrosystem]. Penza: RIO PGSKhA, 2003, pp. 3–11.
3. Milovanova G. F. *Ekologicheskij monitoring zooplanktona r. Sury i Surskogo vodokhranilishcha: dis. kand. biol. nauk* [Ecological monitoring of zooplankton of the Sura river and the Sura reservoir]. Moscow, 2000, 189 p.
4. Stojko T. G., Milovanova G. F. *POLE. Nauchno-populyarnyy ekologicheskij vestnik* [POLE. Popular science bulletin of ecology]. Penza: PGPU, 1996, iss. 1, pp. 40–48.
5. Stojko T. G. *Vetvistousye rakoobraznye: sistematika i biologiya* [Cladocera: taxonomy and biology]. Nizhniy Novgorod: Vektor TiS, 2007, pp. 332–335.
6. Stojko T. G., Yankin A. V. *Povolzhskiy ekologicheskij zhurnal* [Volga region ecological journal]. 2008, no. 4, pp. 89–94.
7. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. Zooplankton* [Identification guide to zooplankton and zoobenthos of waters in European Russia. Zooplankton]. Moscow; Saint-Petersburg: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, vol. 1, 495 p.
8. Stojko T. G., Mazei Yu. A. *Planktonnye kolovratki Penzenskikh vodoemov* [Planktonic rotifers of Penza water bodies]. Penza: Izd-vo PGPU, 2006, 134 p.
9. Mordukhay-Boltovskiy F. D. *Tr. problemnogo i tematicheskogo soveshchaniya* [Proceedings of the meeting on problems and topics]. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1954, iss. 2, pp. 223–241.
10. Andronikova I. N. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov* [Structural and functional organization of zooplankton of lake ecosystems of various trophic types]. Saint-Petersburg: Nauka, 1996, 189 p.
11. *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod* [Methods of biological analysis of fresh waters]. Leningrad: Zool. in-t AN SSSR, 1976, 168 p.
12. Abakumov V. A. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Guide to hydrobiological monitoring of fresh-water ecosystems]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992, 318 p.
13. Myaemets A. Kh. *Antropogennoe vozdeystvie na malye ozera* [Anthropogenic impact on small lakes]. Leningrad: Nauka, 1980, pp. 54–64.
14. Sladeczek V. *Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol.* 1973, no. 7, 218 p.

15. Buzakova A. M. *Ekologo-faunisticheskie issledovaniya v nechernozemnoy zone Evropeyskoy chasti SSSR* [Ecological and faunistic research in the non-chernozem area of the European part of USSR]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 1978, iss. 1, pp. 66–72.
16. Dushin N. A., Buzakova A. M., Kamenev A. G. *Fauna reki Sury* [The Sura river fauna]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 1983, 88 p.
17. Konstantinov A. S. *Obshchaya gidrobiologiya* [General hydrobiology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1986, 472 p.
18. Krylov A. V. *Zooplankton ravninnykh malykh rek* [Zooplankton of small lowland rivers]. Moscow: Nauka, 2005, 263 p.
19. Dzyuban N. A. *Biologicheskaya produktivnost' i kachestvo vody Volgi i ee vodokhranilishch* [Biological productivity and quality of water in the Volga river and its reservoirs]. Moscow: Nauka, 1984, pp. 60–73.
20. Timokhina A. F. *Zooplankton kak komponent ekosistemy Kuybyshevskogo vodokhranilishcha* [Zooplankton as a component of the Kuybyshevskoe reservoir's ecosystem]. Tolyatti: Izd-vo Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2000, 193 p.
21. Zilov E. A. *Gidrobiologiya i vodnaya ekologiya (organizatsiya, funktsionirovanie i zagryaznenie vodnykh ekosistem): ucheb. posobie* [Hydrobiology and water ecology (organization, functioning and pollution of water ecosystems): tutorial]. Irkutsk: Irkut. un-t, 2008, 138 p.
22. Lazareva V. I. *Struktura i dinamika zooplanktona Rybinskogo vodokhranilishcha* [Structure and dynamics of the Rybinskoe reservoir's zooplankton]. Moscow: Tovari-shchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 183 p.
23. Romanova E. P. *Teoreticheskie problemy i evolyutsii. Teoriya, vidy, soobshchestva, ekosistemy (V Lyubishchevskie chteniya)* [Theoretical problems and evolutions. Theory, species, communities, ecosystems (V Lyubishchevskie readings)]. Tolyatti: IEVB RAN, 2010, pp. 159–164.
24. Stolbunova V. N. *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of inland waters]. 1999, no. 1–3, pp. 92–100.
25. Shurganova G. V., Cherepennikov V. V., Artel'nyy E. V. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga region ecological journal]. 2003, no. 3, pp. 297–304.

Сенкевич Виктория Александровна

аспирант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: Viktoriya0606@mail.ru

Senkevich Viktoriya Aleksandrovna

Postgraduate student, Penza
State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Цыганов Андрей Николаевич

кандидат биологических наук, доцент,
кафедра зоологии и экологии, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: andrey.tsyganov@bk.ru

Tsyganov Andrey Nikolaevich

Candidate of biological sciences, associate
professor, sub-department of zoology
and ecology, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Стойко Тамара Григорьевна

кандидат биологических наук, профессор,
кафедра зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: tgstojko@mail.ru

Stojko Tamara Grigorievna

Candidate of biological sciences, professor,
sub-department of zoology and ecology,
Penza State University
(40 Krasnaya Street, Penza, Russia)

УДК 574.583 (470.344)

Сенкевич, В. А.

Зоопланктонное сообщество Пензенского водохранилища / В. А. Сенкевич, А. Н. Цыганов, Т. Г. Стойко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 1 (13). – С. 35–49.