

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЗООПЛАНКТОНА В РЕКЕ ЗАЙ

В результате исследований, проведенных в августе 2015 г., в зоопланктоне верхнего, среднего и нижнего течений р. Зай обнаружено 25 видов беспозвоночных. Количественные характеристики планктоценозов варьируют в зависимости от расположения исследованных участков. Максимальная численность (15.44 тыс/м³) и биомасса (0.096 г/м³) отмечены в Заинском водохранилище. На основе кластерного анализа и ординации станций в зоопланктоне реки выделены четыре комплекса: один, объединяющий слабопроточные участки (Заинское, Карабашское водохранилища и малопроточный рукав верховья реки), и три комплекса русловых участков. Последние характеризуются последовательной сменой видовой и количественной структуры вдоль течения реки, что может быть описано в рамках концепции о речной экосистеме как континууме.

Ключевые слова: кластерный анализ; зоопланктон; река Степной Зай; количественная структура; концепция речного континуума.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.34.40>

Введение

Река Зай (в верховье – Степной Зай) является одним из крупнейших притоков р. Кама на юго-востоке Республики Татарстан (РТ). Длина водотока, по данным Государственного водного реестра, составляет 219 км, водосборная площадь 5020 км². В Зай впадают более 26 малых рек. На р. Зай расположены Заинское и Карабашское водохранилища, образованные для обслуживания потребностей крупнейшей в РТ Заинской ГРЭС и Карабашской малой ГЭС. В бассейне реки, на территории Альметьевского, Бугульминского и Лениногорского районов, ведется активная добыча нефти. Все это свидетельствует о важном хозяйственном значении р. Зай для промышленности и населения РТ. Вместе с тем, вопросы, связанные с экологическим состоянием реки остаются актуальными в течение многих лет. По результатам гидрохимических исследований, уровень загрязнения воды на всем протяжении р. Степной Зай соответствует 4«а» классу – грязные (Государственный доклад ..., 2020). Видовой состав и количественная структура гидробиологических сообществ реки изучены недостаточно. В литературе имеются сведения о составе фитопланктона (Халиуллина, 2018), зообентоса (Назарова, 1999), ихтиофауны (Аверьянов, Яковлев, 2010); данные о состоянии зоопланктонных сообществ отсутствуют.

Зоопланктон является важной структурно-функциональной частью экосистем водных объектов, участвует в самоочищении водоемов и

служит индикатором их состояния, чутко реагируя на изменение как природных, так и антропогенных факторов (Андроникова, 1996). Цель настоящего сообщения – характеристика зоопланктонных сообществ и биоиндикация экологического состояния воды р. Зай.

Материалы и методы исследования

Гидробиологическое обследование р. Зай проведено в августе 2015 г. Местоположение разрезов выбиралось на равноудалённом расстоянии друг от друга. Всего заложено 9 разрезов с 19 планктонными станциями (рис. 1). Пробы воды (объем 50 л) отбирались из поверхностного слоя и отфильтровывались через сеть Апштейна с газом №74 в соответствии со стандартными гидробиологическими методами (Методические ..., 1982). Пробы фиксировали 4% раствором формалина. Для таксономической идентификации организмов зоопланктона использовали общепринятые определители (Определитель зоопланктона ..., 2010). Расчет биомассы зоопланктона проводился по формулам зависимости массы организмов от длины тела (Методические ..., 1982).

Для количественной оценки значимости видов при классификационных построениях (оценки сходства между станциями) использована величина экспресс-оценки продукции популяции таксона по среднему весу его особей (Манушин, 2008). Общая продукция зоопланктонного сообщества P_j рассчитывалась как суммарная продукция крупных (весом более 10⁻⁵ г) зоопланктеров,



Рис. 1. Карта-схема мест расположения гидробиологических разрезов и станций
Fig. 1. The scheme of Zai River and the locations of hydrobiological sections and stations

суммарная продукция более мелких (весом менее 10^{-5} г) зоопланктеров P_2 рассчитывалась отдельно (Любин и др., 2017).

Сообщества выделялись методом кластерного анализа с использованием меры сходства Чекановского (Czeckanovski, 1909). Кластеризация проводилась методом средневзвешенного среднего. Проверка статистической значимости выделенных кластеров выполнялась имитационным анализом сходства ANOSIM в программе Primer 5 (PRIMER-E Ltd) (Clarke, Gorley, 2001). Выделение доминирующих видов проводилось в соответствии со шкалой Е.Л. Любарского (1974). Видовое разнообразие рассчитывалось по индексу Шеннона (H) (Shannon, 1948). Оценка качества воды проводилась путем расчета индекса сапробности (S) по Пантле-Букку (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечека (Sladecsek, 1973).

Результаты и их обсуждение

В зоопланктоне р. Зай выявлено 25 видов и личиночных стадий беспозвоночных из 3 типов: Rotifera (11), Arthropoda (13) и Mollusca (1) (табл. 1). Наиболее часто в пробах

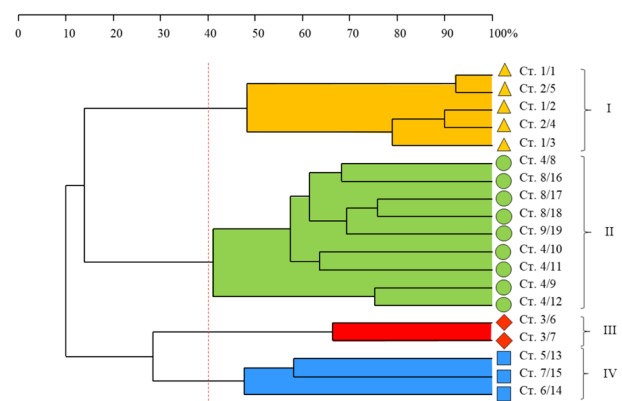


Рис. 2. Результаты кластерного анализа сходства станций (по величине вторичной продукции зоопланктеров): слева от дроби номер разреза, справа – номер станции (I–IV – выделенные комплексы)
Fig. 2. The results of the cluster analysis of the stations similarity (by the data of zooplankton secondary production): to the left of the fraction is the transect number to the right is the station number (I–IV – selected complexes)

Fig. 2. The results of the cluster analysis of the stations similarity (by the data of zooplankton secondary production): to the left of the fraction is the transect number to the right is the station number (I–IV – selected complexes)

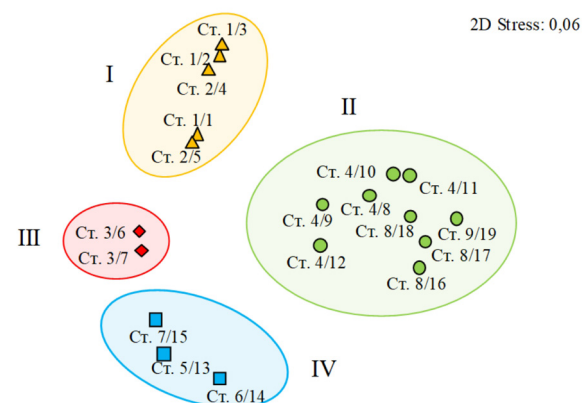


Рис. 3. Ординация зоопланктонных комплексов исследованных станций в осях двух первых неметрических шкал. Обозначения как на рис. 2.
Fig. 3. Ordination of zooplankton stations in the axes of the first two nonmetric scales. Symbols as on the fig 2.

Fig. 3. Ordination of zooplankton stations in the axes of the first two nonmetric scales. Symbols as on the fig 2.

встречались ветвистоусый рачок *B. longirostris* и неидентифицируемые копепоидитные стадии веслоногих рачков.

Максимальное число видов отмечено в Заинском водохранилище (р. 4) – 15 видов (6–10 на каждой станции), также высокое разнообразие наблюдалось в Карабашском водохранилище (р. 8) – 9 видов (4–9 на станции).

Численность зоопланктона на отдельных станциях изменялась от 0.26 до 15.44 тыс. экз./м³, составляя в среднем 4.41 ± 1.14 тыс. экз./м³. Более половины из них приходилось на копепоид – 53%, кладоцер – 25% и на коловраток – 17% от общей численности. Значение общей биомассы

Таблица 1. Список видов зоопланктона р. Зай
Table 1. List of the species of Zay River

Названия таксонов Taxon	Индикаторный вес Indicator weight	Частота встречаемости, % Frequency of occurrence, %
Rotifera – коловратки		
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	1.6	11
<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851	2.5	5
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1776	2.5	42
<i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883)	2	16
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	1.6	21
<i>Euchlanis lyra</i> Hudson, 1886		5
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	1.4	5
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	1.7	26
<i>Polyarthra luminosa</i> Kutikova, 1962		5
<i>Polyarthra major</i> Burckhardt, 1900	1.2	5
Rotatoria g. sp.		21
<i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof, 1891)	1.5	5
Cladocera – ветвистоусые рачки		
<i>Flavalonella costata</i> (Sars, 1862)	1.6	11
<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785)	1.6	89
<i>Bunops serricaudata</i> (Daday, 1888)	1.2	5
<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1785)	1.8	5
<i>Daphnia longispina</i> Muller, 1785	2	53
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	1.4	5
<i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine, 1820)	1.7	5
<i>Moina micrura</i> Kurz, 1874	2.2	32
<i>Alona quadrangularis</i> (Müller, 1776)	1.6	21
<i>Alonella nana</i> (Baird, 1843)	1.6	5
Copepoda – веслоногие рачки		
<i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg, 1853)		5
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	1.7	11
Harpacticoida g. sp.		21
Maxillopoda g. sp., nauplius		68
Maxillopoda g. sp., copepodid		89
Bivalvia – двустворчатые моллюски		
<i>Bivalvia</i> g. sp., larva		37

изменялось от 0.001 до 0.096 г/м³, в среднем составляя 0.031±0.007 г/м³. По вкладу в биомассу также преобладали копеподы – 50%, доля кладоцер была немногим меньше – 44%, на коловраток приходилось менее 6%. Вклад личинок двустворчатых моллюсков был незначительным, их доля в средней численности и биомассе не превышала 5% и 1%, соответственно. Величина вторичной суточной продукции зоопланктона колебалась в пределах 0.00004–0.007 г/м³·сут., при этом среднее значение составило 0.003±0.001 г/м³·сут. Ведущая роль по данному показателю принадлежала копеподам – 52%, на долю кладоцер и коловраток приходилось, соответственно, 38% и 9%.

Кластерный анализ сходства станций (рис. 2) по вкладу видов в общую продукцию с использованием индекса Чекановского (Czeckanovski, 1909) и последующий анализ пространственного распределения кластеров на MDS диаграмме (рис. 3) определил четыре типа комплексов речных планктоценозов (I-IV), отличающихся между собой по таксономическому составу, продукционным показателям и структуре зоопланктонных сообществ. Проведенный методом ANOSIM анализ матрицы сходства станций показал высокую статистическую значимость (R статистики ≥0.98, p=0.1%) (табл. 2) выделенных нами комплексов зоопланктона.

На схеме (рис. 4) видно, что все станции, расположенные на одном разрезе, включаются в один и тот же кластер.

Таблица 2. Результаты ANOSIM анализа выделенных зоопланктонных комплексов по матрице сходства станций

Table 2. The results of the ANOSIM analysis of the zooplankton complexes by the matrix of the stations similarity

Общий тест / Global Test				
Общее реальное R / Sample statistic R: 0.982				
Уровень значимости / Significance level of sample statistic p: 0.1%				
Число случайных вариантов / Number of permutations: 999				
Число случайных вариантов, давших значение, большее или равное реальному R / Number of permuted statistics greater than or equal to Global R: 0				
Попарный тест / Pairwise Tests				
Кластерные пары / Cluster groups	R Статистика / R Statistic	Уровень значимости / Significance level, %	Возможное число подстановок / Possible permutations	Произведенное число подстановок / Actual permutations
I-II	1	4.8	21	21
I-III	0.989	0.1	2002	999
I-IV	1	1.8	56	56
II-III	0.997	1.8	55	55
II-IV	1	10	10	10
III-IV	1	0.5	220	220



Рис. 4. Пространственное распределение основных комплексов зоопланктона на р. Зай (обозначения как на рис. 2)

Fig. 4. The spatial distribution of the major complexes of zooplankton in Zay River. Symbols as on the fig. 2

Основные качественные и количественные характеристики комплексов приведены в таблице 3.

В кластер I объединились станции разрезов, выполненных в нижнем течении реки вблизи посёлков Борок (р. 1) и Красная Кадка (р. 2). Река имеет здесь наибольшую ширину русла – 100 м и 50 м, соответственно; течение слабое, менее 0.5 м/с. Температура воды 21°C. Глубина водотока в стремнинной части составила 1.5 м (р. 1) и 2 м (р. 2). В зоопланктоне доминирует *B. longirostris*, доля которого в общей численности и биомассе превышает 90% (в среднем).

Кластер II объединил станции разрезов 4 (Зайнское водохранилище), 8 (Карабашское водохранилище) и 9 (верховье р. Степной Зай у п. Воздвиженка). Температура воды в поверхностном слое Зайнского водохранилища колебалась от 23.4°C до 27.5°C. Глубина на отдельных станциях изменялась от 1.5 м до 9 м. В зоопланктоне доминировали копепоидитные стадии веслоногих рачков, на долю которых приходилось более

половины общей численности и биомассы. К субдоминантам отнесены ветвистоусые рачки *M. micrura*, *D. longispina* и *B. longirostris*, на их долю в среднем пришлось по 10% численности и биомассы. Температура поверхностного слоя воды в Карабашском водохранилище колебалась от 22.5°C до 23.3°C; глубина воды – от 2 до 13 м. В зоопланктоне также доминировали копепоидитные стадии веслоногих рачков, доля которых составила в среднем, 44% в численности, 61% в биомассе и 55% в суммарной продукции. К субдоминантам отнесены *D. longispina*, 14% в суммарной продукции, и науплии веслоногих рачков, до 20% в численности, 11% в продукции и 6% в биомассе. Русло реки в районе разреза 9 характеризовалось разделением на несколько небольших рукавов; исследованный участок имел ширину 7 м, глубину 0.7 м. Температура воды 15.1°C, видимое течение отсутствовало. В зоопланктоне доминировали копепоидиты веслоногих рачков, доля которых в численности составила 38%, в биомассе – 72%, в продукции – 59%. К субдоминантам отнесены коловратки *B. calyciflorus* и кладоцера *D. longispina*, их доля в общей продукции составляла по 14%.

В кластер III вошли станции разреза 3, выполненного в нижнем течении реки вблизи н.п. Старый Токмак. Участок реки характеризовался шириной русла 25 м, глубиной 2 м в стремнинной части. Скорость течения более 0.5 м/с, температура воды 22.8°C. В зоопланктоне доминировали *B. longirostris*, доля которого в общей численности и биомассе составила более 65%, в общей продукции – 67%. Субдоминантами стали копепоидитные стадии веслоногих рачков и кладоцера *C. sphaericus*, их доля в суммарной продукции 9% и 8%, соответственно.

Кластер IV объединил станции разрезов 5, 6 и 7. Участки реки здесь характеризовались шириной русла 20 м, глубиной 1.5–2.0 м. Температура воды повышалась от 18.9°C (р. 7) вниз по течению до 21.5°C (р. 5). Скорость течения на участках более 0.5 м/с. В зоопланктоне доминировали копепоидитные стадии веслоногих рачков, доля которых варьировала от 30% до 60% в количественных показателях. К субдоминантам отнесен *B. longirostris*, 22% от суммарной продукции. Значимый вклад также вносили *F. costata* и *E. velox*.

Более высоким видовым богатством (7.6 видов в пробе) и значениями индекса Шеннона (2.1 бит/особь) характеризовались планктонные комплексы Зайнского, Карабашского водохранилищ и слабопроточного участка в верхнем течении реки, выделенные в кластер II.

Таблица 3. Качественные и количественные характеристики зоопланктонных комплексов р. Зай
Table 3. Qualitative and quantitative characteristics of zooplankton communities of Zay River

Зоопланктонные комплексы – показатели Zooplankton complexes – indicators	<i>B. longirostris</i> (I)	<i>D. longispina</i> + <i>M. micrura</i> (II)	<i>B. longirostris</i> (III)	<i>B. longirostris</i> + <i>F. costata</i> (IV)
№№ разрезов / transects	1, 2	4, 8, 9	3	5-7
№№ станций / stations	1-5	8-12, 16-19	6-7	13-15
Глубина, м Depth, m	1.0–1.9	0.7–13.0	0.7–2.0	1.5–3.0
Температура воды (поверхность) Water temperature (surface) °C	21.9–23.2	15.1–27.5	22.8–22.9	18.9–21.5
Прозрачность, м Transparency, m	1.0–1.9	0.7–1.3	0.7–1.9	1.1–2.5
Число видов в пробе Number of species in sample	4.8±0.9 (3–7)	7.6±0.7 (4–10)	5.0±2.8 (3–7)	5.7±0.8 (5–7)
Общее число видов Total numbers of species	10	18	8	11
Биомасса (B), г/м ³ Biomass (B), g/m ³	0.032±0.009 (0.011–0.056)	0.048±0.010 (0.014–0.096)	0.002±0.000 (0.002)	0.001±0.00 (0.001)
Доминанты по B Dominants by B	<i>B. longirostris</i>	<i>D. longispina</i> + <i>M. micrura</i> + <i>B. longirostris</i>	<i>B. longirostris</i>	<i>B. longirostris</i> + <i>F. costata</i> + <i>E. velox</i>
Численность (N), тыс. экз./м ³ Number (N), thsd. ind./m ³	1.73±0.47 (0.46–2.64)	8.12±1.65 (2.58–15.44)	0.48±0.17 (0.36–0.60)	0.33±0.04 (0.26–0.38)
Доминанты по N Dominants by N	<i>B. longirostris</i>	<i>D. longispina</i> + <i>B. diversicornis</i> + <i>B. calyciflorus</i>	<i>B. longirostris</i>	<i>B. longirostris</i>
Продукция P ₁ , г/м ³ /сутки Production P ₁ , g/m ³ /day	0.0040±0.0011	0.0030±0.0009	0.0002±0.0001	0.013±0.006
Продукция P ₂ , г/м ³ /сутки Production P ₂ , g/m ³ /day	0.0001±0.0000	0.0063±0.0011	0.0003±0.0002	0.0003±0.0000
H (B)	0.3±0.1	1.6±0.2	1.4±1.3	1.8±0.0
H (N)	0.7±0.2	2.1±0.1	1.3±0.7	2.1±0.1
S	1.64±0.04	1.99±0.04	1.62±0.02	1.69±0.04

Анализ уровня органического загрязнения методом Пантле-Букка показал, что на исследованном протяжении р. Зай индекс сапробности изменялся от 1.5 до 2.2, что соответствует умеренно загрязненным водам (β -мезосапробная зона). Максимальные значения S отмечены в Заинском и Карабашском водохранилищах (1.9–2.2), минимальные – в нижнем течении реки.

Таким образом, кластерный анализ и ординация станций в двумерном пространстве указывают на разделение зоопланктонных сообществ р. Зай на 4 кластера, разделяющихся на две группы: речные слабопроточные (кластер II) и речные русловые (кластеры I, III и IV).

В первую группу, выделяющуюся в правой части MDS диаграммы (рис. 3), входит зоопланктонный комплекс Заинского и Карабашского водохранилищ. Сообщества этой группы характеризуются большим видовым разнообразием, выраженным в доминировании нескольких видов. Более высокие значения

численности и биомассы указывают на повышенный уровень трофности данных водных объектов. Вместе с тем, зарегулированность водотока оказывает влияние и на аккумуляцию загрязняющих веществ, чем обусловлены более высокие, по сравнению с другими станциями, показатели индекса сапробности.

Вторая группа кластеров, расположенных на левой части MDS диаграммы, указывает на последовательную смену зоопланктонных сообществ вдоль р. Зай. Характерным видом для этих сообществ является ветвистоусый рачок *B. longirostris*. Прослеживается последовательное увеличение его вклада в количественное развитие зоопланктона от субдоминирования (22% в продукции) в среднем течении реки (кластер IV) до доминирования (до 67% и 90%) в нижнем течении (кластеры I и III, соответственно). Данная смена структуры зоопланктонных сообществ текущих вод может быть описана в рамках концепции о «реобиоме» (Vannote et al., 1980; Богатов, 2013) и представлять речную экосистему

как континуум. В рамках данного континуума происходит последовательное увеличение численности и биомассы зоопланктона от верхних участков к нижним, что, в целом, увеличивает роль зоопланктона в экосистеме реки. Однако, с увеличением количественных характеристик происходит снижение видового разнообразия сообществ зоопланктона. Еще одним важным наблюдением является то, что водохранилища, которые разделяют течение реки на несколько участков, не оказывают значимого влияния на выявленную последовательность смены зоопланктонных комплексов в речном континууме.

Заключение

В результате гидробиологических исследований изучены зоопланктонные сообщества р. Зай в верхнем, среднем и нижнем течении реки. В составе зоопланктона обнаружены 25 видов беспозвоночных: коловраток (11), ракообразных (13) и моллюсков (1). Количественные характеристики планктоценозов варьируют в зависимости от расположения исследованных участков и достигают максимума численности 15.44 тыс/м³ и биомассы 0.096 г/м³ в Заинском водохранилище. На основе кластерного анализа и ординации станций в зоопланктоне выделены четыре комплекса (кластеры I–IV). По отношению к проточности участков реки выделенные кластеры разбиваются на 2 группы: комплекс слабопроточных участков (Заинское и Карабашское водохранилища, малопроточные рукава верховьев) и комплексы речных русловых участков (кластеры I, III и IV). Последние характеризуются последовательной сменной видовой и количественной структуры вдоль течения реки, что может быть описано в рамках концепции о речной экосистеме как континууме.

Список литературы

1. Аверьянов Д.Ф., Яковлев В.А. К изучению ихтиофауны реки Степной Зай // Современные проблемы эволюции / Сборник материалов. Ульяновск: Ульяновский гос. пед. университет, 2010. С. 251–254.
2. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
3. Богатов В.В. О закономерностях функционирования речных экосистем в свете базовых научных концепций // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 90–99.
5. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2020 году. Казань, 2021. 400 с.
6. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
7. Любарский Е.Л. К методике экспресс-квалификации и сравнения описаний фитоценозов // Количественные ме-

тоды анализа растительности. Уфа: БФАН СССР, 1974. С. 123–125.

8. Любин П.А., Бердник С.В., Токинова Р.П. Зоопланктон Волжского плеса Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенной трансформации акваландашфтов // Принципы экологии. 2017. Т. 6, №4. С. 47–59.

9. Манушин И. Е. Средняя масса особи как показатель скорости оборота вещества в популяциях водных экотермных животных / Матер. X науч. семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». СПб.: ЗАО «КопиСервис», 2008. С. 29–34.

10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Г.Г. Винберг, Г.М. Лаврентьевой. Л.: ГосНИОРХ, 1982. 34 с.

11. Назарова Л.Б. Развитие представлений о тератогенном воздействии антропогенных факторов на личинок хирономид: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, 1999. Казань. 24 с.

12. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Ред. В.Р. Алексеев, С.Я. Цалолыхин. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

13. Халиуллина Л.Ю. Исследование фитопланктона реки Степной Зай (левый приток р. Кама, Республика Татарстан) // Вода: химия и экология. 2018. №4–6. С. 55–62.

14. Clarke K.R., Gorley R.N. PRIMER v5: User manual. Tutorial. Plymouth routines in multivariate ecological research. Plymouth Mar. Lab. PRIMER-E: Plymouth, 2001. 91 p.

15. Czeckanowski J. Zur differencial diagnose der Neanderthalgruppe Korespbl // Deutschen gesellschaft für anthropologie. 1909. Bd. 40. S. 44–47.

16. Pantle F., Buck H. Die biologische überwachung der gewasser und die darstellung der ergebnisse // Gas- und wasserfach. 1955. Bd 96, №18. 604 p.

17. Shannon C. E. A mathematical theory of communication // Bell system technical journal. 1948. V. 27, №3. P. 379–423.

18. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // Archiv für hydrobiologie, beiheft, ergebnisse der limnologie. 1973. Bd. 7. P. 1–218.

19. Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell S.R., Cushing C.E. The river continuum concept // Canadian journal of fisheries and aquatic sciences. 1980. V. 37. P. 130–137.

References

1. Aver'yanov D.F., Yakovlev V.A. K izucheniyu ihtiofauny reki Stepoj Zaj // Sovremennye problemy evolyucii [To the study of the ichthyofauna of the Steppe Zai River] / Sbornik materialov [Modern problems of evolution / Collection of materials]. Ul'yanovsk: Ul'yanovskij gos. ped. universitet, 2010. P. 251–254.
2. Andronikova I.N. Strukturno-funkcionalnaya organizaciya zooplanktona ozernyh ekosistem raznyh troficheskikh tipov [Structural and functional organization of zooplankton of lake ecosystems of different trophic types]. Saint-Petersburg: Nauka, 1996. 189 p.
3. Bogatov V.V. O zakonornostyakh funkcionirovaniya rechnyh ekosistem v svete bazovyh nauchnyh koncepcij [On the regularities of the functioning of river ecosystems in the light of basic scientific concepts] // Bulletin of the North-East Scientific Center, Russian Academy of Sciences Far East Branch. 2013. No 4. P. 90–99.
5. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii prirodnyh resursov i ob ohrane okruzhayushchej sredy Respubliki Tatarstan v 2020 godu [State Report «On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2020»]. Kazan, 2021. 400 p.

6. Kitaev S.P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtologov [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the RAS, 2007. 395 p.

7. Lyubarskij E.L. K metodike ekspress-kvalifikacii i sravneniya opisaniy fitocenzozov [On the methodology of express qualification and comparison of descriptions of phytocenoses] // Kolichestvennye metody analiza rastitel'nosti [Quantitative methods of vegetation analysis]. Ufa: BFAN SSSR, 1974. P. 123–125.

8. Lyubin P.A., Berdnik S.V., Tokinova R.P. Zooplankton Volzhskogo plesa Kujbyshevskogo vodohranilishcha v usloviyah antropogennoj transformacii akvalandshaftov [Zooplankton of the Volga ples of the Kuibyshev reservoir in conditions of anthropogenic transformation of aqualandscapes] // Principy ekologii [Principles of ecology]. 2017. Vol. 6, No 4. P. 47–59.

9. Manushin I.E. Srednyaya massa osobi kak pokazatel' skorosti oborota veshchestva v populyaciayah vodnyh ektotermnyh zhivotnyh [The average mass of an individual as an indicator of the rate of turnover of matter in populations of aquatic ectothermal animals] / Mater. X nauch. seminara «Chteniya pamyati K.M. Deryugin». SPb. [Mater. X scientific seminar «Readings in memory of K.M. Deryugin»]. Saint-Petersburg: KopiServis, 2008. P. 29–34.

10. Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyah na presnovodnyh vodoemah. Zooplankton i ego produkcija [Methodological recommendations for the collection and processing of materials during hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its production] / Red. Vinberg G.G., Lavrent'eva G.M. Leningrad: GosNIORH, 1982. 34 p.

11. Nazarova L.B. Razvitie predstavlenij o teratogennom vozdejstvii antropogennyh faktorov na lichinok hironomid [Development of ideas about the teratogenic effect of anthropogenic factors on chironomid larvae]: Summary of PhD (Cand. of biol.) Kazan, 1999. 24 p.

12. Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnyh vod Evropejskoj Rossii. Tom 1. Zooplankton [Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton] / Red. V.R. Alekseev, S.Ya. Calolihin. M: KMK, 2010. 495 p.

13. Haliullina L.Yu. Issledovanie fitoplanktona reki Stepnoj Zaj (levyj pritok r. Kama, Respublika Tatarstan) [Study of phytoplankton of the Steppe Zai river (left tributary of the Kama River, Republic of Tatarstan)] // Voda: himiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]. 2018. No 4–6. P. 55–62.

14. Clarke K.R., Gorley R.N. PRIMER v5: User manual. Tutorial. Plymouth routines in multivariate ecological research. Plymouth Mar. Lab. PRIMER-E: Plymouth, 2001. 91 p.

15. Czeckanovski J. Zur differencial diagnose der Neanderthalgruppe Korespbl // Deutschen Gesellschaft für Anthropologie. 1909. Bd. 40. P. 44–47.

16. Pantle F., Buck H. Die biologische Überwachung der gewässer und die darstellung der ergebnisse // Gas- und wasserfach. 1955. Bd. 96. No 18. 604 p.

17. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell system technical journal. 1948. Vol. 27, No 3. P. 379–423.

18. Sladeczek V. System of water quality from the biological point of view // Archiv für hydrobiologie, beiheft, ergebnisse der limnologie. 1973. Bd. 7. P. 1–218.

19. Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W. et al. The river continuum concept // Canadian journal of fisheries and aquatic sciences. 1980. Vol. 37. P. 130–137.

Lyubin P.A., Tokinova R.P. Patterns of changes in the species composition and quantitative structure of zooplankton in Zai River.

As a result of studies carried out in August 2015, 25 species of invertebrates were found in the zooplankton of the upper, middle and lower flow of the Zai River. Quantitative characteristics of planktocenoses change in depending on the location of the studied areas. The maximum number (15.44 thsd. ex./m³) and biomass (0.096 g/m³) were recorded in the Zainsk reservoir. Four complexes were identified based on cluster analysis and ordination of stations in the zooplankton of the river: one combining low-flow areas (Zainskoye, Karabashskoye reservoirs and a low-flow branch of the upper river), and three complexes of channel areas. These complexes are characterized by a consistent change of species and quantitative structure along the river flow, which can be described within the framework of the concept of a river ecosystem as a continuum.

Keywords: cluster analysis; zooplankton; Zay River; quantitative structure; the river continuum concept.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of information about a conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article.

Поступила в редакцию / Received by the editorial office: 12.11.2021

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 26.11.2021

Принята к публикации / Accepted for publication: 10.12.2021

Информация об авторах

Любин Павел Анатольевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: plubin@mail.ru

Токинова Римма Петровна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: r.tokin@rambler.ru.

Information about the authors

Pavel A. Lyubin, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of TAS, 28, Daurskaya St., Kazan, 420087, Russia, E-mail: plubin@mail.ru.

Rimma P. Tokinova, Ph.D. in Biology, Head of Laboratory, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of TAS, 28, Daurskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: r.tokin@rambler.ru.