

ИЗМЕНЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЦИЛИОФАУНЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ЛЮТОГИ В ПЕРИОД ПОЯВЛЕНИЯ В НЕЙ СНЕНКИ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ

Аннотация.

Актуальность и цели. Впервые исследованы особенности цилиатного сообщества, формирующегося в местах гибели тихоокеанских лососей. Цель работы – изучить изменения трофической и экологической структур сообщества инфузорий горно-равнинных водотоков в период попадания в нее сненки горбуши.

Материалы и методы. Материал был собран в 2012 и 2018 гг. в нижнем течении р. Лютоги (южная часть о. Сахалин). В местах гибели производителей горбуши (на мелководных перекатах) пробы отбирались в стеклянные неспециализированные пробоотборники зачерпыванием воды вместе со слоем грунта и остатками (частями скелета) сненки лососей.

Результаты. В ходе исследования обнаружено 36 видов инфузорий, относящихся к классам Heterotrichea, Oligomenophorea и Spirotrichea. В пробах доминировали *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Urocentrum turbo*, *Aspidisca turrata*, *Uronemata arinum*, *Stentor roeselii*, *Steinia platystoma*, *Frontonia leucas* и *Chilodonella uncinatus*, относящиеся к трофическим группам бактериофагов и эврифагов, а также к перифитонно-бентосной экологической группе. В исследуемый период происходило увеличение сапробности водотока.

Выводы. Трофическая и экологическая структуры сообщества цилиат в период появления в водотоке сненки тихоокеанских лососей заметно упрощались. Доминирующие в этот период виды можно считать специфическими для данных условий среды. В речных системах юга Сахалина можно выделить адаптивный комплекс, развивающийся на лососевой ссенке. Доминирование в экосистемах горно-равнинных водотоков южной части о. Сахалин девяти вышеперечисленных видов может свидетельствовать о присутствии в них повышенного органического загрязнения. Кроме колебания абиотических факторов, на изменение сообщества цилиат в этих водотоках существенное влияние оказывает сезонное поступление в них естественных загрязнителей.

Ключевые слова: цилиофауна, южная часть о. Сахалин, горно-равнинные водотоки, ссенка лососевых, трофическая и экологическая структуры, адаптивный комплекс.

А. Г. Панов

THE CHANGE IN THE TROPHIC AND ECOLOGICAL STRUCTURES OF CILIOFAUNA IN THE LOWER REACH OF THE LYUTOGA RIVER DURING THE APPEARANCE OF THE DEAD PACIFIC SALMON IN IT

Abstract.

Background. For the first time, on the example of the Lyutoga river (the southern part of Sakhalin island), the features of the ciliary community formed in areas where

Pacific salmon die have been studied. The aim of the work is to study changes in the trophic and ecological structure of the community of infusoria of mountain-plain watercourses during the period when the dead pink salmon got into it.

Materials and methods. The material was collected in 2012 and 2018 in the lower reaches of the Lyutoga river. In places where salmon producers died (in shoal-shallows), samples were taken into glass non-specialized containers by scooping water together with a layer of soil and the remains (parts of the skeleton) of salmon.

Results. During this period 36 species of infusoria belonging to the classes Heterotrichea, Oligomenophorea and Spirotrichea were found. In the samples *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Urocentrum turbo*, *Aspidiscaturrita*, *Uronemamarinum*, *Stentor roeselii*, *Steiniaplatystoma*, *Frontonia leucas* and *Chilodonnellauncinatus*, which belong to the trophic groups of bacteriophages and euryphages, as well as to the periphyton-benthic ecological group were dominated. There was an increase of the saprobity into the watercourse in the study period.

Conclusions. The trophic and ecological structures of the ciliary community were significantly simplified. The dominant species during this period can be considered specific to these environmental conditions. In river systems in the South of Sakhalin, it is possible to allocate an adaptive complex that develops on the death of Pacific salmon. The dominance of 9 of the above-mentioned species in the ecosystems of mountain-plain watercourses in the southern part of Sakhalin island may indicate the presence of increased organic pollution in them. In addition to fluctuations in abiotic factors, the change in the ciliate community in these watercourses is significantly affected by the seasonal influx of natural pollutants into them.

Keywords: ciliofauna, southern part of Sakhalin island, mountain-plain watercourses, dead salmon, trophic and ecological structures, adaptive complex.

Введение

Горно-равнинные водотоки южной части о. Сахалин являются местами естественного нереста тихоокеанских лососевых, имеющих важное рыбохозяйственное значение. Ежегодно в них в летне-осенний период происходит резкое увеличение содержания мертвого органического вещества из-за появления снетки тихоокеанских лососей. В результате деятельности детритофагов и сапротрофных организмов оно затем включается в круговорот вещества. Биомассу появляющихся в этот период сапротрофных бактерий регулирует микрозоопланктон, а содержащиеся в клетках бактерий вещества быстро включаются в состав клеток протозойного планктона [1]. Через сообщество микроорганизмов (микробиальную «петлю») в водных экосистемах с повышенными концентрациями органического вещества (а к таковым можно отнести и реки Сахалина в период гибели производителей лососевых) происходит значительная передача органического углерода на более высокие трофические уровни. Во время интенсивной переработки органических остатков (в период появления лососевой снетки) в реках острова от деятельности микрозоопланктона (в том числе и от Ciliata) зависят характер и интенсивность биологического круговорота веществ в экосистеме водотока, качество поверхностных вод.

Из случайно сформированных на начальном этапе комбинаций различных видов простейших, согласно Бурковскому [2], в ходе развития останутся только те из них, которые наилучшим образом удовлетворяют конкретным условиям. Впоследствии они формируют устойчивые сообщества микроорганизмов.

Исследование участка цилиофауны в разложении сненки тихоокеанских лососей впервые было начато авторами в 2012 г. [3]. В данной работе авторы проанализировали изменения трофической и экологической структуры сообщества инфузорий р. Лютога в период попадания в нее сненки тихоокеанских лососевых рыб (горбуши) после ее нереста.

Материалы и методы

Река Лютога (130 км) расположена в южной части о. Сахалин и является наиболее крупной из нерестовых рек для тихоокеанских лососевых рыб в этой части острова. Ширина русла в местах отбора проб (песчано-галечные пляжи, район с. Петропавловское Анивского района (рис. 1), нижнее течение реки) достигает 50–60 м, берега реки покрыты мелколиственными лесами, с примесью хвойных пород. Скорость течения в местах взятия проб составляла 0,6–1,2 м/с, температура воды в период исследования – 7–14 °С, жесткость – 1,37–1,64 мг · экв/л; кислотность (рН) – 7,0–7,2.

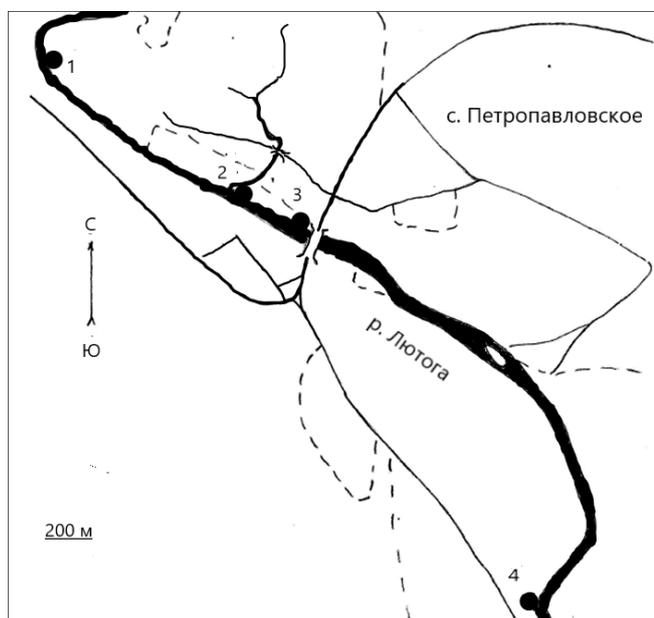


Рис. 1. Карта-схема района исследования на р. Лютоге с точками взятия проб

Исследования проводили в конце летнего периода (28.08. – 03.09.2012 и 17.08. – 31.08.2018). Пробы отбирали в течение 1–2 недель один раз в два дня методом рандомизированного отбора в четырех точках (см. рис. 1); расстояние между точками отбора составляло 400–2000 м. В качестве пробоотборников использовали стеклянные широкогорлые сосуды объемом 400–500 мл. Отбор проб осуществляли простым зачерпыванием воды вместе со слоем грунта – песка или мелкого гравия (около 1/100 от общего объема сосуда). Пробы также содержали остатки (части скелета) сненки лососей (около 1/100 от общего объема пробоотборника). В течение 1–2 ч после взятия их исследовали под микроскопом, повторное исследование проводили примерно че-

рез 16–20 ч на следующий день. За весь период исследования было взято 30 проб. Часть проб ($n = 4$) после предварительного исследования была оставлена для изучения сукцессии на данной питательной среде, которое продолжалось в течение трех месяцев.

Цилиат изучали с помощью микроскопов “Motic BA 300” (Motic, Китай) и “Levenhuk D2L” (Levenhuk, Россия). Видовое определение приводилось по описаниям, содержащимся в литературе [4–13]. Выявление принадлежности видов к определенным экологическим и трофическим группам осуществляли по сводкам [10–12]. Сапробность организмов определяли, основываясь на таблицах Сладечека, модифицированных Фойснером [14]. Индекс сапробности (S) вычисляли по формуле Пантле – Букка:

$$S = \sum s h / \sum h,$$

где s – индикаторная значимость вида, h – относительное количество особей вида.

Результаты и обсуждение

В период появления в воде сненки лососевых в сообществе инфузорий происходили качественные изменения, проявляющиеся в упрощении их трофической и экологической структуры. Общее число видов, выявленных как в ходе взятия проб из водотока в период образования сненки лососевых, так и в ходе сукцессии на данной питательной среде, составило 36 (26,5 % от общего числа видов, обнаруженных в южной части о. Сахалин и 50 % от числа видов, выявленных в данном водотоке).

Изменения трофической структуры сообщества цилиат в р. Лютоге при появлении в ней сненки лососевых рыб отражены на рис. 2 и 3.

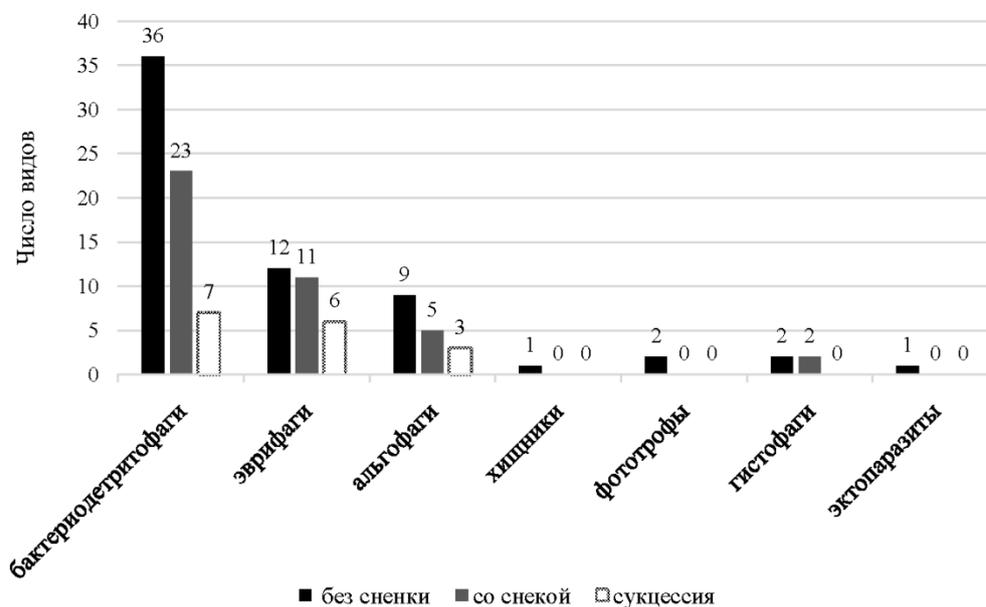


Рис. 2. Изменение числа видов в различных трофических группах инфузорий (трофический статус видов) в р. Лютоге в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

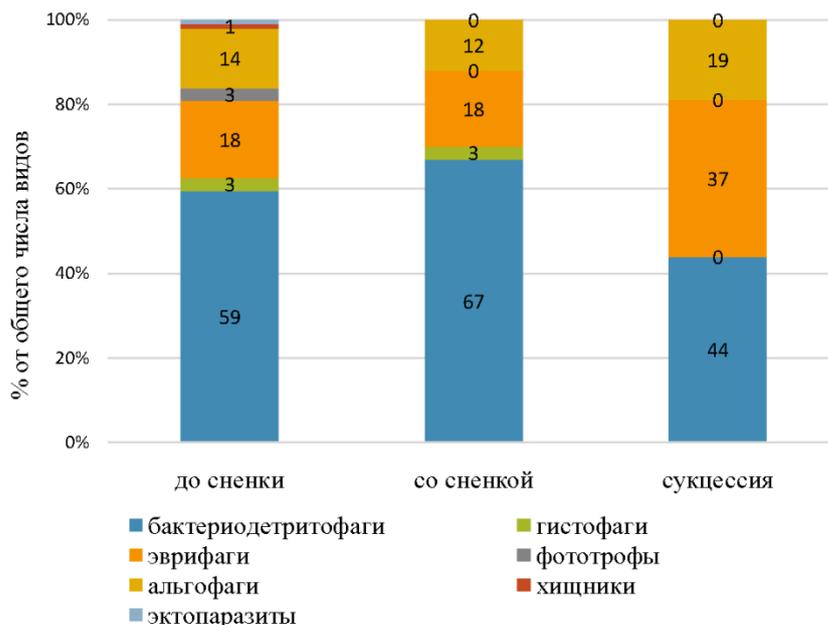


Рис. 3. Изменения в трофической структуре сообщества инфузорий р. Лютоги в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

При появлении в водотоке сненки тихоокеанских лососей в сообществе инфузорий полностью исчезли (и до этого момента немногочисленные) представители фототрофов, хищников и случайные даже в другие периоды представители группы эктопаразитов. При этом существенно увеличивалась (при общем уменьшении числа видов в два раза) относительная доля инфузурий, относящихся к группе бактериодетритофагов, а в дальнейшем, в ходе сукцессии, и доля неселективных всеядных инфузурий (эврифагов). Очевидно, что появляющиеся в массу в этот период сапротрофные бактерии и являются основным механизмом изменения структуры сообщества цилиат. В дальнейшем, в ходе сукцессии на этой питательной среде, исчезали представители группы гистофагов, а относительная доля группы бактериодетритофагов резко уменьшалась. При этом резко возрастала относительная доля инфузурий, относящихся к группе эврифагов.

Изменения экологической структуры сообщества цилиат по жизненным формам в период появления в водотоке сненки тихоокеанских лососей в р. Лютоге отражены на рис. 4 и 5.

Виды активно передвигающихся бентосных и перифитонных форм инфузурий в пробах р. Лютоги в этот период занимали лидирующее положение как в сравнении со всеми группами простейших, так и с мелкими водными многоклеточными животными. Значительно уменьшалось число видов группы планктона, полностью исчезали немногочисленные представители группы эпибионтов. В дальнейшем, в ходе сукцессии на данной питательной среде, происходило уменьшение числа видов группы бентоса в пользу видов групп перифитона и планктона (на что, возможно, могла повлиять нехватка кислорода – пробы принудительно не обогащались воздухом).

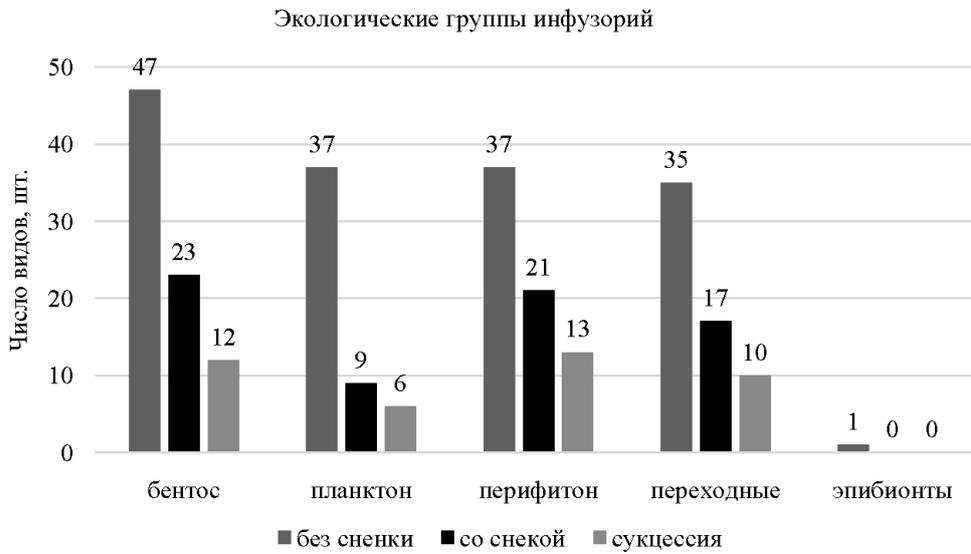


Рис. 4. Число видов в различных экологических группах (жизненные формы) инфузорий в структуре сообщества цилиат р. Лютоги в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

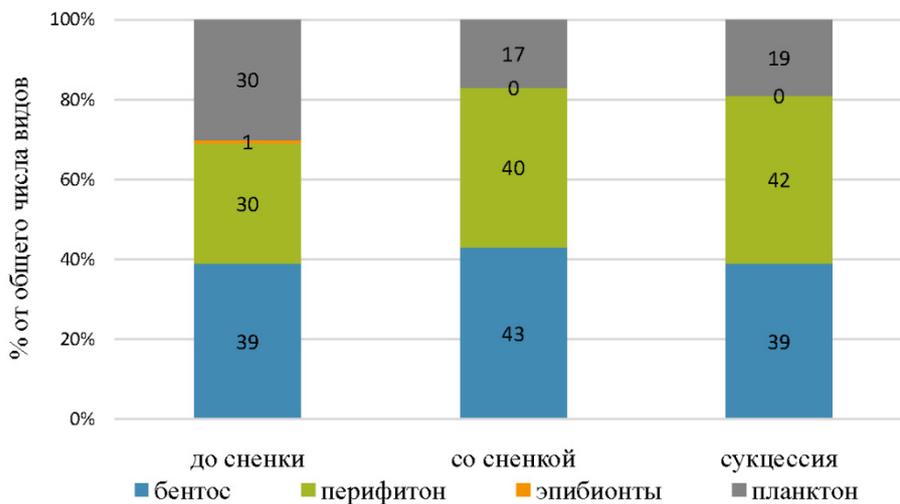


Рис. 5. Изменения экологической структуры (жизненные формы) сообщества инфузорий р. Лютоги в летний период при появлении в ней сненки тихоокеанских лососей

В сообществе водотока в исследуемый период доминировали перифитонно-бентосные виды – *Spirostomum ambigium* (около 140–200 экз./мл), *Paramecium caudatum* (до 300 экз./мл), *Urocentrum turbo* (до 600 экз./мл), *Aspidis caturrita* (до 800 экз./мл), *Uronemat arinum* (до 1000 экз./мл); немного реже встречались *Stentor roeselii*, *Steinia platystoma*, *Frontonia leucas* и *Chilodonella uncinatus*, формируя сапробный адаптивный комплекс цилиат. Эти девять видов цилиат, возможно, являются специфическими для условий среды, связанных с появлением лососевой сненки.

Таким образом, к особенностям адаптивного комплекса цилиофауны, развивавшейся на лососевой снетке, можно отнести:

1) господствующее положение перифитонно-бентосных видов, относящихся к классам Heterotrichea, Oligomenophorea и Spirotrichea;

2) среду из лососевой снетки предпочитали более крупноразмерные виды инфузорий – *Paraurostyla weissei complex* Stein, 1859, *Oxytricha fallax* Stein, 1859 и *Urostyla grandis* Ehrenberg, 1830.

Формирующийся в период появления лососевой снетки комплекс цилиат отражает также изменение индекса сапробности (*S*) водотока. До появления снетки этот индекс составлял 1,32, в период же ее появления – 2,27, т.е. отмечалось увеличение соответствующего индекса почти в 2 раза.

Заключение

При попадании в водоток снетки тихоокеанских лососей наблюдаются значительные изменения в трофической и экологической структуре сообщества инфузорий. В речных системах юга Сахалина выделяется специфический адаптивный комплекс цилиат, развивающийся на лососевой снетке. Основу этого комплекса составляют перифитонно-бентосные виды инфузорий – *Sp. ambigium*, *P. caudatum*, *U. turbo*, *U. marinum*, *St. platystoma*, *A. turrita*, *St. roeselii*, *F. Leucas* и *Ch. uncinatus*.

Среди факторов, влияющих на сезонную динамику изменения видового разнообразия цилиат, ряд исследователей [11, 15–19] выделяют специфику сезонных явлений, различный характер биотических взаимоотношений внутри экосистемы, концентрацию кислорода в воде, гидрологический режим водных объектов и др. По данным Шубернецкого [20], существенное воздействие на качественное и количественное развитие цилиофауны оказывают колебания абиотических факторов среды. Согласно проведенному исследованию, кроме колебания абиотических факторов, в горно-равнинных водотоках южной части о. Сахалин на развитие цилиофауны также существенное влияние оказывает сезонное поступление в водоток естественных загрязнителей – снетки лососевых рыб.

Библиографический список

1. Концепция микробиальной трофической сети // Информационная система «Динамические модели в биологии». – URL: <http://www.dmb.biophys.msu.ru/registry?article=9812>
2. **Бурковский, И. В.** Экология свободноживущих инфузорий / И. В. Бурковский. – Москва : Изд-во МГУ, 1984. – 208 с.
3. **Никитина, Л. И.** Экологические особенности инфузорий в детритной цепи питания р. Лютоги Анивского района Сахалинской области / Л. И. Никитина, А. Г. Панов // Вода: химия и экология. – 2014. – № 2 (67). – С. 63–68.
4. **Алекперов, И. Х.** Свободноживущие инфузории Азербайджана (экология, зоогеография, практическое значение) / И. Х. Алекперов. – Баку : Эльм, 2012. – 520 с.
5. **Berger, H.** Biologische Methoden der Gewässeranalysen. Ciliaten III-2.1. Illustrated guide and ecological notes to ciliate indicator species (Protozoa, Ciliophora) in running waters, lakes, and sewage plants / H. Berger, W. Foissner // Handbuch Angewandte Limnologie. – 2003. – № 10. – 160 p.
6. **Foissner, W.** A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes

- on their ecology / W. Foissner, H. Berger // *Freshwater Biology*. – 1996. – Vol. 35. – P. 375–482.
7. **Curds, C.** A guide to species of the genus *Euplotes* (Hypotrichida, Ciliata) / C. Curds // *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* – 1975. – Vol. 28, № 1. – P. 1–61.
 8. **Warren, A.** A revision of the genus *Vorticella* (Ciliophora: Peritrichida) / A. Warren // *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* – 1986. – Vol. 50, № 1. – P. 1–57.
 9. **Wu, I.** A guide to species of the genus *Aspidisca* / I. Wu, C. Curds // *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* – 1979. – Vol. 36, № 1. – P. 1–34.
 10. **Чорик, Ф. П.** Свободноживущие инфузории водоемов Молдавии / Ф. П. Чорик. – Кишинев, 1968. – 251 с.
 11. **Быкова, С. А.** Фауна и экология инфузорий малых водоемов Самарской Луки и Саратовского водохранилища : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Быкова С. А. – Тольятти, 2005. – 207 с.
 12. **Трибун, М. М.** Экологические особенности цилиофауны малых рек окрестностей г. Хабаровска : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Трибун М. М. – Хабаровск, 2012. – 154 с.
 13. **Никитина, Л. И.** Цилиофауна природных и техногенных экосистем Среднего Приамурья : монография / Л. И. Никитина, А. В. Приходько, А. В. Жуков, М. М. Трибун. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – 160 с.
 14. **Foissner, W.** Taxonomic and nomenclatural revision of Sladceks list of ciliates (Protozoa: Ciliophora) as indicators of water quality / W. Foissner // *Hydrobiologia*. – 1988. – Vol. 166. – P. 1–64.
 15. **Мамаева, Н. В.** Инфузории бассейна Волги / Н. В. Мамаева. – Ленинград : Наука, 1979. – 179 с.
 16. **Жариков, В. В.** Специфика водохранилищ Волги как среды обитания гидробионтов (на примере свободноживущих инфузорий) / В. В. Жариков // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Третьи Люблинские чтения). – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2000. – С. 64–72.
 17. **Эггерт, М. Б.** Сезонные изменения фауны инфузорий в планктоне Селенгинского района Байкала / М. Б. Эггерт // *Гидробиологический журнал*. – 1967. – Т. 3, вып. 3. – С. 28–35.
 18. **Лаврентьев, П. Я.** Протозойный планктон разнотипных озер / П. Я. Лаврентьев, В. В. Маслевцов // *Изменение структуры экосистем озер в условиях возрастающей биогенной нагрузки*. – Ленинград : Наука, 1988. – С. 207–221.
 19. **Мячина, О. А.** Фауна и биолого-экологические особенности ресничных инфузорий некоторых водоемов южной лесостепи Омской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.04 / Мячина О. А. – Омск, 2010. – 18 с.
 20. **Шубернецкий, И. В.** Кругоресничные инфузории основных типов водоемов Молдавии : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.08 / Шубернецкий И. В. – Кишинев, 1983. – 279 с.

References

1. *Informatsionnaya sistema «Dinamicheskie modeli v biologii»* [Information System “Dynamic Models in Biology”]. Available at: <http://www.dmb.biophys.msu.ru/registry?article=9812> [In Russian]
2. Burkovskiy I. V. *Ekologiya svobodnozhivushchikh infuzoriy* [Ecology of free-living ciliates]. Moscow: Izd-vo MGU, 1984, 208 p. [In Russian]
3. Nikitina L. I., Panov A. G. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology]. 2014, no. 2 (67), pp. 63–68. [In Russian]
4. Alekperov I. Kh. *Svobodnozhivushchie infuzorii Azerbaydzhana (ekologiya, zoogeografiya, prakticheskoe znachenie)* [Free-living ciliates of Azerbaijan (ecology, zoogeography, practical importance)]. Baku: El'm, 2012, 520 p. [In Russian]

5. Berger H., Foissner W. *Handbuch Angewandte Limnologie* [Handbook of Applied Limnology]. 2003, no. 10, 160 p.
6. Foissner W., Berger H. *Freshwater Biology*. 1996, vol. 35, pp. 375–482.
7. Curds C. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* 1975, vol. 28, no. 1, pp. 1–61.
8. Warren A. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* 1986, vol. 50, no. 1, pp. 1–57.
9. Wu I., Curds C. *Bull. Br. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser.* 1979, vol. 36, no. 1, pp. 1–34.
10. Chorik F. P. *Svobodnozhivushchie infuzorii vodoemov Moldavii* [Free-living ciliates of Moldavian water bodies]. Kishinev, 1968, 251 p. [In Russian]
11. Bykova S. A. *Fauna i ekologiya infuzoriy malykh vodoemov Samarskoy Luki i Saratovskogo vodokhranilishcha: dis. kand. biol. nauk: 03.00.16* [The fauna and ecology of ciliates of small reservoirs of Samara Luka and the Saratov reservoir: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.00.16]. Tolyatti, 2005, 207 p. [In Russian]
12. Tribun M. M. *Ekologicheskie osobennosti tsiliofauny malykh rek okrestnostey g. Khabarovska: dis. kand. biol. nauk: 03.02.08* [Ecological features of the ciliofauna of small rivers in the vicinity of Khabarovsk: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.02.08]. Khabarovsk, 2012, 154 p. [In Russian]
13. Nikitina L. I., Prikhod'ko A. V., Zhukov A. V., Tribun M. M. *Tsiliofauna prirodnykh i tekhnogennykh ekosistem Srednego Priamur'ya: monografiya* [Ciliofauna of natural and technogenic ecosystems of the Middle Amur Region: monograph]. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2011, 160 p. [In Russian]
14. Foissner W. *Hydrobiologia*. 1988, vol. 166, pp. 1–64.
15. Mamaeva N. V. *Infuzorii basseyna Volgi* [Ciliates of the Volga basin]. Leningrad: Nauka, 1979, 179 p. [In Russian]
16. Zharikov V. V. *Teoreticheskie problemy ekologii i evolyutsii (Tret'i Lyubishchevskie chteniya)* [Theoretical problems of ecology and evolution (Third Lubischev Readings)]. Tolyatti: IEVB RAN, 2000, pp. 64–72. [In Russian]
17. Eggert M. B. *Gidrobiologicheskii zhurnal* [Hydrobiological journal]. 1967, vol. 3, iss. 3, pp. 28–35. [In Russian]
18. Lavrent'ev P. Ya., Maslevtsov V. V. *Izmenenie struktury ekosistem ozer v usloviyakh vozrastayushchey biogennoy nagruzki* [Change in the structure of lake ecosystems under conditions of increasing nutrient load]. Leningrad: Nauka, 1988, pp. 207–221. [In Russian]
19. Myachina O. A. *Fauna i biologo-ekologicheskie osobennosti resnichnykh infuzoriy nekotorykh vodoemov yuzhnoy lesostepi Omskoy oblasti: avtoref. dis. kand. biol. nauk: 03.02.04* [Fauna and biological and ecological features of ciliary infusoria of some water bodies in the southern forest-steppe of the Omsk region: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.02.04]. Omsk, 2010, 18 p. [In Russian]
20. Shubernetskiy I. V. *Krugesnichnye infuzorii osnovnykh tipov vodoemov Moldavii: dis. kand. biol. nauk: 03.00.08* [Circumnar ciliates of the main types of water bodies in Moldova: dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences: 03.00.08]. Kishinev, 1983, 279 p. [In Russian]

Панов Александр Геннадьевич

старший преподаватель, соискатель,
Сахалинский институт
железнодорожного транспорта – филиал
Дальневосточного государственного
университета путей сообщений (ДВГУПС)
в г. Южно-Сахалинске (Россия, г. Южно-
Сахалинск, ул. Физкультурная, 126 В)

E-mail: allergen_925@mail.ru

Panov Aleksandr Gennad'evich

Senior lecturer, applicant, Sakhalin Institute
of Railway Transport – filial of Far Eastern
State Transport University, Yuzhno-
Sakhalinsk (126 B Fizkulturnaya street,
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia)

Образец цитирования:

Панов, А. Г. Изменение трофической и экологической структур цилиофауны нижнего течения р. Лютоги в период появления в ней сненки тихоокеанских лососей / А. Г. Панов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2 (30). – С. 90–99. – DOI 10.21685/2307-9150-2020-2-8.