

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ФАУНЫ ЗООПЛАНКТОНА ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

© 2014 В.Н. Подшивалина

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары

Поступила 28.10.2014

В работе приведены обобщенные данные изучения разнообразия фауны планктонных Rotifera и Crustacea водных объектов из основных природных районов лесной и лесостепной зон Среднего Поволжья на территории Чувашской Республики, выделенных на основе бассейнового подхода. Отдельно для озер, прудов и рек определены средние значения индексов разнообразия по природным районам. Наиболее высокие показатели разнообразия зоопланктонных сообществ озер и прудов выявлены для остепненного района. Фауна планктона озер наименее разнообразна в лесостепном Приволжье и лесном Заволжье. Самые бедные сообщества рек характерны для ландшафтов с преобладанием смешанных лесов. Выявлена сильная отрицательная зависимость разнообразия зоопланктоценозов озер, прудов и рек от лесистости территории, антропогенной нагрузки, положительная – от устойчивости ландшафтов.

Ключевые слова: зоопланктон, малые озера, малые реки, пруды, разнообразие сообществ, влияние факторов среды

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее информативных показателей структуры сообщества являются индексы разнообразия [1]. Они позволяют дать сравнительную характеристику ценозам и чутко реагируют на изменения среды. Констатирована их большая информативность не только для характеристики структуры сообщества, его сезонного состояния, границ различных комплексов, но и водоема в целом [1]. Как известно, на формирование видового разнообразия зоопланктона большое воздействие оказывают *pH* и общая минерализация [2]. Установлено также влияние антропогенного [1, 3] и зоогенного эвтрофирования озер и рек [3, 4] на изменение индекса разнообразия Шеннона. Индексы разнообразия используются в оценке качества вод [5, 6], а также для индикации стадий онтогенеза озер [7]. Выявлены особенности разнообразия зоопланктоценозов водоемов различных природных зон [1, 5, 8]. Однако данные о влиянии природных свойств ландшафта в целом на разнообразие сообществ зоопланктона весьма скудны. В связи с этим, индекс разнообразия Шеннона как один из наиболее часто используемых был применен для определения влияния природных условий на фауну зоопланктона на примере водоемов и водотоков, расположенных на территории лесной и лесостепной зон Среднего Поволжья в пределах Чувашской Республики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили полученные в ходе исследований 2000-2009 гг. данные по зоопланктону 63 водных объектов, расположенных на территории Чувашской Республики. В число последних вошли малые озера (26), реки

(21) и пруды (16) (запруды на малых реках). Пробы отбирались и обрабатывались по общепринятым методикам [9]. Статистическая обработка данных (достоверность отличий между выборками на основе парного критерия Вилкоксона, ранговая корреляция Спирмена) осуществлялась с применением программы STATISTICA for Windows 6.0. Разнообразие сообществ зоопланктона оценивалось с помощью индексов Шеннона по численности (H_N) и биомассе (H_B) [1]. Средняя арифметическая индексов разнообразия приводится вместе с ошибкой средней и коэффициентом вариации. Перечисленные показатели вычислены по стандартным формулам [10]. Оценка взаимосвязи отдельных характеристик среды и показателей разнообразия проводилась также с использованием канонического корреляционного анализа [11], выполненного в программе Canoco for Windows 4.5.

Изученная территория относительно однородна в геологическом и геоморфологическом отношении, в широтном направлении имеет протяженность около 200 км. Это позволяет предположить преимущественное влияние на фауну водоемов не зональных, а ландшафтных факторов. Исследованные водные объекты расположены в пределах следующих основных природных районов Чувашской Республики, выделенных на основе бассейнового подхода (классификация В.Г. Папченкова, А.В. Димитриева [12]): Заволжье (южнотаежные ландшафты), Предволжье (лесостепь с участками нагорных дубрав), Центр (типичная лесостепь с островками дубрав и мелколиственных лесов), Присурье (смешанные леса), Юго-Восток (луговая степь), Ядринское Засурье (преимущественно пойменные ландшафты), Алатырское Засурье. Природные и физико-географические районы сопоставлены и представлены на рис. 1. Заволжский район принадлежит провинции Низменного Заволжья (южная тайга), остальные районы расположены в провин-

Подшивалина Валентина Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, vpodsh@newmail.ru

ции Приволжской возвышенности (лесостепная зона) [13]. Отличительные особенности перечисленных районов представлены в табл. 1.

В каждом районе отдельно для озер, рек и прудов вычислялись средние значения индексов разнообразия, которые в дальнейшем сравнивались для однотипных объектов.

С целью определения отдельных факторов, оказывающих возможное влияние на биоразнообразие сообществ зоопланктона различных природных районов, были выделены такие особенности территорий, как лесистость, устойчивость ландшафтов и антропогенная нагрузка. Под лесис-

тостью понималась площадь, занятая лесами (в долях от общей).

Устойчивость ландшафтов отдельных природных районов определялась на основе обобщения данных о соотношении площадей, занятых стабильными (лиственные леса, хвойно-широколиственные леса, водоемы, болота, пастбища, сенокосы, луга), малостабильными и нестабильными элементами ландшафта (ежегодно обрабатываемые пашни, земли с неустойчивым травянистым покровом), приведенных в работе [14]. Экологическое значение отдельных элементов оценивалось авторами по методикам [15, 16].



Рис. 1. Карта-схема района исследований в Среднем Поволжье с указанием физико-географических (природных) районов (по: [12, 13])

Антропогенная нагрузка на природные районы характеризовалась на основе данных В.Н. Ильина и И.В. Никоноровой [17] для административных районов Чувашской Республики по следующим критериям: доля пашни, показатель эрозионного смыва, количество скота на тыс. га, доля поселений, общая доля сельскохозяйственных угодий, общая доля населения, общая доля промышлен-

ности, общая антропогенная нагрузка как сумма промышленного, сельскохозяйственного и демографического прессов на основе экспертной оценки. Данный анализ отдельных аспектов антропогенного воздействия на ландшафт был произведен на основе методики П.В. Большаника и Н.О. Игенбаевой [18].

Таблица 1. Характеристика территории исследования

Природный район*	Преобладающие ландшафты	Характеристика территории	Особенности водных объектов
1.	Южнотаежные	Выраженные процессы заболачивания.	Озера карстового и междонного происхождения, мезо-эвтрофные**. Речная сеть выражена слабо.
2.	Лесостепные с участками нагорных дубрав	Дубравы имеют фрагментарное распространение. Высокая плотность и глубокая врезанность эрозионной сети.	Озерность низкая. Преобладают пойменные озера эвтрофного статуса. Выражена разветвленность речной сети.
3.	Типичные лесостепные с островками дубрав и мелколиственных лесов	Растительность преимущественно степная (лесистость 10%). Высокая плотность и глубокая врезанность эрозионной сети.	Озерность низкая. Преобладают пойменные озера. Есть крупные карстовые. Разветвленность речной сети высокая.
4.	Лугово-степные	Самый засушливый. Эрозионность слабо развита.	Озера малочисленны и мелководны, эвтрофно-гепертрофны. Реки маловодны.
5.	Смешанные леса	Преобладают смешанные леса (лесистость 65%).	Речная сеть средней густоты. Много озер старичного происхождения, мезо-эвтрофного статуса. Велика, по сравнению с другими районами, роль малых рек длиной более 20 км.
6.	Преимущественно пойменные интразональные ландшафты	Лугово-кустарниковая пойма.	Озер и рек мало. Озера эвтрофно-гепертрофные.

* - в табл. 1-3 номера районов соответствуют обозначениям к рис. 1. ** - трофический статус озер и прудов определен с помощью вычисленного на основе данных по прозрачности трофического индекса Карлсона (*TSI*) [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего в зоопланктоне исследованных водных объектов обнаружено 190 видов беспозвоночных, в том числе 90 видов коловраток, 38 - веслоногих и 62 - ветвистоусых ракообразных.

В целом, озера и пруды характеризуются более высокими значениями индексов разнообразия, чем реки. Наибольший уровень разнообразия планктонных сообществ озер (в среднем 2,99 и 2,45 бит (по численности и биомассе соответственно)) и прудов (в среднем 3,43 и 3,34 бит соответственно) выявлен для водоемов остепненных ландшафтов Юго-Востока (табл. 2, 3), что обусловлено их большей выравненностью. Варьирование индексов относительно среднего значения между сообществами здесь также выражено в меньшей степени (коэффициент вариации в табл. 2, 3). Причем значения индексов достоверно выше, чем в Присурье ($p < 0,03$) и Предволжье ($p < 0,05$).

Лесостепные ландшафты Центра характеризуются наиболее высоким уровнем разнообразия рек и относительно высоким разнообразием в озерах (табл. 2, 3). Фауна планктона озер наименее разнообразна в Предволжье ($p < 0,03$) и Заволжье ($p < 0,07$) (табл. 2, 3). Самые бедные сообщества рек выявлены в Присурье (1,63 и 1,43 бит по численности и биомассе соответственно).

Таким образом, можно проследить некоторые закономерности в уровне разнообразия, характерном для отдельного ландшафта, для разного типа водных объектов. По полученным данным, территории с наименьшей лесистостью характеризуются

наибольшим разнообразием фауны зоопланктона. Это подтверждено достоверной отрицательной зависимостью изменения уровня разнообразия зоопланктона и рек ($r = -0,95$, $p < 0,052$), и озер ($r = -0,85$, $p < 0,04$) от лесистости территории.

Таблица 2. Значения индекса Шеннона по биомассе

Природный район	Озера	Пруды	Реки
1.	1.84±0.09* 31.2**	1.52±0.67 62.0	-***
2.	1.67±0.28 29.0	2.01±0.13 20.9	1.56±0.20 28.7
3.	2.01±0.19 30.7	2.34±0.56 47.4	1.94±0.16 21.9
4.	1.99±0.22 34.0	2.70±0.37 19.2	1.40±0.19 43.9
5.	2.58±0.19 19.3	3.34	1.92±0.20 17.8
6.	2.00±0.35 24.9	-	-

* - среднее значение индекса Шеннона, бит с ошибкой средней. ** - коэффициент вариации, %. *** - данные отсутствуют.

Помимо исконно природных факторов было проанализировано возможное влияние сочетания естественных и разнотипно преобразованных ландшафтов, которое определяет степень устойчивости территории отдельного района. Так, сильная положительная достоверная корреляция ($r = 0,90$, $p < 0,04$) обнаружена между уровнем разнообразия и долей территории района, занятой стабильными элементами ландшафта. Кроме того, установлено достоверное ($p < 0,04$) отрицательное ($r = -0,90$) влияние суммарной антропогенной на-

грузки на значения индексов Шеннона. При большем, допустимом для подобных исследований, уровне значимости ($p \leq 0,10$), также достоверна обратная зависимость ($r = -0,80$) разнообразия зоопланктонных сообществ от уровня эрозионного смыва почв как одного из показателей сельскохозяйственного воздействия на геосистему.

Таблица 3. Значения индекса Шеннона по численности

Природный район	Озера	Пруды	Реки
1.	2.24±0.09*	2.15±0.81	-
2.	23.7	53.5	-
3.	2.56±0.22	2.28±0.12	2.21±0.10
4.	15.1	17.0	10.5
5.	2.66±0.15	2.34±0.61	2.46±0.17
	18.5	52.5	18.7
1.	2.36±0.20	2.45±0.36	1.63±0.22
2.	24.9	20.9	45.5
3.	2.74±0.17	3.43	2.19±0.29
4.	16.6	-	22.7
5.	2.94±0.10	-	-
	4.7	-	-

* - см. обозначения к табл. 2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом, озера и пруды на территории лесной и лесостепной зон Среднего Поволжья в пределах Чувашской Республики характеризуются относительно высокими показателями разнообразия зоопланктонных сообществ. Они сходны с таковыми для олиготрофных (Юго-Восток), мезотрофных (Центр, Присурье, Ядринское Засурье) и мезо-эвтрофных (Заволжье, Предволжье) водоемов [1].

Значения показателей разнообразия планктонных сообществ малых рек большинства районов, за исключением Присурья, сходны с диапазоном колебания данного показателя на чистых участках водотоков [19, 20]. Относительно невысокий уровень разнообразия зоопланктонных сообществ лесного Присурья схож с таковым для подверженных эвтрофированию или характеризующихся повышенной скоростью течения лотических экосистем [3]. В связи с тем, что отличные от других районов источники эвтрофирования на исследованных участках водосборов не выявлены, можно предположить влияние природных факторов – в частности, относительной площади стабильных ландшафтов (рис. 2), а также особенностей гидрологического режима самих рек.

Каждый из трех параметров среды, достоверное влияние которых на разнообразие было установлено в результате корреляционного анализа, в разной степени сказывается на сообществах озер,

прудов и рек. Варьирование уровня разнообразия сообществ планктонных беспозвоночных в озерах между природными районами, вероятно, определяется преимущественно уровнем антропогенного воздействия (рис. 2). Хотя значения индексов Шеннона для прудовых планктоценозов не обнаружили достоверную ($p < 0,052$) связь с изменением лесистости территории, именно данный фактор, судя по данным канонического анализа, в наибольшей степени определяет изменчивость разнообразия в зависимости от особенностей ландшафта (рис. 2). Для зоопланктонных сообществ рек наиболее значимо соотношение стабильных и нестабильных ландшафтов на водосборе (рис. 2).

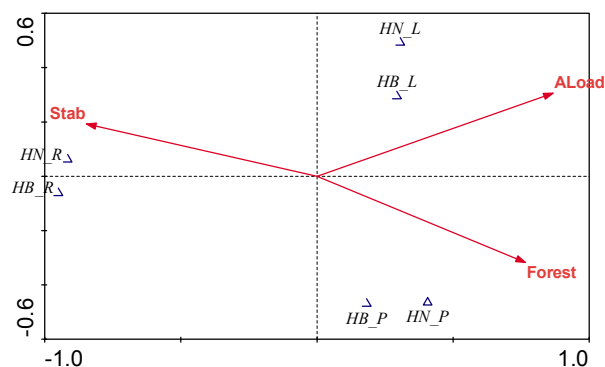


Рис. 2. Ординационная диаграмма связи факторов среды и индексов Шеннона по численности (HN) и биомассе (HB) для сообществ зоопланктона озер (L), прудов (P) и рек (R) ($Forest$ – лесистость территории, %, $Stab$ – доля стабильных ландшафтов на территории района, $ALoad$ – общая антропогенная нагрузка)

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о влиянии особенностей ландшафта в целом и лесистости территории, в частности, на разнообразие сообществ зоопланктона как озер, прудов, так и малых рек. Механизм этих процессов еще предстоит объяснить. Относительно более низкие значения индексов разнообразия водных объектов в пределах одной или соседних природных зон может быть обусловлено как антропогенной нагрузкой, так и характером ландшафта на водосборе. В связи с этим, представляется необходимым учитывать выявленные закономерности для адекватной интерпретации результатов исследований, выполненных с целью оценки и прогнозирования качества вод по данным о разнообразии зоопланктонных сообществ.

ВЫВОДЫ

В лесной и лесостепной зонах Среднего Поволжья в пределах Чувашской Республики лесистость ландшафта, общая антропогенная нагрузка отрицательно сказываются на уровне разнообразия зоопланктона рек, прудов и озер. Сильное положительное влияние на значения индексов разнообразия Шеннона выявлено в зависимости от доли террито-

рии района, занятой стабильными элементами ландшафта. Кроме того, стабильность ландшафтов в наибольшей степени определяет варьирование разнообразия сообществ малых рек. Разнообразие зоопланктоценозов озер и прудов зависит главным образом от интенсивности антропогенной нагрузки на водосборе и облесенности территории района, соответственно. Влияние особенностей ландшафта целесообразно учитывать при интерпретации данных мониторинговых исследований на основе сообществ зоопланктона.

Автор выражает искреннюю признательность Е.В. Осмелкину, А.В. Димитриеву, И.В. Алюшину и Г.Н. Исакову за помощь в сборе материалов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта 10-04-97053-р_поволжье_а_Российского фонда фундаментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
2. Иванова М.Б. Зависимость числа видов в зоопланктоне озер от общей минерализации воды и величины рН // Биология внутренних вод. 2005. № 1. С. 64-68.
3. Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
4. Крылов А.В., Касьянов Н.А. Влияние колониальных поселений речной крачки на зоопланктон мелководий Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. 2008. № 2. С. 40-48.
5. Базилевич В.М., Якушенко О.К. Применение показателя видового разнообразия зоопланктона для оценки качества воды в водотоках // Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод. М.: Наука, 1980. С. 232-235.
6. Левич А.П., Забурдаева Е.А., Максимов В.Н. и др. Поиск целевых показателей качества для биоиндикаторов экологического состояния и факторов окружающей среды (на примере водных объектов реки Дон) // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 730-742.
7. Подшивалина В.Н., Яковлев В.А. Состояние зоопланктона озер Заволжья (Чувашская Республика) как показатель стадий сукцессии водоемов // Вестник Татарстанского отделения РЭА. 2003. № 1 (15). С. 34-35.
8. Гиляров А.М. Классификация северных озер на основе данных по зоопланктону // Гидробиологический журнал. 1972. № 2. С. 5-14.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
10. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
11. Ter Braak C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis // Ecology. 1986. Vol. 67. P. 1167-1179.
12. Папченков В.Г., Димитриев А.В. О природном районировании Чувашской Республики // Экологический вестник Чувашии. 1993. Вып. 2. С. 75-82.
13. Ступишин А.В., Лаптева Н.Н. Физико-географическая характеристика Среднего Поволжья и его озерность // Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. С. 5-18.
14. Атлас земель сельскохозяйственного назначения Чувашской Республики. Чебоксары, 2007. 184 с.
15. Землеустроительное проектирование / Под ред. В.Ф. Колмыкова. Горки, 1994. 60 с.
16. Кормилицын В.Ф., Паракин В.В., Соколов О.А. и др. Оптимизация агроландшафтов и организация устойчивых агроэкосистем // Агроэкология. М.: Колос, 2000. С. 434-470.
17. Ильин В.Н., Никонорова И.В. Антропогенизация ландшафтов Чувашии // Арчиновские чтения: науки о Земле и стратегия устойчивого развития: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Вып. 1. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. С. 59-66.
18. Большаник П.В., Игенбаева Н.О. Экологическое районирование Омского Прииртышья // География и природные ресурсы. 2006. № 3. С. 37-41.
19. Иванова М.Б. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможности их использования для определения степени загрязнения рек // Методы биологического анализа пресных вод. Л., 1976. С. 68-80.
20. Крылов А.В. Зоопланктон и качество вод малой реки в условиях воздействия промышленных стоков // Зооценозы водоемов бассейна Верхней Волги в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. С. 39-47.
21. Carlson R.A. A trophic state index for lakes // Limnol. a. Oceanogr. 1977. Vol. 22., No 2. P. 361-369.

COMPARATIVE RESERVOIRS AND RIVERS ZOOPLANKTON FAUNA DIVERSITY ASSESSMENT ON THE DEPENDENCE OF NATURE FACTORS

© 2014 V.N. Podshivalina

Chuvash State University, Cheboksary

The present paper is devoted to the resumptive study of the plankton Rotifera and Crustacea fauna diversity in water bodies which belong to the different landscape regions on the territory of forest and forest-steppe zones (Middle Volga Region, the Chuvash Republic). The regions were assigned basing on the catching basin localization and landscape characteristics. The Shannon diversity indexes mean value was assumed for lakes, ponds (artificial lakes) and small rivers separately for each region. The highest diversity indexes levels were revealed for lakes and ponds zooplankton communities on steppe landscapes. The less diverse fauna is observed in lakes situated on forest-steppe and forest territories. The poorest river communities are typical for mixed-woods dominated region. The strong negative dependence of lakes, ponds, rivers zooplankton community diverse on territory forestation and anthropogenic load was revealed. The positive correlation of diversity and landscape stability was exposed either.

Key words: zooplankton, small lakes, small rivers, ponds, community diversity, environmental impact