

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСОВ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА АЛЬГОФЛОРЫ БАССЕЙНА р. АЛАТЫРЬ

Ю. С. Орлова

В статье сравниваются различные индексы биологического разнообразия (Маргалёфа, Симпсона, Шеннона) при использовании их для анализа фитопланктона бассейна р. Алатырь.

Ключевые слова: Алатырь, альгофлора, биологическое разнообразие, фитопланктон, индекс, Шеннон, Маргалёф.

USING OF DIVERSITY INDEXES TO ANALYSIS OF ALGOFLORA OF ALATYR RIVER BASIN

Yu. S. Orlova

A comparison of different diversity indexes (Margalef index, Simpson index, Shannon index) is conducted to analysis of phytoplankton of Alatyр river basin.

Keywords: phytoplankton, Margalef index, Simpson index, Shannon index.

Река Алатырь является левобережным притоком р. Суры, берущим начало в Нижегородской области. В пределах Мордовии Алатырь проходит в основном в среднем и нижнем течении и впадает в Суру в Чувашской Республике. Алатырь относится к числу средних рек протяженностью 296 км. Площадь бассейна, неравномерно распределенная между Мордовией, Чувашией, Нижегородской и Пензенской областями, составляет 11,2 тыс. км² [5].

По альгофлоре бассейна Алатыря написано несколько работ, в которых исследуется видовой состав, количественные и эколого-географические характеристики фитопланктона [6–11]. В данной статье рассматривается такой важный аспект как разнообразие.

Биологическое разнообразие может быть рассмотрено на нескольких уровнях: таксономическом (альфа-разнообразии), фитоценотическом (бета-разнообразии) и биогеографическом (гамма-разнообразии) [1]. Альфа-разнообразие основано

на числе видов, слагающих альгофлору, и к нему применимы те же методы, что и для флор высших растений (выделение спектров лидирующих семейств и родов и др.). К сожалению, такой подход актуален только для хорошо изученных альгофлор, с большим видовым богатством. То же можно сказать о гамма-разнообразии, так как при малой изученности объектов сложно выстроить длительную иерархическую цепь. Для небольших и слабоизученных альгофлор наиболее применимым является бета-разнообразие, характеризующееся как структура сообщества, где играет роль не только число обнаруженных видов, но и их количественная представленность.

Для анализа бета-разнообразия фитопланктона бассейна Алатыря были использованы индексы Маргалёфа, Симпсона и Шеннона [4; 13].

Материалом для данной работы послужили 130 индивидуальных количественных

проб фитопланктона, отобранных из 5 рек (Алатырь, Инсар, Нуя, Калыша и Ашня) и 3 озер (Песчаное, Митряшки и Малая Инерка) на территории Республики Мордовия. Сбор проб проводился в весенне-летний сезон 2009–2010 гг. Методика сбора и обработки материала соответствовала общепринятым подходам в изучении водорослей [2; 3; 12]. Отбор проб осуществлялся простым зачерпыванием с поверхности и в зарослях. Пробы объемом 0,5 л фиксировали 40%-ным раствором формалина и концентрировали общепринятым осадочным способом. Количественные пробы просчитывали в камере Нажотта объемом 0,01 см³ с использованием светового микроскопа МБИ-6. При определении видовой принадлежности использовались определители серий: «Определитель пресноводных водорослей СССР», «Визначник прісноводних водоростей Украпнської РСР», «Süßwasserflora von Mitteleuropa» и отдельных определителей. Часть материала была определена в лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН.

Индекс видового разнообразия Шеннона рассчитывали по формуле:

$$H = -\sum p_i \log_2 p_i, \quad (1)$$

где H – разнообразие в битах,
 p_i – удельное обилие вида [4].

Индекс видового богатства Маргалефа рассчитывали по формуле:

$$d = (s-1) / \ln N, \quad (2)$$

где s – число видов,
 N – число особей [13].

Индекс разнообразия (доминирования) Симпсона рассчитывали по формуле:

$$C = \sum (n_i / N), \quad (3)$$

где n_i – оценка значимости каждого вида (численность или биомасса),

N – сумма оценок значимостей [Там же].

На основе численности всех обнаруженных в бассейне Алатыря видов пресноводных водорослей были рассчитаны

индексы Маргалефа, Симпсона и Шеннона как для каждой отдельной пробы, так и для всего бассейна.

Индекс Маргалефа отражает плотность видов, или видовое богатство, на определенной территории, т. е. чем выше индекс, тем большим видовым богатством характеризуется данная территория [Там же]. Среднее значение индекса для исследуемой части бассейна Алатыря составило $1,48 \pm 0,12$, абсолютные значения индекса колебались от 0,09 до 4,10. Среди групп объектов наименьшим средним индексом характеризовались очень малые реки – 0,81, затем малые реки – 1,22, озера – 1,49, а наибольший индекс имели средние реки – 2,17. Низкое значение индекса в очень малых реках связано с тем, что вследствие сильной затененности, малой глубины и турбулентности потока в них слабо развивались зеленые водоросли. Колебания индекса Маргалефа по месяцам были незначительными, несколько меньшее значение наблюдалось в мае.

Кроме этого, была предпринята попытка проанализировать, какой из отделов пресноводных водорослей оказывает наибольшее влияние на формирование индекса. Для этого были построены диаграммы изменения индекса Маргалефа в зависимости от относительной численности отделов водорослей. На диаграммах были проведены линии тренда и выявлены величины достоверности аппроксимации (R^2) для выявления существования прямой зависимости. Диаграммы показали, что с наибольшей вероятностью прямая линейная зависимость в бассейне Алатыря существует между индексом Маргалефа и относительной численностью зеленых водорослей ($R^2=0,32$) (рис. 1а). То же подтверждает проведенный корреляционный анализ, где величина корреляции составила 0,57 (рис. 1б), что по шкале Чеддока означает заметную зависимость между изученными параметрами. Это связано с тем, что в бассейне Алатыря зеленые водоросли преобладают не только по числу видов, но и по обилию в водных объектах бассейна.

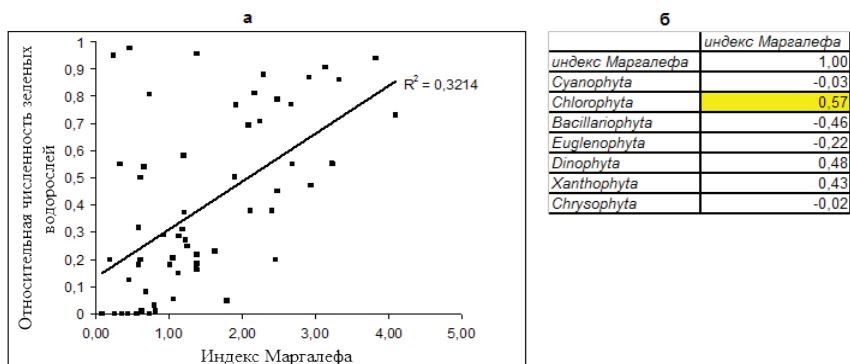


Рис. 1. Зависимость индекса Маргалефа от относительной численности зеленых водорослей (а) и корреляционный анализ зависимости (б)

Индекс Симпсона указывает на доминирование тех или иных видов сообщества. Поскольку при возведении в квадрат малых отношений n_i / N получаются очень малые величины, индекс Симпсона возрастает по мере доминирования одного или нескольких видов [Там же]. Среднее арифметическое значение индекса доминирования составило в бассейне Алатыря $0,27 \pm 0,03$, что свидетельствует о равномерности распределения видов без преобладания одного из них. Максимальные значения индекса рассчитаны для р. Нуя в створе у с. Апраксино – 0,88, что указывает на значительное доминирование одного или двух видов, а именно: *Anabaena variabilis* и *Aphanizomenon flos-aquae*. Согласно средним значениям индекса, группы объектов располагаются следующим образом: средние реки (0,19) – очень малые реки (0,20) – озера (0,31) – малые реки (0,48). Такое распределение свидетельствует об от-

клонении от нормальных условий в малых реках, что позволяет доминировать одному или нескольким видам, тогда как остальные имеют слабое количественное развитие. В течение сезона значения индекса колебались в пределах статистической ошибки.

Корреляционный анализ показал, что наибольшая величина положительной корреляции существует между индексом Симпсона и относительной численностью синезеленых водорослей – 0,47 (рис. 2б), что по шкале Чеддока означает умеренную зависимость. Подтверждение такой корреляции прослеживается в диаграмме (рис. 2а), где величина достоверности аппроксимации указывает на прямую зависимость индекса Симпсона от относительной численности Cyanophyta ($R^2 = 0,22$). Наличие такой корреляции указывает на «вспышки» численности синезеленых водорослей, что является показателем загрязнения.

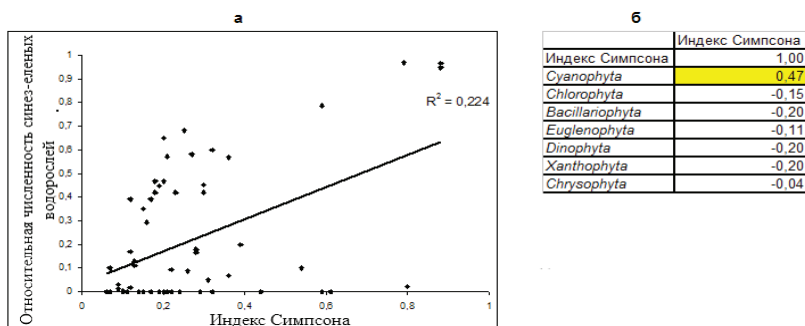


Рис. 2. Зависимость индекса Симпсона от относительной численности синезеленых водорослей (а) и корреляционный анализ зависимости (б)

Индекс биоразнообразия Шеннона отражает сложность структуры сообщества [1], основываясь на количественной представленности видов, он может изменяться от 0 до 5. Среднее арифметическое значение индекса Шеннона составляет $2,76 \pm 0,12$ бит/экз, что указывает на среднюю сложность структуры сообщества бассейна Алатыря. Минимальные значения индекса Шеннона наблюдались в р. Нуя в створе у с. Апракино – 0,5 и 0,6 бит/экз, что указывает на простейшее устройство сообщества фитопланктона в данном створе. К такому результату привело доминирование синезеленых водорослей, создающих «цветение» воды. Максимальные значения индекса рассчитаны для р. Инсар в створе у пос. Оброчное (4,48 бит/экз) и для р. Алатырь в створе у пос. Камчатка (4,47 бит/экз) в июле. В этих створах наблюдалось максимальное видовое богатство, что объясняет высокие значения индекса. Согласно средним показателям индекса, группы объектов распределяются в следующем порядке: средние реки (3,34) – очень малые реки (2,70) – озера (2,56) – малые реки (2,09). При этом только среднее значение индекса в средних реках статистически отличалось от значений в других объектах,

что свидетельствует о более высоком разнообразии в средних реках, чем в других объектах бассейна Алатыря. В сезонном аспекте различий между средними значениями индекса Шеннона не наблюдалось.

Корреляционный анализ показал, что в условиях бассейна Алатыря существует умеренная зависимость величины индекса Шеннона от относительной численности синезеленых (0,33), зеленых (0,35), динофитовых (0,34) и желтозеленых (0,32) водорослей (рис. 3б). Chlorophyta, Dinophyta и Xanthophyta обнаруживали положительную корреляцию, т. е. чем выше относительная численность этих отделов, тем выше индекс Шеннона, тогда как Cyanophyta демонстрировали обратную тенденцию – при увеличении относительной численности индекса уменьшался. При построении диаграмм зависимости индекса Шеннона от относительной численности отделов водорослей, также выявилась корреляция между значением индекса и относительной численностью синезеленых, зеленых, динофитовых и желтозеленых водорослей (рис. 3а). Величина достоверности аппроксимации для этих отделов составляла 0,10–0,12, что означает слабую вероятность зависимости.

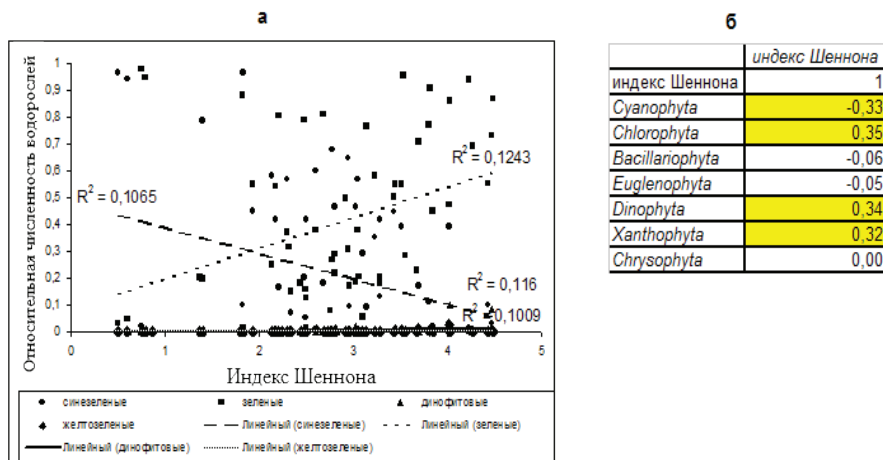


Рис. 3. Зависимость индекса Шеннона от относительной численности отделов водорослей (а) и корреляционный анализ зависимости (б)

Таким образом, для анализа бета-разнообразия малоизученных альгофлор, к которым относится альгофлора бассейна

Алатыря, могут быть применены все три коэффициента. Применение конкретного коэффициента зависит от цели исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Барина С. С.** Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С. С. Барина, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив : PiliesStudio, 2006. – 498 с.
2. Водоросли : справ. / под общ. ред. С. П. Вассера. – Киев : Науч. Думка, 1989. – 608 с.
3. **Киселев И. А.** Планктон морей и континентальных водоемов / И. А. Киселев. – Л. : Наука, 1969. – Т. 1 – 658 с.
4. **Кузьмин Г. В.** Фитопланктон : Видовой состав и обилие / Г. В. Кузьмин // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М. : Наука, 1975. – С. 73–87.
5. **Нарежный В. П.** Поверхностные и подземные воды / В. П. Нарежный // География Мордовской АССР. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1983. – С. 67–87.
6. **Орлова Ю. С.** К биоиндикации рек Алатырь и Инсар в Республике Мордовия / Ю. С. Орлова // Экологический сборник 3 : тр. молодых ученых Поволжья. – Тольятти : Кассандра, 2011. – С. 176–179
7. **Орлова Ю. С.** К альгофлоре реки Алатырь на территории Республики Мордовия / Ю. С. Орлова // Вестн. Мордов. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 193–197.
8. **Орлова Ю. С.** К альгофлоре озера Малая Инерка (национальный парк «Смольный», Республика Мордовия) / Ю. С. Орлова // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2011. – Т. 13(43), № 5. – С. 226–229.
9. **Орлова Ю. С.** Фитопланктон в сообществах рдестов озера Малая Инерка / Ю. С. Орлова // Изв. ПГПУ им. В.Г. Белинского. – 2011. – № 25. – С. 542–547.
10. **Орлова Ю. С., Силаева Т. Б.** Альгофлора среднего течения реки Алатырь / Ю. С. Орлова, Т. Б. Силаева // Вестн. ОГУ. – 2011. – № 12 (131). – С. 111–113.
11. **Орлова Ю. С.** Фитопланктон реки Инсар (Республика Мордовия, Россия) / Ю. С. Орлова // Актуальные проблемы современной альгологии : тез. докл. IV Междунар. конф. – Киев, 2012. – С. 225–226.
12. **Федоров В. Д.** О методах изучения фитопланктона и его активности / В. Д. Федоров. – М. : Изд-во МГУ, 1979. – 167 с.
13. **Шитиков В. К.** Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

Поступила 21.08.2013 г.