

УДК 574.5

## АВТОТРОФНО-ГЕТЕРОТРОФНАЯ ЭКОСИСТЕМА ОЗЕРА ОСВЕЩЕННОЙ ЧАСТИ ПЕЩЕРЫ ВЕРТОЛЕТНАЯ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

© 2012 Ш.Р. Абдуллин, Р.З. Сабитова, Ю.В. Островская, Т.С. Юлкина

Башкирский государственный университет, г. Уфа

Поступила 22.12.2010

В статье рассмотрены особенности автотрофно-гетеротрофной экосистемы озера освещенной части пещеры Вертолетная, расположенной в Республике Башкортостан; исследованы таксономический и экологический состав продуцентов и консументов водоема; выполнена биологическая оценка трофности озера; построена система трофических связей изученной экосистемы.

**Ключевые слова:** автотрофно-гетеротрофная экосистема, пещера Вертолетная, продуценты, консументы, трофность, трофические связи.

Наряду с автотрофными и гетеротрофными экосистемами существуют экосистемы с переходным типом питания – автотрофно-гетеротрофные. Это затененные лесные водоемы, где основным источником органического вещества является опад листьев деревьев, но имеется и некоторое количество организмов автотрофного планктона [13] и мангры в эстуариях [15], хотя в пещерах подобные экосистемы ранее не описывались [24]. Экосистема этого типа была изучена авторами в озере, расположенном в освещенной зоне пещеры Вертолетная (Республика Башкортостан).

Задачи данной работы: исследовать таксономический и экологический состав автотрофной биоты – цианобактерий и водорослей планктона и бентоса, а также состав гетеротрофов (зоопланктона и зообентоса); провести биологическую оценку трофности озера; построить систему трофических связей экосистемы.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – пещера Вертолетная находится в Аургазинском районе Республики Башкортостан, в 1 км севернее д. Ахмерово, в пределах Рязано-Охлебнинского вала [4]. Полость залегает в светло-серых массивных гипсах кунгурского яруса нижней перми. Это самая протяженная гипсовая пещера Башкирии, имеет общую длину 1768 м, глубину – 50 м. Вход находится в провальной, с нависающими и обвалоопасными бортами, воронке диаметром 80 м и глубиной 20 м с северной стороны колодца и 50 м с южной стороны. В юго-западной части воронки в освещенной привходовой части пещеры находится озеро глубиной до 2 м. В период интенсивного снеготаяния полость затапливается. Максимальный уровень воды поднимается в это время до 4 м от пола. Площадь зеркала озера на момент исследования составляла около 120 м<sup>2</sup>.

Для выявления состава биоты водоема – циано-

бактерий, водорослей, организмов зоопланктона и зообентоса – 15.07.2009 г. было отобрано 3 пробы воды и 3 пробы ила. Вариация видового состава биоты в пробах оказалась низкой, поэтому авторы считают количество проб достаточным. Температура воздуха при отборе проб изменялась от +11°C у входа до +2°C в глубине полости. Температура воды в озере составляла +4°C. При этом температура воздуха вне пещеры была +23°C. Отбор проб проводился стандартными методами [5, 9, 12].

Выявление видового состава цианобактерий и водорослей проводилось в лаборатории прямым микроскопированием, на «стеклах обрастания» [7] и после культивирования проб в жидкой минеральной среде № 6 [8]. Пробы воды были профильтрованы через мембранные фильтры МФАС-Б-4 (средний диаметр пор – 0,5 мкм), затем также помещены в среду № 6. Обилие оценивалось по 6-балльной шкале, наличие цианобактерий и водорослей только в жидких культурах отмечалось наименьшим баллом. Определялась значимость видов по формуле  $p = \alpha/A$ , где  $\alpha$  – среднее значение обилия вида;  $A$  – средняя сумма баллов всех видов, выявленных в одном образце. Для сравнения видового состава использовался качественный коэффициент Сьеренсена-Чекановского (К<sub>С-Ч</sub>). При определении цианобактерий и водорослей использовали определители [1, 6, 10, 14, 20, 25-29].

Систематика цианобактерий приведена по [21-23], систематика диатомовых – по F.E. Round с соавт. [31]. Зеленые водоросли даны по системе, приведенной в справочнике «Водоросли» [3], по которой отдел представлен 3 классами. Порядки *Tetrasporales*, *Chlorococcales* и *Chlorosarcinales* приводятся согласно В.М. Андреевой [1].

Обработка зоопланктона осуществлялась в лаборатории по стандартной методике [12]. Обилие оценивалось по 9-балльной шкале. Идентификация проводилась с использованием определителей [11, 16-18].

Определение организмов зообентоса также проводилась по стандартным методикам [12]. При определении видового состава гидробионтов использовались определители: [16, 17].

Для оценки степени сапробности водоема был

Абдуллин Шамиль Раисович, к.б.н., доц., e-mail: abdulinsrbsu@mail.ru; Сабитова Римма Зульфировна, асс., e-mail: sabrima@rambler.ru; Островская Юлия Викторовна, асс., e-mail: OstrovskayaYV@rambler.ru; Юлкина Татьяна Сергеевна, студент

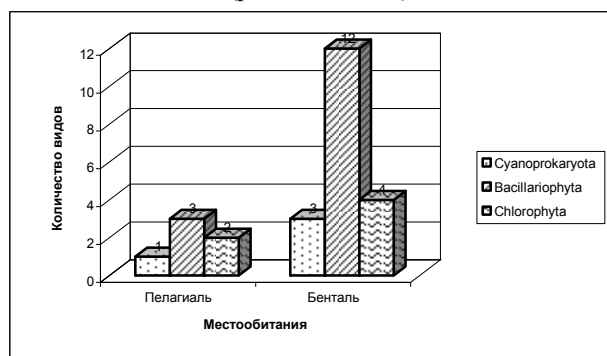
использован индекс Пантле-Бука [30] в модификации Сладечека [19], который рассчитывается по формуле

$$S = \frac{\sum(sh)}{\sum h}$$

где,  $s$  – индикаторная значимость вида;  $h$  – частота встречаемости организма в пробе.

### ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЫЯВЛЕННЫХ ОРГАНИЗМОВ

**Продуценты.** Общее число видов автотрофов в пелагиали и бентали озера освещенной зоны пещеры Вертолетная составило 22 вида и внутривидовых таксона цианобактерий и водорослей, относящихся к 3 отделам (рис. 1, табл. 1).



**Рис. 1.** Таксономический состав цианобактерий и водорослей различных местообитаний озера освещенной зоны пещеры Вертолетная

В пробах пелагиали обнаружено 6 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей из 3 отделов. Преобладали представители *Bacillariophyta* (рис. 1, табл. 1).

В пробах бентали выявлено 19 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей, принадлежащих к 3 отделам. Доминировали также представители диатомовых водорослей (рис. 1, табл. 1).

Константные и дифференцирующие виды пелагиали и бентали представлены в табл. 1.

При анализе таксономического состава было выявлено, что цианобактерии и водоросли пелагиали и бентали значительно различаются ( $K_{C.ч.} = 24,0\%$ ).

**Консументы.** В зоопланктоне озера освещенной зоны пещеры Вертолетная было выявлено 9 видов беспозвоночных животных, относящихся к 2 типам. По количеству видов доминировали представители класса *Rotatoria* (табл. 2, рис. 2).

**Таблица 1.** Таксономический и экологический состав продуцентов планктона и бентоса озера освещенной части пещеры Вертолетная

Таксон	s	Пелагиаль	Бенталь
<b>Константные виды</b>			
<i>Nitzschia acicularis</i> W. Sm.	о-β (1,4)	22,8	2,5

<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Sm.	о-х (0,6)	14,2	5,0
<i>Trichormus variabilis</i> (Kütz. ex Born. et Flah.) Kom. et Anagn.	–	2,8	2,5
<b>Дифференцирующие виды</b>			
<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punč.	α (3,0)	25,6	
<i>Chlorochormidium flaccidum</i> (Kütz.) Fott	β-о (1,6)	22,8	
<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann	о (1,0)	11,4	
<i>Leptolyngbya gracillima</i> (Zopf. ex Hansg.) Anagn. et Kom.	–		12,5
<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	о-β (1,4)		10,0
<i>Hantzschia amphioxys</i> f. <i>capitata</i> O. Müll.	–		10,0
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	–		10,0
<i>Choricystis chodatii</i> (Jaag) Fott	–		10,0
<i>Stauroneis anceps</i> Ehr.	х (0,0)		7,5
<i>Navicula subrhombica</i> Hust.	–		5,0
<i>Chlorococcum infusio-nium</i> (Schränk.) Menegh.	β (2,0)		5,0
<i>Phormidium ambiguum</i> Gom.	β (2,0)		2,5
<i>Achnanthes</i> sp.	–		2,5
<i>Navicula laterostrata</i> Hust.	–		2,5
<i>Navicula minuscula</i> Grun.	β-α (2,4)		2,5
<i>Navicula subminuscula</i> Manguin.	α-β (3,6)		2,5
<i>Amphora montana</i> Krasske	–		2,5
<i>Nitzschia linearis</i> W. Sm.	х (0,0)		2,5
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer.	α (3,0)		2,5
<b>Количество видов</b>		<b>6</b>	<b>19</b>
<b>Сумма баллов обитания</b>		<b>35</b>	<b>40</b>

Примечание:  $s$  – индикаторная значимость сапробности вида; у видов указана значимость в %.

**Таблица 2.** Таксономический и экологический состав зоопланктона и зообентоса озера освещенной части пещеры Вертолетной

Таксон	Тип питания	s	Пелагиаль	Бенталь
1	2	3	4	5
<i>Polyarthra dolichoptera dolichoptera</i> Idelson, 1925	Э (Ф, Д)	–	9	
<i>Elosa spinifera</i> Wiszniewski, 1932	Э (Ф, Д)	–	6	
<i>P. minor</i> Voigt, 1904	Э (Ф, Д)	β-о (1,6)	5	
<i>P. remata</i> Skorkov, 1896	Э (Ф, Д)	о (1,0)	5	
<i>Ascomorpha saltans</i> Bartsch, 1870	Ф	–	5	

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
<i>Megacyclops viridis</i> Jurine, 1820	3	$\beta$ (2,0)	5	
<i>Diacyclops languidus disjunctus</i> Thallwitz, 1927	Э	–	5	
<i>Lecane clara</i> Bryce, 1892	Э (Ф, Д)	$\alpha$ (1,0)	3	
<i>Keratella irregularis angulifera</i> Lauterborn, 1900	Э (Ф, Д)	–	1	
<i>Ostracoda gen. sp.</i>	Э (Ф, Д)	–		8
<i>Prodiamesa olivacea</i> Mg.	3	–		5
<b>Количество видов</b>			<b>10</b>	<b>2</b>

**Примечание:** s – индикаторная значимость сапробности вида; Ф – фитофаг, Д – детритофаг, Э – эврифаг, 3 – зоофаг; у видов указаны баллы обилия.

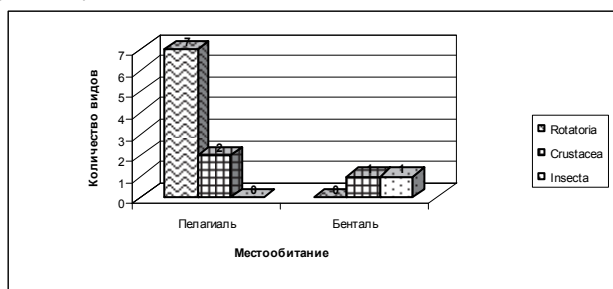


Рис. 2. Таксономический состав зоопланктона и зообентоса освещенной зоны пещеры Вертолетная

В зообентосе озера освещенной зоны пещеры Вертолетная было обнаружено 2 вида беспозвоночных животных, относящихся к 1 типу (табл. 2, рис. 2).

Зоопланктон и зообентос полностью различались по таксономическому составу.

### БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРОФНОСТИ ОЗЕРА

Учитывая, что количество видов зоопланктона и зообентоса, имеющих индикаторную значимость, оказалось небольшим, расчет индекса сапробности озера вели по продуцентам. Он оказался равным 1,83. Согласно данным литературы [2] это соответствует бета-мезо-сапробному уровню сапробности и мезотрофному трофическому уровню.

**Трофические связи.** Схема трофических связей пелагиали озера представлена на рис. 3, бентали – на рис. 4. И в пелагиали, и в бентали второй трофический уровень представлен, в основном, эврифагами (лишь один из видов зоопланктона пелагиали – фитофаг), что, на наш взгляд, также косвенно указывает на принадлежность экосистемы к автотрофно-гетеротрофной. Кроме этого, за счет эврифагов происходит перекрывание между собой автотрофных и гетеротрофных сетей питания.

Значительная часть детрита, служащего питанием для эврифагов, поступает, по-видимому, в озеро извне за счет гравитационного пути и представляет собой почву и другие органические остатки. Кроме

этого, возможно, часть детрита образуется за счет неполноты выедания цианобактерий, водорослей и животных, а также из-за недостаточного количества редуцентов.

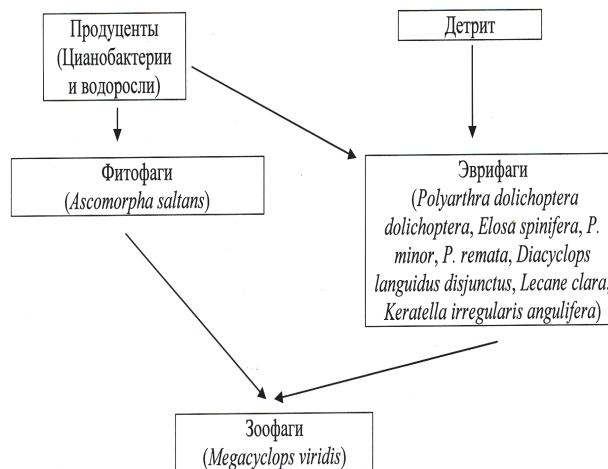


Рис. 3. Трофические связи пелагиали озера освещенной части пещеры Вертолетная

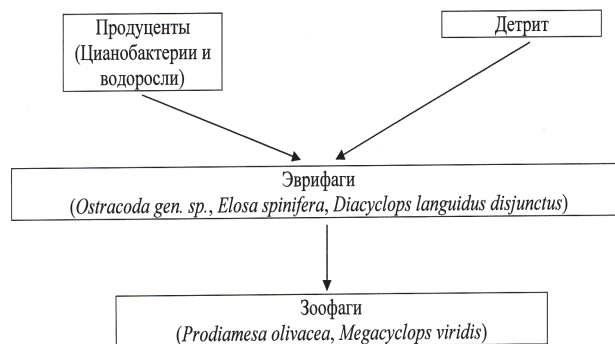


Рис. 4. Трофические связи бентали озера освещенной части пещеры Вертолетная

Интересно также отметить, что некоторые беспозвоночные (*Elosa spinifera*, *Diacyclops languidus disjunctus*) за счет особенностей питания (поедание детрита и бактерий с поверхности субстратов) могут входить как в пелагиальные, так и бентальные пищевые сети.

Все это говорит о широкой экологической нише беспозвоночных животных озера.

Таким образом, в озере освещенной зоны пещеры Вертолетная выявлено 22 вида и внутривидовых таксона цианобактерий и водорослей, а также 11 видов беспозвоночных животных. Трофический статус озера – мезотрофный. Особенностью изученной экосистемы является преобладание эврифагов на втором трофическом уровне.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева В.М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (*Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*). СПб.: Наука, 1998. 351 с.
2. Баринаева С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 500 с.
3. Водоросли. Справочник / Под ред. С. П. Вассера. Киев,

1989. 608 с.
4. *Гареев Э.З.* Геологические памятники природы Республики Башкортостан. Уфа: Гау, 2004. С. 162-163.
  5. *Голлербах М.М., Полянский В.И.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1. Пресноводные водоросли и их изучение. М.: Советская наука, 1951. 202 с.
  6. *Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 654 с.
  7. *Голлербах М.М., Штина Э.А.* Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 142 с.
  8. *Громов Б.В.* Коллекция культур водорослей Биологического института Ленинградского университета // Труды Петергоф. биол. ин-та ЛГУ. Л., 1965. Т. 19. С. 125-139.
  9. *Жадин В.И.* Пресноводные воды и их жизнь. М.: Наука, 1960. 345 с.
  10. *Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шишукова В.С.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 620 с.
  11. *Кутикова Л.А.* Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.
  12. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. В. Н. Митропольского и Ф. Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. С. 133-137.
  13. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Основы общей экологии: Учебное пособие / Под ред. Г. С. Розенберга. М.: Университетская книга, 2005. 240 с.
  14. *Мошкова Н.А., Голлербах М.М.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10 (1). Зеленые водоросли, класс Улотриксые (1), порядок Улотриксые. Л.: Наука, 1986. 360 с.
  15. *Одум Ю.* Экология. Т.1. М.: Мир, 1975. 741 с.
  16. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). Л.: Гидрометиздат, 1977. 477 с.
  17. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные / Под ред. С. Я. Цалолихина. СПб., 1995. 628 с.
  18. *Рылов В.М.* Фауна СССР. Ракообразные. Л.: АН СССР, 1948. 313 с.
  19. *Сладечек В.* Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука, 1967. С. 26-31.
  20. *Царенко П.М.* Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наук. думка, 1990. 208 с.
  21. *Anagnostidis K., Komárek J.* Modern approach to classification system of cyanophytes. 2. Chroococcales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 73, 2, Algal. Stud. 43. 1986. P. 157-226.
  22. *Anagnostidis K., Komárek J.* Modern approach to classification system of cyanophytes. 3. Oscillatoriales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 80, Algal. Stud. 50-53. 1988. P. 327-472.
  23. *Anagnostidis K., Komárek J.* Modern approach to classification system of cyanophytes. 4. Nostocales // Arch. Hydrobiol. Suppl. 82, 3, Algal. Stud. 56. 1989. P. 247-345.
  24. *Culver D. C. and Pipan T.* The Biology of caves and other subterranean habitats. New York: Oxford University Press, 2009. 272 p.
  25. *Komárek J., Fott B.* Chlorophyceae (Grünalgen): Chlorococcales // Binnengewässer. Bd. 16. 1983. Vol. 7. N 1. 1044 s.
  26. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. T. 1. Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1. Jena, 1986. 876 s.
  27. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. T. 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Jena, 1988. 596 s.
  28. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. T. 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2. Jena, 1991a. 577 s.
  29. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae. T. 4. Achnanthaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/4. Jena, 1991. 434 s.
  30. *Pantle R., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserbach. 96 (18). 1955. 604 S.
  31. *Round F.E., Crawford R.M. and Mann D.G.* The Diatoms: biology and morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 748 pp.

#### AUTOTROPHIC-HETEROTROPHIC ECOSYSTEM OF LIGHT PART LAKE IN VERTOLETNAYA CAVE (BASHKORTOSTAN REPUBLIC)

© 2012 Sh.R. Abdullin, R.Z. Sabitova, Yu.V. Ostrovskaya, T.S. Yulkina

Bashkir State University, Ufa

Peculiarities of light part lake autotrophic-heterotrophic ecosystem in Vertoletnaya cave (Bashkortostan Republic) are considered in the paper. Taxonomic and ecological composition of reservoir producers and consumers is investigated. The biological estimation of lake trophity is carried out. The system of trophic relationships in studied ecosystem is constructed.

**Key words:** autotrophic-heterotrophic ecosystem, Vertoletnaya cave, producers, consumers, trophity, trophic relationships.