

В.С. Абуkenова, Ж.Ж. Блялова, А.Ж. Шайбек

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: abu-veronika@yandex.ru)

Определение степени сапробности участка реки Букпы по индикаторным видам инфузорий

В статье приведены сведения об эффективности методики определения степени сапробности водных объектов. Охарактеризован видовой состав инфузорий. Выделены встречаемость видов ресничных инфузорий на юго-восточном участке р. Букпы. Сапробиологический анализ выполнен по методу Пантле-Букку в модификации Сладечека. Отмечено, что вода исследованного участка относится к четвертому классу качества, как органически загрязненная.

Ключевые слова: степень сапробности, индекс сапробности, ресничные инфузии, сапробиологический анализ.

Экологическая оценка водных экосистем с помощью биоиндикационных методов определяет состояние и функционирование целостности водных экосистем, что дает возможность для определения корректирующих действий в тех случаях, когда выявляются отклонения от нормативных показателей экологической обстановки [1].

Одним из актуальных направлений в биоиндикационных исследованиях является изучение водных беспозвоночных как объектов-индикаторов состояния водной среды. Наиболее часто в качестве индикаторного признака предлагают фаунистический состав водных организмов и его изменения под воздействием каких-либо факторов, нарушающих нормальный гидрохимический и гидрологический режим водоемов (водотоков). При этом не уделяется достаточного внимания обоснованию использования разных объектов и параметров интенсивности этого воздействия по реакции водных беспозвоночных на изменение режима гидробиоценозов. Недостаточно применяется комплексный подход к использованию различных методов оценки состояния водной среды [2]. В то же время водные беспозвоночные являются очень удобным объектом для биоиндикации состояния водных экосистем, так как они делают необязательным (или часто дополняют) применение дорогостоящих и трудоемких физико-химических методов анализа параметров окружающей среды; отражают и фиксируют скорость происходящих в окружающей природной среде изменений [3].

Водные беспозвоночные, являющиеся биоиндикаторами загрязнения, в силу воздействия тех или иных факторов могут проявлять различную степень интенсивности ответной реакции в виде доминирования либо частичного или полного исчезновения. На наш взгляд, имеется прямая зависимость между интенсивностью реакции беспозвоночных-индикаторов и качеством воды.

Таким образом, анализ методов экологической оценки водных экосистем показывает, что водные беспозвоночные, которые многими исследователями используются в качестве биоиндикаторов для оценки благополучия или неблагополучия гидробиоценоза, вполне могут быть применены для оценки и нашего водного объекта. Целью нашего исследования было выявление степени сапробности юго-восточного участка реки Букпы по видовому составу инфузорий. Источником загрязнения этого водного объекта служит городская станция аэрации, которая сбрасывает в реку Букпу стоки очистных сооружений, на которые поступают канализационные воды со всей Караганды.

Материалы и методы исследования

В исследовании были использованы общепринятые гидробиологические методы (для определения, анализа и оценки). Изучение фауны и гидробиологическое исследование водотока проводилось маршрутным методом в сочетании с детальным обследованием фауны отдельных участков, многие из которых посещались неоднократно в отдельные сезоны года. В целом взятие водных проб проводилось в различные сезоны с января по декабрь 2015 г., так как из-за сбросов сточных вод вода в реке не замерзает в течение всего года.

Индекс сапробности организмов определен по таблице «Список видов организмов очистных сооружений с указанием сапробной валентности по Сладечеку (1973)» [4], «Унифицированные методы исследования качества вод» под редакцией В.Сладечека (1977) [5]; «Видовые индексы сапробности и распределение обилия водорослей-индикаторов по зонам самоочищения», «Biological Monitoring: Signals from the Environment» [6].

Одним из наиболее разработанных биологических методов оценки качества воды является метод Пантле-Букка (1955) с использованием индикаторных видов зообентоса. Среди простейших существуют виды-индикаторы различного рода загрязнения, на основе которых определяется индекс сапробности в водотоке. При этом учитываются отношение индикаторных видов к пяти известным степеням сапробности (s) и относительная частота их встречаемости (h). Эти величины входят в формулу (1) вычисления индекса сапробности — S :

$$S = \frac{\sum(sh)}{\sum h}, \quad (1)$$

Величина h находится по шестиступенчатой шкале значений частоты встречаемости и определяет относительное количество видов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Шестиступенчатая шкала значений частоты встречаемости

Частота встречаемости	Количество экземпляров одного вида, % от общего числа экземпляров	h
Очень редко	<1	1
Редко	2 — 10	2
Нередко	10 — 40	3
Часто	40 — 60	5
Очень часто	60 — 80	7
Масса	80 — 100	9

Индекс сапробности в олигосапробной зоне равен 0.50–1.50 (чистые воды), в β -мезосапробной зоне — 1.51–2.50 (воды умеренного загрязнения), в α -мезосапробной — 2.51–3.50 (загрязненные воды), в полисапробной зоне — 3.51–4.50 (грязная вода) [7].

В ходе микроскопии изучаемых объектов использовался видеокomплекc на базе VlnLogic 6XB-PC, который выводит изображение на компьютер. С помощью Altami Studio были сделаны также снимки беспозвоночных, что облегчило определение видового состава индикаторных организмов. Чтобы снимки были более четкие, они обрабатывались в программе Adobe photoshop CC. На снимки накладывались фильтры резкости, цветового контраста и размытия. Резкость накладывается для увеличения точности полученной фотографии и облегчения определения вида. Фильтр цветовой контраст применялся для тусклых фотографий, для увеличения цветового контраста.

Результаты и их обсуждение

Нами изучался видовой состав инфузорий исследуемого водотока. Изучение видового состава считается необязательным для выявления качества воды, но, по оценкам экспертов, определение до вида дает более точные представления о биоценозе водотока и его изменениях под воздействием различных факторов.

В ходе микроскопии были определены виды инфузорий, принадлежащие к 8 родам. Все инфузории принадлежат к одному подтипу *Ciliata*. *Ciliata* очень разнообразны, представлены 4 классами: *Kinetophragminophora*, *Oligohymenophora*, *Peritricha* и *Polyhymenophora*.

Отличительная черта класса *Kinetophragminophora* — равномерный ресничный покров тела инфузории. В исследуемом гидробиоценозе класс представлен одним родом *Litonotus*, двумя видами: *L.Lamella* и *L.Fasciola*. Как видно на рисунке 1, *Litonotus lamella* характеризуется бутылковидной формой с плоской и широкой шейкой. *Litonotus* очень маленький и подвижный. Левая (верхняя) сторона несет 3–5 продольных полос. Пульсирующая вакуоль расположена в заднем конце расширенной части тела перед ее сужением в хвостовой отдел, два округлых макронуклеуса или один вытянутый. Широко распространен в пресной и морской воде. Пищей инфузориям служат бактерии, мелкие жгутиковые и другие микроорганизмы, которых они поглощают в огромных количествах.

Следующий представитель этого рода — *Litonotus fasciola*, как видно на рисунке 2, это вытянутые бутылковидные инфузории, уплощенные в переднем (шейке) и заднем (хвосте) концах. Шейка инфузории прозрачная. Ресничный покров имеется только на правой (нижней) стороне тела инфузории. Пульсирующая вакуоль одна, крупная, расположена терминально. Два округлых макронуклеуса расположены в центре тела, между ними один микронуклеус. Длина тела 100 мкм. Этот вид обычен

как в пресной, так и морской воде. Пищей, как и для предыдущего вида, служат бактерии, мелкие жгутиковые и другие микроорганизмы [8; 147].

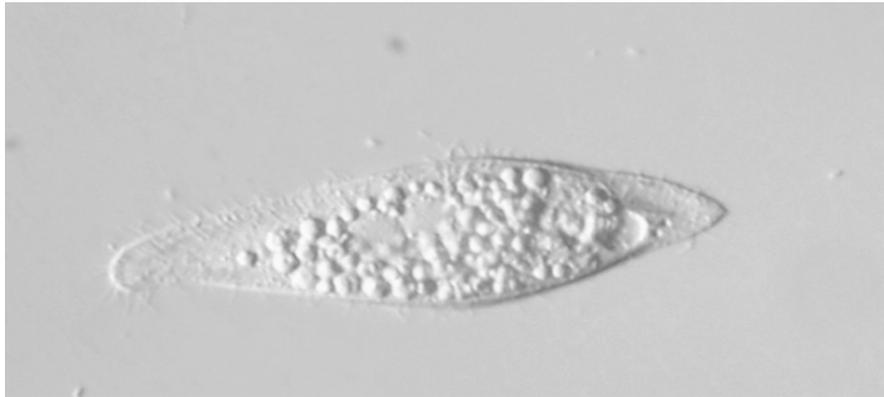


Рисунок 1. *Litonotus lamella* (× 160)

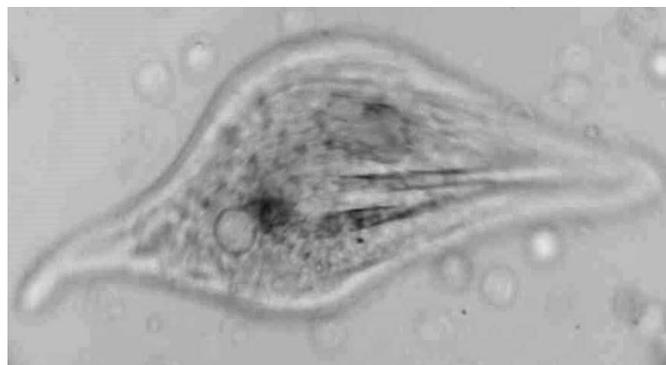


Рисунок 2. *Litonotus fasciola* (× 160)

Виды *Paramecium aurelia* и *Paramecium caudatum* относятся к классу *Oligohymenophora*. Частота встречаемости этих видов высокая.

У *Paramecium caudatum* тело сигарообразное или веретеновидное, вытянутое, в поперечном сечении округлое. Вестибулум в центре тела или чуть отодвинут в заднюю половину, которая несколько шире передней и имеет заостренный конец (рис. 3). Пища — бактерии и другие мелкие одноклеточные организмы.



Рисунок 3. *Paramecium caudatum* (×160)

Paramecium aurelia, как видно на рисунке 4, имеет сигарообразное тело, но задний конец более закруглен, чем у *P. caudatum*. Макронуклеус расположен центрально, около него два пузыревидных микронуклеуса. Продольная борозда (перистом) шире и менее глубокая, чем у *P. caudatum*. Две пуль-

сирующие вакуоли со звездчато расположенными приводящими каналами в разных концах тела. Ресничный покров равномерный, длина 130–180 мкм. Обитает там же, где и *P. caudatum*, только в меньшем количестве. Основная пища инфузории — бактерии.

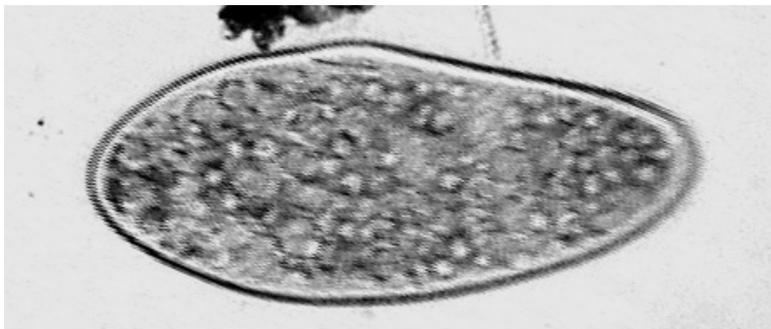


Рисунок 4. *Paramecium aurelia* (×160)

Также в исследуемом водотоке найдены большие скопления представителей класса *Peritricha*, который включает в себя три рода и четыре вида.

Carchesium polypinum живет колониями. В типичном случае колоколовидные зооиды имеют широко открытый перистом. Зооиды или подняты перистомом вверх, или повисают на стеблях. Валик перистома отогнут наружу, диск приподнят. Макронуклеус длинный, С-образно изогнут, пелликула нежно исчерченная. Стебли длинные и широкие, колонии очень крупные. Длина тела 100–125 мкм, высота колоний до 1 мм.

В природе этот вид широко распространен в стоячей, особенно в загрязненной воде (рис. 5) [8; 147–155].

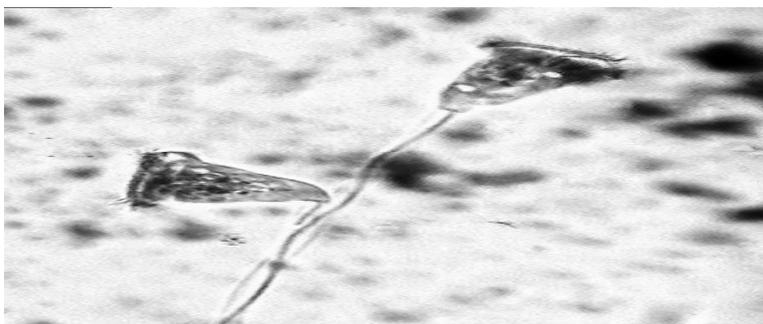


Рисунок 5. *Carchesium polypinum* (×160)

Еще один представитель колониальных инфузорий — *Campanella umbellaria*. Сидячие на умеренно толстых, несокращающихся, ветвящихся стеблях (рис. 6) [9]. Колонии крупные, дихотомически ветвятся, с 40–50 зооидами; зооиды очень крупные, вортицеллидного типа, длиной до 250 мкм, что резко контрастирует с тонким стебельком колонии; часто встречается в пресноводном перифитоне, легко культивируется в проточном аквариуме. Поверхность тела неровная, бугорчатая, которой нет у эпистилисов, имеющих кольцевые аргиромемы. Стебелёк непрочный, с длинным базостилом (стволом до ветвления), с пустотой внутри и фибриллярной стенкой, что также не свойственно эпистилисам. Ротовая цилиатура не в одном обороте, а в 3–4 (или даже 5) перед вхождением в длинную узкую ротовую полость, где также закручена больше, чем обычно у перитрих. При виде зооида сбоку на краю валика видны четыре пары ресничек, а не одна, как обычно. Ядро длинное, извитое. Зооиды легко отделяются от стебелька, образуя хорошо видимую компактную группу ресничек на подошве [10].

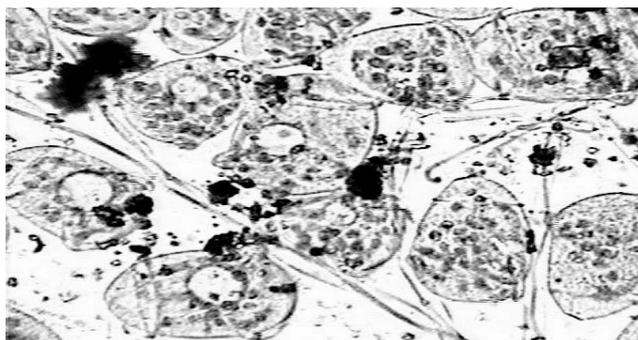


Рисунок 6. *Campanella umbellaria* (×160)

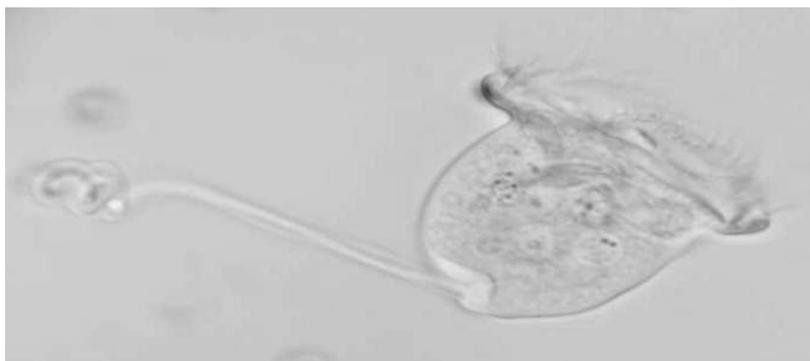


Рисунок 7. *Vorticella campanula*. (×160)

Тело *Vorticella convallaria* колоколовидное, самая широкая часть — перистом. Края перистома имеют вид нетолстого валика или ободка, иногда отогнутого книзу. Перистомальный диск слабовыпуклый. Исчерченность пелликулы нежная, но хорошо выраженная. Цитоплазма прозрачная, иногда желтоватая, пищеварительные вакуоли многочисленные и преимущественно овальные. Макронуклеус червеобразно изогнут, один конец его лежит поперечно в верхней части тела, второй вытянут продольно вниз. Вид очень часто селится сообществами, образует группы вокруг одного комочка ила. При неблагоприятных условиях быстро образует бродяжку и уплывает прочь. Длина тела 50–80 мкм (рис. 8).

В пресных водотоках широко распространена на детрите, растениях и животных. Не избегает загрязненных вод. Пища — бактерии, мелкие жгутиковые.

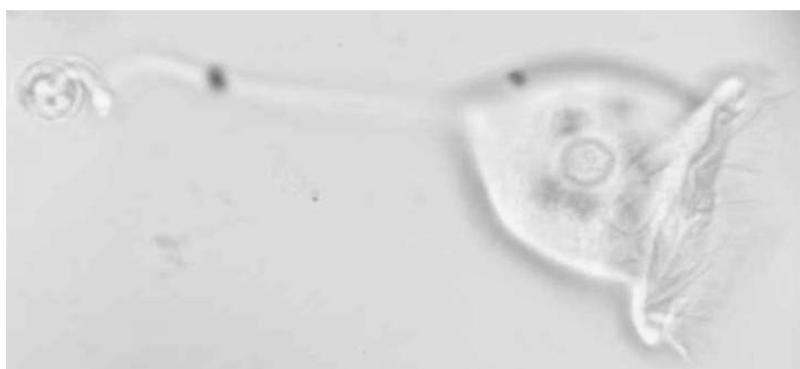


Рисунок 8. *Vorticella convallaria* (×160)

Класс *Polyhymenophora* представлен 3 родами, 4 видами.

Тело *Stentor roeseli* в вытянутом состоянии имеет вид очень изящной музыкальной трубы с тонким задним концом, макронуклеус лентовидный или четковидный. Длина тела 140–500 мкм, иногда до 1 мм.

Обитает на дне пресноводных водотоков. Питается бактериями, жгутиковыми (рис. 9).



Рисунок 9. *Stentor roeseli* (×160)

Род *Spirostomum* включает 2 вида: *S. ambiguum* и *S. minus*. Род представлен червеобразно-вытянутыми цилиндрическими инфузориями. Наличие продольных миофибрилл в теле обеспечивает резкую сократимость. Ресничные ряды на теле расположены густо, реснички короткие, перистомальная борозда вытянута вдоль тела до его задней трети, густо усажена низкими мембранеллами. Макронуклеус четковидный или цельный, вытянутый. Пульсирующая вакуоль крупная.

Spirostomum ambiguum имеет вытянуто-цилиндрическое тело, отношение длины к ширине 10:1, стороны тела почти параллельны. Макронуклеус четковидный, окраска темная. Перистом доходит до задней трети тела. Длина тела 1–3 мм. Форма крупная. В пресной воде находится на дне, не избегает загрязненных вод. Пища — бактерии (рис. 10).

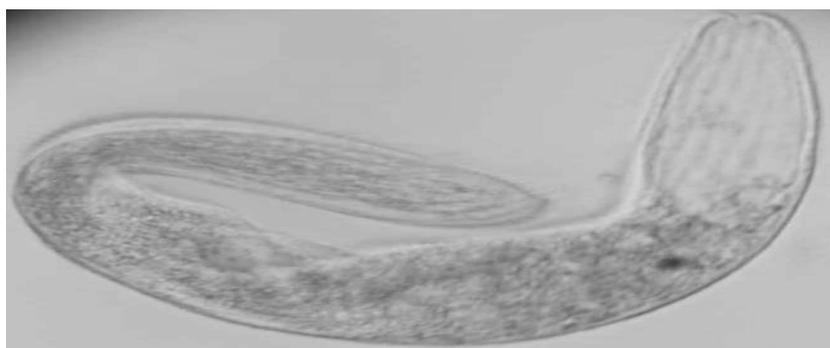


Рисунок 10. *Spirostomum ambiguum* (×160)

Тело *Spirostomum minus* длинное и червеобразное [11]. В поперечном сечении имеет цилиндрическую форму. Задняя выделительная вакуоль крупная и может заполнять весь «хвост». Передний конец закруглен (рис. 11). Ресничные ряды на теле расположены густо, реснички короткие. Перистомальная борозда вытянута вдоль тела до его задней трети, густо усажена низкими мембранеллами. Макронуклеус четковидный. Пульсирующая вакуоль крупная. Пищей служат бактерии. Длина peristome зависит от вида, приблизительно от 1/4 до целых 2/3 длины ячейки. *Spirostomum* размножается путем бинарного деления. Размножение может быть исключительно бесполое, или он может следовать конъюгации.

Представители рода обладают чрезвычайной сократимостью, скорость сжатия аналогична инфузории *Vorticella*. Многие виды спироостомум оказались чувствительными к присутствию тяжелых металлов и используются экологами в качестве индикаторов чистоты воды.

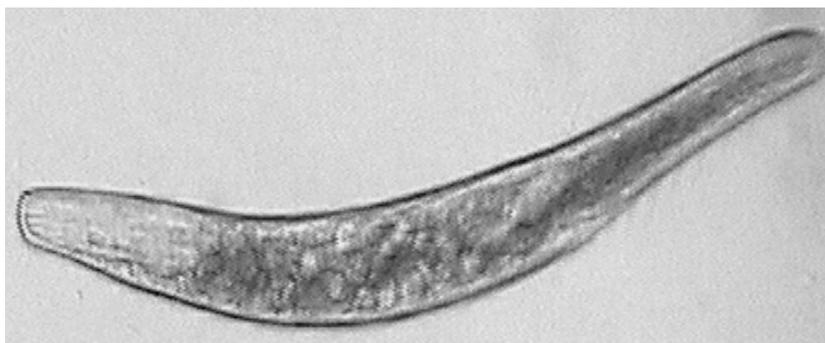


Рисунок 11. *Spirostomum minus* (×160)

Stylonychia pustulata — крупная инфузория (рис. 12). Форма тела овальная. Края тела параллельны, передний конец по ширине равен заднему. Вентральная поверхность плоская, дорсальная — выпуклая. Цирры следующие: 8 фронтальных, 5 вентральных, 5 анальных, 3 хвостовые. Пелликула прочная, панциреобразная. Длина тела 150 мкм и более. Содержится в пресной воде — чистой или слабосапробной. Пищей служат водоросли.

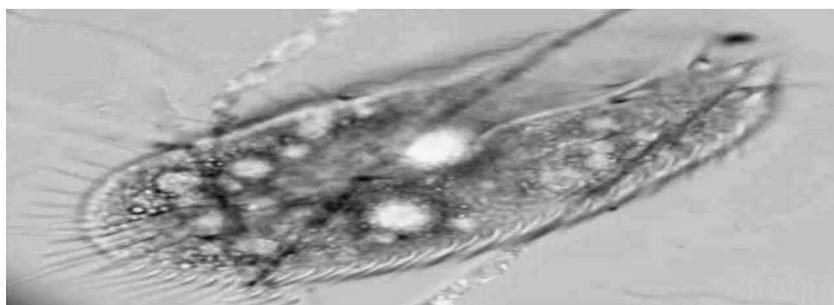


Рисунок 12. *Stylonychia pustulata* (×160)

Общее количество ресничных инфузорий, проанализированное из проб данного водотока, было представлено 8 родами, 12 видами.

Сапробиологический анализ выполнялся по методу Букку в модификации Сладечека (зообентос). Характеристика уровня сапробности по зообентосу инфузорий приведена в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Видовой состав, индикаторные свойства и встречаемость инфузорий на юго-восточном участке р. Букпы (2015г.)

Таксон	Показатель сапробности	Сапробный индекс (s)	Баллы встречаемости (частота h)	Произведение сапробного индекса (s) на частоту (h)
1	2	3	4	5
<i>Litonotus fasciola</i>	α	3.0	1	3
<i>Litonotus lamella</i>	β-α	2.2	1	2.2
<i>Paramecium aurelia</i>	α-p	2.5	3	7.5
<i>Paramecium caudatum</i>	α-p	3.3	7	23.1
<i>Campanella umbellaria</i>	α-β	3.0	1	3.0
<i>Carchesium polypinum</i>	β-p	2.9	3	8.7
<i>Vorticella campanula</i>	β-α	2.2	2	4.4
<i>Vorticella convallaria</i>	α	2.9	3	8.7
<i>Stentor roeseli</i>	α-β	2.45	3	7.35
<i>Spirostomum ambiguum</i>	α	3.0	5	15

1	2	3	4	5
<i>Spirostomum minus</i>	α	2.6	5	13
<i>Stylonychia pustulata</i>	ο	2.0	3	6
Индекс сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека $S = \frac{\sum(sh)}{\sum h}$ (2.76)			Сумма показателей частоты h=37	Сумма произведений индексов сапробности на частоту (sh)=101.95

Общее количество видов инфузорий, обнаруженных в исследуемом водотоке, равно 12, относящихся к 5 отрядам: *Peritrichida* — 33 % (4 вида), *Heterotrichida* — 25 % (3 вида), *Gymnostomatida*, *Hymenostomatida* — по 17 % (по 2 вида) и отряд *Hypotricha* представлен единично (8 %). Сапробность вычислена отдельно для юго-восточного участка р. Букпы. Получены следующие данные: сапробность воды реки равна 2.76. Из рисунка 13 видно, что наибольший процент видов инфузорий указывает на α-мезосапробность водотока. Ниже приводится процентное соотношение организмов-индикаторов (рис. 13).

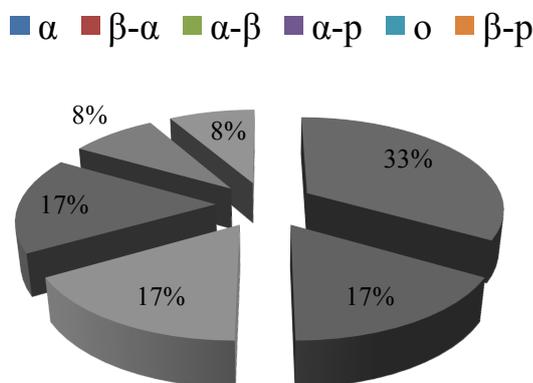


Рисунок 13. Процентное соотношение организмов-индикаторов

Основная часть инфузорий (33 %) относится к α-мезосапробным видам, всего их обнаружено 4 вида. Шесть видов — обитатели загрязненной воды (α-p — 2, α-β — 2, β-α — 2), индикаторы условно чистой воды (ο) представлены одним видом, один вид относится к индифферентным (β-p).

Общий анализ количества беспозвоночных в пробах воды показал, что по обилию видов во всех точках доминировали представители типа *Ciliophora*: *Oligohymenophora* — 41 % (*Paramecium caudatum*, *P. aurelia*), *Polyhymenophora* — 36 % (*Spirostomum ambiguum*, *S.Minus*, *Stylonychia pustulata*), *Peritricha* — 20 % (*Campanella umbellaria*, *Carchesium polypinum*, *Vorticella campanula*, *Vorticella convallaria*). Самым малочисленным классом был представлен отряд *Kinetophragminophora* — 3 % (*Litonotus fasciolla*, *L. lamella*).

Ресничные инфузории были представлены 4 классами, 8 родами, 12 видами. К индикаторным организмам относятся все 12 видов инфузорий. Наиболее значимыми являются представители *Spirostomum minus*, *Spirostomum ambiguum*, *Vorticella convallaria*, *Paramecium caudatum*.

Исследованный водоток относится к α-сапробным (4 классу качества воды — органически «загрязненная») согласно степени сапробности по Пантле-Букку. Этот показатель свидетельствует о том, что природные свойства воды сильно изменены в результате поступления в них сточных вод. Загрязненные воды непригодны для питьевого, хозяйственно-бытового и спортивного назначения, а также для рыбоводства. Они могут быть использованы, да и то с ограничениями, в некоторых производственных процессах, для орошения и судоходства.

Список литературы

- 1 Алексеев В.В., Куракина Н.И., Орлова Н.В. Геоинформационная система мониторинга водных объектов и нормирования экологической нагрузки // *ArcReview*. — 2006. — № 1(36). — С. 36–54.
- 2 Изотов А.А. Использование высших водных растений как индикаторов состояния окружающей среды: дис. ... канд. биол. наук. — Калуга, 2003. — С. 7–26.
- 3 [ЭР]. Режим доступа: www.za-hoper.ru/Nickel.pdf.
- 4 Sladeczek V. System and water quality from biological point of view // *Ergebnisse der Limnologie, Arch. Hydrobiol.* — 1973. — Vol. 76. — P. 218.
- 5 Методы исследования качества вод: Ч. 3. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. — М., 1977. — 227 с.
- 6 Каплин В.Г. Биоиндикация состояния экосистем. — Самара: Самарская ГСХА, 2001. — 143 с.
- 7 Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. — М.: Техносфера, 2005. — 304 с.
- 8 Фауна аэротенков (Атлас). — Л.: Наука, 1984. — 264 с.
- 9 [ЭР]. Режим доступа: eol.org/pages/489776/overview.
- 10 [ЭР]. Режим доступа: aspdisca.livejournal.com/24405.html.
- 11 [ЭР]. Режим доступа: eol.org/pages/488623/overview.

В.С. Абуkenова, Ж.Ж. Блялова, А.Ж. Шайбек

**Инфузориялардың индикаторлық түрлері бойынша
Бұқпа өзені аймағының сапробты дәрежесін анықтау**

Мақалада су объектілерінің сапробтылық дәрежесін анықтаудың әдістемесінің тиімділігі берілді. Инфузориялардың түрлік құрамы сипатталды. Бұқпа өзенінің оңтүстік-шығыс аймағында кірпікшелі инфузориялардың кездесуі анықталды. Сапробиологиялық сараптама Пантле-Букку әдісі Сладечек модификациясы бойынша жүзеге асты. Зерттеліп отырған аймақтың суы органикалық залалдануы сапасы бойынша төртінші класқа жататыны белгілі болды.

V.S. Abukenova, Zh.Zh. Blyalova, A.Zh. Shaibek

**Determination of the saprobity degree of the
Bukpa river section according to the indicator ciliates species**

The article provides the information about effectiveness of determining methods of saprobity degree in water bodies. The specific structure of infusorians was characterized. The occurrence of ciliates species in the south-eastern section of Bukpa river was determined. The saprobiological analysis was executed according to the method of Pantla-Bukka in Sladeczek modification. The water of the studied section refers to the fourth class quality as organically polluted.

References

- 1 Alekseev V.V., Kurakin N.I., Orlova N.V. *ArcReview*, 2006, 1 (36), p. 36–54.
- 2 Izotov A.A. *Use of higher water plants as indicators of environmental condition*: dis. ... candidate of biological sciences, Kaluga, 2003, p. 7–26.
- 3 [ER]. Access mode: www.za-hoper.ru/Nickel.pdf.
- 4 Sladeczek V. *Ergebnisse der Limnologie, Arch. Hydrobiol.*, 1973, 76, p. 218.
- 5 *Standardized methods to study water quality*. Part 3. Biological methods of water analysis. Atlas of saprobic organisms. Moscow, 1977, 227 p.
- 6 Caplin V.G. *Bioindication of ecosystems condition*, Samara: Samara State Agricultural Academy, 2001, 143 p.
- 7 Panteleev V.G., Egorova, O.V., Klykova E.I. *Computer microscopy*, Moscow: Tekhnosfera, 2005, 304 p.
- 8 *Fauna of aeration (Atlas)*, Leningrad: Nauka, 1984, 264 p.
- 9 [ER]. Access mode: eol.org/pages/489776/overview.
- 10 [ER]. Access mode: aspdisca.livejournal.com/24405.html.
- 11 [ER]. Access mode: eol.org/pages/488623/overview.