

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ показателей микрофитобентоса для оценки **ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ** ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Павловского водохранилища

**В микрофитобентосе Павловского водохранилища (р. Уфа, бассейн р. Волга, горный тип) выявлено 76 видов и внутривидовых таксонов водорослей и цианопрокариот из 48 родов, 26 семейств, 20 порядков, 8 классов и 4 отделов. Обнаружены изменения степени жизнеспособности клеток микрофитобентоса в зависимости от гидрохимических и гидробиологических условий водоема.**

## Введение

**Р**егулирующая емкость Павловского водохранилища решает проблему круглогодичного централизованного водоснабжения г. Уфа и других крупных населенных пунктов. Для сохранения благоприятного экологического состояния водохранилища необходимы мониторинговые исследования гидрохимического и гидробиологического режима водоема. Водохранилище подвержено мощному техногенному воздействию. В водоем по рекам Уфа, Юрюзань, Ай и др. поступают промышленные, сельскохозяйственные и бытовые стоки Челябинской, Свердловской, Пермской областей и Республики Башкортостан [1, 2]. Общее количество только трех биогенных элементов, ежегодно поступающих в водохранилище от сельскохозяйственных и коммунальных стоков, составляет около 17400 т (азота – 9200, фосфора – 2500 и калия – 5700). В бассейне водохранилища многие годы осуществлялся молевой сплав древесины (главным образом, по р. Юрюзань), в водоем поступало большое количество отходов деревообработки. Одним из самых крупных был леспромхоз в п. Магинск. Кроме этого, в р. Юрюзань попадают загрязнения промышленных предприятий городов Катав-Ивановск (нефтепродукты, железо, цинк, никель, хром), Юрюзань (хром) и др.

**А.О. Полева\***,

кандидат  
биологических наук,  
научный сотрудник,  
Учреждение  
Российской  
академии наук  
Институт геологии  
Уфимского научного  
центра РАН

**Ф.Б. Шкундина,**

доктор  
биологических наук,  
профессор кафедры  
ботаники,  
Башкирский  
государственный  
университет



В водохранилище происходит изменение гидродинамического режима реки, что вызывает замедление течения и аккумуляцию органических и неорганических компонентов, смену температурного и светового режимов, а усиливающееся заиливание снижает содержание кислорода в толще воды. Это повышает восстановительные свойства воды и способствует снижению процессов минерализации и накоплению в воде соединений, легко используемых в биосинтезе. Дно служит дополнительным фактором обогащения воды биогенными и органическими веществами за счет выщелачивания из почвы и разложения затопленной растительности. При изменении гидродинамических условий в водохранилище так называемая подвижная часть соединений металлов может переходить из твердой фазы (донные отложения) в водную и служить очагом вторичного загрязнения речной воды. Концентрация тяжелых металлов в донных отложениях выше, чем в водной среде. Биологическая активность и

\* Адрес для корреспонденции: [hydro@ufaras.ru](mailto:hydro@ufaras.ru)

**Рис. 1.** Схема Павловского водохранилища на р.Уфа.

1 – места отбора проб донных отложений (1– р.Юрюзань, 2 – устье р.Юрюзань, 3 – п.Магинск); 2 – створ плотины, 3 – изучаемые створы водохранилища.

химическая реакционная способность тяжелых металлов в природных водах и донных отложениях определяется их состоянием (ионным потенциалом химических элементов, величиной рН и Eh, адсорбционными свойствами донных отложений и пр.) и совокупностью сосуществующих физических и химических их форм [1, 3, 4].

В связи с этим изучение экологического состояния микрофитобентоса в придонной части водохранилища имеет не только научное, но и важное практическое значение.

Цель работы – использование показателей микрофитобентоса для оценки воздействия режима проточности водоема на физиологическое состояние водорослей и цианопрокариот в донных отложениях.

Павловское водохранилище горного типа (рис. 1) на р. Уфа (полный объем 1,4 млрд.м<sup>3</sup>, полезный 0,95 млрд.м<sup>3</sup>) регулирует сезонный, недельный и суточный сток. Химический состав воды сульфатно-гидрокарбонатный с минерализацией 0,21–0,41 г/дм<sup>3</sup> (табл. 1).



**Таблица 1**

Химический состав воды Павловского водохранилища в меженный период

№ пробы	Место отбора	Глубина, м	рН	Сумма ионов, г/дм <sup>3</sup>	Ингредиенты, мг/дм <sup>3</sup> , мг-экв./дм <sup>3</sup> , %-экв					
					HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>
1	С. Муллакаево	3,0	7,75	0,41	220	83,4	7,1	71,7	19,4	9,0
					3,6	1,74	0,20	3,58	1,60	0,39
					64,8	31,2	3,6	64,3	28,7	7,0
2	С. Караидель	3,0	7,70	0,41	215	86,7	6,9	76,0	15,9	9,7
					3,53	1,80	0,19	3,76	1,31	0,42
					64,0	32,6	3,4	68,5	23,9	7,6
3	Залив р. Байка	2,0	7,80	0,37	200,8	71,3	7,0	66,3	15,8	9,0
					3,29	1,49	0,2	3,31	1,30	0,39
					65,8	29,8	4,0	66,2	26,0	7,8
4	Залив р. Юрюзань	3,5	7,65	0,34	203	45,6	7,4	60,1	14,5	6,9
					3,32	0,95	2,1	3,0	1,19	0,3
					73,8	21,1	4,7	66,8	26,5	6,7
5	С. Хорошаево	5,0	7,65	0,33	176,3	65,3	7,0	64,3	11,0	8,0
					2,89	1,36	0,2	3,2	0,9	0,35
					64,8	30,5	4,5	72,0	20,2	7,8
6	Залив р. Калтаса	6,0	7,70	0,27	145,8	52,8	7,1	50,3	11,0	6,2
					2,39	1,10	0,2	2,51	0,9	0,27
					64,8	29,8	5,4	68,0	24,4	7,6
7	Створ плотины	0,5	8,25	0,25	141,0	45,1	7,1	43,9	12,1	6,0
					2,31	0,94	0,2	2,19	1,0	0,16
					66,9	27,3	5,8	63,5	29,0	7,5

С учетом режима работы, гидрологическими, гидрохимическими, гидробиологическими особенностями выделяются зоны с различными экологическими условиями. Основная часть водохранилища – зона постоянного затопления с ярко выраженным озерным режимом. Вторая часть – зона переходного озерно-речного типа, в которой происходит трансформация речной воды в водную массу, характерную для водоемов с замедленным водообменом. Третья зона – это участок водохранилища кратковременного затопления в весеннее половодье, в ней сохраняются речные условия.

Цель работы – использование показателей микрофитобентоса для оценки воздействия режима проточности водоема на физиологическое состояние водорослей и цианопрокариот в донных отложениях.

### Материалы и методы исследования

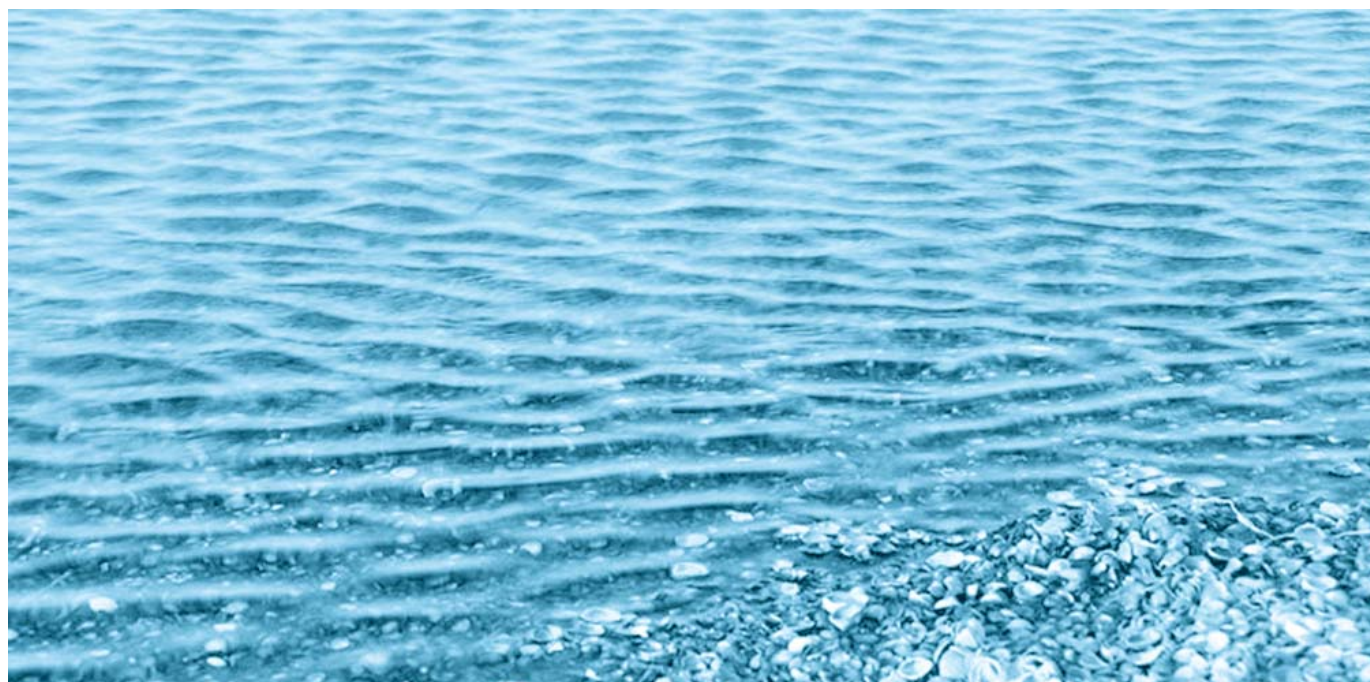
Исследования по изучению гидрохимии и гидробиологии Павловского водохранилища проводятся нами с 1987 г. [1, 5]. Для выявления видового состава микрофитобентоса и определения различий его физиологического состояния в зависимости от экологических особенностей в разных частях водоема в июле 2008 г. впервые были отобраны пробы донных отложений (рис. 1). Для сравнения также были отобраны пробы в р. Юрюзань, 3 км выше водохранилища, вне зоны подпора. Все пробы отбирались по стандартной методике [6] в трехкратной повторности на глубине около 1,5 м дночерпателем.

Анализ химического состава донных отложений выполнен в лаборатории Института геологии УНЦ РАН. Определение соотношения живых, мертвых и отмирающих клеток водорослей проводилось методом люминесцентной микроскопии [7]. Для получения достоверных данных подсчет производили не менее чем в 100 полях микроскопа. При анализе материалов был использован стандартный пакет программ MS Office 2003. Экологические характеристики видов микрофитобентоса рассматривались по [8].

### Результаты и их обсуждение

Донные отложения являются важным элементом экосистемы водохранилищ, они непосредственно участвуют во многих процессах: от новообразования органического вещества растительными организмами до формирования продукции рыб, способствуют выведению из биотического круговорота загрязняющих веществ, могут стать причиной вторичного загрязнения водоема. Накопление органического вещества и биогенных элементов в донных отложениях озер считается показателем эвтрофирования. Недостаточная изученность связанного с донными отложениями сообщества – микрофитобентоса, создает существенный пробел в целостном представлении о первичной продукции экосистемы.

Донные отложения Павловского водохранилища представляют собой сапропель серого цвета с характерным запахом. Содержание меди, цинка, свинца и др. в пределах водо-



**Таблица 2**

Содержание микроэлементов в донных отложениях, (%)

№ по рис. 1	Станции отбора	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Pb	MnO
1	р. Юрюзань, 3 км выше устья	0,0024	0,0084	0,0022	0,0064	0,015	0,0018	0,060
2	устье р. Юрюзань	0,0022	0,0067	0,0014	0,0047	0,012	0,0011	0,062
3	п. Магинск	0,0021	0,0058	0,0021	0,0048	0,012	0,0018	0,072

**Таблица 3**

Таксономический спектр микрофитобентоса Павловского водохранилища

Отдел	число					% от общего числа видов и внутривидовых таксонов
	классов	порядков	семейств	родов	видов и ввт	
<i>Cyanoprokaryota</i>	1	3	4	8	13	17,1
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	4	4	5,3
<i>Bacillariophyta</i>	4	12	17	28	49	64,5
<i>Chlorophyta</i>	2	4	4	8	10	13,2
<b>Итого</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>48</b>	<b>76</b>	<b>100</b>

хранилища не превышает уральский кларк, тогда как в 3 км выше устья р. Юрюзань отмечается превышение содержания цинка и свинца в 1,5-2 раза (табл. 2).

В микрофитобентосе Павловского водохранилища нами было выявлено 76 видов и внутривидовых таксонов из 48 родов, 26 семейств, 20 порядков, 8 классов и 4 отделов (табл. 3).

Ведущими по числу видов являются отделы *Bacillariophyta* – 49 и *Cyanoprokaryota* – 13 видов и внутривидовых таксонов. Менее существенный вклад вносили *Chlorophyta* – 10, минимальное число видов зафиксировано для *Euglenophyta* – 4 вида и внутривидовых таксона. Доля *Bacillariophyta* в количестве видов составляет – 64,5 %, *Cyanoprokaryota* – 17,1 %, *Chlorophyta* – 13,2 %, *Euglenophyta* – 5,3 %. Большинство из них имеют широкое географическое распространение и являются обычными возбудителями «цветения» в континентальных водоемах планеты [6]. Это преимущественно бентосные и планктонно-бентосные виды, эврисапробы, олигогалобы-индифференты, обитающие в стояче-текучих водоемах с умеренной температурой воды, алкалофилы и индифференты по отношению к ацидификации. К числу наиболее богатых родов относятся *Navicula* (7 видов), *Aulacoseira*, *Oscillatoria* (по 4 вида), *Nitzschia*, *Cymbella*, *Scenedesmus* (по 3 вида), которые составляют 18,4 %. Остальные выявленные роды одно- и двухвидовые. В целом структура микрофитобентоса типична для альгофлоры большинства водоемов Башкортостана с доминированием диатомовых, зеленых водорослей и цианопрокариот [9].

Из 76 видов и внутривидовых таксонов большинство относилось к бетамезосапробам, причем видовой состав на разных створах существенно различался. В пробе у п. Магинск были выявлены альфамезосапробные виды. К ним относятся *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Amphora ovalis* Kütz., *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. Et Grun. В этой же пробе были выявлены и виды-олигосапробы: *Bacillaria paradoxa* Gmel., *Nitzschia sigmoidea* (Nitzsch) W. Sm., *Fragilaria capucina* Desm., *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Sm., *Caloneis amphisbaena* (Bory) Cleve. Очевидно, что присутствие олигосапробов связано с впадением в водохранилище мелких притоков, а альфасапробов – со значительным загрязнением, поступающим в водохранилище при деструкции органического вещества. В пробе из р. Юрюзань наблюдалось преобладание бетамезосапробов.

Диагностирование состояния и степени жизнеспособности микрофитобентоса является важным показателем, так как численность водорослей резко уменьшается при попадании их в экстремальные условия (понижение температуры, изменение режима освещения, pH, условий питания и др.). Дифференциация клеток на живые и мертвые является показателем эффективности фактора, ингибирующего жизнедеятельность водорослей.

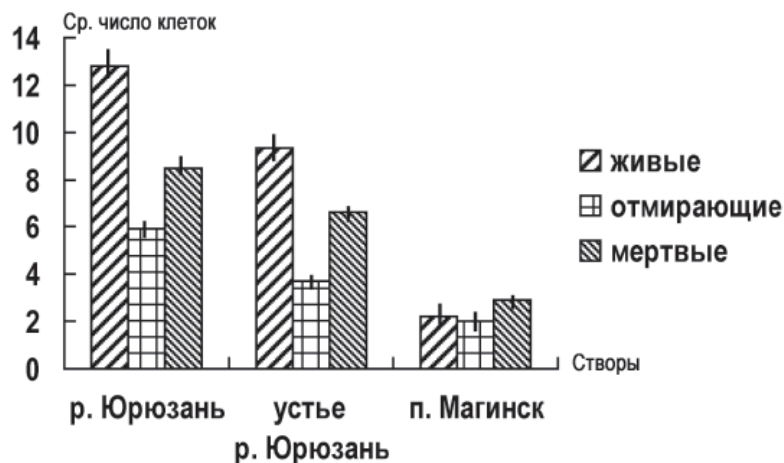
Для оценки физиологического состояния бентоса проведено определение соотношения живых и мертвых клеток на разных створах (табл. 4, рис. 2).

Наибольшая общая численность клеток водорослей и цианопрокариот отмечается на

**Таблица 4**

Изменение жизнеспособности клеток водорослей и цианопрокариот (среднее количество клеток в поле микроскопа)

Створы	красные	оранжевые	зеленые	Всего клеток
р. Юрюзань	12,88±0,57	5,91±0,34	8,55±0,40	2734
Устье р. Юрюзань	9,34±0,59	3,72±0,26	6,57±0,30	1963
п. Магинск	2,19±0,39	2,04±0,4	2,87±0,25	710



**Рис. 2.** Изменение жизнеспособности клеток микрофитобентоса по створам в 2008 г.

створе р. Юрюзань, где наблюдаются ярко выраженные речные условия с хорошей проточностью воды (2734 кл., из них (%) живых – 47,1, отмирающих – 21,6, мертвых – 31,3). Здесь же было выявлено максимальное количество живых клеток (1288).

В устье р. Юрюзань наблюдается уменьшение общего числа клеток (1963 кл., из них (%) живых – 47,5, отмирающих – 19,0, мертвых – 33,5), количество живых клеток снижается (904). Это происходит на фоне замед-

**Таблица 5**

Однофакторный дисперсионный анализ живых клеток проб бентоса Павловского водохранилища

Места отбора проб	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
р. Юрюзань	100	1288	12,88	32,95515		
Устье р. Юрюзань	100	934	9,34	35,45899		
п. Магинск	100	219	2,19	15,26657		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Между группами	5931,007	2	2965,503	106,3149	1,5E-35	3,026153
Внутри групп	8284,39	297	27,89357			
<b>Итого</b>	<b>14215,4</b>	<b>299</b>				

ления течения и наличия озерно-речных условий.

В створе п. Магинск, где явно выражены озерные условия, показатели количественного развития минимальны (всего 710 кл., из них (%) живых – 30,8, отмирающих – 28,7, мертвых – 40,4). Здесь же обнаруживается наименьшее количество живых клеток (219) и незначительное преобладание мертвых.

При статистической обработке данных нами был использован однофакторный дисперсионный анализ [10]. Объектом исследования было количество клеток водорослей и цианопрокариот с различной степенью жизнеспособности. Результаты анализа представлены в табл. 5.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что место отбора достоверно влияло на степень жизнеспособности клеток ( $F' > F_{106,31 > 3,03}$ ).

### Заключение

**В** результате проведенных исследований в микрофитобентосе Павловского водохранилища было выявлено 76 видов и внутривидовых таксонов водорослей и цианопрокариот при наибольшем видовом разнообразии представителей отдела *Bacillariophyta*. На формирование сообществ бентосных водорослей и цианопрокариот оказывал влияние режим проточности водоема. Наибольшая общая численность и максимальное количество живых клеток отмечались на створе р. Юрюзань, где наблюдаются речные условия. В устье р. Юрюзань, в озерно-речных условиях, имело место уменьшение как общего числа клеток, так и количества живых. В озерных условиях (створ п. Магинск) показатели количественного развития микрофитобентоса минимальны.

## Литература

1. Абдрахманов Р.Ф. Влияние техногенеза на качество воды Павловского водохранилища. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991. 28 с.
2. Абдрахманов Р.Ф. Особенности формирования химического состава воды Павловского водохранилища // Гидрохимические материалы. 1994. Т. 111. С. 139-150.
3. Линник П.Н. Формы нахождения тяжелых металлов в природных водах – составная часть эколого-токсикологической характеристики водных экосистем // Водные ресурсы, 1989, № 1. С. 123-134.
4. Попов А.Н. Исследование трансформации соединений металлов в поверхностных водах / А.Н. Попов, О.В. Беззапонная // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 46-50.
5. Полева А.О. Комплексная оценка экосистемы Павловского водохранилища (Республика Башкортостан): Автореф. дис.... канд. биол. наук. Уфа, ИБ УНЦ РАН, 2009. 18 с.
6. Водоросли. Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.
7. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М.: Изд-во «Университет и школа», 2003. 157 с.
8. Баринаева С.С. Биоразнообразие водорослей–индикаторов окружающей среды / С.С.

## Ключевые слова:

микрофитобентос,  
сапробность,  
степень  
жизнеспособности



- Баринаева, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. Тель-Авив: Изд-во «Pilies Studio». 2006. 498 с.
9. Шкундина Ф.Б. Основные тенденции антропогенного эвтрофирования озер Республики Башкортостан / Ф.Б. Шкундина, Г.А. Гуламанова // Вестник Одесского национального университета. 2008. Т. 13. Вып.4, С. 106-111.
  10. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.



A.O. Poleva, F.B. Shkundina

## MICROPHYTOBENTHOS DATA FOR MONITORING OF PAVLOVSKOE WATER RESERVOIR

Pavlovskoe water reservoir of mountain type was built on the Ufa river which belongs to the Volga river basin. 76 species and intraspecific taxa from 48 genera, 26 families, 20 orders, 8 classes and 4 divisions had been

determined by the authors during their investigation of the microphytobenthos of the Pavlovskoe reservoir. Changes in the degree of cells viability microphytobenthos depending on hydrochemical and hydrobiological

conditions of the reservoir have been detected.

**Key words:** microphytobenthos, saprobity, viability degree