

УДК 502.173:556.042

UDC 502.173:556.042

**ФИТОИНДИКАЦИЯ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**PHYTOINDICATION IN THE QUALITY
CONTROL OF WATER BODIES**

Курочкина Мария Анатольевна
магистрант

Kurochkina Mariya Anatolievna
undergraduate student

Малюта Ольга Васильевна
к.б.н., доцент

Malyuta Olga Vasilievna
Cand.Biol.Sci., associate professor

Тувев Андрей Сергеевич
к.б.н., доцент
*Поволжский государственный технологический
университет, Йошкар-Ола, Россия*

Tuyev Andrey Sergeevich
Cand.Biol.Sci., associate professor
*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
Russia*

Антропогенное воздействие на водные объекты
оценивалось с помощью химических и
биологических методов, результаты которых
оказались сопоставимы

Human-induced disturbance on water objects was
appraised with chemo and biological methods, the
results of which are turned out to be comparable

Ключевые слова: ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ
СОСТОЯНИЕ, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ,
ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ОЦЕНКА
САПРОБНОСТИ, ФИТОИНДИКАЦИЯ

Keywords: ENVIRONMENTAL CONDITION,
SEDIMENTS, HEAVY METALS, ASSESSMENT
SAPROBITY, PHYTOINDICATION

Введение. Озерный фонд республики Марий Эл включает 649 озер различного происхождения площадью 2,5 тыс. га. Озера являются не только важным звеном гидрографической сети региона, но и крупными источниками пресной воды, лечебной грязи, объектами туризма и отдыха.

Экологическое состояние гидросферы в республике Марий Эл в настоящее время существенно трансформируется под влиянием интенсивного антропогенного воздействия. Загрязнение поверхностных и подземных вод тесно связано с загрязнением окружающей среды в целом.

Многочисленные проявления негативного влияния хозяйственной деятельности человечества на водные объекты обусловили необходимость соблюдения экологических приоритетов для сбалансирования требований к охране водных экосистем – с одной стороны, и решение задач рационального хозяйственного использования их водных и биологических ресурсов – с другой стороны. Поэтому оценка состояния водных объектов является одной из наиболее актуальных задач для охраны поверхностных водных ресурсов [1].

Выполненные исследования включают оценку качества водной среды химическими и биологическими методами (биоиндикация). Биоиндикация играет особую роль в охране окружающей среды и является одним из перспективных направлений в данной области.

Цель. Оценка сопоставимости результатов, полученных при обследовании водных объектов химическими и биологическими методами.

Задачи: определить возможное антропогенное воздействие на исследуемые объекты;

- определить гидрохимические показатели воды, сапробность водоемов и концентрацию тяжелых металлов в донных отложениях и воде;

- оценить качество водных объектов с использованием методов фитоиндикации;

- дать оценку состояния исследованных озёр.

Объекты и методики. В качестве объектов исследований были взяты озёра карстового происхождения Табашинское и Сурок. Исследования проводились в конце августа 2011 года.

Визуальная оценка водных объектов показала, что основной вид воздействия на озеро Табашинское - рекреация, а на озере Сурок наблюдается комплексная антропогенная нагрузка от хозяйственной деятельности (хозяйственно-бытовые стоки), рекреационной нагрузки и воздействие автотранспорта.

Все аналитические методики определения основных гидрохимических параметров, допущены для целей государственного экологического контроля и утверждены метеорологической службой Росстандарт [2]. Нормативы ПДК для культурно-бытового водопользования использовали в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01.

Определение концентраций тяжелых металлов в воде и донных отложениях (атомно-абсорбционный метод) проводились согласно

стандарту ИСО 11047 и методики ФГУ «ФЦАО», на атомно - абсорбционном спектрометре «АAnalit-400» [3,4,5]. Определение биохимического потребления кислорода проводилось в соответствии с общепринятой методикой [6]. Оценка степени сапробности водоемов [7] определялась по ряду параметров в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 - СТЕПЕНИ САПРОБНОСТИ И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ЗНАЧЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Степень сапробности	Состояние водоема	Класс качества воды	Азот нитратов, мг/л	Аммонийный азот, мг/л	Фосфаты, мг/л	БПК, мг/л
Олиго сапробная зона	Чистое	1-2	0,3	<0,4	<0,05	0-3
Бета-мезасапроб. зона	Умеренно загрязненное	3	0,3 – 0,5	0,4-0,8	0,05-0,07	3-5
Альфа-мезасапроб. зона	Загрязненное	4	0,5 – 1,0	0,8-1,5	0,07 – 0,1	5-7
Полисапробная зона	Грязное	5-6	1,0 – 8,0	1,5-5,0	0,1 – 0,3	7-10

Измерение всех параметров проводили в 3- кратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Statistica.

Оценка качества воды в водоемах с помощью фитоиндикации.

Оценка свойств местообитаний (среды) по растениям называется фитоиндикацией. Для получения информации о действующих в данном месте экологических факторах могут использоваться виды растений, тераты (формы с аномальными особенностями), а также растительные сообщества — наиболее надежные и хорошо заметные показатели. Возможна фитоиндикация и по состоянию отдельных растений. Благодаря быстрой ответной реакции фитоиндикация удобна при оценке антропогенного воздействия.

Особой формой загрязнения является эвтрофирование водоемов, то есть обогащение их биогенными веществами, что приводит к интенсивному развитию водорослей и прибрежных растений. Это чаще всего происходит за счет поступления в водоемы бытовых и сельскохозяйственных стоков. Загрязнение водоемов приводит к

изменению структуры сообществ, их видового и количественного состава. Интенсивные загрязнения сельскохозяйственными и бытовыми стоками приводят к зарастанию и заболачиванию водоемов, а промышленными - к нарушению и полной деградации биоценозов [10].

На объектах исследования преобладали различные виды растений.

В прибрежной зоне озера Табашинское наблюдались заросли тростника обыкновенного - *Phragmites australis*, который является индикатором чистой воды и воздуха. В зарослях тростника - многочисленные кувшинка белая *Nymphaea alba* и кубышка желтая *Nuphar lutea*. Кувшинка белая произрастает в чистых и в слабо загрязненных водоемах. В водоеме встречались единичные растения рдеста плавающего *Potamogeton natans*, который является индикатором органического загрязнения и эвтрофирования водоема.

В озере Сурук обнаружен роголистник погруженный *Ceratophyllum demersum*, который растет в очень сильно загрязненных водоемах и является индикатором загрязнения тяжелыми металлами. В районе бытовых стоков в озеро местами произрастал стрелолист обыкновенный *Sagittaria sagittifolia*, так же являющийся индикатором сильно загрязненных водоемов.

В прибрежной зоне с одной стороны озера имелись заросли рогоза широколистного *Typha latifolia*, который является индикатором эвтрофизации водоема, и более устойчив к загрязнению воды, чем тростник. Очень часто встречалась частуха подорожниковая *Alisma plantago-aquatica*, которая так же является индикатором эвтрофирования водоема и загрязнения тяжелыми металлами.

Таким образом, в озере Сурук произрастает намного больше растений-индикаторов низкого качества воды, чем в озере Табашинское. Анализ результатов биоиндикационных исследований свидетельствует о том, что Сурук наиболее сильно загрязненный водоем, причем,

присутствует органическое загрязнение и, как следствие – эвтрофикация, и загрязнение тяжелыми металлами.

Для подтверждения выводов, полученных в результате биоиндикационных исследований, проведен химический анализ воды и донный отложений озёр.

Гидрохимическая характеристика водоёмов. В результате гидрохимического анализа воды были получены следующие данные (табл.2): содержание химических элементов, в основном не превышает допустимые нормы. Реакция среды воды озера Табашинское и озера Сурок имеет слабощелочную среду (рН = 6,6, рН = 8,42 соответственно).

Таблица 2 – ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ ВОДЫ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Показатели качества воды	Содержание загрязняющих веществ в воде исследуемых озёр				ПДК
	Озеро Табашинское		Озеро Сурок		
	поверхность водоема	глубина 5м	поверхность водоема	глубина 5м	
рН	7,88	7,99	8,42	8,42	6,5-8,5
Общее Fe, мг/дм ³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Жесткость, °Ж	3,42±0,2	3,44±0,21	1,39±0,12	1,34±0,12	7
Хлориды, мг/л	10,4±1,7	10,4±1,7	13,9±2,2	13,6±2,2	350
Нитраты, мг/л	0,65±0,06	1,53±0,28	0,2±0,04	0,6±0,1	45
Нитриты, мг/л	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	3
Нефтепродукты, мг/дм ³	-	-	0,021±0,005	0,048±0,012	0,05
Взвешенные вещества, мг/дм ³	25,6±0,3	4,6±0,8	5,8±1,04	5,0±0,9	<10
Фосфаты, мг/л	0,065±0,01	<0,05	0,073±0,01	0,102±0,01	0,2
Са, мг/дм ³	40,44±3,2	40,2±3,2	16,4±1,3	16,4±1,3	30-140
Аммонийный азот	0,3±0,01	0,28±0,01	0,25±0,01	0,2±0,01	2,0

Жесткость воды в водоемах соответствует категории «очень мягкие».

По содержанию хлоридов, нитратов и нитритов в воде исследуемых озёр

превышения ПДК не обнаружено. А вот содержание нефтепродуктов в воде озера Сурок приближается к значениям ПДК.

Таким образом, гидрохимический анализ проб доказывает, что вода исследуемых водоемов практически не превышает нормы ПДК культурно-бытового назначения.

Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях озер. Установлено, что ведущая роль в формировании химического состава веществ водных объектов принадлежит донным отложениям. Осадки, залегающие на дне, представляют собой сложную многокомпонентную систему, которая в зависимости от изменений физико-химических условий в водоеме и сорбционных свойств отложений может не только накапливать химические соединения, но и являться источником их вторичного поступления в толщу воды. Состав и свойства донных отложений являются отражением всей совокупности биологических, химических и физических процессов, происходящих в водных объектах [8].

Химический анализ донных отложений показал, что концентрация таких тяжелых металлов как медь и цинк в донных отложениях озера Сурок превышает принятых ПДК. По свинцу нормативы не превышены, хотя в донных отложениях озера Сурок его содержится более чем в 3 раза больше. В этом же озере концентрация кадмия и железа так же выше, чем в озере Табашинское (табл.3).

Таблица 3– КОНЦЕНТРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Объект исследования	Концентрация ТМ, мг/кг				
	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb
Оз. Табашинское	5646±777	2,13±0,07	7,05±0,42	0,12±0,026	1,33±0,08
Оз. Сурок	30483±8718	9,15±0,39	27,81±0,22	0,46±0,76	4,25±0,19
ПДК (подвижная форма)	-	3,0	23,0	-	6,0

Содержание тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется, и для оценки использовались ПДК почв [9].

Химический анализ содержания тяжелых металлов в воде (табл.4) показал, что в озере Табашинское не обнаружены такие металлы как железо и медь, в воде озера Сунок содержание этих металлов превышает нормативы ПДК. По содержанию цинка превышения нормативов ПДК наблюдаются только в озере Сунок. Содержание кадмия в воде озера Табашинское превышает норматив почти в 2 раза, в озере Сунок – более чем в 48 раз. По свинцу наблюдается превышение ПДК в воде озера Табашинское в 3 раза, в озере Сунок – в 37 раз.

Таблица 4 – КОНЦЕНТРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ

Концентрация тяжелых металлов, мг/кг						
Объект исследования	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Mg
Озеро Табашинское						
Поверхность водоема	0	0	0,01±0,003	0,03±0,008	0,20±0,076	13,02±0,2
Глубина 5 м	0	0	0,03±0,003	0,03±0,008	0,22±0,076	16,04±0,56
Озеро Сунок						
Поверхность водоема	33,0±0,8	1,83±0,07	8,0±0,37	0,77±0,061	2,57±0,31	17,1±0,2
Глубина 5 м	36,3±1,0	1,57±0,028	4,83±0,04	0,67±0,014	2,73±0,22	17,4±0,2
ПДК	0,63	0,03	0,22	0,014	0,069	50

Таким образом, наибольшая концентрация тяжелых металлов в воде по результатам анализа наблюдается в озере Сунок.

Оценка сапробности водоёмов. Сапробность водоема - характеристика степени загрязненности водоема органическими веществами. Установлено 4 зоны сапробности (табл.1), которые характеризуются следующими параметрами:

1. полисапробная зона – в воде содержатся разлагающиеся белки, условия среды анаэробные, характер биохимических процессов восстановительный, в воде много сероводорода;

2. а-мезосапробная зона – присутствуют аминокислоты, условия среды полуанаэробные, характер биохимических процессов восстановительно-окислительный; присутствует сероводород;

3. б-мезосапробная зона – соединения азота в форме солей аммония, нитритов и нитратов, кислорода обычно много, сероводород иногда в небольшом количестве, характер биохимических процессов окислительный;

4. олигосапробная зона – чистые воды, соединения азота в форме нитратов, вода насыщена кислородом; углекислого газа мало, сероводорода нет [7].

Для оценки сапробности водоемов в нашей работе использованы четыре параметра: азот нитратов, аммонийный азот, фосфаты и БПК, по которым анализировали пробы воды с поверхности водоема и с глубины 5 м (табл.5).

Таблица 5 – ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОЕМОВ ПО СТЕПЕНИ САПРОБНОСТИ

Объект исследования	Показатели качества воды (поверхность водоема / глубина 5 м)			
	Нитраты, мг/л	Аммонийный азот, мг/л	Фосфаты, мг/л	БПК, мг/л
Озеро Табашинское	0,65/1,53	0,3/0,28	0,065/0,04	3,5/3,5
Озеро Сурок	0,2/0,6	0,25/0,2	0,073/0,102	5,2/5,2

Анализ параметров качества воды объектов исследования показал, что на одном и том же объекте они могут соответствовать различным зонам, в результате чего возникли трудности с определением степени сапробности водоема. Для решения данной проблемы предложено рассчитать комплексный индекс сапробности, соответствующий среднему значению показателей сапробности для водоема (табл.6).

Комплексный индекс сапробности водоема (КИС) вычислялся по

формуле:

$$КИС = \frac{X1 + X2 + X3 + X4}{4}, \tag{1}$$

где: X_1 -количество нитратов; X_2 – количество аммонийного азота;
 X_3 – количество фосфатов; X_4 – количество БПК.

Рассчитывались максимальные и минимальные значения индекса для каждой зоны сапробности.

Таблица 6 – РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНОГО ИНДЕКСА САПРОБНОСТИ

Степень сапробности	Нитраты, мг/л (X1)	Аммонийный азот, мг/л (X2)	Фосфаты, мг/л (X3)	БПК, мг/л (X4)	Комплексный индекс сапробности
Олиго – сапробная зона	0,3	0,3	0,04	0-3	0,16-0,91
Бета-мезосапробная зона	0,3 – 0,5	0,3-0,8	0,04-0,07	3-5	0,91-1,59
Альфа-мезосапробная зона	0,5 – 1,0	0,8-1,5	0,07 – 0,1	5-7	1,59-2,4
Полисапробная зона	1,0 – 8,0	1,5-5,0	0,1 – 0,3	7-10	2,4-5,83

Расчет комплексного индекса сапробности для каждого из озер показал, что оба озера относятся по степени сапробности к бета-мезосапробной зоне (табл.7).

Таблица 7 – КОМПЛЕКСНЫЙ ИНДЕКС САПРОБНОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования	Показатели качества воды				Комплексный индекс сапробности
	Нитраты, мг/л	Аммонийный азот, мг/л	Фосфаты, мг/л	БПК, мг/л	
Поверхность водоема / глубина 5 м					
Оз. Табашинское	0,65/1,53	0,3/0,28	0,065/0,05	3,5/3,5	1,23 (1,129/1,340)
Оз. Сурок	0,2/0,6	0,25/0,2	0,073/0,102	5,2/5,2	1,48 (1,431/1,525)

Однако значения показателей качества воды озера Табашинское приближаются к показателям, характерным для олиго-сапробной зоны, а значения показателей качества воды озера Сурок – к значениям альфа-мезосапробной зоны. Таким образом, оценка степени сапробности воды исследуемых озер показала, что вода озера Табашинское более чистая.

Таким образом, анализ гидрохимических, химических и биологических показателей исследуемых объектов свидетельствуют о том, что озеро Сурок испытывает наибольшее негативное воздействие, по сравнению с озером Табашинское.

Результаты биоиндикационных исследований оказались сопоставимы с результатами химического анализа. Растения-биоиндикаторы целесообразно использовать для рекогносцировочной оценки качества водоема, по составу гидробионтов возможно быстро установить санитарное состояние водоема, определить степень и характер загрязнения.

Загрязнение тяжелыми металлами и повышение уровня сапробности в озере Сурок, очевидно, обусловлено интенсификацией антропогенного воздействия и гидрологическим режимом (водоем бессточный), что способствуют ухудшению экологической ситуации на объекте. При сохранении существующей антропогенной нагрузки и, тем более, при ее возрастании деградация водоема может наступить в ближайшие десятилетия.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 16.552.11.7089 от 12 июля 2012 г.) с использованием оборудования ЦКП «ЭБЭЭ» ФГБОУ ВПО «ПГТУ».

Список литературы

1. Дубанов И.С. Озера, реки, родники Чувашии/ И.С. Дубанов.- Чебоксары: Чуваш. Кн. изд-во, 2008. - 207с.
2. ПНД Ф 14.1:2:4.3-95; ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 -Количественный химический анализ вод.
3. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-абсорбционной спектрометрии. М.: Изд. ФГУ «ФЦАО», 2007. Экз. 04889. - 20 с.
4. Методические указания по определению ТМ в почвах с/х угодий и продукции растениеводства.-2-е изд., перераб. и доп./ЦИНАО.1992. - 38с.
5. BS 7755-3.13:1998, ISO 11047:1998 Soil quality. Chemical methods. Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in aqua regia extracts of soil. Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods.

6. ПНД Ф 14.1:2:3.4.123-97 «Методика выполнения измерений биохимической потребности в кислороде после n-дней инкубации (БПК) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах».

7. Боголюбов А.С. Методы гидрологических исследований: проведение измерений и описание озер/А.С. Боголюбов. - М.: Экосистема, 1997. - 17 с.

References

1. Dubanov I.S. Ozera, reki, rodniki Chuvashii/ I.S. Dubanov.- Cheboksary: Chuvash. Kn. izd-vo, 2008. - 207s.

2. PND F 14.1:2:4.3-95; PND F 14.1:2:4.4-95 -Kolichestvennyj himicheskiy analiz vod.

3. Metodika vypolnenija izmerenij valovogo sodержaniya medi, kadmija, cinka, svinca, nikelja, marganca, kobal'ta, hroma metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii. M.: Izd. FGU «FCAO», 2007. Jekz. 04889. - 20 s.

4. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniju TM v pochvah s/h ugodij i produkcii rastenievodstva.-2-e izd., pererab. i dop./CINAO.1992. - 38s.

5. BS 7755-3.13:1998, ISO 11047:1998 Soil quality. Chemical methods. Determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc in aqua regia extracts of soil. Flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods.

6. PND F 14.1:2:3.4.123-97 «Metodika vypolnenija izmerenij biohimicheskoj potrebnosti v kislorode posle n-dnej inkubacii (BPK) v poverhnostnyh presnyh, podzemnyh (gruntovyh), pit'evyh, stochnyh i ochishhennyh stochnyh vodah».

7. Bogoljubov A.S. Metody gidrologicheskikh issledovanij: provedenie izmerenij i opisaniye ozer/A.S. Bogoljubov. - M.: Jekosistema, 1997. - 17 s.