

УДК 550.4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В РАМКАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ

<sup>1</sup>Лукашов С.В., <sup>2</sup>Иванченкова О.А., <sup>1</sup>Ноздрачева Е.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского»,  
Брянск, e-mail: sergelukashov@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,  
Брянск, e-mail: oa-iva79@mail.ru.

В настоящей статье проанализированы подходы к определению основных показателей в рамках экологического мониторинга малых водоемов. Выделены основные показатели, которые, по мнению авторов, целесообразно определять при экологическом обследовании малых водных объектов, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию. Обследовано озеро Октябрьское Брянского района Брянской области. Определены основные гидрохимические показатели озерной воды, а также проведен физико-химический анализ почвогрунтов, образующих озерную котловину, на содержание нефтепродуктов и бенз-а-пирена. На основании данных математического анализа предложено уравнение, которое адекватно описывает зависимость концентраций нефтепродуктов и бенз-а-пирена при их совместном определении и может быть использовано для расчета остаточных количеств указанных веществ в образцах почвогрунтов. Представлены данные, полученные в рамках трехлетнего экологического мониторинга данного объекта. Полученные результаты были сопоставлены с нормируемыми показателями. Установлено, что гидрохимические показатели (цветность, мутность и химическое потребление кислорода) превышают допустимые значения в летний и весенний периоды в 6-10 и 3-5 раз соответственно. Значения водородного показателя озерной воды находятся в интервале 6,5-6,9, то есть лежат в кислой области, что косвенно указывает на начальную стадию заболачивания водного объекта. В исследуемом водоеме в 95 раз превышена концентрация свинца (Pb<sup>2+</sup>). Установлено превышение содержания бенз-а-пирена в почвогрунтах озерной котловины, прилегающей к автомобильной дороге. Превышений остаточных количеств нефтепродуктов не выявлено. Данные, полученные в рамках экологического мониторинга малых водоемов, могут быть положены в основу для разработки мероприятий по их восстановлению.

**Ключевые слова:** нефтепродукты, почвогрунт, малый водоем, бенз-а-пирен, гидрохимические показатели, тяжелые металлы, экологический мониторинг

## DETERMINATION OF THE MAIN INDICATORS IN THE FRAMEWORK OF ENVIRONMENTAL MONITORING OF SMALL RESERVOIRS

<sup>1</sup>Lukashov S.V., <sup>2</sup>Ivanchenkova O.A., <sup>1</sup>Nozdracheva E.V.

<sup>1</sup>Bryansk State University named after acad. I. G. Petrovskogo, Bryansk, e-mail: sergelukashov@yandex.ru;

<sup>2</sup>Bryansk state engineering-technological University, Bryansk, e-mail: oa-iva79@mail.ru.

This article analyzes approaches determining the main indicators in framework environmental monitoring small reservoirs. The main indicators that, according to authors, it advisable to determine during ecological survey small water bodies exposed intense anthropogenic impact are highlighted. The Oktyabrskoye Lake Bryansk district Bryansk region was surveyed. The main hydrochemical parameters lake water were determined, and a physico-chemical analysis soils forming lake basin for content petroleum products and benz-a-pyrene was carried out. Based on data mathematical analysis, an equation is proposed that adequately describes dependence concentrations petroleum products and benz-a-pyrene in their joint determination, and can be used to calculate residual amounts these substances in soil samples. The data obtained within framework three-year environmental monitoring this facility are presented. The results obtained were compared with the normalized indicators. It was found that hydrochemical parameters (chromaticity, turbidity and chemical oxygen consumption) exceed permissible values in summer and spring periods by 6-10 and 3-5 times, respectively. The values of hydrogen index lake water are in the range of 6.5-6.9, that is, they lie in the acidic region, which indirectly indicates the initial stage of waterlogging water body. The concentration of lead (Pb<sup>2+</sup>) in the studied reservoir is 95 times higher. The excess content of benz-a-pyrene in the soils of the lake basin adjacent to highway was found. Excess residual amounts of petroleum products were not detected. The data obtained within the framework of ecological monitoring of small reservoirs can be used as a basis for the development of measures for their restoration.

**Keywords:** petroleum products, soil, urbanized territory, benz-a-pyrene, mineral pollutants, normalized indicators, environmental monitoring

В настоящее время одной из актуальных задач природопользования является проведение комплексных исследований малых водоемов. На территории нашей страны расположено около 2,7 млн озер общей площадью примерно 409 тыс. км<sup>2</sup>. При этом большинство озер (приблизительно 95-97%)

представляют собой малые водоемы, которые испытывают прессинг в результате антропогенного воздействия. На территории Брянской области расположено более полутора тысяч озер, из которых лишь 30 являются относительно крупными (имеют площадь более 20 га) [1].

Практически все малые водоемы подвергаются интенсивному антропогенному воздействию, которое приводит к их деградации: загрязнению токсикантами воды и почвогрунтов береговой зоны, эвтрофированию, нарушению гидрологического режима и, как следствие, к исчезновению [2].

В связи с этим возникает необходимость создания системы наблюдения и анализа состояния малых водоемов – их экологического мониторинга, основанного на геосистемном подходе.

С точки зрения геосистемного подхода, малый водоем необходимо исследовать как комплексный объект, имеющий определенную структуру. На стадии организации исследования необходимо учесть все возможные взаимосвязи между структурными элементами, оценить вклад антропогенного воздействия на водный объект [3].

По нашему мнению, геоэкологическая оценка малых водоемов представляет собой определение совокупности показателей, характеризующих последствия их антропогенных изменений в течение определенного промежутка времени, как правило, в течение нескольких лет. Многие авторы отмечают, что в число таких показателей должны включаться физико-географические (ландшафтные), экологические (геоэкологические), антропогенные (техногенные) показатели [3; 4].

Исходя из этого, нами были выбраны количественные характеристики, определяющие основные ландшафтные показатели (гидрохимический состав воды малого водоема; состав и структура почвогрунтов береговой зоны). Экологические показатели оценки характеризуют изменение количественных характеристик проявления деградационных природно-антропогенных процессов во времени (ухудшение гидрологических и гидрохимических параметров малых водоемов, превышение нормируемых показателей веществ в воде и почвогрунтах береговой зоны). К третьей группе показателей нами были отнесены характеристики антропогенных воздействий, таких как загрязнение природных сред различными видами отходов, распашка береговой территории, разрушение гидротехнических сооружений.

Поскольку своевременное выявление факторов, оказывающих негативное воздействие, способствует сохранению природного объекта и его биоразнообразия, экологический мониторинг состояния малых водоемов является актуальной задачей.

Цель работы заключалась в определении количественных характеристик основных показателей оценки малых водоемов в рамках экологического мониторинга, которые могут быть положены в основу для разработки мероприятий по их охране и восстановлению.

### Материал и методы исследования

Определение основных гидрохимических показателей, остаточных количеств нефтепродуктов и бенз-а-пирена в почвогрунтах береговой линии проводили в рамках экологического обследования озера Октябрьское Брянского района Брянской области с целью получения исходных данных для разработки мероприятий по охране и восстановлению данного водного объекта.

При отборе проб почвогрунта руководствовались ГОСТ 17.4.4.02-2017. Пробы воды отбирали в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Остаточную концентрацию нефтепродуктов в образцах почвогрунта определяли по известной методике [5].

Концентрацию бенз-а-пирена в образцах почвогрунта определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по МУК 4.1.1274-03. Пробоподготовка включала стадию предварительной обработки элюента (гексано-хлористометиленовой смеси) на оксиде алюминия и сульфате натрия.

На основании математического анализа данных по концентрациям бенз-а-пирена и нефтепродуктов предложено оригинальное уравнение, которое может быть использовано для расчета концентрации указанных веществ при их совместном определении. Методами математической статистики доказана адекватность предложенного уравнения.

Показатели цветности и мутности воды определяли по ГОСТ 3351-74. Химическое потребление кислорода (ХПК) определяли в соответствии с ГОСТ 31859-2012. Для определения водородного показателя воды использовали прибор рН-150М. Количественное определение концентраций тяжелых металлов в озерной воде проводили методом инверсионной вольтамперометрии на полярографе АВС – 1.1 в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.149-99. Сравнительную оценку полученных данных и нормируемых показателей по загрязняющим веществам выполняли в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21.

Обработку полученных результатов выполняли с использованием программного комплекса Mathcad.

### Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта исследования нами был выбран малый водоем – озеро Октябрьское Брянского района Брянской области. Водоем имеет искусственное происхождение (образован в результате строительства гидротехнических сооружений на старом русле реки Малая Речка).

С целью определения экологических показателей антропогенного воздействия на озеро Октябрьское было выполнено рекогносцировочное обследование данного водоема в летний период 2018 г. Выявлены деградационные процессы, которые заключаются в обмелении водоема, загрязнении береговой линии твердыми бытовыми отходами и зарастании его травянистой и кустарниковой растительностью. Было установлено, что уровень воды снизился на 2,5–3 м по сравнению с имеющимися данными 2015 г. В пределах озерной котловины сформировались две выраженные террасы высотой 1,1-1,3 м и шириной 2,5-4,5 м (рис. 1). Дно водоема илистое, пологое, с небольшим уклоном в сторону прирусловой бровки.



Рис. 1. Террасы озерной котловины

При определении ландшафтных показателей нами исследованы основные гидрохимические показатели: цветность, мутность, ХПК, водородный показатель. Определены концентрации тяжелых металлов, а также проведен физико-химический анализ почвогрунтов, образующих береговую линию. Точки пробоотбора представлены на рисунке 2.

Динамика основных гидрохимических показателей озера Октябрьское за трехлетний период представлена в таблице 1.



Рис. 2. Точки пробоотбора

Данные, представленные в таблице 1, были проанализированы в соответствии с нормируемыми показателями, установленными СанПиНом 1.2.3685-21. При этом выявлено, что значения цветности и мутности озерной воды превышают нормируемые показатели более чем в 10 раз. Анализ значений ХПК за трехлетний период позволяет сделать вывод о высокой концентрации органических веществ в озерной воде. Значения ХПК превышают установленные нормативы в 6-10 раз. Следует отметить закономерности сезонного изменения рассматриваемых гидрохимических показателей. В зимне-весенний период наблюдается уменьшение значений всех показателей (кроме рН), что, по-видимому, объясняется низкой температурой окружающей среды. Анализ динамики значений водородного показателя озерной воды указывает на развивающиеся процессы заболачивания, поскольку наблюдается смещение рН в кислую область (5,4-5,7). При этом необходимо отметить, что до 2021 г. наблюдались сезонные колебания значений рН со смещением в кислую область преимущественно в летне-осенний период. Однако в 2021 г. наблюдалось устойчивое смещение значений водородного показателя в кислую область даже в весенний и зимний периоды.

Таблица 1

Динамика основных гидрохимических показателей озера Октябрьское

№ пробы	Цветность, ед.				Мутность, ед.				ХПК, мг O <sub>2</sub> /л				рН			
	Весенний период	Летний период	Осенний период	Зимний период	Весенний период	Летний период	Осенний период	Зимний период	Весенний период	Летний период	Осенний период	Зимний период	Весенний период	Летний период	Осенний период	Зимний период
2019 год																
1	580	600	620	600	12	15	14	13	151	182	187	174	6,9	6,9	6,2	6,3
2	620	700	730	710	13	14	16	15	275	326	333	325	7,1	7,1	6,4	6,6
3	580	600	610	590	14	15	15	13	213	250	257	245	6,8	6,5	6,2	6,4
4	520	560	600	580	11	13	14	12	280	310	323	310	6,7	6,4	6,1	6,2
5	700	720	730	710	12	14	15	13	230	290	310	290	6,7	6,6	6,0	6,3
6	580	600	610	600	11	13	15	14	220	300	310	300	6,9	6,8	6,1	6,3
2020 год																
1	570	610	610	600	12	15	14	11	155	192	190	167	6,7	5,9	5,8	6,1
2	610	720	700	710	14	15	14	12	269	337	340	321	6,9	6,1	5,9	6,3
3	560	620	600	580	13	16	15	10	211	270	269	247	6,7	5,5	5,7	6,2
4	570	600	610	570	12	15	14	12	268	340	339	312	6,5	5,4	5,7	6,1
5	690	750	740	700	13	17	16	11	223	310	312	294	6,4	5,6	5,9	6,1
6	570	630	640	610	14	15	15	12	219	325	330	310	6,4	5,9	5,9	6,2
2021 год																
1	590	640	630	620	13	15	15	14	157	198	187	177	5,8	5,5	5,5	5,7
2	630	670	660	700	12	16	15	15	283	355	349	331	6,5	5,9	5,9	5,6
3	600	630	630	590	13	16	14	13	234	290	290	287	6,1	5,8	5,8	5,9
4	520	600	610	580	13	14	15	12	282	360	361	352	6,4	5,7	5,7	5,6
5	700	750	740	710	12	17	14	15	232	340	345	314	6,2	5,4	5,4	5,4
6	580	630	630	620	14	16	15	13	222	370	364	340	5,9	5,9	5,9	5,9

Превышение нормируемых показателей качества озерной воды объясняется антропогенным воздействием на обследуемый малый водоем. Так, увеличение концентрации органических веществ и, как следствие, превышение нормативов по ХПК, цветности и мутности объясняется распахиванием территории, прилегающей к береговой линии. Распашка привела к эрозии береговых склонов, смыванию дождевыми водами плодородного грунта в озеро, что способствовало образованию сапропеля и вызвало бурный рост земноводных растений, таких как тростник и камыш. Описанные процессы привели к эвтрофированию водоема и его заболачиванию (рис. 3).

Результаты определения валового содержания тяжелых металлов в озерной воде представлены в таблице 2.

Из данных, представленных в таблице 2, видно, что наблюдается превышение предельно допустимой концентрации по Рb, максимальное содержание которого зафиксировано в 2021 г. и составило 0,95 мг/л. Поскольку в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21 ПДК (Рb(II)) = 0,01 мг/л, нормативный показатель превышен в 95 раз.

Также необходимо отметить ежегодное возрастание концентрации цинка, меди и стронция, что, по нашему мнению, можно объяснить обмелением водоема, которое приводит к увеличению концентрации растворенных веществ.

Физико-химический анализ почвогрунтов береговой линии показал, что содержание глинистых фракций размером менее 0,005 мм в образцах составляет от 10 до 30%, в связи с чем его можно отнести к суглинкам.



Рис. 3. Береговая линия озера Октябрьское: а) лето 2019 г.; б) весна 2021 г.

**Таблица 2**

Динамика содержания тяжелых металлов в озерной воде\*

Год	Валовое содержание элемента, мг/л										
	Zn	Pb	Hg	Cu	Mn	Ni	As	Cr	Cd	Sr	Co
2019	0,011	0,750	-	0,013	0,010	-	-	-	-	1,400	-
2020	0,015	0,900	-	0,015	0,011	-	-	-	-	1,510	-
2021	0,021	0,950	-	0,022	0,010	-	-	-	-	1,540	-

\*В таблице приведены среднегодовые значения валового содержания тяжелых металлов.

**Таблица 3**

Содержание нефтепродуктов и бенз-а-пирена  
в почвогрунтах береговой линии озера Октябрьское\*

№ пробы	Нефтепродукты, мг/кг	Бенз-а-пирен, мг/кг	Нефтепродукты, мг/кг	Бенз-а-пирен, мг/кг	Нефтепродукты, мг/кг	Бенз-а-пирен, мг/кг
	2019 г.		2020 г.		2021 г.	
1	6,7	0,014	6,5	0,013	6,9	0,015
2	10,0	0,023	10,2	0,020	11,1	0,029
3	55,0	0,033	54,0	0,029	56,4	0,034
4	67,0	0,075	68,3	0,077	70,3	0,082
5	98,0	0,110	99,4	0,140	99,8	0,145
6	146,0	0,150	150,0	0,180	151,0	0,194

\*В таблице приведены среднегодовые значения содержания нефтепродуктов и бенз-а-пирена.

Почвогрунт береговой линии был исследован на содержание нефтепродуктов и бенз-а-пирена, так как высокая вероятность содержания данных загрязнителей обусловлена тем, что озеро Октябрьское располагается вблизи автомобильной дороги и аэропорта.

Результаты определения содержания нефтепродуктов и бенз-а-пирена в образцах почвогрунтов представлены в таблице 3.

Нами исследована корреляционная зависимость между содержанием нефтепродуктов и бенз-а-пирена в образцах

почвогрунтов. На рисунке 4 представлен алгоритм корреляционного анализа на примере данных 2019 г. в программном комплексе Mathcad. Рассчитанный коэффициент корреляции 0,971 свидетельствует о высокой степени достоверности коэффициентов  $b_0$  и  $b_1$  исследуемой зависимости. Также нами была вычислена статистика Дарбина-Уотсона  $D(\delta)$ , значение которой составило 1,98, что свидетельствует об отсутствии автокорреляции между рассматриваемыми случайными величинами.

```

data :=  $\begin{pmatrix} 6.7 & 0.014 \\ 10 & 0.023 \\ 55 & 0.033 \\ 67 & 0.075 \\ 98 & 0.11 \\ 146 & 0.15 \end{pmatrix}$ 
i := 1..10
x1 := 2
x10 := 150

data := csort(data, 0)
X := data<0>
Y := data<1>

b0 := intercept(X, Y)
b1 := slope(X, Y)
r := corr(X, Y)

b0 = 4.425 × 10-3
b1 = 9.889 × 10-4
r = 0.971

```

Рис. 4. Алгоритм корреляционного анализа содержания бенз-а-пирена и нефтепродуктов в почвогрунтах береговой линии

Полученное нами уравнение

$$y(x) = 4,425 \times 10^{-3} + 9,889 \times 10^{-4}x$$

позволяет с приемлемой достоверностью вычислять концентрацию бенз-а-пирена по значениям концентраций нефтепродуктов.

Анализ полученных значений содержания бенз-а-пирена в образцах почвогрунта береговой линии (табл. 3) проводили в соответствии с нормируемыми показателями, установленными СанПиН 1.2.3685-21. Минимальное содержание данного вещества обнаружено в пробах 1 и 2. На данных участках пробоотбора концентрация бенз-а-пирена ниже ПДК. Установлено, что нормируемые показатели по бенз-а-пирену превышены в пределах участков пробоотбора 3-6. По-видимому, такая закономерность объясняется тем, что участки пробоотбора 3-6 расположены на береговой линии, прилегающей к автомагистрали.

По данным [5; 6], нормируемые показатели для загрязнения почв нефтепродуктами не установлены. Степень загрязненности почвогрунтов нефтепродуктами следует определять в соответствии с [7]. Сопоставление полученных данных с допустимыми уровнями загрязнения почвогрунтов не-

фтепродуктами позволяет сделать вывод, что их концентрация в пределах обследованных участков не превышает допустимых значений.

### Выводы

Проанализированы подходы к определению основных показателей в рамках экологического мониторинга малых водоемов. Выделены основные показатели, которые, по мнению авторов, целесообразно определять при экологическом обследовании малых водных объектов, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию.

Обследовано озеро Октябрьское Брянского района Брянской области. Определены основные гидрохимические показатели озерной воды, а также проведен физико-химический анализ почвогрунтов, образующих озерную котловину, на содержание нефтепродуктов и бенз-а-пирена. Представлены данные, полученные в рамках трехлетнего экологического мониторинга данного объекта. Показано, что большинство определенных показателей превышает допустимые значения, а обследуемый водоем нуждается в восстановлении.

Предложено уравнение, которое адекватно описывает зависимость концентраций нефтепродуктов и бенз-а-пирена при их совместном определении и может быть использовано для расчета остаточных количеств указанных веществ в образцах почвогрунтов.

Предлагаемый подход определения основных гидрохимических показателей, содержания нефтепродуктов, бенз-а-пирена в почвогрунтах может быть использован в рамках экологического мониторинга для разработки мероприятий по их охране и восстановлению.

### Список литературы

1. Левкина Г.В., Иванченкова О.А., Луцевич А.А. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области. Годовой доклад об экологической ситуации в Брянской области в 2018 г. Брянск: «Издательство Читай-город», 2019. 266 с.
2. Levkina G.V., Ivanchenkova O.A., Lutsevich A.A. Natural resources and the environment of the Bryansk region. Annual report on the environmental situation in the Bryansk region in 2018, Bryansk: "Read -City Publishing House", 2019. 266 p. (in Russian).
3. Четверикова А.В., Глухая С.Е. Восстановление водных источников и создание водных объектов в городской среде // Фундаментальные и прикладные исследования. 2016. №3. С. 10-17.
4. Chetverikova A.V., Tolstaya S.E. Restoration of water sources and creation of water bodies in the urban environment // Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya. 2016. №3. P. 10-17. (in Russian).

3. Бобрышева Е.И. Использование геоэкологического мониторинга для диагностики экологической ситуации // Академический журнал западной Сибири. 2014. Т. 10. № 2 (51). С. 19.

Bobrysheva E.I. The use of geoecological monitoring for the diagnosis of the ecological situation // Akademicheskiy zhurnal zapadnoy Sibiri. 2014. V. 10. № 2 (51). P. 19. (in Russian).

4. Мещерякова Г.В. Оценка качества природных вод озера Большая Наного по гидрохимическим показателям // Вестник биотехнологии. 2020. № 2 (23). С. 18.

Meshcheryakova G.V. Assessment of the quality of natural waters of Lake Bolshaya Nanoga by hydrochemical indicators // Vestnik biotekhnologii. 2020. № 2 (23). P. 18. (in Russian).

5. Околелова А.А., Капля В.Н., Лапченков А.Г. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах // Научные ведомости. Серия: Естественные науки. 2019. № 1. Т. 43. С. 76-86.

Okolelova A.A., Kaplya V.N., Lapchenkov A.G. Assessment of the content of petroleum products in soils // Nauchnyye vedomosti. Seriya: Yestestvennyye nauki. 2019. № 1. V. 43. P. 76-86. (in Russian).

6. Копытов М.А., Филатов Д.А., Ельчанинова Е.А., Овсянникова В.С. Изучение трансформации нефтепродукта в почве по результатам моделирования // Экологический вестник России. 2017. № 5. С. 24-28.

Kopytov M.A., Filatov D.A., Yelchaninova E.A., Ovsyannikova V.S. Studying the transformation of petroleum product in soil based on the results of modeling // Ekologicheskiy vestnik Rossii. 2017. № 5. P. 24-28. (in Russian).

7. Акт правительства Российской Федерации от 27 декабря 1993 г. № 61-5678 04-25 «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами». [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033369?section=status> (дата обращения: 20.03.2022).

Act of the Government of the Russian Federation of December 27, 1993 No. 61-5678 04-25 "Procedure for determining the amount of damage from land pollution by chemicals" [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9033369?section=status> (date of access: 20.03.2022). (in Russian).