

ВЛИЯНИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И САНИТАРНО- МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЗЕРА МАНЖЕРОКСКОЕ (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

Д.М. Безматерных, В.В. Кириллов, Н.И. Ермолаева,
Л.М. Киприянова, Л.В. Яныгина, Е.Ю. Митрофанова,
О.Н. Вдовина, А.В. Котовщиков, Е.Ю. Зарубина

E-mail: bezmater@iwep.ru

ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения
Российской академии наук», г. Барнаул, Россия

АННОТАЦИЯ: Оценено экологическое состояние оз. Манжерокское (Майминский район Республики Алтай) по гидробиологическим и санитарно-микробиологическим показателям после проведения дноуглубительных работ. Для оценки динамики биоценозов использованы архивные данные 2007–2015 гг. и научные публикации. Сообщества гидробионтов характеризовались низкими показателями развития: фитопланктон – 26 таксонов, численность – не более $1,3 \cdot 10^3$ тыс. кл/м³, биомасса – не более $64,0 \cdot 10^{-3}$ мг/м³. В воде выявлены растительные пигменты сапропеля с максимальной концентрацией хлорофилла а – 237 мг/м³. Определено 16 видов зоопланктона, численность 3,5–18,2 тыс. экз/м³, биомасса 23,4–97,3 мг/м³. По сравнению с 2015 г. численность и биомасса фильтрующих зоопланктеров была ниже в 10–15 раз.

По сравнению с 14–15 видами в предыдущие годы установлено 5 видов макрофитов. Численность бентоса – не более 1,48 тыс. экз/м², биомасса – не более 1,56 г/м², что ниже, чем в 2007 г. Такие низкие показатели развития водных сообществ при высоких концентрациях органических веществ свидетельствуют о временном состоянии антропогенного метаболического регресса. Качество воды по санитарно-микробиологическим показателям оз. Манжерокское не соответствовало требованиям, предъявляемым к водным объектам, используемым для рекреационного водопользования. Общее содержание колиформных бактерий в прибрежной зоне превышало норму в 24 раза, термотолерантных колиформных бактерий в центре озера и в зарослях макрофитов – в 2,3 раза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оз. Манжерокское, качество воды, гидробиология, восстановление водоемов, биоиндикация, микробиология.

Озеро Манжерокское расположено на правом берегу р. Катунь на частично залесенной высокой надпойменной террасе у подножия гор Синюха и Малая Синюха. Впадина озера лежит на отметке около 373 м над уровнем

© Безматерных Д.М., Кириллов В.В., Ермолаева Н.И., Киприянова Л.М., Яныгина Л.В., Митрофанова Е.Ю., Вдовина О.Н., Котовщиков А.В., Зарубина Е.Ю., 2020

нем моря. Из озера вытекает руч. Озёрный, который впадает в р. Едрала – правый приток Катуня, ручей перегорожен дамбой. Административно оз. Манжерокское находится в Майминском районе Республики Алтай в 38 км к юго-западу от г. Горно-Алтайска, в 0,5 км от с. Озерное [1,2].

Озеро Манжерокское – памятник природы регионального значения с 1978 г. Статус утвержден Постановлением Правительства Республики Алтай от 16.02.1997 г., позднее Постановлением Правительства Республики Алтай от 27.06.2007 г. № 126 подтвержден статус памятника природы республиканского значения.

На юго-востоке от озера, где расположены смешанные леса (делювиально-пролювиальный шлейф и склоны г. Синюха), развивается горнолыжный комплекс «Манжерок». На озеро оказывается большая рекреационная нагрузка и его экологическое состояние в настоящее время является неудовлетворительным [3, 4].

В 2018 г. с целью замедления зарастания и заполнения чаши оз. Манжерокское илами с высоким содержанием органического вещества был реализован проект расчистки и дноуглубления водоема. В результате произошло увеличение глубины озера (максимальная глубина увеличилась более чем на 2 м, до 5,66 м) и объема воды (более чем в два раза, до 1,16 млн м³), что в дальнейшем должно было привести к улучшению кислородного режима и снижению концентрации биогенных веществ. Донные отложения по-прежнему представлены грунтами с высоким содержанием органического углерода (до 56,2 мг/дм³) и органического вещества (до 112 мг/дм³), преобладающим компонентом отложений является детрит и органический ил.

Вода озера на всех изученных участках и по всей толще загрязнена взмученными органическими илами. Концентрация взвешенных веществ достигала 4,6 г/дм³, а прозрачность по диску Секки упала до 0,5 см. Вертикальное распределение взвешенных веществ свидетельствовало о протекающем процессе их осаждения. Качество воды озера по химическим показателям оценивалось как неудовлетворительное, что, в т. ч. было обусловлено негативными последствиями проведенных дноуглубительных работ. Основными загрязняющими веществами воды озера являлись фосфаты (до 0,4 мг/дм³), нефтепродукты (до 0,4 мг/дм³) и органические вещества (до 342 мгО/дм³ по ХПК нефилтрованной воды), концентрации которых существенно превышали допустимые значения. Качество воды по гидрохимическим показателям не соответствовало требованиям, предъявляемым к водным объектам, используемым для рекреационных целей. Подробная оценка влияния дноуглубительных работ на морфометрические характеристики, физические и химические показатели качества воды и донных отложений оз. Манжерокское приведена в работе [5].

Цель работы – оценить влияние проведенных дноуглубительных работ на экосистему оз. Манжерокское в краткосрочной перспективе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб донных отложений и воды оз. Манжерокское проведен 8 августа 2018 г. (спустя две недели после завершения дноуглубительных работ) на пяти участках (Т1–Т2) и в отстойнике намывных грунтов – Т6 (рис. 1). Материал для исследований отбирали и обрабатывали по стандартным методикам [6, 7]. Пробы воды брали пятилитровым батометром в центре озера (участок Т2) с глубины 1, 2,5 и 4,6 м, на других участках – только с поверхности до глубины 1 м. Донные отложения отбирали дночерпателем Петерсена (площадь захвата 1/40 м²) по две повторности в каждой точке. Камеральная обработка гидробиологических проб выполнена в Лаборатории водной экологии и Новосибирском филиале ИВЭП СО РАН, микробиологических и паразитологических проб – в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Алтай».



Для оценки качества воды по биологическим показателям рассчитывали индекс сапробности (S) по численности планктона методом Пантле и Букк [8] в модификации Сладечека [9]. При расчете индекса сапробности использованы значения региональных индексов индикаторной значимости, полученные для зоопланктонных организмов водоемов юга Западной Сибири [10–12].

В целях биоиндикации экологического состояния озера по макрозообентосу использовали биотический индекс р. Трент – Trent Biotic Index [13] и олигохетный индекс Гуднайта и Уитли (OI) [14], которые характеризуют степень органического загрязнения водных объектов [15].

Оценку разнообразия сообщества проводили по индексу Шеннона-Уивера (H) [16]. Для определения уровня загрязнения вод озера по этому индексу использовали градацию: «грязные» (0–1 бит/экз.), «умеренно загрязненные и загрязненные» (1–2 бит/экз.), «чистые» (> 2 бит/экз.) [17]. Уровень трофности определяли по шкале С.П. Китаева [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненных натурных исследований были получены следующие гидробиологические и санитарно-микробиологические характеристики оз. Манжерокское, отражающие влияние дноуглубительных работ.

Фитопланктон. Несмотря на значительную мутность воды, в планктоне оз. Манжерокское выявлено 26 таксонов водорослей из пяти отделов с преобладанием диатомовых: Cyanobacteria – 4 таксона, Chrysophyta – 6, Bacillariophyta – 8, Cryptophyta – 2, Chlorophyta – 6 таксонов. Альгофлора в озере до его рекультивации была намного богаче ввиду значительно большей прозрачности воды, мелководности и прогрева воды в летний период. Так, в зимнем фитопланктоне выявлено 34 вида водорослей из 7 отделов [19], а диатомовых в донных отложениях – 94 вида (115 видов, разновидностей и форм), принадлежащих к 25 родам [20]. В планктоне озера по числу таксонов преобладали зеленые водоросли, в большей степени хлорококковые. В августе 2018 г. из хлорококковых определено только три представителя – *Dictyosphaerium pulchellum* Wood., *Scenedesmus acutiformis* Schröd. и *Tetraedron minimum* (A. Br.) Hansg., а обнаруженные таксоны диатомей относились лишь к шести родам. Отмечено, что наряду с зелеными столько же таксонов выявлено и у золотистых водорослей, причем не только вегетативные клетки из родов *Chrysococcus*, *Kephyrion*, *Pseudokephirion* и *Chromulina*, но и цисты двух типов – гладкие в форме шара и эллипсоида.

Анализ распределения фитопланктона по акватории озера в поверхностном горизонте (по станциям) и по глубинам (в центре) показал, что все пять отделов водорослей отмечены в центральной части у берегов (станции Т1 и Т3), а также в прибрежной части водоема-отстойника, примыкающего к оз. Манжерокское (Т6) (рис. 2). На середине озера (Т2) разнообразие отделов несколько ниже, причем на глубине 4,5 м выявлено наибольшее число таксонов – 11 (вероятно, вследствие осаждения водорослей), у поверхности – почти в два раза меньше, на глубине 2,5 м – всего два таксона.

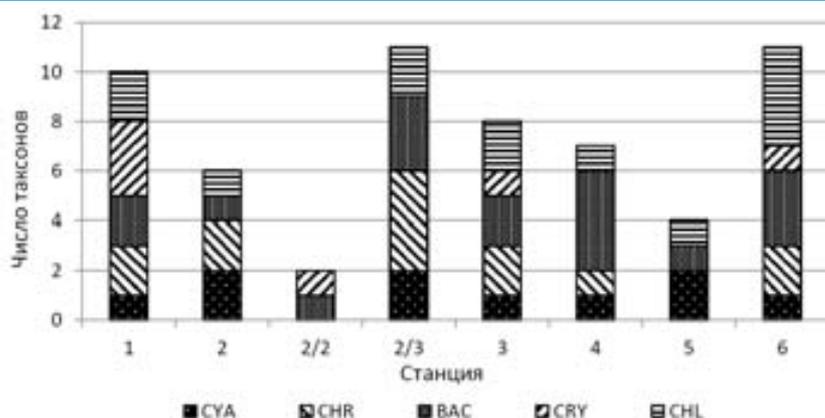


Рис. 2. Число таксонов (видов) водорослей в фитопланктоне оз. Манжерокское на станциях отбора проб, 08.08.2018 г.

Fig. 2. The number of algae taxa (species) in the Lake Manzherok phytoplankton at the sampling sites, 08.08.2018.

В пробах фитопланктона отмечены только единичные клетки водорослей, поэтому обилие фитопланктона было низким. Численность фитопланктона варьировала в пределах $0,1 \cdot 10^{-3}$ – $1,3 \cdot 10^3$ тыс. кл./м³, биомасса – $0,049 \cdot 10^{-3}$ – $64,0 \cdot 10^{-3}$ мг/м³ (табл. 1). О доминировании каких-либо таксонов судить трудно, поскольку одна встреченная клетка при подсчете сразу выводила данный таксон в число доминантов. В табл. 2 приведены преобладающие по численности и биомассе таксоны.

Таблица 1. Показатели развития и биоиндикационные индексы фитопланктона оз. Манжерокское, 08.08.2018 г.

Table 1. Indicators of development and bio/indication indices of the Lake Manzherok phytoplankton, 08.08.2018

Станции отбора проб	Глубина, м	N, тыс. кл/л	B, мг/м ³	n	H		S
					по N	по B	
T1	1	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$0,313 \cdot 10^{-3}$	5	1,57	0,88	0,75
T2	1	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$0,279 \cdot 10^{-3}$	7	1,62	1,82	1,5
T2/2	2,5	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,049 \cdot 10^{-3}$	3	1,06	1,08	–
T2/3	4,6	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$1,107 \cdot 10^{-3}$	10	1,99	1,47	1,3
T3	1	$1,3 \cdot 10^3$	$0,368 \cdot 10^{-3}$	5	1,6	0,84	1,25
T4	1	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$0,302 \cdot 10^{-3}$	5	–	–	–
T5	1	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$0,570 \cdot 10^{-3}$	9	–	–	0,7
T 6	1	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$64,0 \cdot 10^{-3}$	11	1,88	1,72	2,02

Примечание: N – численность, B – биомасса, n – число видов, H – индекс видового разнообразия, S – индекс сапробности.

Таблица 2. Преобладающие по обилию таксоны в фитопланктоне оз. Манжерокское
Table 2. The taxons predominate in terms of abundance in the Lake Manzherok phytoplankton

Станции отбора проб	Глубина, м	Преобладающие таксоны, %	
		по численности	по биомассе
T1	1	<i>Cyclotella</i> sp. – 47,4 Cyanobacteria indet. – 21,1 <i>Scenedesmus acutiformis</i> Schröd.– 21,1	<i>Scenedesmus acutiformis</i> Schröd. – 75,5 <i>Cyclotella</i> sp. – 18,7 <i>Achnanthes lanceolata</i> (Bréb.) Grun. – 2,3
T2	1	<i>Cyclotella</i> sp. – 44,0 Cyanobacteria indet. – 24,0 <i>Chrysococcus rufescens</i> – 8,0	<i>Cyclotella</i> sp. – 52,0 Chlorophyta indet. – 17,5 Cyanobacteria indet. – 10,5
T2/2	2,5	<i>Cyclotella</i> sp. – 40,0 <i>Cryptophyta</i> sp. – 40,0 <i>Cyclotella</i> sp. – 20,0	<i>Cryptophyta</i> sp. – 49,4 <i>Cyclotella</i> sp. – 28,9 <i>Cyclotella</i> sp. – 27,9
T2/3	4,6	Cyanobacteria indet. – 30,6 <i>Cyclotella</i> sp. – 28,6 <i>Chrysococcus rufescens</i> – 8,2	<i>Tetraedron minimum</i> (A. Br.) Hansg.– 63,3 Chrysophyta (цисты) – 6,8 <i>Cyclotella</i> sp. – 6,2
T3	1	Cyanobacteria indet. – 36,4 <i>Cyclotella</i> sp. – 30,3 <i>Aulacoseira alpigena</i> – 12,1	<i>Tetraedron minimum</i> (A. Br.) Hansg.– 77,1 Chrysophyta (цисты) – 9,6 <i>Cyclotella</i> sp. – 7,4
T4	1	<i>Cyclotella</i> sp. – 38,5 Chlorophyta indet. – 30,8 Cyanobacteria indet. – 23,1	Chlorophyta sp. indet. – 40,9 <i>Anabaena</i> sp. (споры) – 56,0 <i>Cyclotella</i> sp. – 2,6
T5	1	<i>Cyclotella</i> sp. – 54,2 Cyanobacteria indet. – 12,5 <i>Tetraedron minimum</i> (A. Br.) Hansg.– 8,3	<i>Tetraedron minimum</i> (A. Br.) Hansg.– 70,0 Cyanobacteria indet. – 10,8 <i>Cyclotella</i> sp. – 12,5
T6	1	<i>Chromulina tenera</i> Skuja – 38,2 <i>Chlamydomonas atactogama</i> Korsch. – 15,7 <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood. – 11,2	<i>Chlamydomonas atactogama</i> Korsch. – 44,9 <i>Chromulina tenera</i> Skuja – 17,8 <i>Staurosira leptos tauron</i> (Ehr.) Kulikovskiy&Genkal comb. nov. – 10,9

С учетом очень низких значений численности и биомассы фитопланктона состояние экосистемы оз. Манжерокское можно оценить как дистрофное. В планктоне озера встречаются водоросли, которые могут переносить затемнение (например, криптофитовые и золотистые водоросли, некоторые диатомеи). Кроме того, распространены в основном мелкие формы, что также является ответом альгофлоры на неблагоприятные экологические условия в водоеме [21].

Индекс сапробности варьировал в пределах олиго- β -мезосапробной зоны (табл. 3), что соответствует низкому или очень низкому загрязнению водоема легкоокисляемыми органическими веществами. Значения индекса Шеннона в большинстве случаев выше 1, что свидетельствует о некоторой сформированности сообщества водорослей в планктоне озера. Но в данном случае, вероятно, эти индексы не отражают истинного экологического состояния водоема, поскольку по гидрохимическим показателям качество вод значительно ниже.

Ранее, 29 марта 2007 г., зимний подледный фитопланктон оз. Манжерокское отличался преимущественным развитием криптофитовых флагеллят. Отмечено высокое обилие фитопланктона для зимних условий: численность достигала 1018,6 тыс. кл/л, биомасса – 599,6 мг/м³. По составу подледного фитопланктона мелководное эвтрофное озеро было сходно с глубокими олиготрофными озерами [19].

Фотосинтетические пигменты. Количество и состав пигментов в воде озера скорее характеризовали не сообщество фитопланктона, а фонд осадочных растительных пигментов водоема. Концентрация Хл *a* в воде достигала 237 мг/м³. До 98 % хлорофилла было представлено разрушенными формами (феопигментами), что характерно для пигментного состава донных отложений [22]. Значения отношения каротиноидов к хлорофиллам и пигментный индекс – относительно низкие, что связано с высоким содержанием осадочного хлорофилла в воде.

Ранее проведенные исследования (29.03.2007 г. и 09.07.2010 г.) показали, что уровень развития фитопланктона в оз. Манжерокское (по концентрации Хл *a*) в зимний и летний периоды был очень высоким и соответствовал гиперэвтрофным водоемам [23].

Зоопланктон. После проведения дноуглубительных работ в зоопланктоне озера выявлено восемь видов коловраток, три вида ветвистоусых и пять видов веслоногих рачков. Численность на различных участках озера варьировала от 3,5 до 18 тыс. экз/м³, биомасса – от 23 до 97 мг/м³. Наименьшие количественные показатели зафиксированы в центральной части. На всех участках доминировали веслоногие рачки, составляя от 90 до 96 % общей численности зоопланктона. Ветвистоусые рачки встречались единично и были представлены только эврибионтными видами. Коловратки встречались единично (табл. 3).

Таблица 3. Видовой состав зоопланктона оз. Манжерокское, 08.08.2018 г.
Table 3. Zooplankton species structure in the Lake Manzherok, 08.08.2018

Таксоны	Станции отбора проб				
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
Rotifera					
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse			+	+	
<i>Brachionus quadridentatus melheni</i> Bar. at Dad.		+	+	+	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrb.				+	
<i>K. quadrata quadrata</i> (Müller)	+	+		+	
<i>Lecaneluna luna</i> (Müller)					+
<i>Lophocharis oxysternon</i> Gosse				+	
<i>Polyarthra remata</i> Skorikov	+	+	+	+	+
<i>Platyias quadricornis quadricornis</i> (Ehrenb.)				+	
Число видов таксона	2	3	3	7	3
Cladocera					
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller)	+	+	+	+	
<i>Daphnia pulex</i> (DeGeer)	+	+	+	+	+
<i>Simocephalus vetulus</i> (Müller)				+	+
Число видов таксона	2	2	2	3	2
Copepoda					
<i>Eucyclops macruroides</i> (Lill.)				+	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus	+		+	+	+
<i>Mesocyclops oithonoides</i> Sars	+	+	+	+	+
<i>Mesocyclops (Thermocyclops) dybowski</i> (Lande)					+
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fisch.)			+		
Число видов таксона	2	1	3	3	4
Общее число видов	6	6	8	13	9

Индекс сапробности варьировал в пределах β -мезосапробной зоны (1,93–2,04). Водоем в целом можно оценить как β -мезосапробный, умеренно загрязненный. По классификации В.Н. Жукинского [24], вода на большей части акватории озера относится к 3 классу (удовлетворительной чистоты) к разряду 3 «а» – достаточно чистая, за исключением центральной части озера, где качество воды оценивается разрядом 3 «б» – слабо загрязненная.

Индекс видового разнообразия составил 1,20–1,24 бит/экз. В озере на момент исследования наблюдался трансформированный планктоноценоз, основой которого являлся один эврибионтный вид (табл. 4). Преобладание в зоопланктоне хищных форм зоопланктона свидетельствует о неблагоприятном состоянии сообщества. При сопоставлении с данными предыдущих исследований (2015 г.) отмечено, что в результате рекультивации оз. Манже-

роцкое значительно сократился видовой состав зоопланктона. Из состава зоопланктона выпали стенобионтные виды фильтраторов и фитофильные Cladocera и Rotifera, а также все представители отряда Harpacticoida.

Зоопланктон является важнейшим фактором самоочищения водных объектов от загрязняющих взвешенных минеральных и органических веществ [25]. По сравнению с данными 2015 г. численность и биомасса фильтрующих организмов (коловратки и ветвистоусые) снизилась в среднем в 10–15 раз. Соответственно уменьшилась скорость фильтрации (скорость самоочищения). В период исследований скорость фильтрации составляла не более 0,025 л/мг сырой биомассы в сутки. При таких параметрах зоопланктона на биотическую фильтрацию всего объема озера потребуется более трех лет.

Макрофиты. Относительно стабильное состояние в августе 2018 г. было характерно лишь для растительных сообществ сплавин, слагаемых воздушно-водными растениями, которые практически не пострадали после дноуглубительных работ. Из всего разнообразия гидрофитов, обнаруженных ранее в оз. Манжерокское (15 видов водного ядра флоры в 1976 г. [26], 14 – в 2010 г. [27]), в августе 2018 г. определено лишь пять видов макрофитов. Это кувшинка чисто-белая *Nymphaea candida* J. Presl., *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid., *Lemna minor* L., *Hydrocharis morsus-ranae* L. и *Utricularia vulgaris* L. При анализе видового списка наибольшее внимание обращает отсутствие погруженных гидрофитов – рдестов и гидриллы, для которых наблюдавшиеся условия были особенно неблагоприятными. В 2018 г. не обнаружено ни одного сообщества погруженной водной растительности, наблюдаемых в предыдущие годы.

Данные картирования показали, что изъятие илов, как и планировалось, не затронуло основные местообитания кувшинки чисто-белой. Ценозы кувшинки имели в 2018 г. низкое по сравнению с предыдущими периодами проективное покрытие (не более 35 %, в среднем 10–15 %), слабое цветение (ранее общее проективное покрытие сообществ кувшинки чисто-белой обычно превышало 50 %, наблюдалось массовое цветение).

По исследованиям, проведенным в июле 2010 г., в оз. Манжерокское отмечено 34 вида водных и прибрежно-водных растений. Наибольшее видовое разнообразие во флоре водоема наблюдалось среди гидрофитов (16 видов или 47 %), для прохождения всего жизненного цикла которых необходима водная среда [27]. По устойчивости видов к антропогенной нагрузке (гемеробияльность [28]) большинство видов (56 %) были антропо-толерантами, т. е. относительно устойчивыми к действию антропогенных факторов. Уникальность флоры заключалась в высокой доле антропофобов (17 % флоры), как правило, быстро выпадающих при нарастающем воздействии антропогенных факторов (*Calla palustris* L., *Nuphar pumila* (Timm) DC., *Nymphaea tetragona* Georgi, *Trapa pectinata* V. Vassil. и др.).

Таблица 4. Характеристики зоопланктона оз. Манжерокское, 08.08.2018 г.
Table 4. Characteristics of the Lake Manzherok zooplankton, 08.08.2018

Станции отбора проб	N, экз/м ³	B, мг/м ³	n	Rotifera			Cladocera			Сорерода			Массовые виды, % от общей численности (сапробность видов)	S	Зона сапробности (уровень загрязненности)
				N, экз/м ³	B, мг/м ³	n	N, экз/м ³	B, мг/м ³	n	N, экз/м ³	B, мг/м ³	n			
T 1	5770	36,97	6	340	0,1	2	20	1,1	2	5410	35,8	2	<i>Mesocyclops oithonoides</i> 87% (2,33)	1,93	β' – мезосапробная (умеренное загрязнение)
T 2	3480	23,39	6	260	0,1	3	60	4,1	2	3160	19,2	1	<i>Mesocyclops oithonoides</i> 91% (2,33)	2,04	β'' – мезосапробная (умеренное загрязнение)
T 3	18180	97,37	8	290	0,5	3	100	7,2	2	17790	89,7	3	<i>Mesocyclops oithonoides</i> 90% (2,33)	1,99	β' – мезосапробная (умеренное загрязнение)
T 4	13350	60,41	13	310	0,6	7	40	2,0	3	13000	57,8	3	<i>Mesocyclops oithonoides</i> 93% (2,33)	1,96	β' – мезосапробная (умеренное загрязнение)
T 5	6890	29,06	9	220	0,1	5	20	1,5	2	6650	27,5	4	<i>Mesocyclops oithonoides</i> 93% (2,33)	2,01	β'' – мезосапробная (умеренное загрязнение)

Примечание: N – численность; B – биомасса; n – число видов; S – индекс сапробности.

Для водных растений озера более щадящим было бы изъятие илов осенью, за зиму вода могла бы отстояться и условия обитания к периоду активного роста растений стали более благоприятными. Вероятно, видовое разнообразие водных растений озера восстановится по мере повышения прозрачности воды за ближайшие 2–4 года из оставшихся в толще ила семян, корневищ, турионов. Под вопросом остается только выживание популяции чилима *Trapa pectinata* V. Vassil. в связи с тем, что перед реабилитацией озера его популяция находилась в угнетенном состоянии. С целью сохранения популяции уникального водяного ореха на оз. Манжерокское целесообразно разместить ограждения (буи) в северо-восточной и юго-западной частях для защиты зоны восстановления популяции чилима от водного транспорта.

Макрозообентос. В августе 2018 г. в оз. Манжерокское выявлено 7 видов донных беспозвоночных из 2 классов: Oligochaeta (1 вид) и Insecta (6 видов). Олигохеты были представлены *Limnodrilus* sp. indet., среди насекомых отмечены двукрылые семейства Chironomidae (*Cricotopus* гр. *tibialis*, *Glyptotendipes glaucus*) и сем. Ceratopogonidae (*Palpomyia* sp. indet.), жуки (имаго *Graphoderus* sp., личинка сем. Hydrophilidae sp. indet.), а также стрекозы (*Somatochlora* sp. indet.).

В целом следует отметить низкие количественные показатели (табл. 5) и упрощенную структуру сообществ зообентоса. Численность колебалась в пределах 0–1,48 тыс. экз/м², биомасса до 1,56 г/м². Основу численности по всей акватории озера составляли два таксона – *Limnodrilus* sp. и *Palpomyia* sp. Остальные выделенные таксоны зообентоса отмечены в прибрежье, в зарослях макрофитов. Значения численности и биомассы зообентоса менялись в зависимости от типа грунта. Минимальные значения отмечены на илистых с детритом грунтах, максимальные значения численности и биомассы донных беспозвоночных – на илистых грунтах (Т4 и Т5). Восстановление донных сообществ после проведения мероприятий по реабилитации озер обычно происходит в течение двух лет [29].

По большинству биоиндикационных индексов качество воды озера в августе 2018 г. было низкое. Индекс видового разнообразия изменялся в пределах от 0 до 0,98 бит/экз., что может свидетельствовать о неблагоприятных условиях обитания. Биотический индекс Вудивисса равнялся двум, что соответствует V классу качества вод. Значение олигохетного индекса (ОИ) в озере варьировало от 0 до 100 % (до VI класса качества вод – очень грязные). Основным ограничением его применения является недостоверность результатов при низкой численности олигохет [30], он может использоваться только совместно с другими биотическими индексами. Уровень развития донных зооценозов низкий, что формально соответствует олиготрофному типу водоема.

Таблица 5. Основные характеристики и биоиндикационные индексы зообентоса оз. Манжерокское, 08.08.2018 г.

Table 5. The main characteristics and bio/indication indices of the Lake Manzherok zoo/benthos, 08.08.2018

Станции отбора проб	Тип грунта	N, тыс. экз/м ²	B, г/м ²	Выявленные таксоны	H, бит/экз.	OI, % (Кл)
T1	Илистый с детритом и дресвой	0–0,04	0–0,04	Limnodrilus sp.	0	0–100 (VI)
T2	Илистый с детритом	0–0,04	0–0,04	Palpomyia sp.	0	–
T3	Илистый с детритом	0–0,04	0–0,16	Limnodrilus sp.	0	0–100 (VI)
T4	Илистый	0–0,5	0–0,48	Palpomyia sp.	0	–
T5	Илистый	1,24–1,48	1,44–1,56	Limnodrilus sp., Palpomyia sp.	0,98	43–58 (III–IV)

Примечание: N – численность; B – биомасса; H – индекс видового разнообразия; OI – олигохетный индекс; Кл – классы качества вод: III – умеренно загрязненные, VI – загрязненные.

Низкий уровень развития, бедность видового состава сообщества, присутствие олигохет сем. Tubificidae, а также значения биотических индексов свидетельствовали о неблагоприятных условиях для развития зообентоса и чрезвычайной экологической ситуации на оз. Манжерокское в этот период [31].

Ранее, 29.03.2007 г., в бентосном сообществе оз. Манжерокское было обнаружено 4 вида беспозвоночных: 2 вида хирономид, 1 – мокрецов, 1 – хаборид. Максимальная биомасса зообентоса (2,5 г/м²) в 2007 г., обусловленная обнаружением единственного экземпляра крупного мотыля *Chironomus gr. plumosus*, отмечена в центральной части водоема. На остальных участках озера биомасса зообентоса не превышала 0,7 г/м², доминировали преимущественно мокрецы *Sphaeromias fasciatus*. Изменения численности зообентоса на различных участках озера имели более плавный характер. В 2018 г. отмечены более низкие показатели численности и биомассы зообентоса, а также полная смена видового состава. После проведения дноуглубительных работ не выявлены моллюски и личинки хаборид и хирономид, доминирующей группой являлись олигохеты.

Санитарно-микробиологические показатели. В августе 2018 г. проанализированы следующие санитарно-микробиологические показатели воды оз. Манжерокское: наличие общих колиформных бактерий, термотолерантных колиформных бактерий, колифагов, возбудителей кишечных инфекций, жизнеспособных яиц гельминтов (табл. 6).

Таблица 6. Санитарно-микробиологические показатели воды оз. Манжерокское, 08.08.2018 г.
 Table 6. Sanitary/micro/biological indicators of the Lake Manzherok water, 08.08.2018

Показатели	Станции отбора проб		
	T1	T2	T3
Общие колиформные бактерии, КОЕ/100 мл	2400	230	230
Термотолерантные колиформные бактерии, КОЕ/100 мл	<5	230	230
Колифаги, БОЕ/100 мл	0	0	0
Возбудители кишечных инфекций, в 1000 мл	0	0	0
Жизнеспособные яйца гельминтов (аскарид, власоглавов, токсокар, фасциол), онкосферы тениид, в 25 л	0	0	0

Примечание: КОЕ – колониеобразующие ед.; БОЕ – бляшкообразующие ед.

Результаты натурных исследований озера показали, что по общему содержанию колиформных бактерий в прибрежной зоне пляжа качество воды не соответствует требованиям, предъявляемым к водным объектам рекреационного водопользования. Норматив для рекреационного водопользования [32] превышен в 24 раза. Обнаружение данной группы микроорганизмов в воде может быть индикатором ее загрязнения продуктами жизнедеятельности теплокровных животных и человека [33]. По содержанию в воде термотолерантных колиформных бактерий, в T2 (центр озера) и T3 (заросли макрофитов) качество воды также не соответствовало нормативу. Этот показатель был превышен в 2,3 раза. Колифаги, возбудители кишечных инфекций и жизнеспособные яйца гельминтов в воде озера не выявлены. Использование озера в рекреационных целях при этих значениях санитарно-микробиологических показателей качества воды в период проведения исследований было нецелесообразно.

Экологическая модификация биоценоза. Важным показателем изменения состояния экосистем под влиянием антропогенных факторов является перестройка их структуры и метаболизма. В условиях загрязнения может идти как увеличение интенсивности метаболизма (метаболический прогресс), так и уменьшение (метаболический регресс). Эти изменения структуры сообществ В.А. Абакумов с соавт. [34] предложили называть модуляциями или модификациями. Метод экологических модификаций включает следующие градации состояния экосистем по мере усиления антропогенного воздействия: фоновое, антропогенного экологического напряжения, антропогенного экологического регресса, антропогенного метаболического регресса. Согласно данной классификации состояние оз. Манжерокское можно охарактеризовать как состояние антропогенного метаболического

регресса (снижение интенсивности метаболизма биоценоза), т. к. зафиксировано уменьшение видового состава, численности и биомассы всех основных компонентов водной экосистемы. При этом интенсивное рекреационное использование озера также является существенным фактором ухудшения состояния водной экосистемы [35].

Низкие значения показателей развития водных сообществ при высоких концентрациях органических веществ могут рассматриваться как индикаторы дистрофикации оз. Манжерокское. Как известно, дистрофный статус водоемов может возникать как естественным путем, так и под воздействием антропогенных факторов [36, 37]. Наблюдаемая на озере экологическая ситуация не является следствием естественных процессов заболачивания в результате сукцессии его экосистемы, а в основном обусловлена антропогенным фактором (проведением дноуглубительных работ), что свидетельствует о антропогенном метаболическом регрессе. Вероятно, такое состояние водоема является временным, после прекращения воздействия фактора затемнения взвешенными органическими веществами и восстановления водных сообществ его трофический статус вернется к эвтрофному (если выполненные мероприятия по восстановлению экосистемы озера были неэффективными) или мезотрофному типу (если мероприятия были эффективными).

Учитывая глубокие изменения в экосистеме озера для принятия дальнейших решений необходимо проводить комплексный экологический мониторинг, включающий гидробиологические и санитарно-микробиологические показатели (ежегодно, перед началом и в конце рекреационного периода).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологическое состояние оз. Манжерокское по биологическим показателям оценивается как неудовлетворительное, что обусловлено и негативными последствиями проведенных дноуглубительных работ. Использование озера в рекреационных целях при выявленных в период проведения исследований санитарно-микробиологических показателях качества воды было нецелесообразным.

Низкие значения показателей развития водных сообществ при высоких концентрациях органических веществ могут рассматриваться как индикаторы дистрофного статуса озера, однако данное состояние водоема является не следствием естественных процессов заболачивания в результате сукцессии его экосистемы, а в основном обусловлено антропогенным фактором (в т. ч. проведением дноуглубительных работ), что свидетельствует о состоянии антропогенного метаболического регресса.

Низкий уровень развития, бедность видового состава водных сообществ, а также значения биоиндикационных индексов свидетельствуют о чрезвычайной экологической ситуации на оз. Манжерокское в августе 2018 г.

Если в ближайшие два года не будет оказываться интенсивное антропогенное воздействие на озеро, возможно восстановление его экосистемы.

Проведенное исследование показало высокую степень негативного воздействия дноуглубительных работ на экосистему оз. Манжерокское в краткосрочной перспективе, что необходимо учитывать при планировании мероприятий по восстановлению водоемов.

Авторы выражают благодарность за предоставленные гидрологические и гидрохимические данные, а также за помощь в отборе проб сотрудникам ИВЭП СО РАН канд. биол. наук С.Н. Балыкину, канд. биол. наук М.И. Ковешникову, А.В. Дьяченко и Г.М. Медниковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цимбалей Ю.М. О геотехнических мерах в восстановлении и охране Манжерокского озера // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2014. № 35. С. 58–62.
2. Русанов Г.Г., Важов С.В. Нерешенные проблемы озер Манжерокское и Ая. Бийск: АГПУ им. В.М. Шукшина, 2017. 168 с.
3. Цимбалей Ю.М. Экологические проблемы рекреационного освоения озера Манжерокское (Северный Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 2 (9). С. 22–26.
4. Цимбалей Ю.М. Манжерокское озеро в Горном Алтае: современное состояние и перспективы рекреационного освоения // Известия Русского географического общества. 2009. Т. 141. Вып. 3. С. 56–62.
5. Безматерных Д.М., Кириллов В.В., Балыкин С.Н., Ковешников М.И., Дьяченко А.В., Медникова Г.М. Влияние дноуглубительных работ на морфометрические характеристики, физические и химические показатели качества воды и донных отложений озера Манжерокского (Республика Алтай) // Водное хозяйство России. 2020. № 1. С. 6–18. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-1-1.
6. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В.А. Абакумова. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
7. МУК 4.2.1018-01. Методические указания. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды.
8. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas – und Wasserfach. 1955. Vol. 96. No. 18. P. 604–618.
9. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. 1973. Vol. 3. P. 1–218.
10. Ермолаева Н.И., Двуреченская С.Я. Определение индикаторной значимости зоопланктона с учетом региональных особенностей водоемов юга Западной Сибири // Вода: химия и экология. 2014. № 5 (71). С. 60–67.
11. Ермолаева Н.И., Двуреченская С.Я. Региональные индексы индикаторной значимости зоопланктонных организмов в водоемах юга Западной Сибири // Экология. 2013. № 6. С. 476–480.
12. Yermolaeva N., Dvurechenskaya S. Developing the Regional Indicator Indexes of Zooplankton for Water Quality Class Determination of Water Bodies in Siberia //

- Novel methods for monitoring and managing land and water resources in Siberia / Ed.: L. Mueller, A.K. Sheudshen, F. Eulenstein. Springer International Publishing Switzerland, 2016. P. 157–183. DOI: 10.1007/978-3-319-24409-9.
13. Вудивисс Ф. Биотический индекс реки Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: тр. совет.-англ. семинара. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 132–161.
 14. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochetes as indicators of pollution // Proc. 15-th Ind. Waste Conf., Pardue Univ. Ext., Sec. 1961. Vol. 106. P. 139–142.
 15. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
 16. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики. М.: Иностран. лит., 1963. 860 с.
 17. Яковлев В.А. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практ. рекоменд.). Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1988. 28 с.
 18. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007. 395 с.
 19. Митрофанова Е.Ю. Подледный фитопланктон мелководного Манжерокского озера (Горный Алтай, Россия) // Мир науки, культуры, образования. 2009. № 5 (17). С. 16–19.
 20. Бляхарчук Т.А., Митрофанова Е.Ю., Эйрих А.С. Комплексные палеоэкологические исследования молодых донных отложений озера Манжерокское в предгорьях Алтая // Труды Карельского научного центра РАН. Лимнология. 2015. № 9. С. 81–99.
 21. Макаренкова Н.Н. Изменение фитопланктона озера Воже как показатель его эвтрофирования // Актуальные проблемы биологии и экологии: сб. докладов XIX Всероссийской молодежной научн. конф. Сыктывкар, 2012. С. 153–155.
 22. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях волжских водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 217 с.
 23. Котовицков А.В. Оценка экологического состояния оз. Манжерокское по пигментным характеристикам фитопланктона // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2019. № 1. С. 76–83.
 24. Жукинский В.Н., Оксюк О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И. Принцип и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1981. Т.17. № 2. С. 38–49.
 25. Прохода Т.А. Оценка роли зоопланктона в процессе самоочищения водоема-охладителя ТЭС // Біорізноманіття та роль зооценозу в природних і антропогенних екосистемах: Матеріали II Міжнародної наукової конференції. Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. С. 75–78.
 26. Ильин В.В. Флора и растительность Манжерокского озера (Алтай) // Ботанический журнал. 1982. Т. 67. С. 210–220.
 27. Зарубина Е.Ю., Соколова М.И. Трансформация структуры растительного покрова Манжерокского озера (Республика Алтай) за 35-летний период //

- Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. № 4 (36). С. 47–61.
28. *Чепиного В.В.* Флора и растительность водоемов Байкальской Сибири. Иркутск: Изд-во Института географии, 2015. 468 с.
 29. *Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Б.* Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования: пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 279 с.
 30. *Пшеницына В.Н.* Об эффективности шкалы Вудивисса при биоиндикации качества воды // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 24. № 4. С. 42–45.
 31. Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия». Утв. Минприроды РФ 30.11.1992 г.
 32. СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.
 33. *Наливайко Н.Г.* Микробиология воды. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 139 с.
 34. *Абакумов В.А., Максимов В.Н., Ганьшина Л.А.* Экологические модуляции как показатель изменения качества воды // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям: Тр. всесоюз. конф. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 117–136.
 35. *Прыткова М.Я.* Научные основы и методы восстановления озерных экосистем при разных видах антропогенного воздействия. СПб.: Наука, 2002. 148 с.
 36. *Зданович В.В., Криксунов Е.А.* Гидробиология и общая экология: словарь терминов. М.: Дрофа, 2004. 192 с.
 37. *Протасов А.А.* Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии Киев: Академперіодика, 2011. 704 с.

Для цитирования: Безматерных Д.М., Кириллов В.В., Ермолаева Н.И., Киприянова Л.М., Яныгина Л.В., Митрофанова Е.Ю., Вдовина О.Н., Котовщиков А.В., Зарубина Е.Ю., Влияние дноуглубительных работ на гидробиологические и санитарно-микробиологические характеристики озера Манжерокское (Республика Алтай) // Водное хозяйство России. 2020. № 3. С. 106–127.

Сведения об авторах:

Безматерных Дмитрий Михайлович, д-р биол. наук, доцент, заместитель директора по научной работе, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: bezmater@iwep.ru

Кириллов Владимир Викторович, канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией водной экологии, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: vkirillov@iwep.ru

Ермолаева Надежда Ивановна, канд. биол. наук, директор Новосибирского филиала ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 630090, Новосибирск, Морской проспект, 2; e-mail: hope413@mail.ru

Киприянова Лаура Мингалиевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория водной экологии, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: kivr@iwer.nsc.ru

Яныгина Любовь Васильевна, д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, лаборатория водной экологии, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: yan_lv@mail.ru

Митрофанова Елена Юрьевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, лаборатория водной экологии, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: emit@iwer.ru

Вдовина Ольга Николаевна, канд. биол. наук, научный сотрудник, лаборатория водной экологии, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: olgazhukova1984@yandex.ru

Котовщикова Антон Викторович, канд. биол. наук, научный сотрудник, лаборатория водной экологии, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1; e-mail: kotovschik@iwer.ru

Зарубина Евгения Юрьевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Новосибирский филиал ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук» (ИВЭП СО РАН), Россия, 630090, Новосибирск, Морской проспект, 2; e-mail: zeur11@mail.ru

**DREDGING IMPACT ON THE LAKE MANZHEROK (REPUBLIC OF ALTAY) HYDRO/
BIOLOGICAL AND SANITARY/MICRO/BIOLOGICAL CHARACTERISTICS**

**Dmitry M. Bezmaternykh, Vladimir V. Kirillov, Nadezhda I. Yermolaeva,
Laura M. Kipryanova, Lyubov V. Yanygina, Elena Y. Mitrofanova, Olga N. Vdovina,
Anton V. Kotovschikov, Evgeniya Y. Zarubina**

E-mail: bezmater@iwer.ru

Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia

Abstract: The article assesses ecological status of the Lake Manzherok (Republic of Altay Maymynsk Rayon) by its hydro/biological and sanitary/micro/biological characteristics after completion of dredging works. To estimate the bio/cenosis dynamics we used the archive data of 2007–2015 and references. The aquatic communities demonstrated low indicators of development, phytoplankton – 26 taxons, abundance did not exceed $1.3 \cdot 10^3$ thousand cells/m³, biomass did not exceed $64.0 \cdot 10^{-3}$ mg/m³. In water we found the sapropel vegetative pigments with the chlorophyll *a* of 237 mg/m³. We identified 16 species of zooplankton with 3.5–18.2 thousand pieces/m³ abundance with 23.4–97.3 mg/m³ biomass. In comparison with 2015 the filtering zooplankton organisms' abundance and biomass were 10–15 times lower. In contrast with 14–15 species in previous years we identified 5 species of macrophytes.

The benthos abundance was not more than 1.48 thousand pieces/m², the biomass did not exceed 1.56 g/m², that is lower than in 2007. Such low indicators of the aquatic communities' development with high concentration of organic matter argue the temporal state of anthropogenic metabolic regress. The Lake Manzherok water quality by its sanitary/micro/biological characteristics did not agree with the requirements to recreational water bodies. The whole content of coliform bacteria in the off-shore zone 25 times exceeded the norm, while the content of thermo/tolerant coliform bacteria in the center of the lake and in the macrophytes tangle 2.3 times exceeded the norm.

Key words: the Lake Manzherok, water quality, hydrobiology, restoration of water bodies, bio/indication, microbiology.

About the authors:

Dmitry M. Bezmaternykh, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Deputy Director, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: bezmater@iwep.ru

Vladimir V. Kirillov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: vkirillov@iwep.ru

Nadezhda I. Yermolaeva, Candidate of Biological Sciences, Head of the Novosibirsk Branch, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Morskoy prospect, 2, Novosibirsk, 630090, Russia; e-mail: hope413@mail.ru

Laura M. Kipryanova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: kivr@iwep.nsc.ru

Lyubov V. Yanygina, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: yan_lv@mail.ru

Elena Y. Mitrofanova, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: emit@iwep.ru

Olga N. Vdovina, Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: olgzhukova1984@yandex.ru

Anton V. Kotovschikov, Researcher of the Laboratory of Aquatic Ecology, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Molodezhnaya, 1, Barnaul, 656038, Russia; e-mail: kotovschik@iwep.ru

Evgeniya Y. Zarubina, Senior Researcher of the Novosibirsk Branch, Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Morskoy prospect, 2, Novosibirsk, 630090, Russia; e-mail: zeur11@mail.ru

For citation: *Bezmaternykh D.M., Kirillov V.V., Yermolaeva N.I., Kipriyanova L.M., Yanygina L.V., Mitrofanova E.Y., Vdovina O.N., Kotovshchikov A.V., Zarubina E.Y., The Dredging Impact on the Lake Manzherok (Republic of Altay) Hydro/biological and Sanitary/micro/biological Characteristics // Water Sector of Russia. 2020. No. 3. P. 106–127.*

REFERENCES

1. *Tsimbaley Y.M.* О геотехнических мерах в восстановлении и охране Манжерокского озера [About geo/engineering measures of the Lake Manzherok restoration and protection] // *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva.* 2014. No. 35. P. 58–62.
2. *Rusanov G.G., Vazhov S.V.* Nereshenniye problemy ozer Manzherokskoye i Aya [The unsolved problems of the lakes Manzherok and Aya]. Biysk: AGGPU im. V.M. Shukshina, 2017. 168 p.
3. *Tsimbaley Y.M.* Ekologicheskiye problemy rekreatsiionnogo osvoyeniya ozera Manzherokskoye (Severniy Altay) [Ecological problems of the Lake Manzherok (Northern Altay) recreational development] // *Mir nauki, kultury, obrazovaniya.* 2008. No. 2 (9). P. 22–26.
4. *Tsimbaley Y.M.* Manzherokskoye ozero v Gornom Altaye: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy rekreatsiionnogo osvoyeniya [The Lake Manzherok in Gorniy Altay" current status and the prospects of recreational development] // *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva.* 2009. Vol. 141. Vyp. 3. P. 56–62.
5. *Bezmatrnykh D.M., Kirillov V.V., Balykin S.N., Koveshnikov M.I., Dyachenko A.V., Mednikova G.M.* Vliyaniye dnouglubitelnykh rabot na morfometricheskiye kharakteristiki, fizicheskiye i khimicheskiye pokazateli kachestva vody i donnykh otlozheniy ozera Manzherokskogo [Dredging impact on the Lake Manzherok (Republic of Altay) morphometric characteristics, physical and chemical indicators of the water and bottom sediments quality] // *Water Sector of Russia.* 2020. No. 1. P. 6–18. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-1-1.
6. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Manual on hydro/biological monitoring of the fresh water ecosystems] / pod red. V.A. Abakumov. SPb: Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.
7. МУК 4.2.1018-01. Metodicheskiye ukazaniya. Sanitarno-mikrobiologicheskiy analiz pit'yevoy vody [Methodical guidelines. Sanitary/microbiological analysis of drinking water].
8. *Pantle R., Buck H.* Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse // *Gas – und Wasserfach.* 1955. Vol. 96. No. 18. P. 604–618.
9. *Sladeček V.* System of water quality from the biological point of view // *Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol.* 1973. Vol. 3. P. 1–218.
10. *Yermolaeva N.I., Dvurechenskaya S.Y.* Opredeleniye indikatornoy znachimosti zooplaktona s uchetom regionalnykh osobennostey vodoyomov yuga Zapadnoy Sibiri [Determination of the zoo/plankton indicative significance with taking into account of the Southern part of the Western Siberia water bodies' regional features] // *Voda: khimiya i ekologiya.* 2014. No. 5 (71). P. 60–67.
11. *Yermolaeva N.I., Dvurechenskaya S.Y.* Regionalniye indeksy indikatornoy znachimosti zooplanktonnykh organizmov v vodoyomakh yuga Zapadnoy Sibiri [Regional indices of the zooplankton organisms' indicative significance in water bodies of the Southern part of Western Siberia] // *Ekologiya.* 2013. No. 6. P. 476–480.
12. *Yermolaeva N., Dvurechenskaya S.* Developing the Regional Indicator Indexes of Zooplankton for Water Quality Class Determination of Water Bodies in Siberia // *Novel methods for monitoring and managing land and water resources in Siberia* / Ed.: L. Mueller, A.K. Sheudshen, F. Eulenstein. Springer International Publishing Switzerland, 2016. P. 157–183. DOI: 10.1007/978-3-319-24409-9.
13. *Woodwiss F.* Biotic index of the Trent River. Macro/invertebrates and biological survey // *Nauchniye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam: tr. sovet.-angl. seminaru.* L.: Gidrometeoizdat, 1977. P. 132–161.

14. *Goodnight C.J., Whitley L.S.* Oligochetes as indicators of pollution // Proc. 15-th Ind. WasteConf., PardueUniv. Ext., Sec. 1961. Vol. 106. P. 139–142.
15. GOST 17.1.3.07-82. Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoyomov i vodotokov [Protection of nature. Hydrosphere. Rules of water bodies' and watercourses' water quality control].
16. *Shennon K.* Raboty po teorii informatsiy i kibernetiki [Works of the theory of information and cybernetics]. M.: Inostr. lit., 1963. 860 p.
17. *Yakovlev V.A.* Otsenka kachestva poverkhnostnykh vod Kolskogo Severa po gidrobiologicheskim pokazatelyam i dannym biotestirovaniya (prakt. rekomend) [Assessment of the Kola North surface waters quality by hydrobiological indicators and the bio/testing data (practical recommendations)]. Apatity: Kolskiy filial AN SSSR, 1988. 28 p.
18. *Kitayev S.P.* Osnovy limnologiyi dlya gidrobiologov i ikhtologov [Foundations of limnology for experts on hydrobiology and ichthyology]. Petrozavodsk: KNTs RAN, 2007. 395 p.
19. *Mitrofanova E.Y.* Podlyodniy fitoplankton melkovodnogo Manzherokskogo ozera (Gorniy Altay, Russia) [Sub-ice phytoplankton of the shallow Lake Manzherok (Gorniy Altay, Russia)] // Mir nauki, kultury, obrazovaniya. 2009. No. 5 (17). P. 16–19.
20. *Blyakhrchuk T.A., Mitrofanova E.Y., Eyrikh A.S.* Kompleksniye paleoekologicheskiye issledovaniya molodykh donnykh otlozheniy ozera Manzherokskoye v predgoryakh Altaya [Comprehensive paleo/ecological researches of the young bottom sediments of the Lake Manzherok in the Altay foothills] // Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. Limnologiya. 2015. No. 9. P. 81–99.
21. *Makarenkova N.N.* Izmeneniye fitoplanktona ozera Vozhe kak pokazatel yego evtrofirovaniya [The Lake Vozhe phytoplankton changing as an indicator of its eutrophication] // Aktualniye problemy biologiyi i ekologiyi: sb. dokladov XIX Vserossiyskoy molodezhnoy nauchn. konf. Syktyvkar, 2012. P. 153–155.
22. *Sigareva L.E.* Khlorofill v donnykh otlozheniyakh volzhskikh vodoyomov [Chlorophyll in the Volga water bodies' bottom sediments]. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2012. 217 p.
23. *Kotovshchikov A.V.* Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya oz. Manzherokskoye p opigmentnym kharakteristikam fitoplanktona [Estimation of the Lake Manzherok ecological status by the phytoplankton pigment characteristics] // Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva. 2019. No. 1. P. 76–83.
24. *Zhukinskiy V.N., Oksiyuk O.P., Oleynik G.N., Kosheleva S.I.* Printsip i opyt postroyeniya ekologicheskoy klassifikatsiyi kachestva poverkhnostnykh vod sushi [The principle and experience of structuring of the land surface waters quality ecological classification] // Gidrobiologicheskiy zhurnal. 1981. Vol. 17. No. 2. P. 38–49.
25. *Prokhoda T.A.* Otsenka roli zooplanktona v protsesse samoochishcheniya vodoyomakhladitelya TES [Estimation of the zooplankton role in the process of self-purification of a thermal power plant basin-cooler] // Biokriznomanittya ta rol zootsenozu v prirodnykh i antropogennikh sistemakh: Materiali II Mizhnarodnoy naukovoy konferentsiyi. Dnipropetrovsk: DNU, 2003. P. 75–78.
26. *Ilyin V.V.* Flora i rastitelnost Manzherokskogo ozera (Altay) [Flora and vegetation of the Lake Manzherok (Altay)] // Botanicheskiy zhurnal. 1982. Vol. 67. P. 210–220.
27. *Zarubina E.Y., Sokolova M.I.* Transformatsiya struktury rastitel'nogo pokrova Manzherokskogo ozera (Respublika Altay) za 35-letniy period [The Lake Manzherok (Republic of Altay) growth structure transformation over the 35-year period] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2016. No. 4 (36). P. 47–61.

28. *Chepinoga V.V.* Flora i rastitelnost vodoyomov Baykalskoy Sibiri [Flora and vegetation of the Baykal Siberia water bodies]. Irkutsk: Izd-vo Instituta geografiyi, 2015. 468 p.
29. *Khenderson-Sellers B., Marklend K.B.* Umirayushchiye ozera. Prichiny i control antropogenogo evtrofirovaniya [The dying lakes. The causes and control of anthropogenic eutrophication]: per. s angl. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 279 p.
30. *Pshenitsina V.N.* Ob effektivnosti shkaly Vudvissa pri bioindikatsiyi kachestva vody [About the effectiveness of Woodwiss scale in the water quality bio/indication] // *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 1986. Vol. 24. No. 4. P. 42–45.
31. Metodika «Kriteriyi otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya viyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsiyi i zon ekologicheskogo bedstviya» [Methods «Criteria of the territories' ecological status estimation in order to find out the zones of extreme environmental situation and the zones of environmental disaster»]. Utv. Minprirody RF 30.11.1992 g.
32. SanPiN 2.1.5.980-00. Vodootvedeniye naselennykh mest, sanitarnaya okhrana vodnykh obyektov. Gigienicheskiye trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod [Water disposal of inhabited localities, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements to the surface waters protection].
33. *Nalivayko N.G.* Mikrobiologiya vody [Microbiology of water]. Tomsk: Izd-vo TPU, 2006. 139 p.
34. *Abakumov V.A., Maksimov V.N., Ganshina L.A.* Ekologicheskiye modulyatsiyi kak pokazatel izmneniya kachestva vody [Ecological modulations as an indicator of the water quality changes] // *Nauchniye osnovy kontrolya kachestva vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam: Tr. vsesoyuz. konf. L.: Gidrometeoizdat, 1981. P. 117–136.*
35. *Prytkova M.Y.* Nauchniye osnovy i metody vosstanovleniya ozernykh ekosistem pri raznykh vidakh antropogenogo vozdeystviya [Scientific foundations and methods of the lacustrine ecosystems restoration in case of different types of anthropogenic impact. SPb.: Nauka, 2002. 148 p.
36. *Zdanovich V.V., Kriksunov E.A.* *Gidrobiologiya i obshchaya ekologiya: slovar terminov* [Hydrobiology and general ecology: Dictionary of terms]. M.: Drofa, 2004. 192 p.
37. *Protasov A.A.* *Zhizn v gidrosfere* [Life in hydrosphere]. Ocherki po obshchey gidrobiologiyi. Kiev: Akadempriodika, 2011. 704 p.