

Раздел 4

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 4

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 574.58:57.044 (571.15)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА АЯ (АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

О.Н. Вдовина, Д.М. Безматерных

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,**E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru, bezmater@iwep.ru*

В различные гидрологические сезоны 2022 г. исследовано современное состояние экосистемы предгорного оз. Ая, расположенного в Алтайском районе Алтайского края. Изучены донные осадки озера, химические и физические показатели воды. Дана характеристика состава и структуры сообществ донных макробеспозвоночных. В составе которых выявлен 41 вид беспозвоночных, относящихся к трем классам. Макрозообентос озера характеризовался низкими значениями численности и биомассы, уровень развития сообщества соответствовал олиготрофному типу водоема. На основе биоиндикационных индексов определено качество воды водоема.

Ключевые слова: донные беспозвоночные; озеро Ая; Западная Сибирь; биоиндикация.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-17205

Дата поступления: 5.01.2024. Принята к печати: 6.02.2024

Озеро Ая расположено в горной впадине на левом берегу реки Катунь. Ая – уникальный, единственный в своем роде, природный объект Алтая. До сих пор достоверно не установлен генезис его озерной котловины. Озеро относится к бессточным, оно не имеет поверхностного питания за счет впадающих и вытекающих ручьев и рек. Котловину наполняют подземные источники. Природное своеобразие, необычность местоположения, лёгкая транспортная доступность, интенсивно развивающаяся рекреационная инфраструктура издавна сделала озеро Ая излюбленным и популярным местом отдыха не только жителей Республики Алтай, Алтайского края и близлежащих регионов (Омской, Новосибирской, Томской, Кемеровской областей), но и европейской части России [Русанов, Важов, 2017]. Рациональное использование природных ресурсов озера Ая ограничено недостаточностью знаний о его современном экологическом состоянии, зависящем от сочетания естественных условий и интенсивности использования водосборного бассейна.

В настоящее время существует ряд систем биоиндикационной оценки качества воды, которые используются различными странами. Наибольшее развитие и применение получила биоиндикация с использованием сообществ макрозообентоса, который наиболее четко

отражает качество вод и состояние экологических систем водоемов. Благодаря продолжительному жизненному циклу многих видов донных животных их сообщества надежно характеризуют изменения водной среды за длительные периоды времени. Современные данные о таксономическом составе, структурных характеристиках сообществ донных беспозвоночных оз. Ая отсутствуют. В условиях возрастания антропогенного воздействия на озеро особенно актуально стоит вопрос изучения современного состояния макрозообентоса, поскольку он является лучшим биоиндикатором хронического загрязнения водных объектов [Безматерных, 2007].

Материал и методы

В мае, июле и сентябре 2022 г. проведено комплексное исследование оз. Ая. Проведены исследования

морфометрических и физических характеристик озера. Отобрано и проанализировано по 9 проб воды для изучения гидрохимических показателей (минерализация, ионный состав, органическое вещество, биогенные элементы) и хлорофилла «а», 26 проб макрозообентоса (табл. 1, 2). Станции отбора проб отмечены на рисунке.

Котловина оз. Ая имеет воронкообразную форму с более крутыми северными и западными подводными склонами и более отлогими восточными и южными. Крутизна подводных склонов в непосредственной близости от берега достигает 50–60° и более, исключая северо-восточную часть, где крутизна несколько меньше. По разным данным максимальная глубина озера составляла 24 или 25 м [Русанов, Важов, 2017].

Таблица 1

Основные характеристики станций отбора проб и пигментные характеристики фитопланктона озера Ая, 2022 г.

Table 1

Main characteristics of sampling stations and pigment characteristics of phytoplankton of Lake Aya, 2022

Шифр пробы	Глубина, м	Прозрачность, м	Eh, мВ	Температура, °С	Хл. «а», мг/м ³	Характер грунта
28.05.2022 г.						
2.1	7.80	4.30	200	-	4.12	Каменистый
2.3	20.50	4.00	208	-	2.98	Жидкий ил
2.5	5.10	4.25	222	-	2.01	Песок, черный ил
26.07.2022 г.						
2.1	4.60	1.66	280	21.1	3.47	Черный ил, детрит
2.3	20.56	1.38	269	21.3	2.27	Жидкий ил
2.5	5.70	1.71	259	21.1	3.47	Жидкий ил, детрит
10.09.2022 г.						
2.1	4.29	1.00	292	18.8	1.03	Заиленный песок, детрит
2.3	20.73	1.25	282	18.8	1.89	Жидкий ил
2.5	6.80	1.30	274	18.9	0.84	Темно-серый ил, жидкий, детрит

Таблица 2

Химический состав вод оз. Ая, 2022 г.

Table 2

Chemical composition of the waters in Lake Aya, 2022

Показатель	Шифр пробы								
	май			июль			сентябрь		
	2.1	2.3	2.5	2.1	2.3	2.5	2.1	2.3	2.5
CO_3^{2-} , мг/дм ³	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
HCO_3^- , мг/дм ³	85.4	73.2	67.1	76.3	70.2	64.1	67.1	70.2	73.2
Cl^- , мг/дм ³	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
SO_4^{2-} , мг/дм ³	<10	<10	10.6	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ca^{2+} , мг/дм ³	22	10	12	18	20	18	16	14	16
Mg^{2+} , мг/дм ³	4.8	9.6	9.6	6.0	3.6	4.8	7.2	8.4	6.0
Na^+ , K^+ , мг/дм ³	2.2	2.3	<1.0	2.3	2.1	<1.0	1.8	2.9	4.3
pH	7.8	7.3	7.3	8.1	8.3	8.3	8.2	8.3	8.4
NO_3^- , мг/дм ³	<0.10	0.3	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.47	0.37	0.37
NO_2^- , мг/дм ³	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033	<0.033
NH_4^+ , мг/дм ³	0.05	0.11	0.10	0.18	0.13	0.12	0.07	0.07	0.08
PO_4^{3-} , мг/дм ³	0.004	0.025	0.038	0.004	0.006	0.008	0.008	0.008	<0.002
Р общий, мг/дм ³	0.017	0.07	0.096	0.010	0.017	0.023	0.023	0.023	0.006
Минерализация, мг/дм ³	122.5	103.1	104.4	112.8	105.7	99.8	107.3	110.2	111.1
ХПК, мгО ₂ /дм ³	<4.0	7.6	8.2	19.9	21.0	21.4	23.2	22.3	26.7
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	0.6	0.8	0.8	2.2	1.9	2.0	1.9	1.7	1.7
ПО, мгО/дм ³	4.6	2.6	3.8	4.4	4.6	4.6	4.8	4.6	4.6

В монографии А.М. Малолетко с соавт. [2004] указано, что размеры котловины оз. Ая составляют 400х390 м, а максимальная глубина – 21.7 м.

По исследованиям 2022 г. оз. Ая по площади водного зеркала согласно ГОСТ 17.1.1.02-77 относится к категории малых (86 тыс. м²), а по максимальной глубине – к средним (21.34 м) озерам. Максимальная длина составляла 362 м, средняя ширина 238 м [Губарев и др., 2023].

Пробы воды отбирали с приповерхностного горизонта в пластиковую тару 1.5 л. Донные осадки собирали дночерпателем Петерсена. Материал для исследований собирали и обрабатывали по стандартным гидрохимическим

методикам [Руководство..., 2009, 2012]. Гранулометрический анализ донных отложений выполнен в соответствии с ГОСТ 12536-2014 [2019]. Камеральная обработка гидрохимических и проб донных осадков выполнена в Лаборатории биогеохимии, а хлорофилла «а» – в Лаборатории гидробиологии ИВЭП СО РАН в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90 [1999]. Макрозообентос собирали и обрабатывали по стандартным гидробиологическим методикам [Руководство..., 1992]. При сборе зообентоса использовали различные методы: качественные сборы проводили сачком или скребком, количественные – дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0.025 м².

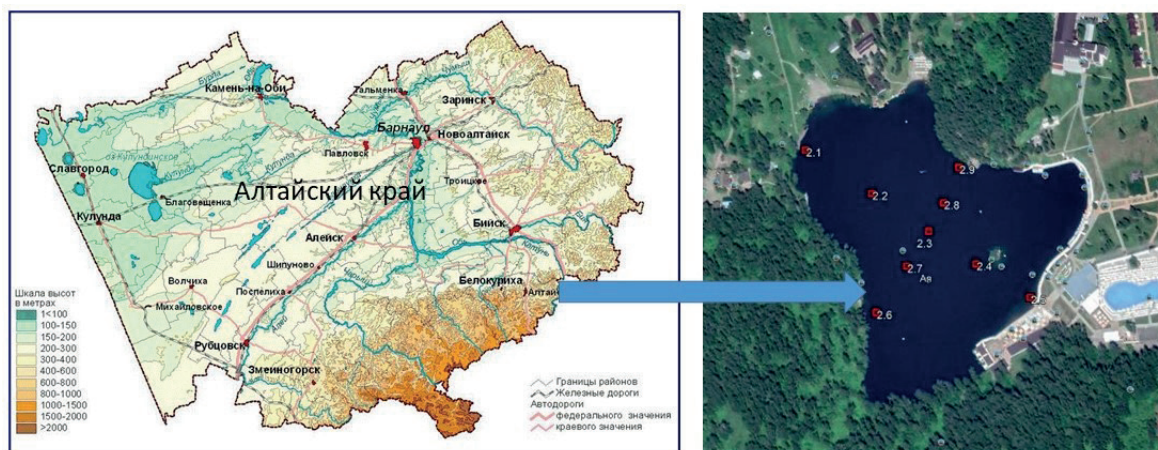


Рис. Карта-схема озера Ая и расположение станций отбора проб
Fig. Map-scheme of Lake Aya and location of sampling stations

При сборе бентоса с каменисто-го грунта вручную брали несколько камней на глубине до 0.7 м, помещали их в промывалку и отмывали. Обсохший камень в дальнейшем обрисовывали по контуру на миллиметровой бумаге для подсчета площади. Пробы промывали через капроновый газ с размером ячеек 350x350 мкм и фиксировали 70% этанолом. После установления постоянного веса животных разбирали по систематическим группам, затем просчитывали и взвешивали на торсионных весах ВТ-500. Определение материала проводили по ряду пособий: «Определитель пресноводных беспозвоночных России» [1994–2004] и др. Уровень трофности определяли по шкале трофности С.П. Китаева [2007]. Для оценки структурной организации донных сообществ беспозвоночных использовали индекс видового разнообразия Шеннона [1963], для 1 класса (очень чистые) значения индекса >3.00 ; 2 класса (чистые) – 2.01–3.00; 3 класса (умеренно загрязненные) – 1.51–2.00; 4 класса (загрязненные) – 1.01–1.50; 5 класса (грязные) – 0.51–1.00; 6 класса (очень грязные) – <0.50 [Яныгина, 2014].

Для оценки экологического состояния оз. Ая использовали фламандский мультиметрический индекс (ММИФ) [Gabriels et al., 2010], индекс Гуднайта и Уитлеа – процентное отношение численности олигохет к численности всего зообентоса [Goodnight, Whitley, 1961], полученные значения сопоставляли с классификацией качества вод [ГОСТ 17.1.3.07-82].

Результаты исследования

Донные осадки, гидрофизические и гидрохимические показатели. По классификации современных терригенных осадков Н.М. Страхова [Методы..., 1986] в озере Ая преобладали черные мелкоалевритовые илы, в центральной части озера отмечены жидкие черные илы с запахом сероводорода. Донные осадки оз. Ая можно охарактеризовать как переходные между минеральными и органо-минеральными (табл. 3).

По уровню минерализации воды оз. Ая является ультрапресным, по классификации О.А. Алекина [1970] относится к классу гидрокарбонатных, кальциевой группы (табл. 2).

Таблица 3

Основные физические и химические показатели донных осадков озера Ая, %, 2022 г.

Table 3

Main physical and chemical parameters of bottom sediments in the Aya Lake, %, 2022

Шифр пробы	C _{орг.}	Гранулометрический состав (размер частиц), мм						
		1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	<0.001	<0.01
2.8	10.2	5.75	24.65	39.24	13.12	11.96	5.28	30.36

В различные сезоны года минерализация воды колебалась, но оставалась в пределах ультрапресной зоны. Прозрачность воды озера была максимальной весной (4.3 м), к осени этот показатель существенно снижался (до 1.0 м). По величине водородного потенциала вода была нейтральной или слабощелочной, в летние и осенние месяцы наблюдалось увеличение pH. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) был положительным, в различные сезоны изменялся несущественно и соответствовал окислительным условиям. Согласно классификации О.П. Оксикюк с соавт. [1993] по содержанию общего фосфора в мае озеро характеризовалось как мезо-эвтрофное, в остальные месяцы как олиго-мезотрофное. Содержание нитритов во все гидрологические сезоны было ниже пределов обнаружения метода анализа. Концентрация нитратов соответствовала чистым водам весной, летом их концентрация снижалась и была ниже пределов обнаружения, осенью концентрация нитратов озера повысилась (разряд «достаточно чистые» воды III класса качества). Общее содержание органических веществ (по величине ХПК) значительно повышалось в июле и

сентябре. Содержание легкоокисляемых органических веществ (по величине БПК₅) было низким весной (0.6–0.8 мгО₂/дм³), возрастало летом (1.9–2.2 мгО₂/дм³), осенью постепенно снижалось. Значения БПК₅ летом и осенью соответствовало водам «слабо загрязненного» разряда III класса качества вод по шкале Оксикюк с соавт. [1993]. Содержание хлорофилла «а» в воде во все сезоны соответствовало олиготрофным водоемам, заметно снижалось в сентябре.

Таксономический состав зообентоса. В 2022 г. в составе зообентоса оз. Ая выявлен 41 вид макробеспозвоночных из 2 типов животных: Annelida и Arthropoda (табл. 4).

Тип кольчатые черви представлен малощетинковыми червями и пиявками. Среди кольчатых червей в озере наиболее разнообразны олигохеты, представленные 7 видами. Наибольшее число видов олигохет (4) относилось к семейству Naididae, они были отмечены только на каменистых грунтах. По частоте встречаемости наидиды доминировали в мае, наиболее часто отмечен *Nais pseudobtus* Piguet (62.5%), в остальные месяцы встречаемость наидид не превышала 12.5%.

Таблица 4

Таксономический состав макрозообентоса озера Ая

Table 4

Taxonomic composition of macrozoobenthos in the Lake Aya

Таксон	2002 г. [Безматерных, 2004]	2022 г.
<u>Tun Annelida</u>		
Класс Oligochaeta		
<u>Сем. Lumbricidae</u>		
<i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny)		+
<u>Сем. Naididae</u>		
<i>Nais elinguis</i> Müller		+
<i>Nais pseudobtusa</i> Piguet		+
<i>Ophidonais serpentina</i> (O.F. Müller)		+
<i>Stylaria lacustris</i> (Linnaeus)		+
<u>Сем. Tubificidae</u>		
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede		+
<i>Tubifex tubifex</i> Müller		+
Класс Hirudinea		
<i>Erpobdella octoculata</i> (L.)	+	
<i>Glossiphonia complanata</i> (L.)		+
<i>Helobdella stagnalis</i> (L.)	+	
<u>Tun Bryozoa</u>		
<u>Сем. Phylactolaemata</u>		
<i>Plumatella repens</i> (L.)	+	
<u>Tun Arthropoda</u>		
Класс Insecta		
Отряд Odonata		
<u>Сем. Coenagrionidae</u>		
<i>Erythomma najas</i> (Hansemann)	+	
Отряд Ephemeroptera		
<u>Сем. Caenidae</u>		
<i>Caenis horaria</i> L.		+
<i>Caenis</i> gr. <i>pseudorivulorum</i>	+	
Отряд Heteroptera		
<u>Сем. Nepidae</u>		
<i>Nepa cinerea</i> L.	+	
Отряд Trichoptera		
<u>Сем. Leptoceridae</u>		
<i>Mystacides sibiricus</i> Martynov		+
<i>Oecetis furva</i> (Rambur)		+
<u>Сем. Molannidae</u>		
<i>Molanna albicans</i> (Zetterstedt)		+
<u>Сем. Phryganeidae</u>		

Таксон	2002 г. [Безматерных, 2004]	2022 г.
<i>Agrypnia obsoleta</i> (Hagen)		+
Сем. Polycentropodidae		
<i>Cyrnus flavidus</i> MacLachlan		+
Отряд Diptera		
Сем. Ceratopogonidae		
<i>Bezzia</i> (H.) <i>bicolor</i> (Meigen)		+
<i>Bezzia</i> (H.) <i>xantogaster</i> (Kieffer)	+	
<i>Culicoides</i> sp.		+
<i>Mallochohelea</i> sp.		+
<i>Palpomyia lineata</i> (Meigen)		+
Сем. Chironomidae		
<i>Chironomus</i> sp.		+
<i>Cladopelma viridula</i> (F.)	+	
<i>Cladotanytarsus mancus</i> (Walker)		+
<i>Corynoneura scutellate</i> Winnertz		+
<i>Cricotopus bicinctus</i> Meigen		+
<i>Cricotopus tibialis</i> (Meigen)		+
<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger)		+
<i>Dicrotendipes</i> sp.		+
<i>Endochironomus albipennis</i> (Meigen)	+	+
<i>Endochironomus</i> sp.		+
<i>Endochironomus stackelbergi</i> Goetghebuer		+
<i>Glyptotendipes barbipes</i> (Staeger)		+
<i>Glyptotendipes glaucus</i> (Meigen)	+	+
<i>Glyptotendipes paripes</i> (Edwards)		+
<i>Microtendipes pedelus</i> De Geer		+
<i>Paratanytarsus</i> sp.		+
<i>Polypedilum bicrenatum</i> Kiffer		+
<i>Polypedilum nubeculosum</i> (Meigen)		+
<i>Polypedilum</i> sp.	+	
<i>Procladius</i> sp.		+
<i>Procladius</i> (P.) <i>imicola</i> Kieffer	+	
<i>Psectrocladius delatoris</i> Zelentsov		+
<i>Psectrocladius</i> (P.) <i>litophilus</i> Akhrorov		+
<i>Psectrocladius</i> sp.		+
<i>Tanytarsus medius</i> Reiss et Fittkau		+
Chironomidae-pupae		+
Всего видов	12	41

Семейство Tubificidae было представлено 2 видами: *Limnodrilus* sp. и *Tubifex tubifex* Müller. Распространение тубифицид в озере невысоко, они отмечены на мягких грунтах в центральной части озера, встречаемость тубифицид не превышала 25%. Также в прибрежье отмечены единичные экземпляры *Eiseniella tetraedra* (Savigny) из сем. Lumbricidae. Из пиявок выявлен один широко распространенный вид *Glossiphonia complanata* (L.), отмеченный в зарослях озера.

Тип членистоногие (Arthropoda). К этому типу относится более 80% отмеченных в макрозообентосе видов. Среди членистоногих отмечен только класс насекомых, в нем выявлено 33 вида беспозвоночных из 3 отрядов. Отряд поденки (Ephemeroptera) был представлен одним видом *Caenis horaria* L. из семейства Caenidae. Они были отмечены в зарослях макрофитов и на каменистом грунте. Высокий процент встречаемости (62.5%) поденок отмечен в мае, в июле частота встречаемости снижалась (12.5%), в сентябре поденки в пробах не обнаружены. Отряд ручейники (Trichoptera) занимал второе место (после двукрылых) в классе насекомых. Выявлено 5 видов, преимущественно хищных беспозвоночных, из четырех семейств: Leptoceridae, Molannidae, Phryganeidae, Polycentropodidae. Ручейники, также как и поденки, встречались в зарослях макрофитов и на каменистом грунте. Отряд двукрылые (Diptera) наиболее разнообразная в таксономическом отношении группа зообентоса, они были представлены двумя семействами:

Chironomidae и Ceratopogonidae. Семейство хирономиды – самая разнообразная в таксономическом отношении группа насекомых, включающая 23 вида. Частота их встречаемости составляла от 37.5 до 87.5% в различные гидрологические сезоны. Наибольшая частота встречаемости отмечена в мае для *Tanytarsus medius* Reiss et Fittkau (50%), а также в сентябре для *Chironomus* sp. (25%). Семейство мокрецов было представлено 4 видами, *Mallochelea* sp. обнаружена на мягких грунтах, остальные виды на каменистых грунтах и в зарослях макрофитов.

Основная часть обнаруженных таксонов макробеспозвоночных отмечена в литорали озера на каменистом грунте, на заиленных песках с растительным детритом отмечены единичные экземпляры хирономид и олигохет. В сентябре на илистых грунтах в открытой части озера организмы зообентоса были представлены единичными экземплярами олигохет и хирономид, в остальные сезоны донные беспозвоночные на илистых грунтах отсутствовали. Ая относится к озерам хирономидного типа, хирономиды отмечены в 58% проб и представлены в основном подсем. Chironominae (46% проб). В разные сезоны года по встречаемости доминировали различные таксоны зообентоса, в целом для озера доминантов выявить не удалось.

Численность и биомасса зообентоса. Зообентос озера характеризовался низкими значениями численности и биомассы, которые соответствовали олиготрофному типу водоема. В целом, видовое разнообразие, а также значения численности

и биомассы макробеспозвоночных были выше в мае, чем в другие сезоны 2022 г. (табл. 5). По численности в зообентосе озера доминировали хирономиды во все периоды исследования. По биомассе хирономиды доминировали в мае и сентябре. Также большой вклад в биомассу макрозообентоса вносили ручейники в мае и июле, за счет единично обнаруженных крупных особей (табл. 6). Видовой состав зообентоса был менее подвержен сезонным изменениям. Так, биомасса бентоса в оз. Ая в период исследования изменялась в 11.5 раз (коэффициент вариации $C_v=17.69$), а число видов – в 1.3 раза ($C_v=0.25$).

Биоиндикация. Для озера характерен низкий уровень видового разнообразия макробеспозвоночных. Количество видов в пробе из глубинных зон составляло 0–1, в прибрежье – 6–7 (среднее для озера 2.91 ± 0.71). Индекс Шеннона в профундали равнялся 0, в литорали на каменистом грунте максимальные значения достигали

3.24 бит/экз. (в среднем – 0.89 ± 0.23). Среднее значение индекса Шеннона соответствовало V классу качества вод и характеризовало воду озера как «грязную». В целом, значения индекса видового разнообразия и количество видов в пробе было выше в мае по сравнению с остальными месяцами исследования. Во все периоды исследования в оз. Ая отмечены невысокие значения индекса Гуднайта и Уитлеа, они соответствовали I и II классам качества вод. Фламандский мультиметрический индекс во все периоды исследования показал низкое качество воды в озере.

Обсуждение

В оз. Ая выявлена тенденция к уменьшению концентрации основных ионов и общей минерализации воды с 1960-ых гг. прошлого века [Селедцов, 1963], химический состав воды также как в 2022 г. характеризовался преобладанием гидрокарбонатов.

Таблица 5

Основные характеристики макрозообентоса оз. Ая, 2022 г.

Table 5

Main characteristics of macrozoobenthos in the Lake Aya, 2022

Месяц	Число видов в пробе	Численность, тыс. экз./м ²	Биомасса, г/м ²	H, бит/экз.	ММIF	Ко, % – класс качества вод	Уровень трофности по шкале С.П. Китева (2007)
Май	4.3 ± 0.9	1.65 ± 0.53	1.74 ± 1.39	1.38 ± 0.34 IV	0.45– низкое	16.9 ± 7.3 I	бета-олиготрофный
Июль	2.1 ± 1.4	0.08 ± 0.05	0.07 ± 0.05	0.68 ± 0.45 V	0.45– низкое	3.7 ± 2.5 I	ультраолиготрофный
Сентябрь	2.37 ± 1.36	0.19 ± 0.10	0.16 ± 0.08	0.60 ± 0.40 V	0.4– низкое	22.22 ± 13.33 II	ультраолиготрофный
Среднее	2.91 ± 0.71	0.64 ± 0.22	0.65 ± 0.47	0.89 ± 0.23 V	0.43 – низкое	14.31 ± 5.16 I	альфа-олиготрофный

Примечания: H – коэффициент видового разнообразия по Шеннону; ММIF – фламандский мультиметрический индекс; Ко – олигохетный индекс Гуднайта и Уитлеа; качество воды: I – очень чистые; II – чистые; III – умеренно загрязненные; IV – загрязненные; V – грязные.

Таблица 6

Сезонная динамика численности и биомассы основных таксонов зообентоса оз. Ая, 2022 г.

Table 6

Seasonal dynamics of abundance and biomass of the main taxa of zoobenthos in Aya Lake, 2022

Таксоны	Численность (%)			Биомасса (%)		
	Месяц			Месяц		
	V	VII	IX	V	VII	IX
Хирономиды	49.6	53.6	57.7	52.8	17.5	62.2
Олигохеты	25.0	13.7	29.5	2.3	6.0	18.6
Ручейники	0.6	18.8	2.0	34.8	73.9	6.8
Прочие	24.8	13.9	10.8	10.1	2.6	12.4

Противоположная тенденция отмечена в работе Г.Г. Русанова и С.В. Вазова [2017], которые считают, что в результате современных климатических изменений Алтая в сторону потепления и аридизации за 30 лет резко повысилась и минерализация воды в оз. Ая – с 88–164 до 234–240 мг/дм³, а реакция водной среды стала слабощелочной. По данным исследований конца 1990-ых гг. и начала 2000-ых гг. [Малолетко и др., 2004] соотношение основных ионов в воде оз. Ая было практически таким же, как и в 2022 г., достоверных изменений содержание биогенных элементов и органических веществ не выявлено. Проведенные исследования в 2022 г. показали увеличение показателей БПК₅ и ХПК в летне-осенний период, а также повышение содержания нитратов в воде озера в сентябре. Отмечено ухудшение качества воды с I до III класса, что, по всей вероятности, связано с повышением рекреационной нагрузки на озеро под воздействием туристических баз, расположенных на берегах водоёма.

Величина Eh в поверхностном слое воды озера соответствовала окислительным условиям, в центральной

части озера отмечены черные илы с запахом сероводорода, что характерно для восстановительных условий. Судя по имеющимся данным, Ая достаточно глубокий димектический водоём, в котором летом происходит температурная стратификация воды, способствующая бескислородным условиям в придонных слоях.

В зообентосе озера по числу видов и обилию преобладала группа хирономид, что обычно для водоемов умеренных и северных широт Евразии [Стальмакова, 1974; Слепухина, 1975; Нагаева, 1983; Саватеева, 1983; Озера Белоруссии, 1988; Моисеенко, 1990; Состояние..., 1991; Биоресурсы..., 2004; Перова, 2008]. Из хирономид доминировали личинки подсемейства Chironominae (46%), что также характерно и для равнинных озер Западной Сибири [Bezmaternykh, Vdovina, 2020]. По сравнению с предыдущими исследованиями макрозообентоса [Безматерных, 2004] в 2022 г. в оз. Ая отмечено более высокое видовое разнообразие донных беспозвоночных. Это, вероятнее всего, объясняется более обширными исследованиями, проведенными в различные сезоны 2022 г., с отбором

большого количества проб. Как в 2002 г., так и в 2022 г. отмечено доминирование хирономид в зообентосе озера, бедность или отсутствие макробеспозвоночных на илистых грунтах в глубоководных частях озера, максимальные биомассы в прибрежье озера. По сравнению с другими предгорными озерами региона для Ая характерны более низкие количественные характеристики и видовое разнообразие донных беспозвоночных [Яныгина, Крылова, 2006; Кузменкин, Иванова, 2019; Вдовина и др., 2022]. Максимальное видовое разнообразие и самые высокие показатели численности и биомассы зообентоса оз. Ая отмечены в мае 2022 г. В озере преобладают амфибиотические насекомые, представленные в основном хирономидами. Вылет имаго амфибиотических насекомых сопровождается снижением видового разнообразия и обилия макробеспозвоночных и является основным фактором сезонной динамики зообентоса. В умеренных широтах наиболее интенсивный вылет наблюдается с конца мая до конца июня. Кроме хирономид в озере также большой вклад в биомассу зообентоса в мае и июле вносили личинки ручейников генерации прошлого года, обнаруженные на каменистых грунтах.

Значения большинства биоиндикационных индексов свидетельствуют о низком качестве воды в оз. Ая. Только индекс Гуднайта и Уитлеа показал высокие значения, но основным ограничением применения этого индекса является то, что при низкой численности олигохет индекс не дает достоверных результатов и может использоваться только совместно с други-

ми биотическими индексами [Пшеницина, 1986]. Значения биоиндикационных индексов, низкие значения численности и биомассы зообентоса, а также наличие большого количества пустых проб свидетельствуют об ухудшении условий обитания макробеспозвоночных в оз. Ая.

При сохранении темпов развития туристической индустрии и увеличении антропогенной нагрузки в ближайшие 5–10 лет в оз. Ая может наблюдаться состояние антропогенного метаболического регресса [Руководство..., 1992] – снижение интенсивности метаболизма биоценоза. Рассчитанная оптимальная нагрузка на озеро Ая составляет 600 человек в сутки [Прудникова и др., 2006]. Фактическое же число отдыхающих на озере превышает эти цифры и с каждым годом увеличивается. Так, например, в летний период в начале 2000-х годов число отдыхающих составляло от 700 [Гончарова и др., 2002] до 1000–1300 человек [Прудникова, 2003], в последующее десятилетие это число продолжало увеличиваться и достигало 6000 человек [Прудникова и др., 2006; Андреева, Ротанова, 2008]. Таким образом, в ближайшем будущем состояние экосистемы озера может значительно ухудшиться, что приведет к потере его рекреационного потенциала, на что ещё двадцать лет назад указывали А.М. Малолетко с соавт. [2004].

Заключение

В оз. Ая выявлена тенденция к уменьшению концентрации основных ионов и общей минерализации воды с 1960-ых гг. прошлого века; достоверных

изменений содержание биогенных численности и биомассы донных элементов и органических веществ по беспозвоночных, по уровню развития сравнению с данными конца 1990-ых гг. зообентоса во все сезоны исследования и начала 2000-ых гг. не выявлено. Донные озеро соответствовало олиготрофному беспозвоночные озера представлены типу водоемов. По численности в зообентосе озера доминировали хирономиды во 41 видом из 3 классов: Oligochaeta (7), все периоды исследования, по биомассе Hirudinea (1) и Insecta (33). Для озера хирономиды доминировали в мае и характерно низкое видовое разнообразие макрозообентоса. Основная сентябрь. Показатели биоиндикационных часть обнаруженных таксонов макроиндексов, увеличение значений БПК₅, беспозвоночных отмечена в литорали ХПК в летне-осенний период, а также содержание нитратов в осенний период свидетельствуют об ухудшении экологического озера на каменистом грунте, на мягких грунтах в открытой части озера донные го состояния озера в разгар и к окончанию макробеспозвоночные либо отсутствовали, либо были представлены единичными туристического сезона. Для дальнейшего экземплярами олигохет и хирономид. рационального использования озера Ая относится к озерам хирономидного рекомендуется сократить рекреационную типа, они отмечены в 58% проб. Для нагрузку, уменьшить число отдыхающих озера характерны низкие показатели на озере.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Авторы искренне благодарят М.С. Губарева, Е.Н. Крылову, Р.К. Свиридова и М.В. Лассого за помощь в проведении полевых работ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Исследование разнообразия и структурно-функциональной организации водных экосистем для сохранения и рационального использования водных и биологических ресурсов Западной Сибири»).

Список литературы

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
- Андреева И.В., Ротанова И.Н. Озеро Манжерокское: прошлое, настоящее и будущее памятника природы // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: Матер. Междунар. конф. (22–26 сентября 2003 г., Горно-Алтайск). Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2008. Ч. 2. С. 305–308.
- Безматерных Д.М. Зообентос // Озеро Ая и его окрестности (физико-географический очерк). Томск: Печатная мануфактура, 2004. С. 110–114.
- Безматерных Д.М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири. Новосибирск, 2007. 87 с.
- Богданов В.Д., Богданова Е.Н., Гаврилов А.Л., Мельниченко И.П., Степанов Л. Н.,

Ярушина Н.И. Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 169 с.

Вдовина О.Н., Безматерных Д.М., Крылова Е.Н. Состав и структура сообществ донных беспозвоночных предгорных озер Светлое и Кокша (Алтайский край) // Известия АО РГО. 2022. № 3 (66). С. 33–47.

Гончарова Е.И., Тронова Т.М., Коханенко А.А. Санитарная оценка современного состояния озера Ая Алтайского края // Курортология и физиотерапия Сибири в концепции развития здравоохранения и медицинской науки Российской Федерации: Матер. науч. конф. Томск, 2002.

ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. М.: Госкомитет по стандартам, 1977. 13 с.

ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М.: Госкомитет по стандартам, 1982. 12 с.

ГОСТ 17.1.4.02-90. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». М.: Издательство стандартов, 1999. 15 с.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с.

Губарев М.С., Безматерных Д.М., Свиридов Р.К. Современные данные о морфометрических характеристиках шести предгорных озер Русского Алтая // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2023. № 68(1). С. 5–15. doi: 10.24412/2410-1192-2023-16801

Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007. 395 с.

Кузменкин Д.В., Иванова Е.С. Количественная характеристика макрозообентоса литорали Колыванского и Белого озер (Северо-Западный Алтай) по исследованиям 2019 г. // Труды Тигирекского заповедника. 2020. Вып. 12. С. 100–104.

Малолетко А.М. Озеро Ая и его окрестности (физико-географический очерк). Томск: ТГУ, 2003. 104 с.

Малолетко А.М., Прудникова Н.Г., Кириллова Т.В. и др. Озеро Ая и его окрестности (физико-географический очерк). Томск: Печатная мануфактура, 2004. 204 с.

Методы изучения истории озер (Серия: История озер). Л.: Наука, 1986. 254 с.

Моисеенко Т.И., Яковлев В.А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 221 с.

Нагаева Т.Н. Донная фауна малых озер Волгоградской области и ее использование рыбой // Особенности развития кормовой базы малых озер Северо-Запада в условиях ведения интенсивного рыбного хозяйства. Л.: Промрыбвод., 1983. С. 76–80.

Озера Белоруссии. Минск: Изд-во Ураджай, 1988. 216 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. №4.

С. 62–76.

Определитель пресноводных беспозвоночных России: в 6 т.: Т. 1–6. Л.: ЗИН РАН. 1994–2004.

Перова С.Н. Таксономический состав макрозообентоса малых карстовых озер Центральной России // Биология внутренних вод. 2008. № 4. С. 63–71.

Прудникова Н.Г. Рекреационная устойчивость и нагрузка озера Ая // Проблемы геологии и географии Сибири: Матер. науч. конф. (02–04 апреля 2003 г., Томск). Томск: Изд-во ТГУ, 2003. С. 148–150.

Прудникова Н.Г., Барышникова О.Н., Силантьева М.М. Организация рекреационных территорий (на примере переходных зон Алтая) // География и природопользование Алтая. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2006. вып. 8. С. 184–190.

Пшеницына В.Н. Об эффективности шкалы Вудивисса при биоиндикации качества воды // Гидробиол. журн. 1986. Т. 24, № 4. С. 42–45.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1 / Под ред. Л.В. Боевой. Ростов-на-Дону, 2009. 1150 с.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 2 / Под ред. Л.В. Боевой. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2012. 720 с.

Русанов Г.Г., Важев С.В. Нерешенные проблемы озер Манжерокское и Ая. Бийск: АГГПУ им. В.М. Шукшина, 2017. 168 с.

Саватеева Е.Б., Лукьянова В.П. Оценка зообентоса малых озер Новгородской области и рекомендации по обогащению их кормовой базы // Особенности развития кормовой базы малых озер Северо-Запада в условиях ведения интенсивного рыбного хозяйства. Л.: Промрыбвод, 1983. С. 85–92.

Селедцов Н.Г. Айское. Манжерокское и Теньгинское озёра Горного Алтая // Известия Алтайского отдела Географического общества СССР. 1963. Вып. 2. С. 54–73.

Слепухина Т.Д. Бентос оз. Воже // Озера Лача и Воже. Материалы комплексных исследований. Л.: Наука, 1975. С. 27–29.

Состояние мягководных озер Эстонии. Тарту: АН Эстонии, Ин-т зоологии и ботаники, 1991. 308 с.

Стальмакова Г.А. Бентос озер различных ландшафтов Кольского полуострова // Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Л.: Наука, 1974. Ч.1. С. 180–212.

Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики. М.: Иностран. лит., 1963. 860 с.

Яныгина Л. В. Зообентос бассейна Верхней и Средней Оби: воздействие природных и антропогенных факторов: Дисс. ... докт. биол. наук. Владивосток, 2014. 399 с.

Яныгина Л.В., Крылова Е.Н. Биоиндикация экологического состояния предгорных водоемов Алтая по зообентосу // Ползуновский вестник. 2006. № 2. С. 365–368.

Bezmaternykh D.M., Vdovina, O.N. Composition and structure of macrozoobenthos of lakes in different natural zones and subzones of Western Siberia // *Limnology*. 2020. Vol. 21. Is. 1. P. 3–13. doi:10.1007/s10201-019-00586-y

Gabriels W., Lock K., De Pauw N., Goethals P. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium) // *Limnologica*. 2010. Vol. 40. P. 199–207. doi: 10.1016/j.limno.2009.10.001

Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochetes as indicators of pollution // *Proc. 15-th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext., Sec.* 1961. Vol. 106. P. 139–142.

References

Alekin O.A. *Osnovy gidrohimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 444 p. (In Russian).

Andreeva I.V., Rotanova I.N. Ozero Manzherokskoe: proshloe, nastoyashchee i budushchee pamyatnika prirody [Lake Mangerokskoe: past, present and future of the natural monument] // *Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel'nyh regionov: nastoyashchee, proshloe, budushchee: Mater. Mezhdunar. konf. (22–26 sentyabrya 2003 g., Gorno-Altajsk)* [Biodiversity, problems of ecology of the Altai Mountains and neighbouring regions: present, past, future: Proceed. int. conf. (Sept. 22–26, 2003)]. Gorno-Altajsk: RIO GAGU, 2008. Is. 2. P. 305–308. (In Russian).

Bezmaternykh D.M. Zoobentos [The zoobenthos] // *Ozero Aya i ego okrestnosti (fiziko-geograficheskij ocherk)* [Lake Aya and its surroundings (physical and geographical sketch)]. Tomsk: Pechatnaya manufaktura. 2004. P. 110–114. (In Russian).

Bezmaternykh D.M. Zoobentos kak indikator ekologicheskogo sostoyaniya vodnyh ekosistem Zapadnoj Sibiri [Zoobenthos as an indicator of the ecological state of aquatic ecosystems of Western Siberia]. Novosibirsk, 2007. 87 p.

Bogdanov V.D., Bogdanova E.N., Gavrilov A.L., Mel'nicenko I.P., Stepanov L. N., Yarushina N.I. Bioresursy vodnyh ekosistem Polyarnogo Urala [Bioresources of aquatic ecosystems of the Polar Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2004. 169 p. (In Russian).

Vdovina O.N., Bezmaternykh D.M. Composition and structure of benthic invertebrate communities of foothill lakes Svetloye and Koksha (Altai Krai) // *Bulletin AB RGS*. 2022. No. 3(66). C. 33–47. (In Russian).

Goncharova E.I., Tronova T.M., Kohanenko A.A. Sanitarnaya ocenka sovremennogo sostoyaniya ozera Aya Altajskogo kraja [Sanitary assessment of the current state of Lake Aya Altai Krai] // *Kurortologiya i fizioterapiya Sibiri v koncepcii razvitiya zdravoohraneniya i medicinskoj nauki Rossijskoj Federacii: Mater. nauch. konf. [Kurortology and physiotherapy of Siberia in the concept of health care development and medical science of the Russian Federation: Proceed. int. conf.]*. Tomsk, 2002. (In Russian).

GOST 17.1.1.02-77. Ohrana prirody. Gidrosfera. Klassifikaciya vodnyh ob"ektov [Nature protection. Hydrosphere. Classification of water objects]. Moscow: State Committee for Standards, 1977. 13 p. (In Russian).

GOST 17.1.3.07-82 Ohrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vo doemov i vodotokov [Nature protection. Hydrosphere. Rules for water quality control of reservoirs and watercourses]. Moscow: State Committee for Standards, 1982. 12 p. (In Russian).

GOST 17.1.4.02-90. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya hlorofilla «a» [Methods of spectrophotometric determination of chlorophyll «a»]. Moscow: Standards Publishing House, 1999. 15 p. (In Russian).

GOST 12536-2014. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava [Soils. Methods of laboratory determination of granulometric (grain) and microaggregate composition]. Moscow: Standartinform, 2019. 23 p. (In Russian).

Gubarev M.S., Bezmaternykh D.M., Sviridov R.K. Modern data on morphometric characteristics of six foothill lakes of the Russian Altai // *Bulletin AB RGS*. 2023. No 68(1). P. 5–15. (In Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2023-16801

Kitaev S.P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ihtologov [Basic general limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, 2007. 395 p. (In Russian).

Kuzmenkin D.V., Ivanova E.S. Kolichestvennaya harakteristika makrozoobentosa litorali Kolyvanskogo i Belogo ozer (Severo-Zapadnyj Altaj) po issledovaniyam 2019 g. [Quantitative characterisation of the macrozoobenthos of the littoral of the Kolyvansky and Beloe lakes (North-West Altai) based on studies in 2019] // *Trudy Tigireksskogo zapovednika [Proceedings of the Tigirek Reserve]*. 2020. Vol. 12. Is. P. 100–104. (In Russian).

Maloletko A.M. Ozero Aya i ego okrestnosti (fiziko-geograficheskij ocherk) [Lake Aya and its surroundings (physical and geographical sketch)]. Tomsk: TGU. 2003. 104 p. (In Russian).

Maloletko A.M., Prudnikova N.G., Kirillova T.V. i dr. Ozero Aya i ego okrestnosti (fiziko-geograficheskij ocherk) [Lake Aya and its vicinity (physiographic sketch)]. Tomsk: Pechatnaya manufaktura, 2004. 204 p. (In Russian).

Metody izucheniya istorii ozer (Seriya: Istoriya ozer) [Methods of studying the history of lakes (Series: History of Lakes)]. L.: Nauka, 1986. 254 p. (In Russian).

Moiseenko T.I., Yakovlev V.A. Antropogennye preobrazovaniya vodnyh ekosistem Kol'skogo Severa [Anthropogenic transformations of aquatic ecosystems of the Kola North]. L.: Nauka, 1990. 221 p. (In Russian).

Nagaeva T.N. Donnaya fauna malyh ozer Volgogradskoj oblasti i ee ispol'zovanie ryboj [Bottom fauna of small lakes of Volgograd region and its use by fish] // *Osobennosti razvitiya kormovoj bazy malyh ozer Severo-Zapada v usloviyah vedeniya intensivnogo rybnogo hozjajstva [Features of development of the forage base of small lakes of the North-West in conditions of intensive fishery]*. L.: Promrybvod., 1983. P. 76–80. (In Russian).

Ozera Belorussii [Lakes of Belarus]. Minsk: Izd-vo Uradzhaj, 1988. 216 p. (In Russian).

Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N., Braginskij L.P. et al. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikaciya kachestva poverhnostnyh vod sushi [Complex ecological classification of the quality

of terrestrial surface waters] // *Gidrobiol. zhurn.* [Journal of Hydrobiology]. 1993. Vol. 29 (4). P. 62–76. (In Russian).

Opredelitel' presnovodnyh bespozvonochnyh Rossii: v 6 t.: T. 1–6, 1994–2004 [Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands (1992–2004): Vol 1–6]. Calolihin, S.Ya. (eds.). Zoological institute of RAS, St. Petersburg, Russia. (In Russian).

Perova S.N. Taksonomicheskij sostav makrozoobentosa malyh karstovyh ozer Central'noj Rossii [Taxonomic composition of macrozoobenthos of small karst lakes of Central Russia] // *Biologiya vnutrennih vod* [Inland Water Biology]. 2008. Vol. 4. P. 63–71. (In Russian).

Prudnikova N.G. Rekreacionnaya ustojchivost' i nagruzka ozera Aya [Recreational stability and load of Lake Aya] // *Problemy geologii i geografii Sibiri: Mater. nauch. konf. (02–04 aprelya 2003 g., Tomsk)* [Problems of geology and geography of Siberia: Proceed. int. conf. (April 02–04, 2003)]. Tomsk: Izd-vo TGU, 2003. P. 148–150. (In Russian).

Prudnikova N.G., Baryshnikova O.N., Silant'eva M.M. Organizaciya rekreacionnyh territorij (na primere perekhodnyh zon Altaya) [Organisation of recreational territories (by the example of Altai transition zones)] // *Geografiya i prirodopol'zovanie Altaya* [Geography and Nature Management of Altai]. Barnaul: Izd-vo AltGU, 2006. Is. 8. P. 184–190. (In Russian).

Pshenicyna V.N. Ob effektivnosti shkaly Vudivissa pri bioindikacii kachestva vody [On the efficiency of the Woodiwiss scale for bioindication of water quality] // *Gidrobiol. zhurn.* [Journal of Hydrobiology]. 1986. Vol. 24 (4). P. 42–45. (In Russian).

Rukovodstva po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnyh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems] / Ed. V.A. Abakumov. Gidrometeoizdat. St. Petersburg, 1992. 318 p. (In Russian).

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. Chast' 1 [Manual on chemical analysis of terrestrial surface waters. Part 1] / Ed. L.V. Boevoj. Rostov-na-Donu, 2009. 1150 p. (In Russian).

Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnyh vod sushi. Chast' 2 [Manual on chemical analysis of terrestrial surface waters. Part 2] / Ed. L.V. Boevoj. Rostov-na-Donu: Izd-tvo YUFU, 2012. 720 p. (In Russian).

Rusanov G.G., Vazhov S.V. Nereshennye problemy ozer Manzherokskoe i Aya [Unresolved problems of lakes Manzherokskoye and Aya]. Bijsk: AGGPU im. V.M. Shukshina, 2017. 168 p. (In Russian).

Savateeva E.B., Luk'yanova V.P. Ocenka zoobentosa malyh ozer Novgorodskoj oblasti i rekomendacii po obogashcheniyu ih kormovoj bazy [Assessment of zoobenthos of small lakes of the Novgorod region and recommendations for enrichment of their fodder base] // *Osobennosti razvitiya kormovoj bazy malyh ozer Severo-Zapada v usloviyah vedeniya intensivnogo rybnogo hozyajstva* [Features of the development of the fodder base of small lakes of the North-West in the conditions of intensive fishery]. L.: Promrybvod, 1983. P. 85–92. (In Russian).

Seledcov N.G. Ajskoe. Manzherokskoe i Ten'ginskoe ozyora Gornogo Altaya [Aiskoye. Mangerokskoye and Tenginskoye lakes of the Altai Mountains] // *Izvestiya Altajskogo otdela*

Geograficheskogo obshchestva SSSR [Izvestia Altai Department of the Geographical Society of the USSR]. 1963. Is. 2. P. 54–73. (In Russian).

Slepuhina T.D. Bentos oz. Vozhe [Benthos of Lake Vozhe] // Oзера Lacha i Vozhe. Materialy kompleksnyh issledovaniy [Lakes Lacha and Vozhe. Materials of complex studies]. L.: Nauka, 1975. P. 27–29. (In Russian).

Sostoyanie myagkovodnyh ozer Estonii [Condition of soft-water lakes in Estonia]. Tartu: AN Estonii, In-t zoologii i botaniki [Estonian Academy of Sciences, Institute of Zoology and Botany], 1991. 308 p. (In Russian).

Stal'makova G.A. Bentos ozer razlichnyh landshaftov Kol'skogo poluostrova [Benthos of lakes of different landscapes of the Kola Peninsula] // Oзера razlichnyh landshaftov Kol'skogo poluostrova [Lakes of different landscapes of the Kola Peninsula]. L.: Nauka, 1974. Is.1. P. 180–212. (In Russian).

Shennon. K. Raboty po teorii informacii i kibernetiki [Works on information theory and cybernetics]. Inostr. lit., Moscow. SSSR, 1963. 860 p. (In Russian).

Yanygina L.V. Zoobentos bassejna Verhnej i Srednej Obi: vozdejstvie prirodnyh i antropogennyh faktorov [Zoobenthos of the Upper and Middle Ob basin: the impact of natural and anthropogenic factors]: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Vladivostok. 2014. 399 p. (In Russian).

Yanygina L.V, Krylova E.N. Bioindikaciya ekologicheskogo sostoyaniya predgornyyh vozemov Altaya po zoobentosu [Bioindication of the ecological state of the foothill reservoirs of Altai according to zoobenthos] // Polzunovskij vestnik [Polzunovsky vestnik]. 2006. Vol. 2. P. 365–368. (In Russian).

Bezmaternykh D.M., Vdovina, O.N. Composition and structure of macrozoobenthos of lakes in different natural zones and subzones of Western Siberia // Limnology. 2020. Vol. 21. Is. 1. P. 3–13. doi:10.1007/s10201-019-00586-y

Gabriels W., Lock K., De Pauw N., Goethals P. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium) // Limnologica. 2010. Vol. 40. P. 199–207. doi: 10.1016/j.limno.2009.10.001

Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochetes as indicators of pollution // Proc. 15-th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext., Sec. 1961. Vol. 106. P. 139–142.

CURRENT STATE OF THE ECOSYSTEM OF LAKE AYA (ALTAI KRAI)

O.N. Vdovina, D.M. Bezmaternykh

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru, bezmater@iwep.ru

In different hydrological seasons of 2022 the current state of the ecosystem of the foothill Lake Aya, located in the Altai district of Altai Krai, was investigated. The lake bottom sediments, chemical and physical indicators of water were studied. The composition and structure of benthic macroinvertebrate communities were characterized. In the composition of which 41

species of invertebrates belonging to three classes were identified. Macrozoobenthos of the lake was characterized by low values of abundance and biomass, the level of community development corresponded to the oligotrophic type of lakes. The water quality of the lake was determined on the basis of bioindication indices.

Keywords: benthic invertebrates; Aya Lake; Western Siberia; bioindication.

Received January 5, 2024. Accepted: February 6, 2024

Сведения об авторах

Вдовина Ольга Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-2479-3338. E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru.

Безматерных Дмитрий Михайлович – доктор биологических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-7747-4939. E-mail: bezmater@mail.ru.

Information about the authors

Vdovina Olga Nikolaevna – PhD in Biology, Researcher at the Laboratory of Hydrobiology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-2479-3338. E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru.

Bezmaternykh Dmitry Mikhailovich – Dr Sc. in Biology, Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-7747-4939. E-mail: bezmater@mail.ru.