

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ ИХТИОЦЕНОЗОВ И ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ ОЗЕРА ЖАЙСАН

С.Б. Нигметжанов

Алтайский филиал ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства,
г. Усть-Каменогорск, Казахстан
e-mail: nigmetzhanov@fishrpc.kz

Аннотация

В статье представлен анализ биоразнообразия и устойчивости сообществ гидробионтов озера Жайсан. Исследования охватывают биоразнообразие и устойчивость рыб, зоопланктона и макрозообентоса, проведенные на различных станциях озера в 2024 году. На основе индексов Шеннона -Уивера, Мера выравнинности Пилау, Индекс видового богатства Марглефа, Индекс видового богатства Менхинника и индекса доминантности Симпсона оценено разнообразие и доминирование видов в исследуемых биотопах. Исследование финансируется Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан (Грант № BR23591095).

Цель исследования состоит в анализе структуры и устойчивости биоразнообразия озера Жайсан, которое является важным водоемом Восточного Казахстана и играет значительную роль в поддержании экологического баланса региона. Исследование фаунистического состава и структуры сообществ гидробио-

нтов позволяет более эффективно управлять и сохранять биоресурсы озера.

Ключевые слова: озеро Жайсан, биоразнообразие, устойчивость, ихтиофауна, макрозообентос, зоопланктон, индексы.

Введение. Озеро Жайсан, расположенное на востоке Казахстана, играет важную роль в поддержании экологического баланса и водоснабжении региона. Сохранение биоразнообразия этого озера имеет ключевое значение для экологии и экономики региона. Настоящая работа направлена на оценку устойчивости и биоразнообразия гидробионтов озера с целью оптимизации управления биоресурсами и повышения продуктивности водоемов. Озеро расположено в обширной плоской котловине, ограниченной с юга хребтом Манрак, а с юго-востока – хребтом Саур. Озеро Жайсан принадлежит к типу плотинных озер и заполняется в основном водами реки Кара Ертыса (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Карта-схема озера Жайсан

После заполнения водохранилища Буктырма в 1960 г., в состав которого вошло озеро Жайсан, площадь самого озера значительно увеличилась. Площадь при среднемноголетней отметке уровня (390,84 мБС) достигает 2581 км², что составляет около 60 % от общей площади водохранилища, длина – 140 км, ширина – 35 км, максимальная глубина – 12 м.

Материалы и методы. Материалы для настоящего исследования были собраны на станциях оз Жайсан: мыс Коржун, мыс Бархот, Аманат, мыс Тополев, Карсакбай, мыс Волчий.

Отбор и обработку гидробиологических проб проводили в соответствии с общепринятыми методиками [1]. Отбор проб зоопланктона при глубинах более 2,0 м облавливался сетью Джели totally от дна до поверхности или процеживанием 100 л воды. В лабораторных условиях пробы зоопланктона обрабатывались в камере Богорова, просчитывались и измерялись все виды организмов.

Макрозообентос отбирали двукратным опусканием дночерпателя Петерсена (с площадью раскрытия 0,025 м²). Отлов мизид производился с помощью ихтиопланктонной ловушкой, путем протягивания от дна до поверхности. В полевых условиях из отобранного на станциях грунта выбирались беспозвоночные. Определение организмов проводили по имеющимся определителям. Биомассу отдельных групп определяли путем взвешивания на электронных весах.

Ихтиологические наблюдения и сбор материала осуществлялся по акватории водоема, сбор и анализ ихтиологического материала проводился по общепринятым методикам [2, 3, 4, 5].

Основным индексом для оценки биоразнообразия использовался индекс Шеннона [6]. Оценка устойчивости сообществ проводилась с использованием различных критериев [7, 8, 9]. Оценка видовых списков проводилась на основании индексов сходства и различия [10, 11].

Индекс Шеннона-Уивера: способ измерения разнообразия видов в сообществе.

$$H = -\sum p_i * \log_2(p_i) \quad (1)$$

Чем выше значение H, тем выше видовое разнообразие в конкретном сообществе. Чем меньше значение H, тем меньше разнообразие.

Значение H = 0 указывает на сообщество, состоящее только из одного вида.

Мера выровненности на основании H (Пилау) – чем выше, тем более «сбалансировано» соотношение видов.

$$E = H/\ln(S) \quad (2)$$

Индекс видового богатства Маргалефа D_{Mg} – Чем выше значение индекса, тем большим видовым богатством характеризуется сообщество. Чувствителен к объему выборки, особенно в многовидовых сообществах, в небогатых сообществах его применение вполне адекватно.

$$D_{Mg} = S/\ln(N) \quad (3)$$

Индекс видового богатства Менхеника D_{Mn} – аналогично индексу выше.

$$D_{Mn} = (S - 1) / (N)^{1/2} \quad (4)$$

Индекс Симпсона C – выводит на первый план более обильные виды, снижая значение малочисленных. Отражает меру доминирования каких-либо видов (групп видов) в выборке.

$$C = (\sum p_i^2) \quad (5)$$

Индекс полидоминантности Симпсона I_p – обратная величина от индекса Симпсона.

$$C = (\sum p_i^2)^{-1} \quad (6)$$

Здесь везде:

S – количество видов;

N – общая численность группы в выборке;

n_i – численность i-того вида в выборке;

p_i – частота встречаемости i-того вида в выборке.

Результаты и обсуждение. Ихтиофауна озера Жайсан. На период 2024 года было зафиксировано восемь видов

рыб (Таблица 1). Наиболее многочислен- *fluviatilis*) и судак (*Sander lucioperca*) име- ным видом является лещ (*Abramis брутум*), который встречается на всех станциях и относится к массовым видам. (*Carassius auratus auratus*), встречаются Плотва (*Rutilus rutilus*), окунь (*Perca* реже и отмечены только на отдельных

станции

Таблица 1 – Видовой состав рыб в научно-исследовательских уловах на оз. Жайсан в 2024 году.

Вид рыбы	Оз. Жайсан					
	Коржун	Бархот	Аманат	Тополев	Карсакбай	Волчий
<i>Abramis brama</i> (Linnaeus)	+	+	+	+	+	+
<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus)	+	+	+	+	+	+
<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus)	+	+	+	+	+	+
<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus)	+	+	+	+	+	+
<i>Esox lucius</i> (Linnaeus)	+	+	-	+	+	-
<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus)	+	+	+	+	+	-
<i>Carassius auratus auratus</i> (Linnaeus)	+	-	+	+	+	-
<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus)	-	+	+	+	+	+

Таблица 2 – Индексы устойчивости и разнообразия ихтиоценоза озера Жайсан.

Индексы	Оз. Жайсан						
	Коржун	Бархот	Аманат	Тополев	Карсакбай	Волчий	В среднем по водоему
Шеннона-Уивера, Н	1,14	1,04	1,85	0,60	-	0,84	1,09
Мера выравни- ности Пилау, Е	0,59	0,53	0,95	0,29	-	0,52	0,58
Индекс видового богатства Марг- лефа D_{Mg}	1,14	0,96	0,97	1,35	1,34	0,75	1,09
Индекс видового богатства Мен- хинника D_{Mn}	0,50	0,31	0,31	0,60	0,59	0,35	0,44
Индекс Симпсо- на С	0,46	0,44	0,58	0,30	-	0,38	0,43
Индекс полидо- минантности Симпсона I_p	2,19	2,29	1,74	3,39	-	2,63	2,45

Оценка устойчивости: Наиболь- шим разнообразием характеризуется рыб- ное сообщество озера Жайсан (ст.Аманат), где индекс Шеннона-Уивера по результа- там исследований текущего года составил 1,85, при этом выравни- ность сообщества по видам в данных биотопах также имеет наиболее высокий уровень среди всех прочих участков озера, при индексе «Е» 0,95. Наименьшие показатели биоразнооб- разия демонстрирует сообщество рыб Тар- багатайского побережья (м. Тополев, м. Волчий), где индекс «Н» не превышает значений 0,6-0,84, при этом выравни- ность по видам довольно низкая и индекс не пре- вышает 0,29 по Пилау. В целом по оз Жай- сан выравни- ность сообществ рыб также довольно низкая - индекс «Е» равен 0,48 (Таблица 2).

Более высоким уровнем видового богатства, где индекс Марглефа имеет наибольшие значения 1,34 на Тарбагатайском побережье, станция Карсакбай в сравнении с биотопами других участков водоема.

Согласно значениям Индекс Симпсона, в качестве биотопов с наиболее сильным доминированием отдельных видов в рыбном сообществе Курчумского района ($C = 0,44-0,58$). В целом, по оз. Жайсан индекс доминирования видов можно охарактеризовать, как ниже среднего, то есть, явного доминирования отдельных видов не отмечено.

В целом по водоему Индекс Шеннона-Уивера (H), отражающий уровень биоразнообразия, в среднем по озеру составляет 1,09. Это значение свидетельствует о среднем уровне видового разнообразия, что указывает на стабильные, но умеренные условия для поддержания различных видов в озере Жайсан. Индекс выравнивания Пилу (E), который демонстрирует равномерность распределения видов, в среднем составляет 0,58. Это значение указывает на наличие доминирующих видов, однако распределение биомассы между видами остается относительно сбалансированным. Индекс видового богатства Маргалефа (DMg), в среднем равный 1,09, и Индекс видового богатства Менхинника (DMn), равный 0,44, показы-

вают, что видовое разнообразие достаточно умеренное, но с локальными изменениями, которые обусловлены спецификой отдельных станций. Индекс Симпсона (C), характеризующий доминирование отдельных видов, в среднем составляет 0,43. Этот показатель указывает на то, что на уровне озера выраженного доминирования одного или нескольких видов не наблюдается, что является благоприятным фактором для поддержания устойчивого сообщества. Индекс полидоминантности Симпсона (Ip), равный 2,45, свидетельствует о наличии нескольких доминирующих видов, но не указывает на полное доминирование одного из них. Это подтверждает умеренную полидоминантность сообщества, которая, как правило, свидетельствует о его устойчивости.

Макрозообентос озера Жайсан. В составе донных беспозвоночных озера Жайсан обнаружено около десяти видов, включая пять таксонов личинок хирономид, два вида мизид, а также моллюсков, гаммарусов и ручейников (Таблица 3). Малоцетинковые черви и мизиды *Paramysis intermedia* отмечались во всех пробах, демонстрируя высокую устойчивость и широкое распространение. Наибольшая частота встречаемости среди бентоса отмечена у мизид *P. lacustris* (58%) и личинок хирономид *C. ex. gr. Plumosus* (50%).

Таблица 3 – Видовой состав бентоса оз. Жайсан в 2024 году.

Таксоны	Оз. Жайсан					
	Коржун	Бархот	Аманат	Тополев	Карсакбай	Волчий
<i>Viviparus viviparus</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Lithoglyphus nticoides</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Oligochaeta sp.</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Paramysis lacustris</i>	+	+	+			+
<i>Paramysis intermedia</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Gmelinoides fasciatus</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Procladius sp.</i>	-	+	+	+	-	-
<i>Chironomus ex. gr. Plumosus</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Chironomus sp.</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Chironomini</i>	-	-	-	-	-	-

Оценка устойчивости: На Тарбагатайском побережье наблюдается наибольшая устойчивость бентических сообществ с высокими значениями индексов Шеннона и Симпсона. В других зонах, таких как Курчумский район, отмечается сильное доминирование отдельных видов, что снижает общую устойчивость сообщества (Таблица 4).

В целом по водоему Индекс Шеннона-Уивера (H), который указывает на биоразнообразие, значительно варьируется в пределах озера. Среднее значение индекса Шеннона по озеру составляет 5,03, что также свидетельствует о достаточно разнообразных и устойчивых бентических сообществах. Среднее значение индекса выравнивания Пилау (E) по озеру (5,03) указывает на общую стабильность, но с выраженными локальными колебаниями. Индексы видового богатства Маргалефа (DMg) и Менхинника (DMn) показывают, что видовое богатство бентических сообществ остается относительно низким по всему озеру. Средние значения по озеру составляют 0,49 для DMg и 0,17 для DMn, что указывает на скромное разнообразие видов. Индекс Симпсона (C), который оценивает доминирование отдельных видов, варьируется от 0,32 до 0,94. Среднее значение по озеру (0,58) указывает на умеренное доминирование.

Индекс полидоминантности Симпсона (Ip), в среднем по озеру значение индекса составляет 2,04, что указывает на полидоминантный характер сообщества, где несколько видов имеют сходное влияние на структуру сообщества.

Зоопланктон озера Жайсан.

Зоопланктонный комплекс представлен 17 видами, среди которых 6 видов коловраток (Rotifera), 6 видов ветвистоусых рачков (Cladocera) и 5 видов веслоногих (Copepoda) (Таблица 5). Наиболее часто встречающимся видом является *Cyclops vicinus* (частота встречаемости 93%). Среди коловраток доминирует *Keratella quadrata* (64%), а среди ветвистоусых рачков — *Bosmina longirostris* (28%).

Оценка устойчивости: наибольшим разнообразием характеризуется планктонное сообщество озера Жайсан (ст. Волчий), где индекс Шеннона-Уивера по результатам исследований текущего года составил 0,82. Наименьшие показатели биоразнообразия демонстрирует сообщество планктона Курчумского побережья (Бархот), где индекс «H» составляет 0,36. В целом, по оз. Жайсан выравнивание сообществ планктона довольно низкая - индекс «E» равен 0,29. (Таблица 6).

Таблица 4 – Индексы устойчивости и разнообразия бентоценоза озера Жайсан.

Индексы	Оз. Жайсан						
	Коржун	Бархот	Аманат	Тополев	Карсакбай	Волчий	В среднем по водоему
Шеннона-Уивера, H	0,83	0,01	0,80	2,11	5,95	20,46	5,03
Мера выравнивания Пилау, E	0,52	0,00	0,50	1,92	8,59	18,62	5,03
Индекс видового богатства Маргалефа DMg	0,61	0,87	0,53	0,37	0,17	0,36	0,49
Индекс видового богатства Менхинника DMn	0,19	0,23	0,12	0,20	0,10	0,19	0,17
Индекс Симпсона C	0,39	0,32	0,38	0,62	0,82	0,94	0,58
Индекс полидоминантности Симпсона Ip	2,58	3,16	2,62	1,61	1,22	1,07	2,04

Таблица 5 – Видовой состав зоопланктона оз. Жайсан в 2024 году.

Таксоны	Оз. Жайсан					
	Коржун	Бархот	Аманат	Тополев	Карсакбай	Волчий
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+	+	-	+	+	+
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	-	-	+	+	+	+
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson	+	+		+	+	+
<i>Keratella quadrata</i> (Muller)		+	+	+	+	+
<i>K. cochlearis cochlearis</i> (Gosse)	-	+	-	+	-	-
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	-	+	-	+	+	-
<i>Diaphanosoma</i> <i>brachyurum</i> (Lievin)	-	+	-	-	+	-
<i>Bosmina longirostris</i> (Muller)		+	-	+	-	1
<i>D. cucullata</i> (Sars)	-	+	-	+	+	-
<i>Neurodiaptomus</i> <i>incongruens</i> (Poppe)	-	+	+	-	+	+
<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine)	-	-	+	+	+	+
<i>Cyclops vicinus</i> Uljanine	+	+	+	+	+	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	+	+	-	+	+	-
<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer)	+	-	-	-	-	-

Таблица 6 – Индексы устойчивости и разнообразия планктоценоза озера Жайсан.

Индексы	Оз. Жайсан						
	Коржун	Бархот	Аманат	Тополев	Карсакбай	Волчий	В среднем по водоему
Шеннона-Уивера, H	0,62	0,36	0,66	0,52	0,46	0,82	0,57
Мера выравнивания Пилау, E	0,39	0,15	0,41	0,22	0,19	0,39	0,29
Индекс видового богатства Марглефа D_{Mg}	0,94	2,38	1,18	1,97	1,94	1,38	1,63
Индекс видового богатства Менхинника D_{Mn}	0,59	1,34	0,91	0,87	0,84	0,63	0,86
Индекс Симпсона С	0,32	0,20	0,34	0,25	0,00	0,41	0,30
Индекс полидоминантности Симпсона I_p	3,14	4,95	2,98	3,95	-	2,43	3,49

В целом по озеру Жайсан можно заключить, что планктонное сообщество характеризуется низким уровнем выравненности, что указывает на доминирование отдельных видов в большинстве зон. Несмотря на средний уровень биоразнообразия ($H = 0,57$), низкий показатель равномерности ($E = 0,29$) указывает на неустойчивость сообществ. Наиболее стабильное и устойчивое сообщество наблюдается на станции Волчий, где выше как индекс Шеннона, так и равномерность распределения видов, что позволяет поддерживать сбалансированное и устойчивое сообщество в этом районе озера.

Заключение. Полученные результаты дают представление о биоразнообразии и устойчивости гидробионтов озера Жайсан на 2024 год. Наибольшее разнообразие отмечено среди зоопланктона, в то время как ихтиофауна и бентос демонстрируют умеренную устойчивость и разнообразие. Данные исследования могут использоваться для разработки стратегий по сохранению и управлению биоразнообразием озера Жайсан.

Информацию о финансировании. Исследование финансируется Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан в рамках гранта № BR23591095.

Список литературы

1. *Методическое пособие при гидробиологических рыбохозяйственных исследованиях водоемов Казахстана (планктон, зообентос). Издание 2-ое переработанное и дополнение Алматы, 2018. – 43с.*
2. Правдин И.Ф. *Руководство по изучению рыб.* – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с.
3. Чугунова Н.И. *Методика изучения возраста и роста рыб.* – М.: Советская наука, 1952. – 380 с.
4. Никольский Г.В. *Теория динамики стада рыб.* – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 448 с.
5. Никольский Г.В. *Экология рыб.* – М.: Высшая школа, 1974. – 376 с.
6. Андреев А.В. *Оценка биоразнообразия, мониторинг и экосети.* – Кижинев:БИОТИСА, -2002, 168 с.
7. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных*

вод и донных отложений/ Абакумов В. А. (ред.). – Л.: Гидрометеиздат, – 1983, – 239 с.

8. *Унифицированные методики исследования качества воды. Ч. III: Методы биологического анализа вод.* – М.: СЭВ, – 1983, – 365 с.

9. *Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям.* – Казань: КФУ, – 2015, – 44 с.

10. Песенко Ю. А. *принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях.* – М.: Наука, 1982, 288 с.

11. Chao A., Hwang W. H., Chen Y. C., Kuo C. Y. *Estimating the number of shared species in two communities.* // *Stat. Sinic.*, 2000, Vol. 10, No 1, P. 227-246.

References

1. *Metodicheskoe posobie pri gidrobiologicheskikh rybohozyajstvennyh issledovaniyah vodoemov Kazahstana (plankton, zoobentos). Izdanie 2-oe pererabotannoe i dopolnenie Алматы, 2018. – 43 s.*

2. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb.* – М.: Pishchevaya promyshlennost', 1966. – 376 s.

3. Chugunova N.I. *Metodika izucheniya vozrasta i rosta ryb.* – М.: Sovetskaya nauka, 1952. – 380 s

4. Nikol'skij G.V. *Teoriya dinamiki stada ryb.* – М.: Pishchevaya promyshlennost', 1974. – 448 s.

5. Nikol'skij G.V. *Ekologiya ryb.* – М.: Vysshaya shkola, 1974. – 376 s.

6. Andreev A. V. *Ocenka bioraznoobraziya, monitoring i ekoseti.* – Kishinev:BIOTICA, -2002, 168 s.

7. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij/ Abakumov V. A. (red.).* – L.: Gidrometeoizdat, – 1983, – 239 s.

8. *Unificirovannye metodiki issledovaniya kachestva vody. Ch. III: Metody biologicheskogo analiza vod.* – М.: SEV, – 1983, – 365 s.

9. *Metody ocenki kachestva vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam.* – Kazan': KFU, – 2015, – 44 s.

10. Pesenko Yu. A. *principy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyah.* – М.: Nauka, 1982, 288 s.

11. Chao A., Hwang W. H., Chen Y. C.,

Kuo C. Y. Estimating the number of shared species in two communities. // Stat. Sinic., 2000, Vol. 10, No 1, P. 227-246.

**Материал поступил в редакцию
13.07.2024**

**Жайсан көлінің ихтиоценоздары
мен гидробиоценоздарының
биоалуантүрлілігі мен
тұрақтылығын заманауи бағалау**

Аңдатпа

Мақалада Жайсан көлінің гидробионт қауымдастықтарының биоалуантүрлілігі мен тұрақтылығын талдау ұсынылған. Зерттеулер 2024 жылы көлдің әртүрлі станцияларында жүргізілген балықтардың, зоопланктондардың және макрозообентостардың биоәртүрлілігі мен тұрақтылығын қамтиды. Шеннон-Уивер индекстеріне сүйене отырып, Пиллаудың туралану өлшемі, Маргалей түрінің байлық индексі, Менхинник түрінің байлық индексі және Симпсонның полидоминанттылық индексі зерттелетін биотоптардағы түрлердің әртүрлілігі мен үстемдігін бағалады. Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі қаржыландырады (Грант — № Br23591095)

Зерттеудің мақсаты-Зайсан көлінің биоалуантүрлілігінің құрылымы мен тұрақтылығын талдау. Зайсан көлі Шығыс Қазақстанның маңызды су айдыны болып табылады және өңірдің экологиялық тепе-теңдігін сақтауда маңызды рөл атқарады. Гидробионт қауымдастықтарының фауналық құрамы мен құрылымын зерттеу көлдің биоресурстарын тиімдірек басқаруға және сақтауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: Жайсан көлі, биоалуантүрлілік, тұрақтылық, ихтиофауна, макрозообентос, зоопланктон, индекстер.

Материал баспаға 13.07.24 түсті

**Modern assessment of biodiversity
and sustainability of ichthyocenoses
and hydrobiocenoses of Lake Zhaysan**

Summary

The article presents an analysis of the biodiversity and sustainability of the communities of aquatic organisms of Lake Zhaysan. The research covers the biodiversity and sustainability of fish, zooplankton and macrozoobenthos, conducted at various stations of the lake in 2024. On the basis of the Shannon-Weaver indices, Pillau Equalization Measure, Margalef Species Richness Index, Menhinnik Species Richness Index and Simpson polydominance index, the diversity and dominance of species in the studied biotopes were estimated. The study is funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan (Grant no. BR23591095).

The purpose of the study is to analyze the structure and sustainability of the biodiversity of Lake Zaisan. Lake Zaisan is an important body of water in East Kazakhstan and plays a significant role in maintaining the ecological balance of the region. The study of the faunal composition and structure of hydrobiont communities makes it possible to more effectively manage and preserve the bioresources of the lake.

Key words: lake Jaisan, biodiversity, sustainability, ichthyofauna, macrozoobenthos, zooplankton, indices.

Material received on 13.07.24

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.