

УДК 504.455

**Абдыралиева Алтынай Абдыралиевна**  
*магистрант, КТУ «Манас»*

**Тотубаева Нурзат Эрмековна**  
*доцент, к.б.н. КТУ «Манас»*

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДЫ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ ПО ИНДЕКСУ ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ (TSI)**

### **ЫСЫК-КӨЛДҮН СУУСУНУН ЭКОЛОГИЯЛЫК АБАЛЫНА ТРОФИКАЛЫК АБАЛ ИНДЕКСТИН (TSI) ЖАРДАМЫ МЕНЕН БАА БЕРҮҮ**

### **ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF WATER OF LAKE ISSYK-KUL BY TROPHIC STATE INDEX (TSI)**

**Аннотация.** Осуществление комплексной оценки экологического состояния воды озера Иссык-Куль и разработка действенных мер и рекомендаций по сохранению экологического баланса экосистемы озера является актуальной задачей ученых экологов страны. В стране имеются данные многолетних мониторинговых анализов, но имеется потребность в их обработке и проведении прогностических анализов. Одной из таких техник является индекс трофического уровня воды озера. Проведенные анализы показали, что трофический статус озера подвергается временным и пространственным изменениям. В целом озеро относится по трофическому состоянию к олиготрофному водоему, где главные биогенные элементы низкие и не превышают ПДК в воде. Но, согласно индексу трофического состояния, с. Чок-Тал оценивается как наиболее загрязненный регион, в пунктах исследования г.Балыкчы, г.Чолпон-Ата, с.Григорьевка и с.Бостери наблюдается изменение трофического состояния водных экосистем от олиготрофного к мезотрофному. Это свидетельствует о повышении концентрации питательных веществ, таких как азот и фосфор, в водных системах. Использование индекса трофического состояния позволяет оценить качество воды озера более детально и комплексно. Рекомендуется его широкое применение как производственниками так и научными сотрудниками.

**Ключевые слова:** эвтрофикация, экологическая оценка экосистем, устойчивое развитие, трофический статус, загрязнение водоемов

**Аннотация.** Ысык-Көлдүн суусунун экологиялык абалына комплекстүү баа берүүнү жүргүзүү жана көлдүн экосистемасынын экологиялык тең салмактуулугун сактоо боюнча эффективдүү чараларды жана сунуштарды иштеп чыгуу өлкөнүн эколог окумуштууларынын актуалдуу милдети болуп саналат. Өлкөдө узак мөөнөттүү мониторингдик анализдер бар, бирок аларды кайра иштетүү жана болжолдуу анализдерди жүргүзүү зарыл. Мындай ыкмалардын бири – көл суунун трофикалык деңгээлинин индекси. Көлдүн трофикалык статусу убактылуу жана мейкиндик өзгөрүүлөргө дуушар болоорун анализдер көрсөттү. Жалпысынан көл трофикалык статусу боюнча олиготрофтук суу объектилерине кирет, мында негизги биогендик элементтер аз жана кабыл алынган ЧДК ашпайт. Бирок, трофикалык абалдын индекси боюнча, с. Чок-Тал эң булганган аймак катары бааланып, Балыкчы, Чолпон-Ата, Григорьевка жана Бостери изилдөө участкакторунда суу экосистемаларынын

трофикалык абалынын олиготрофтуктан мезотрофтукка өзгөрүүсү байкалат. Бул суу системаларында азот жана фосфор сыяктуу биогендик заттардын концентрациясынын жогорулагандыгын көрсөтүп турат. Трофикалык денгээл индексин колдонуу көлдүн суунун сапатын деталдуу жана комплекстүү баалоого мүмкүндүк берет жана аны чарба кызматкерлерине да, илимий кызматкерлерге да кеңири колдонуу үчүн сунушталат.

**Негизги сөздөр:** эвтрофикация, экосистемаларды экологиялык баалоо, туруктуу өнүгүү, трофикалык статус, суу объектилеринин кирденүүсү

**Abstract.** Implementation of complex assessment of the ecological state of water of Lake Issyk-Kul and development of effective measures and recommendations on preservation of ecological balance of the lake ecosystem is an actual task of scientists of ecologists of the country. The country has long-term monitoring analyses, but there is a need for their processing and carrying out predictive analyses. One of such techniques is the index of trophic level of lake water. Analyses have shown that the trophic status of the lake is subject to temporal and spatial changes. In general, the lake belongs to oligotrophic water body by trophic status, where the main biogenic elements are low and do not exceed MAC in water. But, according to the trophic state index, c. Chok-Tal is assessed as the most polluted region, in the study sites of Balykchy, Cholpon-Ata, Grigorievka and Bosteri there is a change in the trophic state of aquatic ecosystems from oligotrophic to mesotrophic. This indicates an increase in the concentration of nutrients such as nitrogen and phosphorus in aquatic systems. The use of the trophic state index allows assessing the water quality of the lake in a more detailed and comprehensive manner and is recommended for its wide application by both industrial and research workers.

**Keywords:** eutrophication, ecological assessment of ecosystems, sustainable development, trophic status, pollution of water bodies.

### Введение

Оценка экологического состояния является важной процедурой в исследованиях ручьев, рек и озер, поскольку она оценивает вероятность того, что неблагоприятные последствия могут возникнуть или происходят в результате воздействия таких факторов стресса, как химические загрязнители и изменения среды обитания. Это также может помочь в сохранении и восстановлении деградированных или нарушенных экосистем [1].

Увеличение численности населения и туристов, в частности, все еще слабая инфраструктура очистки сточных вод, а также антропогенная эвтрофикация, связанная с избыточным поступлением питательных веществ из бытовых сточных вод, сельскохозяйственных и городских стоков, угрожают различным видам водопользования в мире [2]. Вырубка лесов, сельскохозяйственная деятельность и урбанизация часто изменя-

ют характеристики поверхности земли, вызывают изменения объема стока, вызывают изменения температуры воды, увеличивают производство водорослей и приводят к снижению концентрации кислорода в водных ресурсах [3]. Ухудшение качества воды, связанное с эвтрофикацией имеет очень существенные негативные экономические последствия, таким образом, оценка трофического состояния быстро привлекает все большее внимание общественности и правительств во всем мире [4].

Эвтрофикация является широко распространенным явлением в озерных водах по всему миру и является одной из величайших экологических проблем, стоящих перед человечеством [4]. Диффузное загрязнение N и P является основной движущей силой эвтрофикации. Чрезмерное поступление питательных веществ может стимулировать цветение водорослей, что приводит к снижению светопрозрачности и низкому

уровню кислорода, что затем приводит к появлению большого количества вредных водорослей и ускоряет процесс эвтрофикации в толще воды [5]. Следовательно, необходимо количественно оценить влияние увеличения количества питательных веществ на биомассу фитопланктона и определить, какие питательные вещества ограничивают рост фитопланктона, что является важным шагом в формировании эффективных стратегий управления озерами и водосборными бассейнами [3].

Основными эффектами эвтрофикации озера являются увеличение биомассы фитопланктона, где часто доминируют цианобактерии, снижение прозрачности воды и четкая разница между поверхностными слоями, богатыми кислородом, и дезоксигенированным гипolimнионом. Гипоксия в гипolimнионе приводит к внутренней нагрузке фосфором, выделяемым осадком, что, в свою очередь, усиливает эвтрофикацию системы [6].

Эвтрофикация была одной из главных угроз качеству воды в озерах и водохранилищах с 1960-х годов. Несмотря на ряд исследовательских работ, проведенных за последние пять десятилетий, эвтрофикация остается серьезной проблемой во всем мире. Более 40% озер являются эвтрофными и подвержены цветению водорослей. Вопросы, требующие решения, по-прежнему касаются взаимодействия между питательными веществами, главным образом фосфором, который, как правило, является основной причиной эвтрофикации озер, и экологическим функционированием. За последние два десятилетия появились новые проявления эвтрофикации [7].

В различных водных местообитаниях существует устойчивая взаимосвязь между общим содержанием фосфора (P) и биомассой фитопланктона. Концентрация хлорофилла а (Chl-a) является широко используемым методом измерения биомассы фитопланктона [8]. Chl-a является хорошим индикатором реакции биомассы фитопланктона в биологических анализах. Поэтому Chl-a часто используется для отражения ис-

тинного роста биомассы фитопланктона [9-10]. Наиболее распространенным способом борьбы с эвтрофикацией является снижение нагрузки питательными веществами внутри и снаружи резервуара, особенно P и N, для уменьшения биомассы водорослей [11]. Долгое время фосфор считался основным питательным веществом, ограничивающим рост фитопланктона в озерных экосистемах, и усилия по управлению обычно сосредоточены на контроле нагрузки фосфором. На хлорофилл водорослей в системах воды в основном влияет общий фосфор. Хлорофилл водорослей в прибрежных и морских системах, как правило, контролируется TN, а некоторые водные системы совместно ограничены, особенно в высокогорных районах [12].

Эвтрофикация озер и водохранилищ долгое время изучалась исследователями, что позволило разработать многочисленные модели эвтрофикации и классифицировать эти среды в соответствии с их трофическими состояниями. Традиционно трофические категории связаны с нагрузкой на питательные вещества и/или концентрацией питательных веществ в озере [9]. P и N являются основными ограничивающими питательными веществами для производства водных водорослей. Отношение общей массы N (TN) к общей массе P (TP) является хорошим показателем для оценки удобства использования этих двух элементов путем создания пространственных и временных экологически значимых шкал. Эвтрофные озера обычно имеют более высокие показатели TN: TP по сравнению олиготрофными озерами, и озера постоянно меняются в зависимости от его трофических состояний [2].

Понятие трофического состояния было введено для того, чтобы классифицировать озерные экосистемы с точки зрения продуктивности. Индекс трофического состояния (TSI) помогает управлению водными ресурсами, обеспечивая группировку и организацию данных. Трофическая классификация озерных экосистем классически различает три типа озер: олиготрофные, мезотроф-

ные и эвтрофные. Для введения количественной оценки трофического состояния были предложены индексы трофического состояния (TSI), такие как хлорофилл (TSI-Chl), общий фосфор (TSI-TP), общий азот (TSI-TN) и глубиной диск Секки (TSI-SD). TSI были впервые предложены Карлсоном (1977) для определения взаимосвязей между хлорофиллом (Chl-a), общим фосфором (TP) и глубиной диска Секки (SD) в озерах умеренных регионов. Среди этих четырех индексов TSI-Chl, вероятно, дает наиболее точные показатели, поскольку он является наиболее точным предсказателем биомассы фитопланктона [13].

Трофическое состояние является важной характеристикой, которая глубоко связана с антропогенным воздействием (изменения в землепользовании, ирригация, городское развитие и т.д.) на функционирование экосистемы, качество воды и практичен для долгосрочного мониторинга и управления [14].

#### **Материалы и методы исследований**

Иссык-Кульская область расположена на северо-востоке Кыргызской Республики. Общая площадь региона составляет 43,1 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 21,58% от общей площади республики, расположенной на высоте 1609 м над уровнем моря.

Рельеф региона разделен на 2 основные части: Иссык-Кульскую котловину и Иссык-Кульские обнажения. Иссык-Кульская котловина ограничена с севера и юга горными хребтами Кунгей и Тескей Ала-Тоо, ее длина с востока на запад составляет 240 км, а ширина около 100 км. Единственный естественный путь выхода из долины в Чуйскую долину — река Чуй, протекающая через Боомское ущелье. Иссык-Куль занимает центральную часть. Иссык-Кульская котловина — одно из красивейших горных озер северо-восточного Тянь-Шаня. Глубина — 702 м, площадь бассейна с учетом площади озера — 22080 км<sup>2</sup>, площадь водного зеркала — 6236 км<sup>2</sup> (Атлас, 1987). Озеро окруже-

но равниной, узкая полоса берега песчаная, реже галечная, местами цементированный песок, местами заболоченный.

Климат Северо-Восточного Кыргызстана формируется под влиянием замерзания Иссык-Куля и имеет морские черты: мягкая зима, относительно теплое лето, годовые изменения температуры воздуха [15].

Горный массив и бассейн Иссык-Куля являются ценным пространством с точки зрения туризма, позволяющим организовать различные виды лечения. В частности, отдых и досуг: все виды лечебных процедур, купание, солнечные ванны, катание на водных и горных лыжах, скалолазание и различные виды развлекательной деятельности. Иссык-Куль и окружающие его горные ландшафты являются основой всех рекреационных ресурсов региона. Иссык-Куль не замерзает зимой, оказывает смягчающее воздействие на климат региона, его вода обладает лечебными свойствами, температура слишком высока для горного водоема. Территория бассейна Иссык-Куля пригодна и доступна для рекреационной деятельности в течение всего года, но более привлекательными и эффективными считаются летний и осенний сезоны с продолжительным купальным сезоном.

С 2001 года Иссык-Кульская биосферная область включена в планетарную сеть биосферных заповедников Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), которая создана как территория сохранения мирового исторического и культурного наследия. Являясь одним из крупнейших биологических заповедников мира, находящихся под эгидой ЮНЕСКО, Иссык-Кульская биосферная область имеет статус особо охраняемой природной территории республиканского значения [16].

В 2002 году Кыргызстан присоединился к Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях международного значения как среде обитания водоплавающих птиц.

### Места проведения мониторинга

Для обеспечения эффективности проводимых на озере исследований были выбраны семь различных участков в соответствии с состоянием озера, удаленностью от источ-

ников загрязнения, различными глубинами, источниками питания озера, средней точкой озера и местами сброса воды. Площадки мониторинга качества воды приведены в табл. 1, а станции отбора проб - на рис. 1.

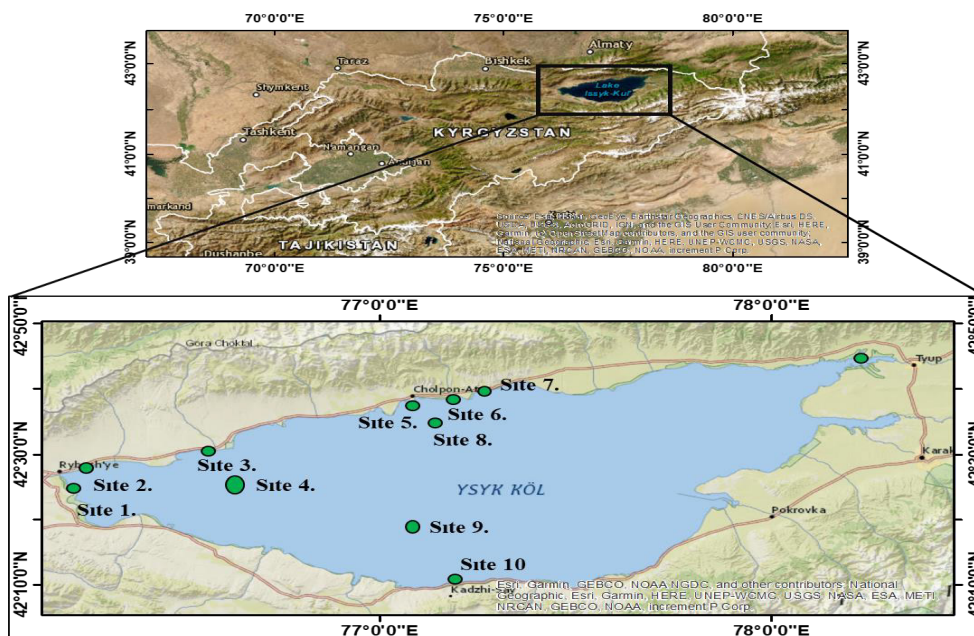


Рис. 1. Район исследований, точка отбора проб.

Таблица 1. Объекты мониторинга качества воды

№	Адрес
№ 1	г. Балыкчы,
№ 2	г. Балыкчы, район нового порта
№ 3	с.Чок-Тал
№ 4	с. Чок-Тал № 11а
№ 5	г. Чолпон-Ата
№ 6	с. Григорьевка
№ 7	с. Бостери
№ 8	с.Григорьевка, 500 м от берега
№ 9	г. Чолпон-Ата №25
№ 10	с. Каджи-Сай

Исследование химического и биологического состояния и проведение гидроэкологической оценки являются важными ша-

гами для оценки экологического состояния озера Иссык-Куль. В таблице 2 содержится описание методов, используемых для анализа азота, фосфора и хлорофилла-а.

Таблица 1

Параметры	Abbreviation	Ед.изм	Методы
<b>Total nitrogen</b>	TN	mg/L	ГОСТ 33045- 2014
<b>Chlorophyl-a</b>	Chl-A	mg/L	ГОСТ 17.1.4.02-90
<b>Total phosphorus</b>	TP	mg/L	ГОСТ 18309-2014
<b>Secchi 's disk</b>	SD	m	РД 52.24.496-2018

### Индекс трофического состояния

Карлсон (1977) предложил измерять трофическое состояние водоема в соответствии с его значением TSI, которое делит озера на четыре основных класса: олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные и гиперэвтрофные. Модель TSI Карлсона, которая была разработана для использования в озерах с небольшим количеством укоренившихся водных растений и мутностью, не связанной с водорослями, полезна для сравнения озер в регионе и оценки изменений в трофическом состоянии, которые происходят с течением времени. Переход озера из олиготрофного состояния в эвтрофное можно рассчитать

по измерениям TP, SD и Chl-a. Индекс Карлсона обладает такими преимуществами, как простота применения и небольшие требования к данным. Карлсон произвел расчеты, используя концентрации SD, Chl-a и TP. Кратцер и Брезоник (1981), в результате своих исследований по определению сезонного ограничения содержания азота в озерах, также включили концентрацию TN в индекс типа Карлсона, основанный на общей концентрации азота. Каждые 10 единиц в этой системе представляют собой уменьшение глубины Секки наполовину, увеличение концентрации хлорофилла на треть и удвоение общего количества фосфора [17-19]. Классификация этих индексов приведена в ниже [2].

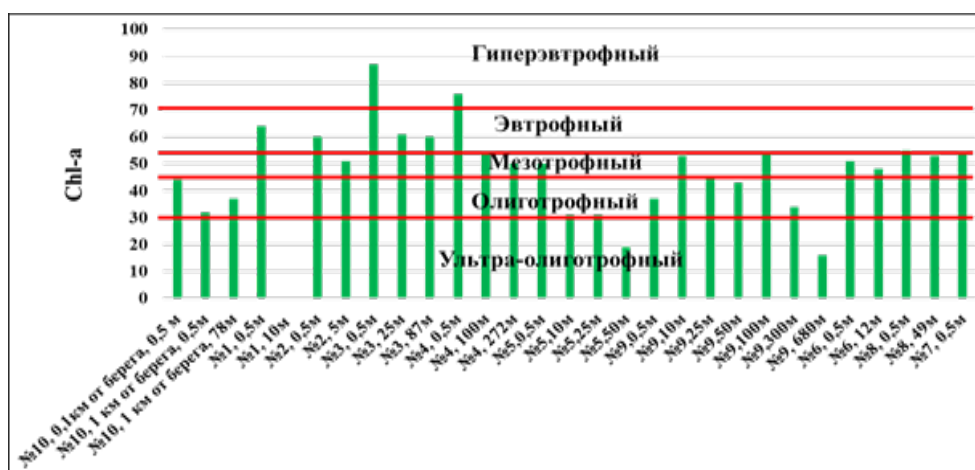
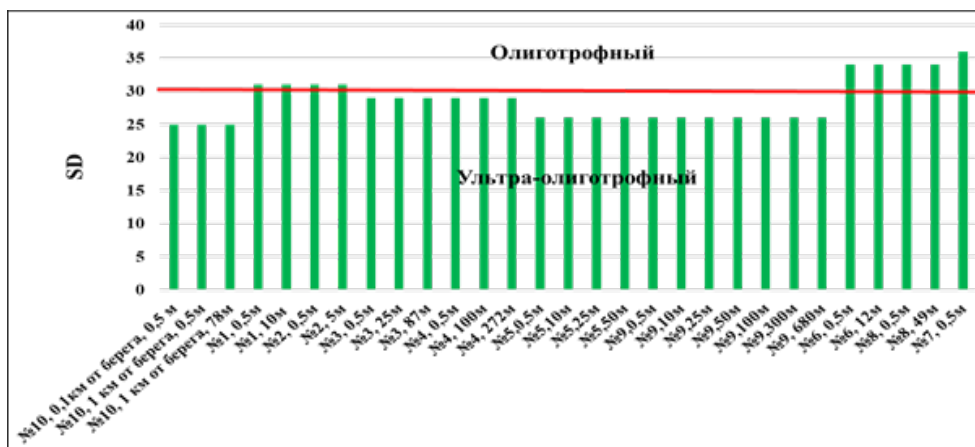
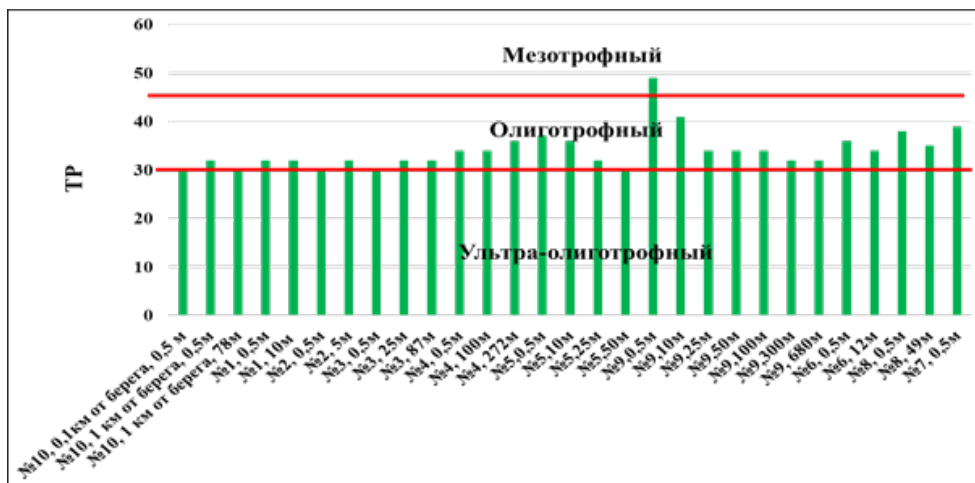
$$TSI (Chl - a, \mu gL^{-1}) = 10 \times \left[ 6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl - a}{\ln 2} \right]$$

$$TSI (TP, \mu gL^{-1}) = 10 \times \left[ 6 - \ln \left( \frac{48}{TP} \right) / \ln 2 \right]$$

$$TSI (SD, m) = 10 \times [6 - \ln SD / \ln 2]$$

$$TSI (TN, mgL^{-1}) = 10 \times \left[ 6 - \ln \left( \frac{1.47}{TP} \right) / \ln 2 \right]$$





**Заключение**

Полученные нами результаты показывают, что трофический статус озера подвергается временным и пространственным изменениям.

В целом, изученные участки можно рассматривать в качестве модельных объектов, имеющих широкий диапазон трофности,

что позволяет провести сравнение разных методов оценки трофического состояния озер на основе различных критериев. Предлагаемый индекс Карлсона по определению трофического состояния озер и водохранилищ может использоваться для прогнозирования и использования в целях определения рыбохозяйственного потенциала в других озерах и водоемах



В данном исследовании было выявлено, что озеро относится по трофическому состоянию к олиготрофному водоему, где главные биогенные элементы низкие и не

превышают ПДК в воде. Но есть большая вероятность того, что при увеличении антропогенного воздействия эвтрофирование озера может произойти быстрее, чем в естественных условиях.



**Рис.2.** Визуальная карта полученных результатов

Исходя из предоставленной информации, можно сделать следующие выводы:

Согласно Индексу трофического состояния, село Чок-Тал оценивается как наиболее загрязненный регион. Это указывает на высокую концентрацию питательных веществ в водной среде, что может вызвать экологические проблемы, такие как цветение водорослей и ухудшение качества воды.

В регионах Балыкчи, Чолпон-Ата, селе Григорьевка и селе Бостери наблюдается изменение трофического состояния водных экосистем от олиготрофного (низкой пита-

тельности) к мезотрофному (умеренной питательности). Это свидетельствует о повышении концентрации питательных веществ, таких как азот и фосфор, в водных системах.

Самым чистым регионом в данном контексте оказывается Каджи-Сай, где, вероятно, сохраняется более низкая концентрация питательных веществ и, следовательно, лучшее качество воды.

Эта информация подчеркивает важность мониторинга и управления качеством водных ресурсов в различных районах для поддержания экологического баланса и обеспечения устойчивости водных экосистем.

#### Список использованной литературы:

1. Choi, J. W., Han, J. H., Park, C. S., Ko, D. G., Kang, H. I., Kim, J. Y., ... & An, K. G. (2015). Nutrients and sestonic chlorophyll dynamics in Asian lotic ecosystems and ecological stream health in relation to land-use patterns and water chemistry. *Ecological Engineering*, 79, 15-31.
2. Bilgin, A. (2020). Trophic state and limiting nutrient evaluations using trophic state/level index methods: a case study of Borçka Dam Lake. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-19.
3. Ding, J., Jiang, Y., Fu, L., Liu, Q., Peng, Q., & Kang, M. (2015). Impacts of land use on surface water quality in a subtropical river basin: a case study of the dongjiang river basin, South-eastern China. *Water (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/w7084427>

4. Wang, Y., Kong, X., Peng, Z., Zhang, H., Liu, G., Hu, W., & Zhou, X. (2020). Retention of nitrogen and phosphorus in Lake Chaohu, China: implications for eutrophication management. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 41488-41502.
5. Kast, J. B., Apostel, A. M., Kalcic, M. M., Muenich, R. L., Dagnew, A., Long, C. M., ... & Martin, J. F. (2021). Source contribution to phosphorus loads from the Maumee River watershed to Lake Erie. *Journal of Environmental Management*, 279, 111803.
6. Dodds, W. K., & Smith, V. H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, 6(2), 155-164.
7. Le Moal, M., Gascuel-Oudou, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Étrillard, C., Levain, A., ... & Pinay, G. (2019). Eutrophication: a new wine in an old bottle?. *Science of the total environment*, 651, 1-11.
8. Liu, L., Zheng, X., Wei, X., Kai, Z., & Xu, Y. (2021). Excessive application of chemical fertilizer and organophosphorus pesticides induced total phosphorus loss from planting causing surface water eutrophication. *Scientific Reports*, 11(1), 23015.
9. Chalar, G., Arocena, R., Pacheco, J. P., & Fabián, D. (2011). Trophic assessment of streams in Uruguay: a trophic State Index for Benthic Invertebrates (TSI-BI). *Ecological Indicators*, 11(2), 362-369.
10. Chalar, G., Delbene, L., González-Bergonzoni, I., & Arocena, R. (2013). Fish assemblage changes along a trophic gradient induced by agricultural activities (Santa Lucía, Uruguay). *Ecological Indicators*, 24, 582-588.
11. Vinçon-Leite, B., & Casenave, C. (2019). Modelling eutrophication in lake ecosystems: a review. *Science of the Total Environment*, 651, 2985-3001.
12. Janssen, A. B., Hilt, S., Kosten, S., de Klein, J. J., Paerl, H. W., & Van de Waal, D. B. (2021). Shifting states, shifting services: Linking regime shifts to changes in ecosystem services of shallow lakes. *Freshwater Biology*, 66(1), 1-12.
13. Adamovich, B. V., Medvinsky, A. B., Nikitina, L. V., Radchikova, N. P., Mikheyeva, T. M., Kovalevskaya, R. Z., ... & Zhukova, T. V. (2019). Relations between variations in the lake bacterio-plankton abundance and the lake trophic state: Evidence from the 20-year monitoring. *Ecological indicators*, 97, 120-129.
14. Abell, J. M., Ozkundakci, D., Hamilton, D. P., van Dam-Bates, P., & Mcdowell, R. W. (2019). Quantifying the extent of anthropogenic eutrophication of lakes at a national scale in New Zealand. *Environmental Science & Technology*, 53(16), 9439-9452.
15. Алияскаров, М., Сариева, М., & Дженбаев, Б. М. (2018). Определение трофического состояния озера Иссык-Куль. *Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. КИ Скрябина*, (2), 256-261.
16. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. – 2004. – 294 с.
17. Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes 1. *Limnology and oceanography*, 22(2), 361-369.
18. Cunha, D. G. F., do Carmo Calijuri, M., & Lamparelli, M. C. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI<sub>tr</sub>). *Ecological Engineering*, 60, 126-134.
19. Papastergiadou, E., Kagalou, I., Stefanidis, K., Retalis, A., & Leonardos, I. (2010). Effects of anthropogenic influences on the trophic state, land uses and aquatic vegetation in a shallow Mediterranean lake: implications for restoration. *Water resources management*, 24, 415-435.