

Г.Т. Фрумин, Жань-жань Хуан

ДИНАМИКА ТРОФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ТАЙХУ

G.T. Frumin, Zhan-zhan Khuan

DYNAMIC OF THE TROPHIC STATUS OF LAKE OF TAIHU

Методом Карлсона проведена оценка трофического состояния озера Тайху за период 198–2010 гг. Установлено, что озеро Тайху характеризуется как эвтрофное. Выявлен тренд повышения индекса Карлсона с 61,3 за период 1985–1989 гг. до 69,0 за период с 2005–2009 гг.

Ключевые слова: озеро Тайху, эвтрофирование, трофический уровень, метод Карлсона.

In the article the dynamic of the trophic status of Lake Taihu during 1985–2010 is described. As a whole the Lake Taihu is characterized as eutrophic. The trend of increase of an index of Carlson with 61.3 for the period 1985–1989 up to 69.0 for the period about 2005–2009 is revealed.

Key words: Lake Taihu, eutrophication, trophic status, Carlson's trophic state index.

Озеро Тайху – крупное озеро в дельте р. Янцзы, на границе провинций Цзянсу и Чжэцзян (Китай) (рис. 1).

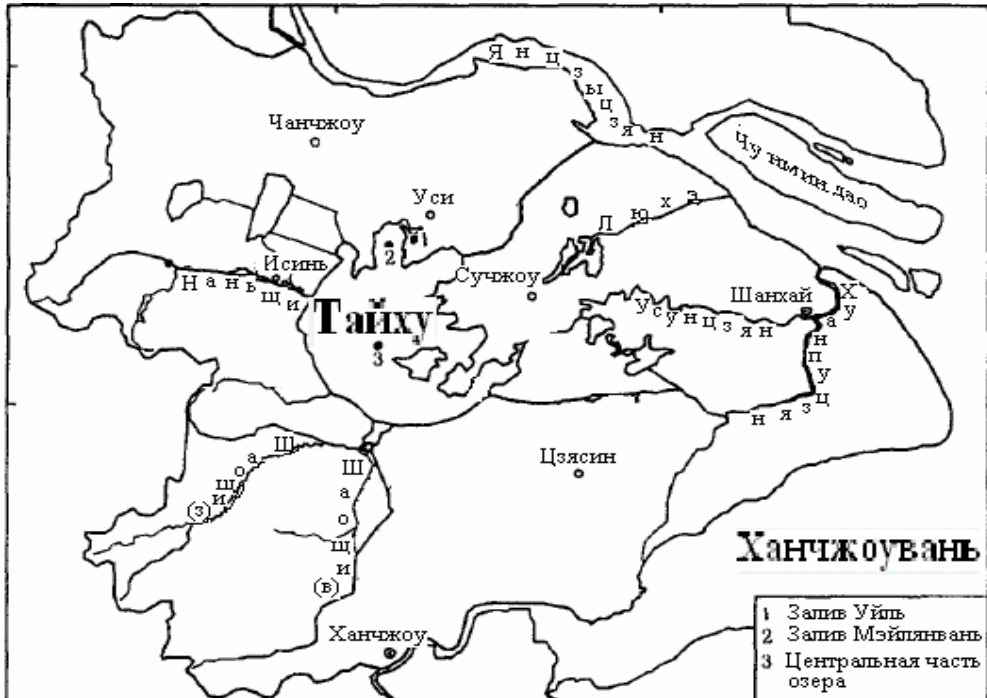


Рис. 1. Схема озера Тайху и его бассейна

Географические координаты озера: 31°10'00'' с.ш. и 120°09'00'' в.д. Озеро Тайху соединено со знаменитым Великим китайским каналом. В озере берет начало несколько рек, в том числе Сучжоухэ. На озере стоят уникальные известняковые скалы, материал из которых используется китайскими умельцами для украшения традиционных китайских садов в регионе. На Тайху около 90 островов, некоторые из них совсем крошечные (всего несколько метров в длину), а некоторые протянулись на несколько километров. Озеро Тайху третье по величине пресноводное озеро в Китае, после Поянху (объем 25,2 км³, средняя глубина 8,4 м) и Дунтинху (объем 17,8 км³, средняя глубина 6,7 м) (табл. 1). Озеро используется для рыболовства (≅ 13 696 т/год), навигации и туризма [7, 9].

Таблица 1

Физико-географические характеристики озера Тайху

Характеристика	Величина	Характеристика	Величина
Площадь, км ²	2427,8	Максимальная глубина, м	2,6
Объем, км ³	4,3	Средняя глубина, м	1,9
Длина, км	≅ 60	Время полного водообмена, год	0,79
Ширина, км	≅ 45	Площадь водосбора, км ²	34207,7

Температура воды озера варьирует в широком интервале от минимального значения 4,3 °С в январе до максимального 31,9 °С в июле (усредненные данные за период 1985–2010 гг.) (рис. 2).

По ориентировочным расчетам, плотность населения на водосборе примерно 877 чел./км², что соответствует численности населения 30 000 000 человек.

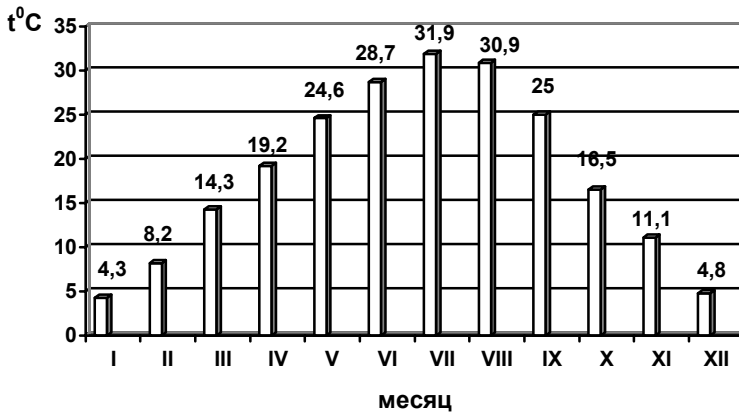


Рис. 2. Внутригодовая динамика температуры воды озера Тайху (усредненные данные за период 1985–2010 гг.)

Бассейн озера Тайху располагается вблизи дельты р. Янцзы, на территории промышленно развитых приморских провинций Цзянсу и Чжэцзян. Города Исин, Сучжоу, Уси, Цзясин и Хучжоу составляют основные промышленные и

сельскохозяйственные зоны вокруг озера. Промышленные сточные воды, поступающие в озеро, содержат химические соединения текстильной, фармацевтической, металлургической, пищевой и целлюлозно-бумажной отраслей народного хозяйства. Наряду с ними в озеро поступают соединения азота и фосфора, содержащиеся в коммунально-бытовых и сельскохозяйственных стоках. Поступление общего фосфора оценивается величиной 264,74 т/год, а общего азота – 4041,8 т/год. В результате в озере накапливается значительное количество загрязняющих и биогенных веществ. Таким образом, основные экологические проблемы озера Тайху – это токсикофикация и эвтрофикация.

Эвтрофикация – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных и естественных (природных) факторов. Между эвтрофикацией и химическим загрязнением (токсикофикацией) имеется существенная разница, заключающаяся, прежде всего, в том, что загрязнение обусловлено сбросом токсических веществ, подавляющих биологическую продуктивность водоемов, а эвтрофикация до известной степени повышает продуктивность.

В эвтрофикации водоемов принимают участие два главных биогенных элемента – азот и фосфор. Если $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}}$ (отношение содержания минерального азота к содержанию минерального фосфора) меньше 10, то первичная продукция фитопланктона лимитируется азотом, при $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}} > 17$ – фосфором, при $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}} = 10-17$ – азотом и фосфором одновременно [6]. Расчеты $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}}$ для различных субакваторий озера Тайху показали, что во всех случаях это отношение существенно превышает 17 (для залива Уйль $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}} = 249$, для залива Мэйлянвань $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}} = 150$, для центральной части озера $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}} = 185$). Таким образом, лимитантом первичной продукции в озере Тайху является фосфор.

В связи с изложенным цель данного исследования заключалась в оценке динамики трофического состояния озера Тайху за период 1985–2010 гг.

Материалы и методы исследования

В работе [1] по литературным обобщениям приведены критерии трофности водных экосистем, список которых включает 51 критерий.

В данном исследовании для оценки трофического состояния озера был использован индекс Карлсона [5]. Этот индекс представляет собой среднее арифметическое (TSI) трех индексов, учитывающих содержание хлорофилла «а» – TSI(Chl), глубину видимости диска Секки – TSI(SD) и содержание общего фосфора – TSI(TP). Расчеты индексов проводили по формулам:

$$\text{TSI(Chl)} = 30,6 + 9,81 \cdot \ln[\text{Chl}]; \quad (1)$$

$$\text{TSI(SD)} = 60 - 14,14 \cdot \ln[\text{SD}]; \quad (2)$$

$$\text{TSI(TP)} = 4,15 + 14,42 \cdot \ln[\text{TP}]. \quad (3)$$

Согласно шкале Р. Карлсона, олиготрофному состоянию соответствует величина $\text{TSI} < 30$, мезотрофному $\text{TSI} = 40-50$, эвтрофному интервал варьирова-

ния TSI от 50 до 70, а гипертрофному – от 70 и более. Первичные данные для расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Лимнологические характеристики озера Тайху

Год	Chl <i>a</i> , мг/м ³	TP, мг/м ³	SD, м
1985	19,5	25,9	0,615
1986	19,0	31,3	0,573
1987	22,6	29,3	0,524
1988	23,5	43,7	0,559
1989	20,0	46,9	0,535
1990	34,1	61,8	0,479
1991	18,2	69,7	0,523
1992	19,6	71,1	0,523
1993	23,5	117,3	0,488
1994	29,6	62,3	0,473
1995	20,9	82,7	0,447
1996	24,1	91,8	0,410
1997	23,7	106,6	0,386
1998	27,2	101,3	0,422
1999	22,6	85,6	0,465
2000	35,6	122,9	0,418
2001	31,7	105,3	0,438
2002	24,8	78,8	0,414
2003	19,9	73,25	0,388
2004	29,9	81,67	0,376
2005	21,3	78,75	0,349
2006	37,7	94,92	0,256
2007	36,7	150,17	0,388
2008	36,0	73,5	0,406
2009	33,3	56,58	0,607
2010	28,7	43,92	0,69

Результаты и их обсуждение

По данным табл. 2 были рассчитаны значения каждого из трех индексов, учитывающих содержание хлорофилла «а» – TSI(Chl), глубину видимости диска Секки – TSI(SD) и содержание общего фосфора – TSI(TP), а также их среднее арифметическое – индекс Карлсона (TSI) за период 1985–2010 гг. (табл. 3).

Как следует из данных, приведенных в табл. 3, трофическое состояние озера Тайху за период наблюдений 1985–2010 гг. характеризуется как эвтрофное. Только в 2000, 2006 и 2007 гг. трофическое состояние озера характеризуется как гипертрофное.

Для выявления тренда величины TSI весь период наблюдений был разбит на равные интервалы (1985–1989 гг., 1990–1994 гг., 1995–1999 гг., 2000–2004 гг., 2005–2009 гг.). Для каждого из интервалов были рассчитаны средние значения величины TSI. В результате было выявлено наличие тренда, иллюстрируемое рис. 3. Действительно, за период 1985–1989 гг. среднее значение TSI составило

61,3; за период 1990–1994 гг. – 66,0; за период 1995–1999 гг. – 67,8; за период 2000–2004 гг. – 68,4 и за период 2005–2009 гг. – 69,0.

Таблица 3

Динамика трофического состояния озера Тайху

Год	TSI(Chl)	TSI(TP)	TSI(SD)	TSI	Трофическое состояние
1985	59,74	51,08	66,87	59,2	эвтрофное
1986	59,48	53,81	67,87	60,4	эвтрофное
1987	61,19	52,85	69,14	61,1	эвтрофное
1988	61,59	58,62	68,22	62,8	эвтрофное
1989	59,99	59,64	68,84	62,8	эвтрофное
1990	65,22	63,62	70,41	66,4	эвтрофное
1991	59,22	65,35	69,17	64,6	эвтрофное
1992	59,79	65,64	69,17	64,9	эвтрофное
1993	61,57	72,86	70,14	68,2	эвтрофное
1994	63,83	63,73	70,59	66,1	эвтрофное
1995	60,42	67,82	71,39	66,7	эвтрофное
1996	61,82	69,32	72,61	67,9	эвтрофное
1997	61,65	71,48	73,46	68,9	эвтрофное
1998	63,0	70,74	72,2	68,6	эвтрофное
1999	61,19	68,31	70,83	66,8	эвтрофное
2000	65,64	73,53	72,33	70,5	гипертрофное
2001	64,51	71,30	71,67	69,2	эвтрофное
2002	62,10	67,12	72,47	67,2	эвтрофное
2003	59,94	66,07	73,39	66,5	эвтрофное
2004	63,93	67,64	73,83	68,5	эвтрофное
2005	60,61	67,11	74,88	67,5	эвтрофное
2006	66,21	69,80	79,27	71,8	гипертрофное
2007	65,94	76,42	75,34	72,6	гипертрофное
2008	65,75	66,12	72,75	68,2	эвтрофное
2009	64,99	62,34	67,06	64,8	эвтрофное
2010	63,53	58,69	65,25	62,5	эвтрофное

Зафиксированный результат означает, что при сохранении современной нагрузки общим фосфором на озеро Тайху оно в течение ближайшей пятилетки окончательно перейдет из эвтрофного в гипертрофное состояние, так как величина TSI будет более 70.

Согласно проведенным нами расчетам, основанным на модели Фолленвайдера [8], для деэвтрофирования озера Тайху и перехода его в олиготрофное состояние критическая фосфорная нагрузка на озеро не должна превышать $0,037 \text{ гР/м}^2\cdot\text{год}$ или 89 тР/год [4].

Для снижения трофического статуса озера возможно использование различных подходов. Один из основных – очистка (доочистка) коммунально-бытовых и промышленных сточных вод от соединений азота и фосфора. Следует, однако, учитывать, что типичный путь преодоления эвтрофирования – снижение фосфорной нагрузки на водоемы, как правило, трудноосуществим. Необходимо также провести изъятие фосфора, депонированного в донных отложениях, для предотвращения вторичного загрязнения водной массы.

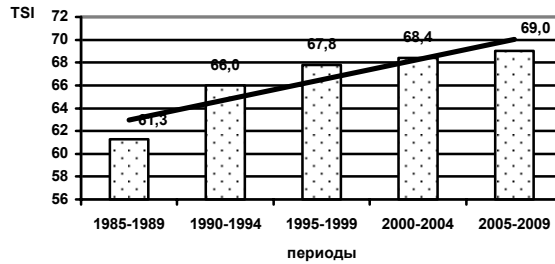


Рис. 3. Динамика индекса Карлсона для озера Тайху

Значительное увеличение массива сине-зеленых водорослей в озере Тайху с апреля 2007 г. вызвало массовый падеж рыбы и ухудшение качества питьевой воды. Для выправления ситуации местные правительства приняли ряд мер, в том числе закрытие прибрежных промышленных предприятий и увеличение поголовья рыбы в озере. С 2009 г. прибрежные города Сучжоу, Уси, Чанчжоу и Хучжоу совместно инициировали проведение «Праздника выпуска рыбы». Более 20 млн мальков рыбы разных пород будут выпущены в озеро Тайху для борьбы с сине-зелеными водорослями, поставившими водоем на грань выживания.

Другие варианты возможной деэвтрофикации озера изложены в работах [2, 3].

Литература

1. *Дмитриев В.В.* Методика диагностики состояния и устойчивости водных экосистем // Эколого-географический анализ состояния природной среды: проблема устойчивости геоэкосистем. – СПб., 1995, с. 41-67.
2. *Измайлова А.В.* Зарубежный опыт восстановления внутренних водоемов (по материалам электронной базы данных «Озера Земли») // Сб. трудов международной научно-практич. Конф. «Теория и практика восстановления внутренних водоемов». – СПб.: Институт озерадения РАН, 2007, с. 153-162.
3. *Левич А.П.* Управление структурой фитопланктонных сообществ (эксперимент и моделирование): Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2000. – 37 с.
4. *Хуан Ж.-ж., Фруммин Г.Т.* Трофическое состояние пресноводных озер Китая // Труды РГГМУ, т. 19, 2011, с. 14-20.
5. *Carlson R.E.* A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography* (1977) 22: 361-369.
6. *Forsberg C.* Die physiologischen Grundlagen der Gewassereutrophierung // *Z. Wasser- und Abwasser Forsch.* 1979. Bd.2, H.2.
7. *Ryanzhin S.V., Straskraba M., Geller W.* Developing WORLDLAKE-Database and GIS for limnological studies., In: Proc. 9th Conference. Conservation and Management of Lakes, Session 5, Otsu 10-15 November 2001, pp. 25-28.
8. *Vollenweider R.A.* Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication // *Tech. Rep. Organiz. Econom. Cooper. Devel.* 1968. Vol. 27. 159 p.
9. *Xiangcan Jin.* Lakes in China/ Research of their Environment. Volume one. China Ocean Press. 585 p., 1995.