

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ХУАН ЖАНЬ-ЖАНЬ

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА
ПРЕСНОВОДНЫХ ОЗЕР КИТАЯ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук



Санкт-Петербург

2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ) на кафедре экологии.

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор
Фрумин Григорий Тевелевич

Официальные оппоненты: доктор географических наук
Субетто Дмитрий Александрович
Директор института водных проблем Севера
Карельского научного центра РАН

доктор биологических наук
Скворцов Владимир Валентинович
профессор кафедры зоологии
Российского государственного педагогического
университета им. А.И. Герцена

Ведущая организация: Институт озераедения РАН

Защита состоится « 11 » февраля 2014 года в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, аудитория 102.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат диссертации разослан «11» января 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор географических наук

Попова Е.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационного исследования. Каждый год в Китае пересыхают 20 озер. За последние 50 лет страна потеряла более 1000 природных водоемов. Это почти 10000 км². Основная причина - активное развитие промышленности. В Китае уже сейчас наблюдается чрезмерное потребление пресной воды. Происходит осушение озер для создания новых сельскохозяйственных территорий. На берегах водоемов вырубается леса. А это ведет к обмелению озер. Промышленные сточные воды, поступающие в озера, содержат химические соединения текстильной, фармацевтической, металлургической, пищевой и целлюлозно-бумажной отраслей народного хозяйства. Наряду с ними в озера поступают соединения азота и фосфора, содержащиеся в коммунально-бытовых и сельскохозяйственных стоках. В результате в озерах накапливается значительное количество загрязняющих и биогенных веществ. Уже сегодня 80% озер в долинах реки Янцзы «цветут». В их водах активно размножаются водоросли. При отмирании они поглощают много кислорода из водной массы. Из-за его нехватки гибнут моллюски, рыбы и другие обитатели озер. В результате озера превращается в болота. Таким образом, основные экологические проблемы озер Китая – это токсификация и эвтрофирование.

Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие «цветения» и ухудшения качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб). Кроме того, в период цветения сине-зеленые водоросли производят сильнейшие токсины (алкалоиды, низкомолекулярные пептиды и др.), которые сами не используют, но они, попадая в водную толщу, представляют опасность для живых организмов и человека. Эти токсины могут вызывать цирроз печени, дерматиты у людей, отравление и гибель животных.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью существенного снижения антропогенной биогенной нагрузки на пресноводные озера Китая.

Цель диссертационного исследования заключалась в геоэкологической оценке трофического статуса пресноводных озер Китая и разработке принципов их деэвтрофирования.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Собрать, обобщить и проанализировать данные литературы о современном трофическом статусе пресноводных озер Китая;
2. Выявить зависимость между средними и максимальными глубинами озер Китая;
3. Обосновать предельно допустимые нагрузки фосфором валовым на основе модели Фолленвайдера;

4. Разработать вероятностный подход к оценке трофического статуса пресноводных озер.

Объект исследования – пресноводные озера Китая.

Предмет исследования – показатели содержания биогенных элементов в пресноводных озерах Китая.

Материалы и методы исследования. В диссертационном исследовании были использованы данные российской и зарубежной литературы (монографии, статьи), база данных ИЛЕС (Международный лимнологический комитет), а также первичные данные, приведенные в базе данных С.В. Рянжина. Для математико-статистической обработки данных были использован табличный процессор Microsoft Excel.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1. Методика вероятностной оценки трофического статуса пресноводных озер Китая.

2. Геоэкологическое обоснование предельных уровней экспорта фосфора общего с водосборов пресноводных озер Китая.

3. Результаты комплексной оценки современного состояния озера Тайху.

Научная новизна работы:

1. Разработаны аналитические зависимости для расчетов вероятностей трофического статуса пресноводных водоемов, позволяющие повысить точность оценки трофического статуса.

2. Впервые обоснованы критические фосфорные нагрузки и предельно допустимые модули стока с водосборов пресноводных озер Китая.

3. Доказано, что лимитантом первичной продукции в озере Тайху является фосфор. В среднем за период с 1985 г. по 2012 г. фактическая нагрузка фосфором общим на озеро Тайху была в 21,3 раза выше максимально допустимой нагрузки.

4. Выявлен тренд увеличения загрязненности озера Тайху легкоокисляющимися органическими соединениями за период с 1990 г. по 2012 г. В наибольшей степени загрязнение озера Тайху легкоокисляющимися органическими соединениями характерно для зимнего периода с декабря по февраль.

Практическая значимость. Результаты работы позволили выработать рекомендации по корректному обоснованию допустимой биогенной нагрузки на пресноводные озера Китая.

Достоверность научных положений и выводов обусловлена критическим анализом большого количества литературных источников и применением современных методов математико-статистической обработки данных.

Личный вклад автора заключается в постановке проблемы, методическом обеспечении ее решения и анализе полученных результатов.

Диссертация соответствует Паспорту научной специальности - 25.00.36 – «Геоэкология» (науки о Земле)» по п. 1.10. «Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных,

земельных, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, санация и рекультивация земель, ресурсосбережение», п. 1.12. «Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля», п. 1.14. «Моделирование геоэкологических процессов».

Апробация работы. Результаты исследования докладывались и обсуждались: на Международной научно-практической конференции. LXIV Герценовские чтения (Санкт-Петербург, 2011 г.), девятой всероссийской научно-технической конференции (25 февраля 2011 г. Вологда), IV Международной научной конференции (12-17 сентября 2011 г., Минск – Нарочь), Международной конференции, посвященной 165-летию создания Русского Географического (Санкт-Петербург, 2012), V Международной конференции-симпозиуме «Экологическая химия» (Кишинев, 2012 г.), Международной научно-практической конференции LXV Герценовские чтения, посвященной 215-летию Герценовского университета и 80-летию факультета географии (Санкт-Петербург, 19-21 апреля 2012 г.), VI Международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (Санкт-Петербург, 2-4 июля 2012 г.), INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL HEALTH 2012 (29th May - 1st June 2012, Lisbon, Portugal), V Всероссийском симпозиуме с международным участием (10-14 сентября 2012 г. Петрозаводск, Республика Карелия), Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012» (Москва, 2012), Международной молодежной конференции «Науки о Земле и цивилизация» (Санкт-Петербург, 2012), Международной конференции, посвященной 90-летию почетного профессора СПбГУ, доктора географических наук, профессора А.Г. Исаченко (Санкт-Петербург, 2012).

Публикации. Материалы изложены в 23 публикациях, в том числе в журналах «Ученые записки РГГМУ», «Общество. Среда. Развитие» и «Российский журнал общей химии» рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, включает 54 таблицы, 68 рисунков. Список цитируемой литературы содержит 108 публикаций, в том числе 35 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и практическая значимость проведенного исследования.

В первой главе «Материалы и методы исследования» рассмотрены современные методы математико-статистической обработки первичных данных мониторинга и, в частности, функциональные возможности табличного процессора Excel для проведения статистического анализа данных на персональном компьютере.

Во второй главе «Трофический статус пресноводных озер Китая», была проведена оценка распределения озер Китая по категориям трофического состояния. В качестве показателя (индикатора) трофического состояния была использована глубина видимости диска Секки (SD). Результаты анализа данных для 164 озер Китая показали, что 69,5% озер характеризуются как гипертрофные, 18,9% - как эвтрофные, 4,9% - как мезотрофные, 4,9% - как олиготрофные и 1,8% - как ультраолиготрофные.

Наряду с этим, для оценки трофического статуса озер был использован индекс Карлсона, представляющий собой среднее арифметическое (TSI) трех индексов, учитывающих содержание хлорофилла «а» - TSI(Chl), глубину видимости диска Секки – TSI(SD) и содержание фосфора общего – TSI(TP). Среди рассмотренных 31 озера 4 характеризуются как мезотрофные (12,9%), 17 – как эвтрофные (54,8%) и 10 – как гипертрофные (32,3%).

Для десяти пресноводных озер Китая была выявлена статистически значимая зависимость между запасами рыбы (ЗР) и содержанием фосфора общего (ТР). Эта зависимость описывается следующим соотношением:

$$ЗР = 461,8 + 1,49 \cdot ТР \quad (1)$$

$n = 10$; $r = 0,85$; $r^2 = 0,73$; $\sigma_{Y(X)} = 453$; $F_p = 21,2$; $F_T = 5,12$; $F_p/F_T = 4,1$
Здесь n – количество наблюдений, r – коэффициент корреляции (теснота связи между переменными), r^2 – коэффициент детерминации (объяснимая доля разброса), $\sigma_{Y(X)}$ – стандартная ошибка, F_p – расчетное значение критерия Фишера, F_T – табличное значение критерия Фишера для уровня значимости 95%.

В третьей главе «Разработка метода вероятностной оценки трофического статуса пресноводных озер» приведены критерии, используемые для оценки трофности водных экосистем. Отмечено, что существующие классификации трофического статуса водных объектов ориентированы на разные показатели и их комплексы. На примере некоторых пресноводных озер Китая показано, что трофический статус озер существенно варьирует в зависимости от выбранного лимнологического показателя. Так, например, озеро Роуанг характеризуется как олиготрофное при использовании в качестве показателя (индикатора) содержания хлорофилла «а», как эвтрофное – при использовании в качестве индикатора содержания фосфора общего (ТР) и как гипертрофное – при использовании в качестве индикатора прозрачности по диску Секки (SD). Озеро Тайху также характеризуется как мезотрофное, эвтрофное или гипертрофное в зависимости от выбранного индикатора трофности (содержания хлорофилла «а», фосфора общего (ТР) или прозрачности по диску Секки (SD) соответственно). В этой связи высказано предположение, что определенные перспективы могут быть связаны с разработкой вероятностной оценки трофического статуса водных объектов.

Для оценки трофического статуса озер был усовершенствован вероятностный подход, ранее разработанный ОЭПК (Организация экономического развития и кооперации), и базирующийся на данных о содержании фосфора общего, средней концентрации хлорофилла «а» и

средней глубине видимости диска Секки. Для оценки уровня трофности были использованы пять градаций: μ_{yo} – вероятность ультраолиготрофного состояния, μ_o – вероятность олиготрофного состояния, μ_m – вероятность мезотрофного состояния, $\mu_э$ – вероятность эвтрофного состояния и $\mu_{гт}$ – вероятность гипертрофного состояния. Кривые вероятностной классификации трофического статуса озер, разработанные ОЭРК (рисунки 1-3), были аппроксимированы аналитическими зависимостями (таблицы 1-3). Это обусловлено тем, что использование кривых вероятностного распределения не очень удобно, поскольку не позволяет давать точные оценки трофических состояний.

Во всех случаях должно выполняться следующее:

$$\mu_{yo} + \mu_o + \mu_m + \mu_э + \mu_{гт} = 1 \text{ или } 100\% \quad (2)$$

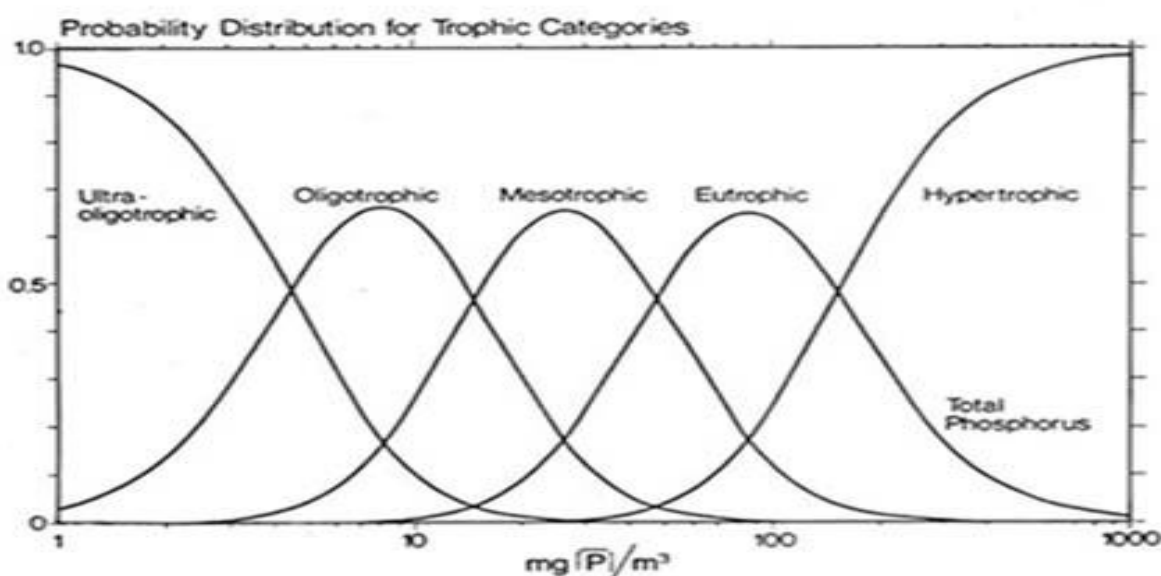


Рисунок 1 - Вероятностная классификация для установления трофического статуса по содержанию фосфора общего

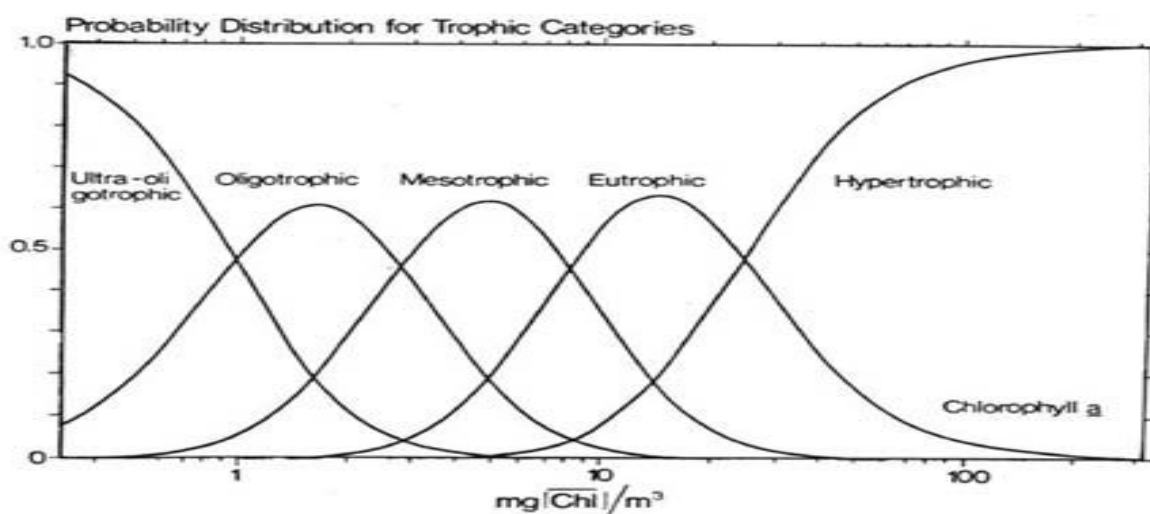


Рисунок 2 - Вероятностная классификация для установления трофического статуса по содержанию хлорофилла «а»

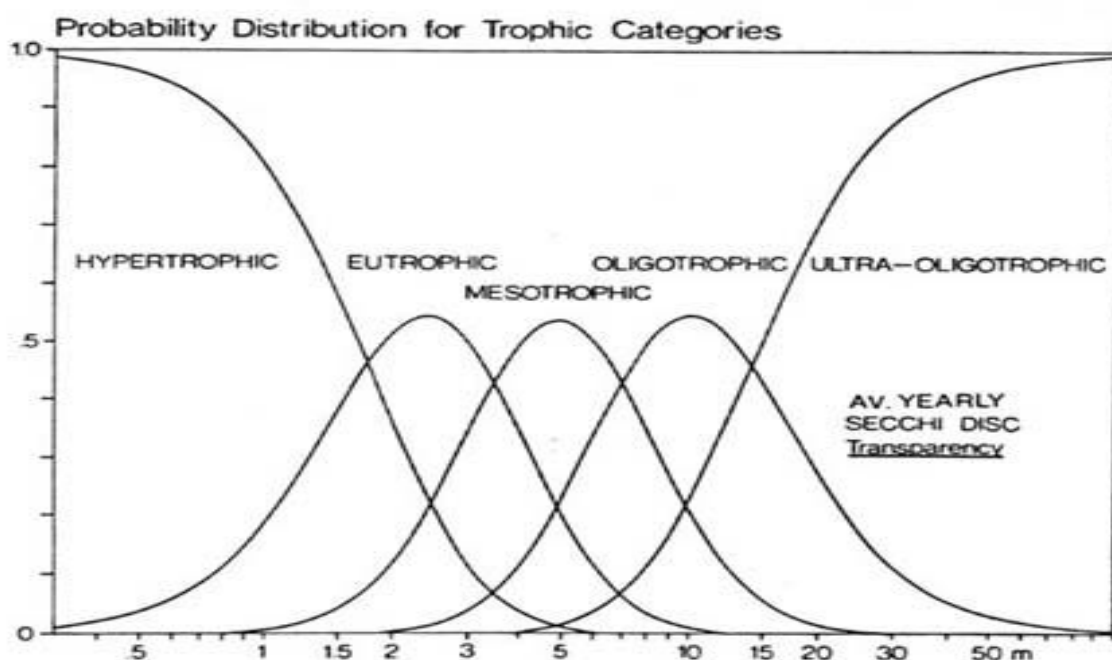


Рисунок 3 - Вероятностная классификация для установления трофического статуса по глубине видимости диска Секки

Таблица 1 - Формулы для расчетов вероятностей трофического статуса водоемов по средним за год концентрациям фосфора общего (мг/м³)

Трофический статус	Формула
Ультраолиготрофный	$\mu(TP)_{yo} = 1 - \exp\{-\exp[-0,357 \cdot (TP) + 1,25]\}$
Олиготрофный	$\mu(TP)_o = 0.66 \cdot \exp\{-[-0,947 \cdot \ln(TP/8)]^2\}$
Мезотрофный	$\mu(TP)_m = 0.66 \cdot \exp\{-[-0,995 \cdot \ln(TP/26)]^2\}$
Эвтрофный	$\mu(TP)_э = 0.66 \cdot \exp\{-[-0,964 \cdot \ln(TP/89)]^2\}$
Гипертрофный	$\mu(TP)_{гт} = \exp\{-\exp[-0,0123 \cdot (TP) + 1,65]\}$

Таблица 2 - Формулы для расчетов вероятностей трофического статуса водоемов по средним за год концентрациям хлорофилла «а» (мг/м³)

Трофический статус	Формула
Ультраолиготрофный	$\mu(Chl\langle a \rangle)_{yo} = 1 - \exp\{-\exp[-2,281 \cdot (Chl\langle a \rangle)^{0,9} + 1,6547]\}$
Олиготрофный	$\mu(Chl\langle a \rangle)_o = 0,62 \cdot \exp\{-[-0,8757 \cdot \ln(Chl\langle a \rangle/1,5)]^2\}$
Мезотрофный	$\mu(Chl\langle a \rangle)_m = 0.62 \cdot \exp\{-[-1,0037 \cdot \ln(Chl\langle a \rangle/4,8)]^2\}$
Эвтрофный	$\mu(Chl\langle a \rangle)_э = 0.62 \cdot \exp\{-[-0,9495 \cdot \ln(Chl\langle a \rangle/15)]^2\}$
Гипертрофный	$\mu(Chl\langle a \rangle)_{гт} = \exp\{-\exp[-0,6455 \cdot (Chl\langle a \rangle)^{0,5} + 2,958]\}$

Для иллюстрации усовершенствованного нами метода были рассчитаны вероятности трофического статуса некоторых озер, расположенных на территориях разных государств и в различных географических зонах (таблица 4).

Таблица 3 - Формулы для расчетов вероятностей трофического статуса водоемов по средним за год величинам прозрачности воды по диску Секки (SD) (м)

Трофический статус	Формула
Ультраолиготрофный	$\mu(SD)_{yo} = \exp\{-\exp[(-0,7028 \cdot SD^{0,6} + 3,275)]\}$
Олиготрофный	$\mu(SD)_o = 0,55 \cdot \exp\{-[-1,2818 \cdot \ln(SD/11)]^2\}$
Мезотрофный	$\mu(SD)_m = 0,55 \cdot \exp\{-[-1,2683 \cdot \ln(SD/5)]^2\}$
Эвтрофный	$\mu(SD)_э = 0,55 \cdot \exp\{-[-1,2878 \cdot \ln(SD/2,3)]^2\}$
Гипертрофный	$\mu(SD)_{гт} = 1 - \exp\{-\exp[-1,5837 \cdot (SD)^{0,9} + 2,144]\}$

Таблица 4 - Вероятности трофического статуса пресноводных озер по содержанию фосфора общего, %

Озеро	Государство	TP, мг/м ³	μ_{yo}	μ_o	μ_m	$\mu_э$	$\mu_{гт}$
Ладожское	Россия	11	5	60	32	2	1
Онежское	Россия	12	3	57	37	2	1
Псковское	Россия	85	0	0	17	67	16
Ильмень	Россия	90	0	0	14	67	19
Нарочь	Белоруссия	16	0	43	52	4	1
Акан	Япония	32	0	12	63	24	1
Ельмарен	Швеция	43	0	5	51	40	4
Поянху	Китай	97	0	0	12	66	22
Дунтинху	Китай	119	0	0	7	62	31
Тайху	Китай	52	0	3	41	50	6
Хунцзэху	Китай	140	0	0	5	55	40
Чаоху	Китай	105	0	0	10	65	25

Как следует из таблицы 4, озеро Поянху характеризуется как гипертрофно-эвтрофное, озеро Дунтинху – как гипертрофно-эвтрофное, озеро Тайху – как мезотрофно-эвтрофное, озеро Хунцзэху – как гипертрофно-эвтрофное, а озеро Чаоху – как гипертрофно-эвтрофное.

На основе проведенных исследований была разработана методика проведения расчетов вероятностной оценки трофического статуса пресноводных экосистем. Методика предназначена для научных и научно-исследовательских организаций, осуществляющих обработку результатов мониторинга водных объектов. Методика распространяется на наблюдения за трофическим статусом водных объектов.

Разработанная методика включает следующие разделы: термины и определения, общие положения, основные расчетные зависимости и примеры расчетов вероятностей трофических статусов водных объектов.

В четвертой главе «Обоснование допустимой биогенной нагрузки на пресноводные озера Китая» проанализированы математические модели, выявлено соотношение между средней и максимальной глубинами озер,

обоснован лимитант первичной продукции и рассчитаны критические фосфорные нагрузки и критические модули стока фосфора валового с водосборных бассейнов.

Биогенное загрязнение в результате хозяйственной деятельности на водосборах водотоков, а также в их русле (строительство каскадов ГЭС и создание водохранилищ, рекреационные меры притяжения, судоходство и т. д.) вызывает антропогенное эвтрофирование. Наиболее быстро этот процесс развивается в водоемах, водосборы которых интенсивно осваиваются сельскохозяйственным производством, в том числе полеводством (пропашные культуры, сенокосы, пастбища) и животноводством (фермы и различные комплексы). Эти источники биогенной нагрузки являются неконтролируемыми или слабоконтролируемыми, поэтому им должно быть уделено особое внимание. К такому же типу биогенной нагрузки относятся водные рекреации.

Концепция повышения трофического статуса озера с увеличением биогенной (фосфорной) нагрузки широко используется в современный период для оценки критических значений нагрузки, соответствующих переходу озера из одного трофического состояния в другое. Это известная модель Р. Фолленвайдера, который при использовании данных наблюдений установил связь между ежегодным поступлением биогенных веществ и средней глубиной озера при его соответствующем трофическом состоянии.

Фолленвайдером предложено первое приближение величины фосфорной нагрузки ($L_{кр}$, гР/м²·год), позволяющей водоему оставаться в олиготрофном состоянии, в расчете которой в качестве стандартного параметра используется только средняя глубина водоема ($H_{ср}$, м):

$$L_{кр} = 0,025 \cdot H_{ср}^{0,6} \quad (3)$$

Результаты расчетов по модели Фолленвайдера следует рассматривать как ориентировочные, поскольку они не учитывают время водообмена озера, независимости биогенной нагрузки от поступления биогенных элементов из донных отложений и седиментационного фактора, учитывающего удержание биогенов в водоеме.

В модели Фолленвайдера основной характеристикой озер является средняя глубина ($H_{ср}$). Однако значение этой характеристики для ряда озер Китая неизвестны. Для ликвидации этого недостатка базы данных была выявлена статистически значимая зависимость между средними ($H_{ср}$) и максимальными ($H_{макс}$) глубинами для 300 пресноводных озер (см. также рисунок 4):

$$H_{ср} = 0,53 \cdot H_{макс} \quad (4)$$

$$n = 300 ; r = 0,85 ; r^2 = 0,73 ; \sigma_{Y(X)} = 453 ; F_p = 21,2 ; F_T = 5,12 ; F_p/F_T = 4,1$$

Приведенные статистические характеристики свидетельствуют о весьма высокой тесноте связи между рассмотренными переменными в соответствии со шкалой Чеддока.

Для обоснования лимитирующего биогенного элемента было использовано соотношение $N_{мин}:P_{мин}$ (отношение содержания азота минерального к содержанию фосфора минерального). Если $N_{мин}:P_{мин}$

больше 17, то первичная продукция фитопланктона в озере лимитируется фосфором. Расчеты показали, что для некоторых пресноводных озер Китая, включая озеро Тайху (рисунок 4), $N_{мин}:P_{мин} > 17$. То есть для этих озер лимитантом первичной продукции является фосфор.

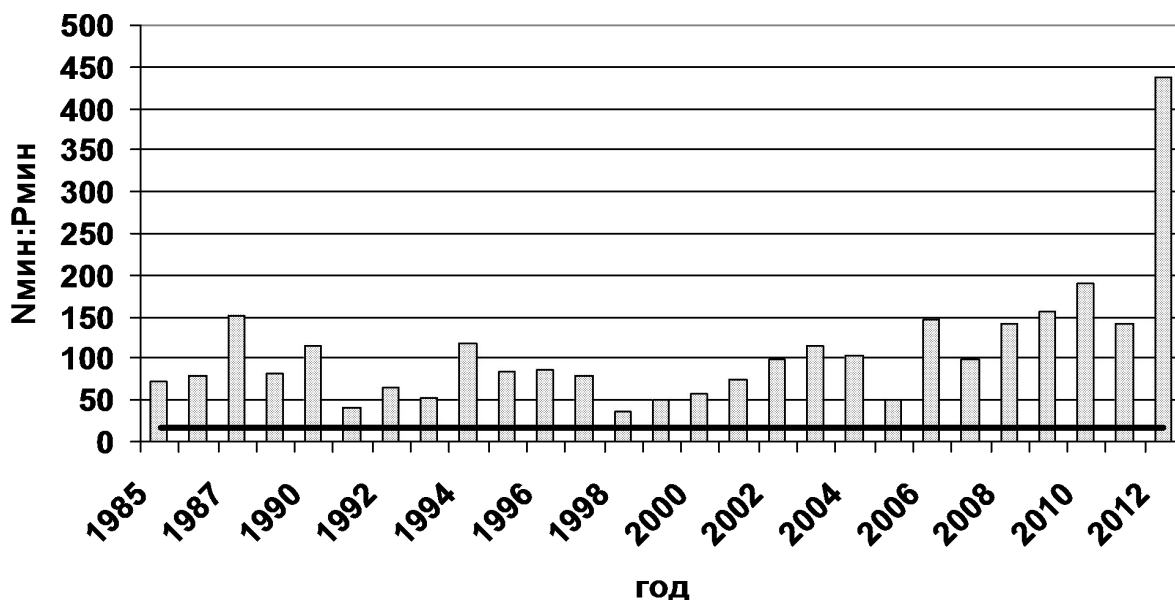


Рисунок 4 - Соотношение минеральных форм азота и фосфора в озере Тайху (линия, параллельная оси абсцисс, соответствует $N_{мин}:P_{мин} = 17$)

По модели Фолленвайдера (3) были рассчитаны критические фосфорные нагрузки, позволяющие водоему оставаться в олиготрофном состоянии (таблица 5).

Таблица 5 - Максимально допустимые фосфорные нагрузки на пресноводные озера Китая

Озеро	Водосбор, S, км ²	Н _{ср} , м	Площадь, F, км ²	L _p , гP/м ² ·год	Q(TP) ^{макс} , тонн/год
1	2	3	4	5	6
Akesaiqing	8150	7,75	165,8	0,085	14,1
Amuqigepaozi	1700,2	1,1*	34,8	0,026	0,90
Anguli Nur	3495	2,5	47,6	0,043	2,0
Aqqikkol	11500	9,8	351,2	0,098	34,4
Arakekumu	19280	9,7	570	0,098	55,9
Baiyang Dian	31200	2,84	366	0,047	17,2
Bositeng	27000	8,08	992,2	0,088	87,3
Buyr-Nuur	8232	6,7	610	0,078	47,6
Chagannuoer	6327	2,4	88	0,042	3,7
Chang	2265	1,9	157,1	0,037	5,8

продолжение таблицы 5					
1	2	3	4	5	6
Changmucuo	2419,5	3,3	87,5	0,051	4,5
Chao	9258	4,4	820	0,061	50,0
Co Nag	3199,6	7,7*	182,4	0,085	15,5
Cuoe	6338	9,8*	269	0,098	26,4
Cuoni	3000,5	31,1*	67,5	0,197	13,3
Dagzecuo	10885,3	31,7	244,7	0,199	48,7
Dalai Nur	9927	6,8	238	0,079	18,8
Dianchi	2866	5,1	298	0,066	19,7
Dongping	9064	1,59	148	0,033	4,9
Dongting	257000	6,39	2435	0,076	185
Dulishi	1435	14,4	75,3	0,124	9,3
Ebi-Nur	346000	14	1444	0,122	176
Erhai	2785	10,17	249	0,101	25,1
Futou	1238	2,9	114,7	0,047	5,4
Gaoyou	14800	1,44	775	0,031	24,0
Gasikulei	24790	0,65	123,8	0,019	2,4
Hanasi	1900	120,1	44,78	0,442	19,8
Har	4107	27,4	601,7	0,182	109,5
Hong	10352	1,89	344,4	0,037	12,7
Hongze	156000	1,77	1580	0,035	55,3
Hulun	37214	5,92	2339	0,073	170,7
Hurleg	12360	2,94	56,7	0,048	2,7
Jiaogang	400	0,44	40	0,015	0,6
Jingbo	11820	17,2	91,5	0,138	12,6
Khanka	22000	6,28	4380	0,075	328,5
Kyaring Co	9681	8*	476	0,087	41,4
Laodengpao	1737	1,5	14	0,032	0,4
Liangzi	3265	4,16	304,3	0,059	18,0
Lianhuanpao	7247	2,14	556,08	0,039	21,7
Longgan	5511	3,78	316,2	0,056	17,7
Lop Nur	600000	1,66	2220	0,034	75,5
Luoma	51215	3,3	260	0,051	13,3
Mata	1165	2,08	58,9	0,039	2,3
Namu Co	8648,5	30	1962	0,192	376,7
Nansi	31700	1,46	1260	0,031	39,1
Nanyi	3369	2,25	148,4	0,041	6,1
Ngangze Co	7132	5,3*	461,5	0,068	31,4
Ngoring	18188	17,6	610,7	0,140	85,5
Nushan	4215	1,71	104,6	0,034	3,6
Pangong Tso	28110	16,6	604	0,135	81,5
Poyang	162000	5,3	3280	0,068	223

продолжение таблицы 5					
1	2	3	4	5	6
Qinghai	29661	17,9	4458	0,141	628,6
Shengjin	1554	1,26	78,48	0,029	2,3
Shenyanxi	3420	1,82	19,6	0,036	0,7
Shijiu	18600	2,3	210,4	0,041	8,6
Tai	36500	2,12	2425	0,039	94,6
Taibai	960	3,2	25,1	0,050	1,3
Taibo	665	5	20,7	0,066	1,4
Ulungur	2203	8	730	0,087	63,5
Wang	5310	3,7	42,3	0,055	2,3
Wuchang	1084	3,43	100,5	0,052	5,2
Wuliangshuai	11800	1,12	293	0,027	7,9
Xijinwulan	5752	2,5*	346,2	0,043	14,9
Yamdruk	6100	30	638	0,192	122,5
Yang	8125	38	90	0,222	20,0

Примечание. *Рассчитано по формуле (4).

Данные расчетов показывают, что величины предельных фосфорных нагрузок на пресноводные озера Китая варьируют в широком интервале от 0,015 гP/м²·год (озеро Jiaogang) до 0,442 гP/м²·год (озеро Hanasi), то есть почти в 30 раз в зависимости от глубины озера.

Наиболее удобной формой представления результатов расчетов стока растворенных веществ рек выступает не валовой вынос химических веществ, а величина выноса с единицы площади. Модуль стока является универсальной характеристикой, которая, независимо от порядка и водности реки, выступает в качестве меры интенсивности антропогенного воздействия в водосборе. Одним из важнейших факторов, стимулирующих развитие процесса эвтрофирования водоема, является фосфорная нагрузка с его водосборного бассейна, которая имеет две составляющие – природную и антропогенную. Природная составляющая зависит от первичной продукции наземных экосистем, которая, в свою очередь, контролируется факторами внешней среды – температурой, количеством осадков и испарением.

Распашка крутых склонов, сведение лесов и чрезмерный выпас скота в Китае привели к почти полному уничтожению **природной растительности**, что не позволяет учесть природную составляющую биогенного стока.

При общей площади водосбора S значение модуля стока фосфора валового с рассматриваемого водосбора рассчитывалось по формуле:

$$M(TP) = Q_p/S \quad (5)$$

Расчет предельно допустимых модулей стока фосфора общего с водосборов водоемов проводится на основе алгоритма, приведенного на рисунке 5.

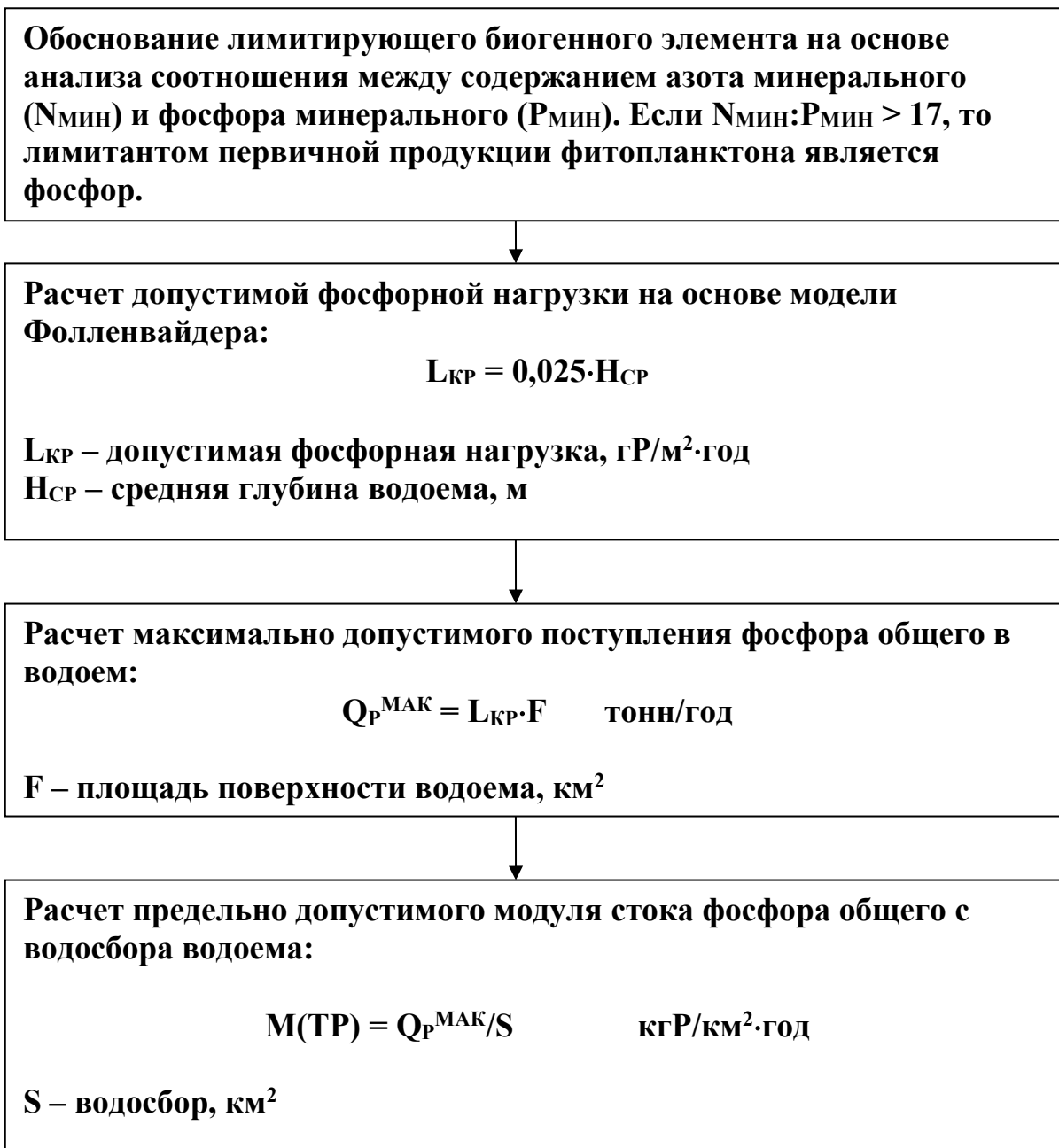


Рисунок 5. Алгоритм расчета предельно допустимых модулей стока фосфора общего с водосборов водоемов

В пятой главе «Комплексный геоэкологический анализ состояния озера Тайху» рассмотрены физико-географические характеристики озера, водный баланс, температурный режим, активная реакции воды (рН), содержание растворенного кислорода, легкоокисляемых органических веществ и биогенных элементов (кремния, соединений азота и фосфора), хлорофилла «а», приведены рекомендации по деэвтрофированию экосистемы озера.

Размеры озера Тайху (таблица 6) сильно меняются в зависимости от водности периода: полноводно летом, мелеет к зиме. Не замерзает, пресное, богато рыбой, используется для орошения рисовых полей, судоходно.

Таблица 6 - Характеристики озера Тайху

Характеристика		Характеристика	
Координаты	31°10' с.ш. 120°09' в.д.	Ширина	56 км
Объем	5,14 км ³	Длина	68 км
Площадь	2425 км ²	Средняя глубина	2,12 м
Водосбор	36500 км ²	Максимальная глубина	3,3 м
Водообмен	0,89 год	Соленость	0,0857 г/л

Начиная с 1980-х, экосистема Тайху начала переходить из состояния, в котором доминировали диатомовые водоросли – благоприятный вид фитопланктона - в состояние, где безраздельно господствуют цианобактерии.

Внутригодовая динамика температуры воды озера Тайху варьирует в широких пределах. Максимальное значение температуры воды характерно для июля (31,83⁰С), а минимальное – для января (4,15⁰С).

Анализ величин рН воды озера Тайху за период с 1985 г. по 2012 г. свидетельствует о тенденции увеличения этого показателя с 1985 г. по 2003 г. и последующем его снижении.

Выборочный анализ данных мониторинга озера Тайху показал, что за весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. процент насыщения воды кислородом был, как правило, не менее 75%.

Степень загрязненности озера Тайху легкоокисляемыми органическими соединениями варьировала от «чистого» в 1990 г. до «грязного» в 2006 г. и 2009 г. В остальные годы озеро Тайху характеризуется как «умеренно загрязненное». В наибольшей степени загрязнение озера Тайху легкоокисляемыми органическими соединениями характерно для зимнего периода с декабря по февраль.

Основными источниками поступления биогенных элементов в озеро Тайху являются коммунально-бытовые сточные воды, неточечные (диффузные) источники, сточные воды промышленных предприятий и некоторые другие (таблица 7).

Таблица 7 - Основные источники поступления общего фосфора и общего азота в озеро Тайху, %

Источник	Фосфор общий (TP)	Азот общий (TN)
Коммунально-бытовое хозяйство	60	25
Диффузные источники	28	55
Промышленность	10	16
Другие	2	4

Как следует из таблицы 7, наибольшее количество фосфора общего (60%) поступает в озеро Тайху с коммунально-бытовыми сточными водами. Это обусловлено большим количеством населения, проживающего на водосборе озера. Так, например, в 1993 г. на водосборе озера Тайху проживало 35650000 человек, в 2000 г. – 39280000 человек, а 2010 г. – 41920000 человек. Наибольшее количество азота общего (55%) поступает в озеро Тайху от диффузных источников, то есть с сельскохозяйственных полей. Это обусловлено использованием азотсодержащих удобрений и азотсодержащих пестицидов.

Анализ результатов мониторинга озера Тайху показал, что за весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. содержание кремния в озере было значительно меньше ПДК, то есть меньше 10 мг/дм³. Минимальное содержание кремния в озере Тайху обнаружено, как правило, в марте, апреле и мае, то есть в период интенсивного роста диатомовых водорослей.

За весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. не зафиксированы концентрации азота нитратов, превысившие ПДК. С 1985 г. по 2011 г. содержание азота аммонийного не превышало ПДК. В 2012 г. содержание азота аммонийного было выше ПДК и составило 0,78 мг/дм³, что почти в два раза выше ПДК. За весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. было зафиксировано существенное превышение концентраций азота нитритов над их ПДК (ПДК = 0,02 мг/дм³). Особенно высокие концентрации азота нитритов были зафиксированы в 2012 г. В феврале 2012 г. концентрация азота нитритов в озере Тайху превышала ПДК в 399 раз, в марте – в 333 раза, в апреле – в 301 раз. Наименьшее, но также достаточно высокое превышение ПДК зафиксировано в декабре (в 149 раз). Содержание азота общего в озере Тайху в 1985 г. составляло 0,653 мг/дм³, а в 2012 г. – 3,324 мг/дм³, то есть возросло в пять раз.

За весь период мониторинга озера Тайху содержание минерального фосфора (фосфатов) было существенно ниже ПДК. За период мониторинга с 1985 г. по 2012 г. максимальная средняя за год концентрация фосфора общего в озере Тайху определена в 2007 г. (150 мкг/дм³), а минимальная – в 1985 г. (26 мкг/дм³).

За весь период наблюдений фосфорная нагрузка на озеро Тайху существенно превышала максимальную нагрузку. В среднем за период с 1985 г. по 2012 г. фактическая нагрузка фосфором общим на озеро была в 21,3 раза выше максимально допустимой нагрузки (рисунок 6).

Зафиксировано наличие тренда повышения содержания хлорофилла «а» в озере Тайху за период с 1985 г. по 2012 г. Максимальные значения концентраций хлорофилла «а» были зафиксированы в 1990 г. (34,1 мкг/дм³), 2000 г. (35,6 мкг/дм³) и 2006 г. (37,7 мкг/дм³) (рисунок 7).

За период с 1985 г. по 2012 г. максимальные значения содержания хлорофилла «а» были обнаружены 12 раз в августе, 9 раз – в июле, 5 раз – в сентябре, 3 раза – в октябре и один раз – в июне. За период с 1985 г. по 2012 г. 16 раз озеро Тайху характеризуется как гипертрофно-эвтрофное (57,1%) и 12 раз (42,9%) – как эвтрофно-гипертрофное. Таким образом, озеро Тайху

чрезвычайно эвтрофировано, что требует принятия незамедлительных управленческих решений, направленных на деэвтрофирование озера.

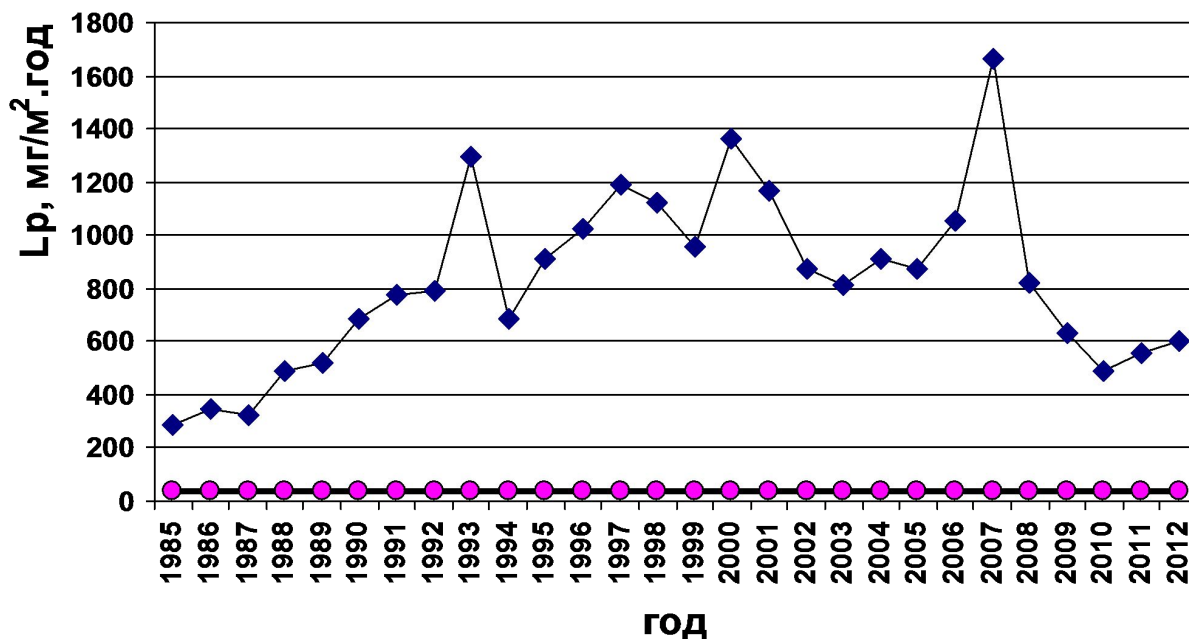


Рисунок 6 - Межгодовая динамика нагрузки фосфором общим на озеро Тайху (линия, параллельная оси абсцисс, – предельно допустимая нагрузка)

За период с 1985 г. по 2012 г. нагрузка фосфором общим на озеро Тайху в среднем составила $L_p = 829$ мгP/м²·год при максимально допустимой нагрузке $L_p^{МАК} = 39$ мгP/м²·год. Таким образом, для деэвтрофирования озера Тайху до статуса олиготрофного озера необходимо существенно снизить фосфорную нагрузку с 829 мгP/м²·год до 39 мгP/м²·год.

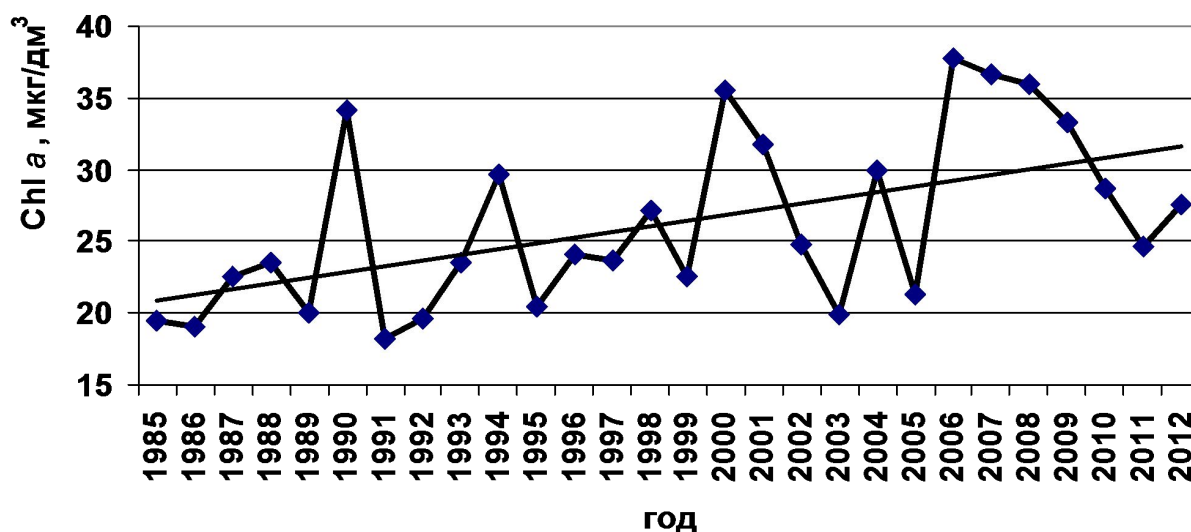


Рисунок 7 - Межгодовая динамика содержания хлорофилла «a» в озере Тайху

К настоящему времени разработаны различные методы деэтрофирования озер, которые могут быть сведены к двум основным вариантам: мероприятия на водосборе и мероприятия в водоеме. Основная цель комплекса мероприятий на водосборе – контроль и ограничение поступления минеральных биогенных и органических веществ из точечных и рассеянных (диффузных) антропогенных источников. Проблема ликвидации или ограничения точечных источников решается в основном экономико-административными и технологическими мерами – жестким контролем за сбросом неочищенных сточных вод, внедрением передовых технологий очистки сточных вод от фосфора. Значительно сложнее контролировать и регулировать рассеянные источники, связанные, главным образом, с развитием сельского хозяйства на водосборе водоема. По современным оценкам из отраслей сельского хозяйства наибольший вклад в загрязнение поверхностных и подземных вод азотом и фосфором вносит животноводство. В современных животноводческих хозяйствах не утилизируется и в конечном итоге попадает в водные объекты 15-30% фосфора, содержащегося в экскрементах, а в экстремальных условиях эта величина может превышать и 50%. Для регулирования мероприятий на водосборе могут быть использованы следующие природоохранные мероприятия:

- Замена пахотных земель пастбищами и сенокосами.
- Уменьшение норм внесения минеральных удобрений.
- Лесопосадки в прибрежной зоне.
- Вынос за пределы водосбора сельскохозяйственных ферм.

Для регулирования мероприятий в водоеме могут быть использованы следующие природоохранные мероприятия:

- * Удаление верхнего слоя донных отложений.
- * Дестратификация водоема.
- * Механическое удаление высшей водной растительности.
- * Направленное воздействие на структуру трофических цепей.

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 миллионов мальков рыбы разных пород были выпущены в озеро Тайху для борьбы с сине-зелеными водорослями, поставившими водоем на грань выживания.

По нашему мнению, для существенного снижения антропогенной биогенной нагрузки на мелководное пресноводное озеро Тайху необходимо: проводить полную очистку коммунально-бытовых и промышленных сточных вод, используя современные технологии; снизить нормы внесения минеральных фосфорсодержащих удобрений; создать лесопосадки в прибрежной зоне; вынести за пределы водосбора сельскохозяйственные

фермы; удалить верхний слой донных отложений и регулярно проводить скашивание макрофитов.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы:

1. Пресноводные озера Китая испытывают существенную антропогенную биогенную нагрузку, обусловленную поступлением в них коммунально-бытовых, сельскохозяйственных и промышленных сточных вод. Главная проблема пресноводных озер Китая – эвтрофирование. По глубине видимости диска Секки 69,5% озер характеризуются как гипертрофные, 18,9% - как эвтрофные, 4,9% - как мезотрофные, 4,9% - как олиготрофные и 1,8% - как ультраолиготрофные (объем выборки 164 озера). По величинам индекса Карлсона 12,9% озер характеризуются как мезотрофные, 54,8% - как эвтрофные и 32,3% - как гипертрофные (объем выборки 31 озеро).

2. Существующие классификации трофического статуса водных объектов ориентированы на разные фиксированные показатели и их комплексы. Наиболее надежный метод определения трофического статуса водоемов состоит в отказе от использования фиксированных категорий. Разработанный по заказу ОЭРК (Организация экономического развития и кооперации) графический метод вероятностной оценки трофического статуса водных объектов не позволяет давать точные оценки трофического статуса, так как кривые распределения содержания фосфора общего, концентраций хлорофилла «а» и глубины видимости диска Секки варьируют в весьма широких пределах (от 1 мг/м³ до 1000 мг/м³ для фосфора общего, от ≤1,0 мг/м³ до >100 мг/м³ для хлорофилла «а» и от 0 м до >50 м для глубины видимости диска Секки). Разработанная методика аналитической вероятностной оценки трофического статуса водных объектов позволяет повысить точность проводимых расчетов.

3. По шкале Чеддока теснота связи между средними и максимальными глубинами пресноводных озер Китая характеризуется как «высокая» (коэффициент корреляции $r = 0,85$ при объеме выборки 300 озер).

4. Величины максимально допустимых фосфорных нагрузок на пресноводные озера Китая, позволяющих им оставаться в олиготрофном статусе, варьируют в широком интервале от 0,015 гР/м²·год (озеро Jiaogang) до 0,442 гР/м²·год (озеро Hanasi), то есть почти в 30 раз в зависимости от глубины озера (объем выборки 145 озер). Предельно допустимые модули стока фосфора общего в пресноводные озера Китая варьирует от 0,1 кгР/км² (озеро Gasikulei) до 43,6 кгР/км² (озеро Namu Co) (объем выборки 65 озер).

5. В среднем за период с 1985 г. по 2012 г. максимальное значение температуры воды озера Тайху характерно для июля (31,83⁰С), а минимальное – для января (4,15⁰С).

6. За весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. процент насыщения воды кислородом был, как правило, не менее 75%. Степень загрязненности озера Тайху легкоокисляемыми органическими соединениями (по БПК₅) варьировала от «чистого» в 1990 г. до «грязного» в 2006 г. и 2009 г. В

остальные годы озеро Тайху характеризуется как «умеренно загрязненное». За период с 1990 г. по 2012 г. зафиксирован тренд увеличения загрязненности озера Тайху легкоокисляемыми органическими соединениями. В наибольшей степени загрязнение озера Тайху легкоокисляющимися органическими соединениями характерно для зимнего периода с декабря по февраль.

7. Основными источниками поступления биогенных элементов в озеро Тайху являются коммунально-бытовые сточные воды, неточечные (диффузные) источники и сточные воды промышленных предприятий. Наибольшее количество фосфора общего (60%) поступает в озеро Тайху с коммунально-бытовыми сточными водами. Это обусловлено большим количеством населения, проживающего на водосборе озера (в 2010 г. – 41920000 человек). Наибольшее количество азота общего (55%) поступает в озеро Тайху от диффузных источников, то есть с сельскохозяйственных полей, что обусловлено использованием азотсодержащих удобрений и азотсодержащих пестицидов.

8. За весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. содержание кремния в озере было значительно меньше ПДК, то есть меньше 10 мг/дм³. За весь период наблюдений с 1985 г. по 2012 г. не зафиксированы концентрации азота нитратов, превысившие ПДК. С 1985 г. по 2011 г. содержание азота аммонийного не превышало ПДК. В 2012 г. содержание азота аммонийного было выше ПДК и составило 0,78 мг/дм³, что почти в два раза выше ПДК. С 1985 г. по 2012 г. было зафиксировано существенное превышение концентраций азота нитритов над их ПДК (ПДК = 0,02 мг/дм³). Особенно высокие концентрации азота нитритов были зафиксированы в 2012 г. В феврале 2012 г. концентрация азота нитритов в озере Тайху превышала ПДК в 399 раз, в марте – в 333 раза, в апреле – в 301 раз. Наименьшее, но также достаточно высокое превышение ПДК зафиксировано в декабре (в 149 раз). Содержание азота общего в озере Тайху в 1985 г. составляло 0,653 мг/дм³, а в 2012 г. – 3,324 мг/дм³, то есть возросло в пять раз. За период с 1985 г. по 2012 г. линия тренда имеет тенденцию к возрастанию.

9. В озере Тайху лимитирующим биогенным элементом является фосфор. За весь период мониторинга озера Тайху содержание минерального фосфора (фосфатов) было существенно ниже ПДК. За период мониторинга с 1985 г. по 2012 г. максимальная средняя за год концентрация фосфора общего в озере Тайху определена в 2007 г. (150 мкг/дм³), а минимальная – в 1985 г. (26 мкг/дм³). За весь период наблюдений фосфорная нагрузка на озеро Тайху существенно превышала максимальную нагрузку. В среднем за период с 1985 г. по 2012 г. фактическая нагрузка фосфором общим на озеро была в 21,3 раза выше максимально допустимой нагрузки.

10. За период с 1985 г. по 2012 г. зафиксирован тренд повышения содержания хлорофилла «а» в озере Тайху. При этом максимальные значения концентраций хлорофилла «а» были зафиксированы в 1990 г. (34,1 мкг/дм³), 2000 г. (35,6 мкг/дм³) и 2006 г. (37,7 мкг/дм³). Для внутригодового распределения хлорофилла «а» в озере Тайху характерно наличие экстремального (максимального) значения в определенный сезон года. За

период с 1985 г. по 2012 г. максимальные значения содержания хлорофилла «а» были обнаружены 12 раз в августе, 9 раз – в июле, 5 раз – в сентябре, 3 раза – в октябре и один раз – в июне. За период с 1985 г. по 2012 г. 16 раз озеро Тайху характеризуется как гипертрофно-эвтрофное (57,1%) и 12 раз (42,9%) – как эвтрофно-гипертрофное. Таким образом, озеро Тайху чрезвычайно эвтрофировано, что требует принятия незамедлительных управленческих решений, направленных на деэвтрофирование озера.

11. Для деэвтрофирования озера Тайху до статуса олиготрофного озера необходимо существенно снизить фосфорную нагрузку с 829 мгР/м²·год до 39 мгР/м²·год. Для существенного снижения антропогенной биогенной нагрузки на мелководное пресноводное озеро Тайху необходимо: проводить полную очистку коммунально-бытовых и промышленных сточных вод от фосфора, используя современные технологии; снизить нормы внесения минеральных фосфорсодержащих удобрений; создать лесопосадки в прибрежной зоне; вынести за пределы водосбора сельскохозяйственные фермы; удалить верхний слой донных отложений и регулярно проводить скашивание макрофитов.

Публикации по теме диссертации

1. *Хуан Жань-Жань, Дроздов В.В., Фрумин Г.Т.* Трофическое состояние экосистемы озера Тайху // Материалы Международного семинара «Геология, геоэкология, эволюционная география». СПб.: РГПУ им. А.И.Герцена, 2010. – С. 138-141.
2. *Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань.* Оценка трофического состояния некоторых озер Китая. Вузовская наука – региону. Материалы девятой всероссийской научно-технической конференции 25 февраля 2011 г. I том. Вологда: Вологодский государственный технический университет, С. 327-329.
3. *Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань.* Вероятностная оценка трофического состояния озер Китая // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: тез. докл. IV Международной науч. конф., 12-17 сентября 2011 г., Минск – Нарочь / Белорусский государственный университет. Минск: Изд. центр БГУ, 2011. – С. 189-190.
4. *Хуан Жань-Жань, Фрумин Г.Т.* Критическая фосфорная нагрузка на озеро Тайху // Материалы международной конференции, посвященной 165-летию создания Русского Географического Общества и 85-летию организации географического факультета в СПбГУ «География в системе наук о Земле: современные проблемы науки и образования». СПб.: ВВМ, 2011. – С. 257-262.
5. *Хуан Жань-Жань, Фрумин Г.Т.* Трофическое состояние пресноводных озер Китая // Ученые записки РГГМУ №19. СПб.: РГГМУ, 2011. – С. 14-20. **(Издание из списка ВАК).**
6. *Хуан Жань-Жань, Фрумин Г.Т.* Трофическое состояние пресноводных озёр Китая // Материалы международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем». СПб.: ИНОЗ РАН, 2011. – С. 181.

7. Хуан Жань-Жань, Фрумин Г.Т. Трофическое состояние пяти наибольших озер Китая. География: проблемы науки и образования. LXIV Герценовские чтения. Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции. СПб.: РГПУ им. А.И.Герцена, 2011. – С. 248-250.
8. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Динамика трофического состояния озера Тайху // Ученые записки РГГМУ, №21, 2011 г. - С.32-37. **(Издание из списка ВАК)**.
9. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Трофическое состояние пресноводных озер Китая // Экологическая химия. Том 20, выпуск 1, 2011г. - С. 11-16.
10. Frumin G.T., Khuan Zhan-Zhan. Probability Estimation of the Trophic Status of freshwater Lakes in China. Abstract Book of the V International Conference – Symposium Ecological Chemistry 2012, pp. 39-40.
11. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Динамика содержания биогенных элементов в озере Тайху // Экологическая химия. Том 21, выпуск 2, 2012. – С. 74-80.
12. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Вероятностная оценка трофического статуса водных объектов. Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК-2012». Том II. М.: РУДН, 2012. – С. 280-284.
13. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Динамика содержания биогенных элементов и легкоокисляемых органических веществ в озере Тайху. Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием. 10-14 сентября 2012 г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – С. 104-106.
14. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Трофический статус пресноводных озер Китая. Материалы VI международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». 2-4 июля 2012 г. СПб.: РГГМУ, 2012. – С.54-55.
15. Frumin G.T., Khuan Zhan-Zhan. Trophic Status of Lakes in China. Материалы Международной молодежной конференции «Науки о Земле и цивилизация». Том. 1. Науки о Земле. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2012. – С. 153-158.
16. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Термодинамическая оценка состояния водных объектов. // Общество. Среда. Развитие. Научно-теоретический журнал. – 2012. – № 1(26)13. – С.232-235. **(Издание из списка ВАК)**.
17. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Межгодовая концентрация хлорофилла «а» в озере Тайху. Материалы международной конференции, посвященной 90-летию почетного профессора СПбГУ, доктора географических наук, профессора А.Г. Исаченко. СПб: ВВМ, 2012. – С. 214 -219.
18. Фрумин Г.Т., Хуан Жань-Жань. Вероятностная оценка трофического статуса водных объектов. Методическое пособие. СПб.: РГГМУ, 2012. – 28 с.

19. Хуан Жань-Жань, Фрумин Г.Т. Динамика содержания фосфора общего в озере Тайху. География: проблемы науки и образования. Материалы ежегодной Международной научно-практической конференции LXV Герценовские чтения, посвященной 215-летию Герценовского университета и 80-летию факультета географии. СПб., 19-21 апреля 2012 г. СПб.: Астерион, 2012. – С. 176-178.
20. *Frumin G.T., Khuan Zhan-Zhan.* Trophic Status of Fresh-Water Lakes in China // Russian Journal of General Chemistry. 2011. Vol. 81. No. 13. pp. 2653-2657.
21. *Frumin G.T., Khuan Zhan-Zhan.* Trophic Status of Lakes in China. PROCEEDINGS BOOK of INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL HEALTH 2012. 29th May - 1st June 2012, Lisbon, Portugal, Lisbon College of Health Technology. Polytechnical Institute of Lisbon. PP. 62 - 63.
22. *Frumin Grigory and Zhan-zhan Khuan Zhan-zhan.* Probability Estimation of the Trophic Status of Lakes // Journal of Environmental Science and Engineering A 1 (2012) 1083 - 1087.
23. *Frumin G.T., Khuan Zhan-Zhan.* Trophic Status of Fresh-Water Lakes in China. Materials of the VI International conference «Ecological and Hydrometeorological Problems of the Large Cities and Industrial Areas»/ 2-4 July 2012/Saint-Petersburg: RSHU, 2012, pp. 55-56.