



УДК 556.55:282.243.7(285.2)

Многолетняя динамика гидрологических и гидрохимических показателей озера Китай (Одесская область, Украина)

М.М. Джуртубаев¹, Т.В. Урбанская², Ю.М. Джуртубаев¹

¹Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, Одесса, Украина

²Дунайское бассейновое управление водных ресурсов, Измаил, Украина

В Одесской области расположен уникальный природный комплекс – придунайские озера. Одно из крупнейших – оз. Китай. После строительства во второй половине XX века защитных дамб резко изменилась экологическая ситуация в озерах, в том числе гидрологические и гидрохимические параметры. В 2004–2013 гг. на озере отобрано 120 проб воды. Проведено 1 390 измерений по 11 показателям. В работе использованы также архивные данные за 2004–2005 гг. Гидрологическая и гидрохимическая ситуация в оз. Китай с 2004 по 2013 год ухудшалась. Заметно снизилась прозрачность воды, постоянно возрастало количество взвешенного в воде вещества (с 29,4 в 2006 до 143,2 мг/дм³ в 2012 году). Сильно возросла минерализация воды (до 6 200 мг/дм³ в сентябре – ноябре 2012 г.). Постоянно и значительно превышают допустимые значения БПК₅, перманганатная окисляемость. Соответствовало норме количество растворенного кислорода, общего азота, фосфора, нитратов и pH, хотя ситуация и по этим показателям также постепенно ухудшалась. Среднегодовая температура воды составила 11,4–15,8 °С, что соответствует температурному режиму континентальных вод региона. Для улучшения экологической ситуации в озере необходимо обеспечить работу насосной станции для стабильной подачи дунайской воды, что прежде всего понизит чрезмерную минерализацию озера.

Ключевые слова: температурный и кислородный режим; прозрачность; растворенные вещества

Long-term dynamics of hydrological and hydro-chemical indicators of Kytai Lake (Odessa region, Ukraine)

M.M. Dzhurtubaev¹, T.V. Urbanskaya², Y.M. Dzhurtubaev¹

¹Odessa National University named after I.I. Mechnikov, Odessa, Ukraine

²Danube Basin Management of Water Resources, Izmail, Ukraine

Odessa region contains a unique natural complex – the Danube lakes. One of the largest is Kytai Lake. After their construction in the second half of the XX century, dams have drastically changed the ecological situation in the lakes, including hydrological and hydro-chemical parameters. 120 water samples were taken from the lake in the years 2004–2013. 1,390 measurements were taken according to 11 indicators. Our research also used historical data for 2004–2005. Studies have shown that the hydrological and hydrochemical situation in Kytai Lake deteriorated in the period 2004 to 2013. There was a marked decrease in the water transparency and a steady increase in the amount of suspended matter in the water (from 29.4 mg/dm³ in 2006 to 143.2 mg/dm³ in 2012). The salinity of the water greatly increased (up to 6200 mg/ dm³ in September – November 2012). Permanganate oxidization permanently and significantly exceeds the maximum permissible value of BOD₅. The amount of dissolved oxygen, total nitrogen, phosphorus, nitrates and pH conform to the permitted norm, although the situation with these indicators has also gradually worsened. The average annual temperature of the water was 11.4–15.8 °C,

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина
Odessa National University named after I.I. Mechnikov, Dvorjanskaja Str., 2, Odessa, 65058, Ukraine
Tel. +38-048-268-77-93. E-mail: svarog-72@mail.ru

Дунайское бассейновое управление водных ресурсов, Болградское шоссе, 27-а, Измаил, 68600, Украина
Danube Basin Management of Water Resources, Bolgradsky Highway, 27-a, Izmail, 68600, Ukraine
Tel. +38-048-414-08-98. E-mail: dbuvr@ukrpost.ua

which corresponds to the temperature regime of the continental waters in the region. To improve the ecological situation in the lake, it is necessary to ensure that the pumping station supplies a stable inflow of water from the Danube, which would significantly lower the excessive salinity of the lake.

Keywords: temperature conditions; oxygen conditions; transparency; solute

Введение

Китай – одно из крупнейших придунайских озер Украины, расположено северо-западнее г. Килия (Dzhurtubev et al., 2012). Площадь озера около 60 км², объем, по средним многолетним данным, – 102 млн м³ (Shvebs and Igoshin, 2003). Вместе с озерами Кагул, Ялпуг, Кугурлуй, Котлабух, а также большим количеством малых озер оз. Китай образует крупнейший озерный район страны, представляющий собой уникальный природный комплекс. Большинство придунайских озер Украины, как и причерноморских озер Румынии (Gâştescu et al., 2016), после сооружения во второй половине прошлого столетия системы защитных дамб утратили важнейшую особенность – связь с Дунаем. Ранее в половодье и паводки речная вода поступала в озера, проходя через мощный биофильтр из зарослей тростника, других плавневых растений. В настоящее время вода поступает по шлюзованным искусственным каналам и немногочисленным протокам, неся в озера большое количество взвеси и загрязняющих веществ. Увеличивается минерализация, заиливание дна, общее загрязнение придунайских водоемов.

Поэтому мы делим историю придунайских водоемов на две неравные части: (1) многие столетия – до сооружения системы дамб, когда они фактически представляли собой лиманы, и (2) последние несколько десятилетий, когда их связь с Дунаем заметно сократилась, а биота все в большей степени приобретала озерный облик.

Придунайские озера мелководны, их средняя глубина составляет 0,7–2,0 м, максимальная достигает в половодье и сильные паводки 6,4–7,0 м, в оз. Китай – 5,0 м (Shvebs and Igoshin, 2003). На химизм воды озер долины Дуная влияют их источники питания. Выделены четыре группы озер: (1) озера, питаемые паводками на Дунае, (2) озера, обильно питаемые источниками, (3) озера с собственным гидрографическим бассейном и (4) изолированные озера, питаемые склоновым стоком. Минерализация колеблется между 250 мг/л (первая группа) и 2 000–3 000 мг/л (четвертая группа) (Gjeshtesku 1969a, 1969b). Китай относится к группе придунайских водоемов с преобладающим вкладом сульфатов по составу основных анионов (Denga and Medinets, 2002).

Комплексное изучение придунайских озер в рамках международного проекта TACIS «Придунайские озера: устойчивое сохранение и восстановление естественного состояния и экосистем» выполнено сотрудниками Одесского национального университета, Украинского научно-го центра экологии моря и Одесского филиала ИнБЮМ (ныне – Институт биологии моря НАНУ). Установлено, что в оз. Китай сложилась наиболее неблагоприятная экологическая ситуация. В этих условиях актуальной задачей является исследование гидрологических и гидрохимических показателей, определяющих условия существования озерной биоты. Цель настоящей статьи – выявить многолетнюю динамику гидрологических и гидрохимических характеристик оз. Китай за период 2004–2013 годы.

Материал и методы исследований

Работа выполнена в лаборатории мониторинга вод Дунайского бассейнового управления водных ресурсов (далее – ДБУВР) и на кафедре гидробиологии и общей экологии Одесского национального университета имени И.И. Мечникова (далее – кафедра). Материалом послужили пробы воды, отобранные авторами в 2006–2013 гг., а также архивные данные ДБУВР за 2004–2013 гг. Всего собрано 220 проб, проведено 1 390 измерений по 11 обязательным показателям: температуре и прозрачности воды, содержанию взвешенных веществ, минерализации, растворенному кислороду, БПК₅, бихроматной и перманганатной окисляемости, общему фосфору, азоту нитратному, рН.

Пробы ДБУВР отбирали с периодичностью в один месяц, в средней части озера в районе Червоноярской главной насосной станции и, для сравнения, в сокращенном объеме в низовье озера (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб на оз. Китай:
● – ОНУ, ■ – ДБУВР

В ходе 36 экспедиций кафедры пробы отбирали сезонно в верховье, средней части и низовье озера. Пробы отбирали на глубине около 50 см и обрабатывали соответственно методикам (Semenov, 1977; Romanenko, 2006). Для анализа полученных данных использованы показатели ГОСТ 2874-82 (Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды в централизованном питьевом и техническом водоснабжении), ГОСТ 2761-84 (Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора). Использованы также нормативы, принятые Евросоюзом (Council Directive 78/659 of 18 July 1978; Council Directive 80/778 EEC on 15 July 1980; Council Directive 98/83 EC on 3 November 1998). Рассчитывали средние значения для каждого показателя (M), а также ошибку среднего значения ($m = 1,96 \cdot SD$). Повторность измерений $n = 12$.

Результаты и их обсуждение

Температура воды. Среднегодовая температура воды в оз. Китай за 10-летний период находилась в пределах 13,1–15,8 °С (табл. 1). Максимальная температура воды – 34 °С зафиксирована 25.07.2011 г. и 25.06.2012 г. в средней части озера, когда температура воздуха на солнце

достигала 46–48 °С. Обычно температура воды не превышала 29 °С. Минимальные температуры, как правило, положительные, не превышали 3,5 °С. Наименьшая температура (–0,5 °С) зафиксирована 08.02.2005 г. В 2009 и 2012 гг. она составила 0 °С. В целом, температура воды в озере находилась в границах температурного диапазона для водоемов данного региона.

Таблица 1

Температура воды в оз. Китай в 2004–2013 гг. (n = 12)

Температура воды, °С	Годы									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Средняя за год (M ± m)	12,8 ± 0,51	13,1 ± 0,52	14,0 ± 0,56	15,8 ± 0,63	15,8 ± 0,63	13,3 ± 0,55	13,5 ± 0,54	13,5 ± 0,54	15,3 ± 0,61	13,4 ± 0,53
Максимальная	26,0	27,0	28,0	27,0	29,0	26,0	29,0	34,0	34,0	25,0
Минимальная	1,0	–0,5	3,5	2,0	3,0	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0

Примечание: M – среднее значение, m – ошибка среднего значения.

Прозрачность воды. В ДБУВР прозрачность определяли по шрифту прибором Снеллена. Согласно ГОСТ 2761-84 она должна составлять не менее 30 см. В анализируемый период среднегодовые значения прозрачности воды по шрифту колебались от 5,7 в 2013 г. до 17,1 см в 2005 году. Максимальная прозрачность достигала 30 см, минимальная – 2,0–2,5 см (табл. 2). Несколько выделялись 2004 и 2010 гг., когда максимальная прозрачность достигала указанных 30 см. Но в эти годы в половине случаев она не превышала 7 см, что обусловило небольшие среднегодовые значения. В 2005 и 2006 гг. среднегодовые значения наибольшие: в эти годы прозрачность лишь трижды была меньше 10 см. Наихудшие показатели зафиксированы в 2012 и в 2013 годах. В 2012 г. в большинстве случаев прозрачность не превышала 7,0 см,

опускаясь до 2,0 см в сентябре. В 2013 г. максимальная прозрачность составила лишь 8,5 см (октябрь). В оба эти года больших значений достигала мутность воды.

Как правило, максимальные значения прозрачности приходились на январь – февраль, когда еще не развит фито- и зоопланктон и нет интенсивного поступления дунайской воды в озеро в половодье. Минимальные значения фиксировались в разные годы с марта (2013 г.) по октябрь (2007 г.). Такой широкий разброс минимальных значений во времени мы объясняем особенностями динамики вод и характеристикой биологических процессов в озере в разные годы. В целом, из 120 измерений прозрачности в 59 случаях (49%) ситуацию можно оценить как крайне неблагоприятную (причем количество случаев с годами постепенно возрастает).

Таблица 2

Прозрачность воды в оз. Китай в 2004–2013 гг. (n = 12)

Величина прозрачности, см	Годы									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Средняя за год (M ± m)	12,2 ± 0,50	17,1 ± 0,68	15,8 ± 0,63	11,0 ± 0,44	11,3 ± 0,45	12,5 ± 0,50	10,8 ± 0,43	10,8 ± 0,43	7,5 ± 0,30	5,7 ± 0,22
Максимальная	30,0	30,0	26,0	22,0	28,0	28,0	30,0	22,5	27,5	8,5
Минимальная	4,0	3,5	5,0	3,5	5,0	4,0	4,0	2,5	2,0	2,5

Примечание: см. табл. 1.

Взвешенные вещества. Специфическая особенность вод Дуная в устьевой области – высокое по сравнению с другими реками региона содержание взвешенных веществ (Timchenko and Novikov, 1993). В анализируемый 10-летний период проведено 114 измерений содержания

взвешенных веществ в озерной воде. Их среднегодовое количество колебалось от 29,4 в 2006 до 143,2 мг/дм³ в 2012 году (рис. 2). В целом же, как следует из рисунка 2, количество взвешенных веществ в озерной воде постепенно возрастает.



Рис. 2. Динамика количества взвешенных веществ в оз. Китай в 2004–2013 гг.

Минерализация воды. Среди придунайских озер Китай характеризуется наибольшей минерализацией, которая постоянно увеличивается (Dzhurtubaev and Dzhur-

tubaev, 2011). Из-за особенностей конфигурации береговой линии южный плес озера больше подвержен распространяющему действию Дуная. Северный плес в значитель-

ной степени подвержен влиянию стока высокоминерализованных малых рек Алияга и Киргиж-Китай. Минерализация этих периодически пересыхающих рек очень сильно зависит от их водности и изменяется от 3 500–3 800 до 7 600 мг/дм³ и более (Gopchenko and Belash, 2005, Gopchenko and Medvedjeva, 2007). По данным ДБУВР, в 2010 г. минерализация р. Алияга в среднем составляла 8 219 мг/дм³. В 2001 г. минерализация в оз. Китай была в пределах 1 290–3 490 мг/дм³ (Enaki and Zhuravljova, 1993). Величина минерализации заметно отличается по участкам озера. В 2007 г. минерализация в низовье составила 2 000–4 000 мг/дм³, в средней части – около 6 000, а в верховье достигала 8 000–8 500 мг/дм³ (Gopchenko and Medvedjeva, 2007).

В анализируемый период уровень минерализации в озере постепенно повышался; небольшие колебания не влияли на общую картину (рис. 3). В 2004–2006 гг. среднегодовая величина минерализации не превышала 3 500 мг/дм³; в период весеннего половодья она опускалась до 2 833 мг/дм³. Период 2007–2009 гг. также характеризовался относительной стабильностью, но величина минерализации была в среднем на уровне 4 500 мг/дм³. В 2010 г. минерализация в среднем по озеру понизилась,

но в верховье, по данным кафедры, достигала в августе 4 060, а в низовье – 3 910 мг/дм³.

В 2011 г. минерализация вновь возросла и в 2012 г. вышла на максимальное среднегодовое значение – 5 140 мг/дм³. Летом 2011 г., минерализация в верховье достигала 6 000 мг/дм³, а летом 2012 г. – 6 360 мг/дм³. Большая величина минерализации в 2012 г. во многом объяснялась непоступлением дунайской воды в озеро из-за закрытых шлюзов, из-за хозяйственных споров арендаторов озера.

Вследствие увеличения минерализации воды в озере, по данным кафедры, практически исчезли многие пресноводные виды: двусторчатые моллюски – перловица *Unio*, беззубки *Anodonta* и др. Количество видов макрозообентоса на прибрежном мелководье озера в целом уменьшилось с 65 в 2006–2009 гг. до 39 в 2010 г. и 23 в 2011–2012 годы. Вдвое (с 13 до 6) сократилось количество видов кольчатых червей, с 15 до 7 – ракообразных, с 21 до 8 – насекомых (водные личинки), с 10 до 2 видов – брюхоногих моллюсков. Небольшое уменьшение минерализации в 2013 г. до 4 066 мг/дм³ – очевидно, не является изменением тенденции, учитывая, что максимальные значения превышали 5 000 мг/дм³.



Рис. 3. Величина минерализации оз. Китай в 2004–2013 гг.

В настоящее время величина минерализации в озере зависит в первую очередь от объемов поступающей дунайской воды и величины испарения. Изъятие воды на орошение в расчет не принимали в связи с его полным отсутствием. Влияние рек Алияга и Киргиж-Китай – нестабильный фактор вследствие их частого и длительного пересыхания. Предельное значение минерализации для поверхностных источников водоснабжения составляет 1 000–1 500 мг/дм³ (Council..., 1980, 1998). Исходя из этого, в настоящее время озеро не пригодно даже для некоторых форм рыбохозяйственного использования – для разведения пресноводных рыб минерализация не должна превышать 1 000 мг/дм³ (Council..., 1978).

Растворенный кислород. В анализируемый период среднегодовое количество растворенного кислорода колебалась от 10,2 мг O₂/дм³ в 2012 г. до 11,4 мг O₂/дм³ в 2009 г. (табл. 3). Всего проведено 120 измерений. Максимальное количество растворенного кислорода (23,7 мг O₂/дм³) зафиксировано в марте 2012 г., минимальное (6,1 мг O₂/дм³) – в августе 2010 г. и в июне 2012 года. В 2007–2009 гг. среднегодовое количество растворенного кислорода составило около 11,0 мг O₂/дм³. С 2010 г. этот показатель в большинстве случаев был несколько меньше.

Во все годы максимальные значения растворенного кислорода приходились на зиму – первые месяцы весны вследствие относительно низкой температуры воды, что способствовало повышению растворимости кислорода,

поступающего из атмосферы, а также из-за весенней «вспышки» фитопланктона. Минимальные показатели приходились обычно на осень вследствие снижения численности фитопланктона, а также других внутриводоемных процессов. В 2012 г. зафиксированы как максимум, так и минимум количества растворенного кислорода. Резкое его снижение пришлось на конец апреля и продолжалось все лето. Такую картину можно связать с наблюдавшимся очень сильным «цветением» воды. Температура воды и воздуха также достигала максимальных значений, что снижало растворимость кислорода в воде.

В 2001 г. количество растворенного кислорода составило 6,1–11,8 мг O₂/дм³ (Denga and Medinets, 2002), что в целом соответствовало анализируемому нами периоду. В это время насыщение воды кислородом составляло 92–102%, что свидетельствовало о благоприятном кислородном режиме в озере во все сезоны. В целом, на протяжении 10 лет среднегодовые значения растворенного кислорода отличались максимум на 1,2 мг O₂/дм³, что позволило считать кислородный режим стабильным и благоприятным для гидробионтов: содержание растворенного кислорода должно быть не меньше 4–6 мг O₂/дм³ (Council..., 1978, 1980, 1998; Dzhurtubaev, 2011). Однако, говоря о кислородном режиме озера, нельзя забывать о заморах рыб и зообентоса, которые во многом – результат ежегодной температурной дихотомии и, как следствие, температурной и плотностной стратификации воды.

Количество растворенного кислорода в воде оз. Китай в 2004–2013 гг. (n = 12)

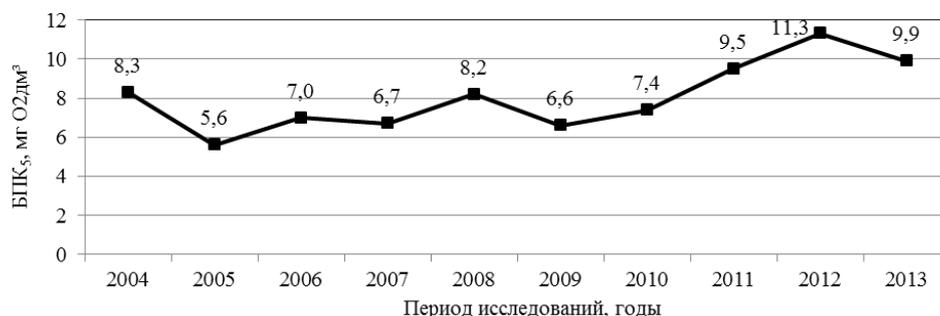
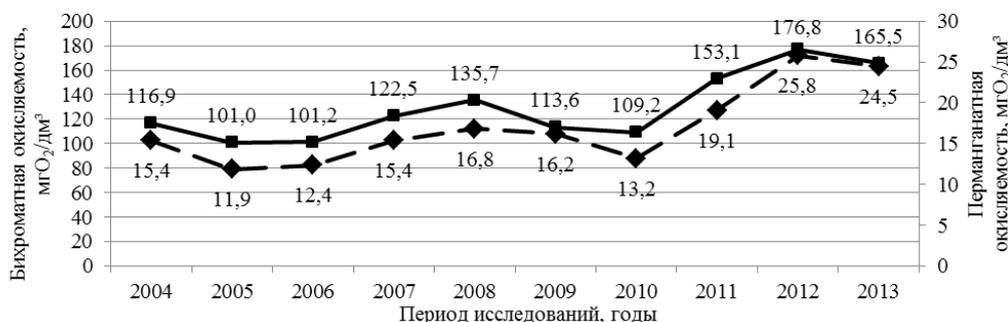
Количество растворенного кислорода, мг O ₂ /дм ³	Годы									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Среднее за год (M ± m)	11,3 ± 0,45	11,3 ± 0,45	10,7 ± 0,42	10,7 ± 0,42	11,3 ± 0,45	11,4 ± 0,45	10,5 ± 0,42	10,7 ± 0,42	10,2 ± 0,40	10,6 ± 0,42
Максимальное	15,7	15,7	13,9	14,7	15,5	18,9	15,5	13,8	23,7	13,8
Минимальное	9,0	8,7	7,7	6,9	9,5	8,5	6,1	6,4	6,1	7,9

Примечание: см. табл. 1.

БПК₅ – биохимическое (биологическое) потребление кислорода. Выполнено 114 измерений БПК₅. Колебания этого показателя составили от 2,0 в январе 2005 до 15,0 мг O₂/дм³ в июне 2012 года. В среднегодовом выражении БПК₅ колебалось от 5,8 в 2005 до 11,3 мг O₂/дм³ в 2012 г. (рис. 4). Отметим для сравнения, что в 2001 г. колебания составили 4,9–14,2 мг O₂/дм³ (Denga and Medinets, 2002). Согласно указанным выше нормативным документам, величина БПК₅ не должна превышать предельно допустимую величину 6 мг O₂/дм³. Нами установлено 109 случаев ее превышения (96% количества измерений), частота которых возрастала с 2004 до 2013 г. Больших значений достигали внутригодовые колебания БПК₅. Так, в 2005 г., когда среднегодовое значение БПК₅ было наименьшим, колебания по месяцам составили от 2,0 в январе до 9,9 мг O₂/дм³ в июле; в 2008 г. (небольшой пик БПК₅ в среднем за год) – 5,1 и 11,0 мг O₂/дм³, соответственно в январе и сентябре. В 2012 г., когда БПК₅ достигло среднегодового макси-

муму, в 10 случаях из 12 этот показатель превышал 9,3 мг O₂/дм³; минимальное значение зафиксировано в январе – 4,9 мг O₂/дм³. Отметим для сравнения, что в 2001 г. колебания БПК₅ практически совпадали с 2012 г.: 4,9–14,2 мг O₂/дм³, что являлось худшим показателем среди крупных придунайских озер в 2001 году. В целом (рис. 4) БПК₅ имеет тенденцию к росту, что свидетельствует об ухудшении качества воды и условий обитания гидробионтов.

Бихроматная окисляемость. Выполнено 113 измерений. Ни в одной из проб величина бихроматной окисляемости не соответствовала требованиям нормативных документов (до 30 мг O₂/дм³). Минимальное значение (59,7 O₂/дм³) зафиксировано в феврале 2010 г., максимальное (277,1 O₂/дм³) – в середине 2011 года. То есть допустимое значение постоянно превышалось в 2–9 раз. Среднегодовые величины бихроматной окисляемости в анализируемый период колебались от 101,0 в 2005 г. до 176,8 O₂/дм³ в 2012 г. (рис. 5).

Рис. 4. Среднегодовая величина БПК₅ (мг O₂/дм³) в оз. Китай в 2004–2013 гг.Рис. 5. Среднегодовые величины бихроматной и перманганатной окисляемости (O₂/дм³) в оз. Китай в 2004–2013 гг.: — — бихроматная окисляемость, - - - - перманганатная окисляемость

Колебания среднегодовых показателей бихроматной окисляемости имеют волнообразный характер с тенденцией роста. Заметное уменьшение этого показателя в 2009–2010 гг. связано, очевидно, с поступлением значи-

тельных объемов дунайской воды: 39,31 млн м³ в 2009 г. и 43,64 млн м³ в 2010 г. (данные ДБУВР). Дальнейшее резкое увеличение величины бихроматной окисляемости в 2011 г. (среднегодовая – около 155,0, максималь-

ная – 277,1 $O_2/дм^3$ в сентябре) произошло, очевидно, из-за аккумуляции органических веществ в озере. В 1988–1990 гг. ее величина в оз. Китай колебалась в пределах 13,4–56,0, в среднем составила 29,6 $O_2/дм^3$ (Enaki and Zhuravljova, 1993). Как видно, значение бихроматной окисляемости в 2012 г. увеличилось по сравнению с 1988–1990 гг. на порядок.

Перманганатная окисляемость. Проведено 111 определений. Величина перманганатной окисляемости ни разу не соответствовала норме (до 5 мг $O_2/дм^3$). В отдельные месяцы зафиксированы превышения предельно допустимых величин в 1,5–8,5 раза, по среднегодовым показателям – в 2,4–5,2 раза. Наименьшее значение (7,3 мг $O_2/дм^3$) зафиксировано в апреле 2010 г., наибольшее (42,7 мг $O_2/дм^3$) – в апреле 2012 года. Среднегодовые величины перманганатной окисляемости колебались от 11,9 в 2005 г. до 25,8 мг $O_2/дм^3$ в 2012 г. (рис. 5). Таким образом, показатель в исследуемый период увеличился вдвое. Характер кривой в целом соответствует таковому для бихроматной окисляемости: снижение с 15,4 мг $O_2/дм^3$ в 2004 г. до минимума среднегодовых значений в 2005 г., постепенный рост к 2008 г., снижение в 2009–2010 гг., резкий рост в 2011 г. и стабилизация в зоне максимума в 2012–2013 годы. В 1988–1990 гг. среднегодовая величина была в пределах 9,3–17,3 мг $O_2/дм^3$, в среднем составляла 11,7 мг $O_2/дм^3$ (Enaki and Zhuravljova, 1993). Можно сделать вывод, что состояние кислородного режима в оз. Китай постепенно ухудшилось.

Общий фосфор. Выполнено 114 измерений. В 2004–2013 гг. среднегодовое содержание общего фосфора в воде оз. Китай колебалось от 0,061 в 2005 до 0,111 мг/дм³ в 2012 г. (рис. 6). Минимальное количество (0,030 мг/дм³) зафиксировано в мае 2008 г., максимальное (0,234 мг/дм³) – в октябре 2011 года. Предельно допустимая концентрация (ПДК) общего фосфора при различном использовании водных объектов, согласно указанным выше нормативным документам, составляет 0,2–0,4 мг/дм³. То есть за весь период 2004–2013 гг. среднегодовые показатели ни разу не превысили допустимый уровень. В отдельные месяцы зафиксировано лишь три случая небольшого превышения ПДК (при норме 0,2 мг/дм³): в ноябре 2004 г. – 0,215, в октябре 2011 г. – 0,234 и в сентябре 2012 г. – 0,232 мг/дм³. В 2004–2010 гг. среднегодовые величины содержания общего фосфора изменялись незначительно. Пределы колебаний составили 0,060–0,077 мг/дм³ (рис. 6). Резкое увеличение его содержания произошло в 2011 г. – до 0,093 мг/дм³ и продолжилось в 2012 г. до указанного среднегодового максимума. В 2013 г. отмечено уменьшение до 0,097 мг/дм³. Тем не менее, эта величина оставалась большей, чем в 2011 году. Содержание общего фосфора в воде оз. Китай относительно стабильно на протяжении длительного времени. В 1988–1990 гг. оно составило 0,017–0,180 мг/дм³, в среднем – 0,089 мг/дм³ (Enaki and Zhuravljova, 1993). В 2001 г. в среднем по озеру его содержание колебалось от 0,030 до 0,190 мг/дм³ (Denga and Medinets, 2002).

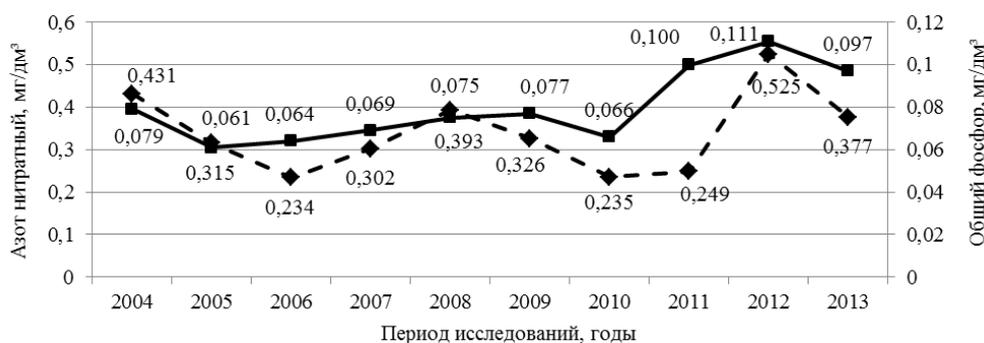


Рис. 6. Среднегодовые концентрации общего фосфора и азота нитратного в воде оз. Китай в 2004–2013 гг.:
— общий фосфор; - - - азот нитратный

Азот нитратный. В 2004–2013 гг. выполнено 114 измерений. Не было выявлено ни одного превышения ПДК, которая составляет 50 мг/дм³. Среднегодовое содержание азота нитратного колебалось от 0,234 в 2006 до 0,525 мг/дм³ в 2012 г. (рис. 6). Наименьшее значение зафиксировано в феврале 2010 г. (0,015 мг/дм³), максимальное – в октябре 2004 г. (3,110 мг/дм³). Сезонная динамика содержания азота в воде зависит от условий в конкретном озере. Например, в оз. Пейси (Чудское озеро) эта динамика противоположна обнаруженной нами – максимум азота фиксировался в зимний период (Punning and Karanen, 2009; Buhvestova et al., 2011). Более сходная с нашими результатами картина зафиксирована в греческом озере Памвотис (Kagalou et al., 2007). Среднегодовое содержание азота нитратного имело довольно сложную динамику (рис. 6), выделялись три пика: в 2004, 2008 и 2012 гг. – соответственно, 0,431, 0,393 и 0,525 мг/дм³. Помимо минимума в 2006 г., выделялся

довольно длительный период минимальных значений в 2010–2011 гг. (0,235–0,249 мг/дм³). В 2001 г. содержание азота нитратного в среднем по озеру колебалось в пределах 0,030–0,750 мг/дм³ (Denga and Medinets, 2002). Среднее содержание за время наших исследований составило 0,379 мг/дм³.

pH. Согласно указанным нормативным документам, величина pH для питьевого водоснабжения и рыбохозяйственного использования водоемов ограничена значениями 6,50–8,50 (9,00). В 2004–2013 гг. среднегодовая величина pH колебалась от 8,20 в 2008–2009 до 8,70 в 2012 г. (рис. 7). Минимальная величина pH (7,85) отмечена в декабре 2008, максимальная (9,10) – в сентябре 2012 года. В этом году значения pH были особенно велики: из ежемесячных 12 измерений в восьми величина pH превышала 8,50, в пяти – 8,84. График pH четко разделяется на несколько частей: с 2004 по 2008 г. среднегодовая величина pH снизилась с 8,50 до 8,20 и остава-

лась на прежнем уровне в 2009 году. Затем наблюдался довольно резкий ступенчатый подъем до указанного максимума в 2012 году. В целом, в течение длительного периода времени величина рН практически постоянно

находилась в пределах нормы: в 1988–1990 гг. – 7,50–9,20 (превышение даже при норме 9,0 (Enaki and Zhuravljova, 1993)), в 2001 г. – 8,11–8,62 (Denga and Medinets, 2002).



Рис. 7. Среднегодовые показатели рН в воде оз. Китай в 2004–2013 гг.

Рассмотренные показатели являются важнейшими факторами, определяющими гидрологическую и гидрохимическую ситуацию в озерах и позволяющими управлять качеством воды в водоемах (Spears et al., 2007). На их величину оказывают существенное влияние как внутриводоемные процессы, так и ситуация на водосборных площадях озер, погода. Например, заметно увеличивается концентрация азота в воде вследствие взмучивания донных осадков (Kristensen et al., 1992). Выявлено влияние на концентрацию азота прибрежной растительности (Canham et al., 2012). На концентрацию общего фосфора в воде заметно влияют температура и уровень воды в озере, фотосинтетическая активность водных растений, ветер (Tammeorg et al., 2014).

Относительно благополучная ситуация в оз. Китай сохранялась по растворенному в воде кислороду, общему фосфору, азоту нитратному и рН. Причем небольшое содержание азота и фосфора не обязательно означает невысокий уровень загрязнения, а может объясняться замедлением ряда внутриводоемных процессов (Tiberti et al., 2010). В летнее время быстро ассимилируются нитраты, особенно в эвфотическом слое (Tsunogai et al., 2011).

По большинству рассмотренных в работе гидрологических и гидрохимических характеристик прослежено ухудшение экологической обстановки в оз. Китай от 2004–2005 к 2012–2013 годам. Причем в большинстве случаев лучшая ситуация наблюдалась в 2005, наихудшая – в 2012 году. Последнее, как указывалось выше, – следствие аномально высокой летней температуры воздуха и воды, а также антропогенного влияния – закрытия шлюзов и недопуска дунайской воды в озеро в половодье.

Выводы

Анализ гидрологических и гидрохимических характеристик показал, что экологическая ситуация в оз. Китай в 2004–2013 гг. постепенно ухудшалась. В течение всего анализируемого периода озерная вода не соответствовала ГОСТ по прозрачности, которая снижалась к 2012–2013 годам. Постоянно возрастало среднегодовое количество взвешенных в воде веществ: от 29,4 в 2006 до 143,2 мг/дм³ в 2012 году.

Заметно возросла минерализация, среднегодовое значение в 2012 г. составило 5 140 мг/дм³. В течение

всего анализируемого периода уровень минерализации значительно превышал допустимые значения для питьевого водоснабжения и некоторых форм ведения рыбного хозяйства. Постоянно превышены допустимые значения показателей БПК₅, бихроматной и перманганатной окисляемости; по всем трем параметрам ситуация ухудшалась к 2012–2013 годам.

Содержание растворенного в воде кислорода, общего фосфора, азота нитратного и показатель рН соответствовали ГОСТ и другим нормативным документам. Тем не менее, ситуация по всем этим показателям ухудшалась к 2012–2013 годам. Среднегодовая температура воды была в пределах 11,4–15,8 °С, что соответствует температурному режиму водоемов данного региона.

Благодарности

Авторы искренне благодарны за предоставленные материалы и поддержку заведующей лабораторией мониторинга вод ДБУВР Ирине Витальевне Куриловой, начальнику отдела водных объектов, использования водных ресурсов, мониторинга вод ДБУВР Григорию Анатольевичу Ромалийскому, а также биологу кафедры гидробиологии и общей экологии ОНУ Ольге Леонтьевне Соловьевой за обработку гидрохимических проб.

Библиографические ссылки

- Buhvestova, O., Kangur, K., Haldna, M., Möls, T., 2011. Nitrogen and phosphorus in Estonian rivers discharging into Lake Peipsi: Estimation of loads and seasonal and spatial distribution of concentrations. *Eston. J. Ecol.* 60(1), 18–38.
- Canham, C.D., Pace, M.L., Weathers, K.C., McNeil, E.W., Bedford, B.L., Murphy, L., Quinn, S., 2012. Nitrogen deposition and nitrogen concentrations: A regional analysis of terrestrial controls and aquatic linkages. *Ecosphere* 3(7), 1–16.
- Denga, J.M., Medinets, V.I., 2002. *Gidrohimičeskij rezhim i kachestvo vod Pridunajskih ozor [Hydrochemical regime and water quality of the Danube lakes]*. *Visnik Odes'k. Nac. Univ* 7(2), 17–23 (in Russian).
- Dzhurtubaev, J.M., Dzhurtubaev, M.M., 2011. *Nekotorye limnologičeskie harakteristiki pridunajskih ozor Odesskoj oblasti v sovremennyh uslovijah [Some limnological characteristics of the Danube lakes Odessa region in modern conditions]*. *Nauk. Zap. Ternop. Nac. Ped. Univ. Ser. Biol.* 49, 26–31 (in Russian).

- Dzhurtubaev, M.M., Dzhurtubaev, J.M., Zamorov, V.V., 2012. Brjuhonogie molljuski pridunajskih ozor i vodotokov Odesskoj oblasti [Gastropods Danube lakes and streams of Odessa region]. Pechatnyj Dom, Odessa (in Russian).
- Enaki, I.G., Zhuravljova, L.A., 1993. Hidrohimičeskij režim [Hydrochemical regime]. Gidroekologija ukrainskogo uchastka Dunaja i sopredel'nyh vodojomov. Naukova Dumka, Kyiv. P. 23–40 (in Russian).
- Gâștescu, P., Bretcan, P., Teodorescu, D.C., 2016. The lakes of the Romanian Black Sea coast. Man-induced changes, water regime, present state. Rev. Roum. Géogr./Rom. Journ. Geogr. 60(1), 27–42.
- Gjeshtesku, P., Brajer, A., 1969a. Hidrologičeskaja svjaz' mezhdru rukavami i ozjorami del'ty Dunaja [The hydrological connection between the sleeve and the lakes of the Danube delta]. Limnologičeskie issledovanija Dunaja. Naukova Dumka, Kyiv. P. 109–118 (in Russian).
- Gjeshtesku, P., Brajer, A., 1969b. Hidrohimičeskie karakteristiki ozjor, raspolozhennyh v del'te Dunaja [Hydrochemical characteristics of lakes located in the Danube Delta]. Limnologičeskie issledovanija Dunaja. Naukova Dumka, Kyiv. P. 119 (in Russian).
- Gopchenko, J.D., Belash, J.S., 2005. Osoblyvosti vodno-sol'ovogo režymu pryduajsk'yx ozer (na prykladi ozera Kytaj) [Features water-salt regime of the danube lakes (for example Lake Kytai)]. Nauk. Zap. Ternop. Nac. Ped. Univ. Ser. Biol. 26, 98–100 (in Ukrainian).
- Gopchenko, J.D., Medvedjeva, J.S., 2008. Osoblyvosti vodnogo i sol'ovogo režymiv oz. Kytaj u 2007 r [Features of water and salt regimes of Kytai lake in 2007 year]. Visn. Odes'k. Derzh. Ekol. Univ. 6, 129–132 (in Ukrainian).
- Kagalou, I., Papastergiadou, E., Leonardos, I., 2008. Long term changes in the eutrophication process in a shallow Mediterranean lake ecosystem of W. Greece: Response after the reduction of external load. J. Environ. Manage. 87, 497–506.
- Kristensen, P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., 1992. Resuspension in a shallow eutrophic lake. Hydrobiologia 228(1), 101–109.
- Punning, J.M., Kapanen, G., 2009. Phosphorus flux in Lake Peipsi sensu stricto, Eastern Europe. Eston. J. Ecol. 58(1), 3–17.
- Romanenco, V.D. (ed.), 2006. Metody gidrologičnyh doslidzhen' poverhnevnyh vod [Methods of hydrological studies of surface waters]. Logos, Kyiv (in Ukrainian).
- Semenov, A.D. (ed.), 1977. Rukovodstvo po himičeskomu analizu poverhnostnyh vod sushi [Guidelines for chemical analysis of surface waters]. Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russian).
- Shvebs, G.I., Igoshyn, M.I., 2003. Katalog richok i vodojm Ukrainy [Product rivers and ponds Ukraine that occurred]. Astroprint, Odesa (in Ukrainian).
- Spears, B.M., Carvalho, L., Peterson, D.M., 2007. Phosphorus partitioning in a shallow lake: Implications for water quality management. Water Environ. J. 21, 47–53.
- Tammeorg, O., Möls, T., Kangur, K., 2014. Weather conditions influencing phosphorus concentration in the growing period in the large shallow Lake Peipsi (Estonia/Russia). J. Limnol. 73(1), 27–35.
- Tiberti, R., Tartari, G.A., Marchetto, A., 2010. Geomorphology and hydrochemistry of 12 Alpine lakes in the Gran paradiso National Park, Italy. J. Limnol. 69(2), 242–256.
- Timchenko, V.M., Novikov, B.I., 1993. Vzveshennoe v vode veshhestvo – ključevoj jekologičeskij jelement ust'evogo uchastka Dunaja i sopredel'nyh vodojomov [Weighted substance in the water – a key ecological and hydrological element of the mouth of the Danube and adjacent bodies of water]. Gidroekologija ukrainskogo uchastka Dunaja i sopredel'nyh vodojomov. Naukova Dumka, Kyiv. P. 3–14 (in Russian).
- Tsunogai, U., Daita, S., Komatsu, D.D., Nakagava, F., Tanaka, A., 2011. Quantifying nitrate dynamics in an oligotrophic using $\Delta^{17}\text{O}$. Biogeosciences 8, 687–702.

Надійшла до редколегії 29.09.2016