

Н.В. Мякишева, З.М. Жумангалиева

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНТРОПОГЕННО НАГРУЖЕННЫХ ПРЭСНОВОДНЫХ ОЗЕР СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

N.V. Myakisheva, Zariia Zhumangalieva

CURRENT STATE OF ANTHROPOGENICALLY STRESSED FRESHWATER LAKES OF KAZAKHSTAN

Выполнена многокритериальная оценка качества вод озер на основе метода рандомизированных сводных показателей. Получены сводные индексы качества вод. Проанализированы графики межгодовой и внутригодовой изменчивости качества вод озер. Выявлена цикличность качества вод. Используются натурные данные состояния озер по 15 гидрофизическим и гидрохимическим параметрам, содержанию токсичных веществ за многолетний период наблюдений. Рассмотрены озера Щучинско-Боровской курортной зоны Казахстана — Боровое, Большое Чебачье и Щучье.

Ключевые слова: озера, качество вод, метод рандомизированных сводных показателей.

The multicriteria assessment of water quality of the lakes by using randomized integral indices method was performed. Aggregate indices of water quality were obtained. Graphics of inter-annual and inter-annual variability of water quality of lakes were analyzed. The timing of water quality was revealed. In-situ long-term data of the state of lake systems 15 hydrophysical and hydrochemical parameters, content of toxic substances of Shchuchinsk Borovoye resort area.

Key words: lakes, water quality, Aggregated Indices Method.

Введение

Озера Щучинско-Боровской курортной зоны (ЩБКЗ) располагаются на территории Национального природного парка «Бурабай» Акмолинской области Северного Казахстана — обширной степной зоны недостаточного увлажнения. Существование данных водоемов уникально для этих мест, поскольку они являются пресными, достаточно глубокими и никогда не пересыхают.

Исследование качества вод озер актуально для данного антропогенно нагруженного (водообеспечение и водоотведение, сельскохозяйственная и рекреационная деятельность) региона.

Материалы и методы

Для оценки качества воды были использованы данные Центра гидрометеорологического мониторинга г. Астаны (РГП «Казгидромет» Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан), осуществляющего экологический мониторинг озер Боровое, Большое Чебачье и Щучье, с месячной дискретностью за 2002–2010 гг.

Были выбраны 15 параметров состояния водных экосистем (гидрофизические данные: содержание взвешенных веществ, прозрачность и цветность воды; гидрохимические параметры: кислотность водной среды (рН), содержание нитратного (NO_3) и аммонийного азота (NH_4), содержание фосфатов (PO_4), содержание кислорода (O_2 , %) и биологическое потребление кислорода (БПК₅); содержание токсических веществ: нефтепродукты, СПАВ, концентрация меди, ртути, цинка, фтора). Выбор группы токсических веществ обусловлен превышением данных веществ относительно ПДК в водоемах на протяжении анализируемого периода времени.

Основой для разработки подходов к многокритериальной оценке качества вод озер ЩБКЗ Северного Казахстана явился метод рандомизированных сводных показателей, математическая теория которого предложена Н.В. Ховановым [9]. Правила построения сводных показателей качества вод опубликованы в серии работ по многокритериальной оценке состояния и устойчивости природных и антропогенно трансформированных систем [2, 3, 5–7].

Все 15 исходных характеристик разбиты на три однородные группы: гидрофизические (г/ф), гидрохимические (г/х), содержание токсических веществ (УТЗ): неорганических и органических. Оценивалась принадлежность вод к одному из пяти классов качества, алфавит которых был взят из комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [8]. Данная классификация содержит более подробный перечень параметров качества воды. Имеющиеся в классификации интервалы классов (градации) практически идеально подходят для свертки информации.

Переход из пространства наблюдений x_i в пространство признаков $q_i = q_i(x_i)$ осуществлялся процедурой нормализации. При нормализации исходных характеристик x_i считается, что значение $q_i = 0$ соответствует близости природных вод к чистому состоянию, а $q_i = 1$ — к грязному. Таким образом, по мере загрязнения водоема показатели q_i будут расти от 0 до 1. Для таких исходных характеристик, как прозрачность воды и процентное содержание растворенного кислорода, задана монотонно убывающая зависимость отдельных показателей q_i от соответствующих исходных характеристик x_i . Такая зависимость определяется формулой (1) и означает, что при росте исходной характеристики, например прозрачности воды от минимальных значений к максимальным, величина отдельного показателя уменьшается от 1 до 0, т.е. качество воды изменяется от грязного к чистому. Иначе говоря, уменьшение прозрачности воды свидетельствует о загрязнении водоема.

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_i - x_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 1 & x_i > x_{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

Для остальных исходных характеристик качества вод задана монотонно возрастающая зависимость от них отдельных показателей (2) и имеет смысл, обратный описанному выше.

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \leq x_{\min}, \\ \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}}, & x_{\min} < x_i \leq x_{\max}, \\ 0 & x_i > x_{\max}. \end{cases} \quad (2)$$

Снижение мерности призначного пространства и переход к системе обобщенных независимых признаков осуществляется при расчете сводных показателей $Q(q;I)$. На первом уровне исследований расчет $Q(q;I)$ производился для каждой из трех групп исходных характеристик с учетом дополнительной информации о приоритетном влиянии отдельных показателей на сводный (табл. 1). Значения математического ожидания рандомизированных весовых коэффициентов $p(I)$, полученные в результате арифметизации нечисловой дополнительной информации, использованной при расчете $Q(q;I)$, также приведены в табл. 1.

Таблица 1

Математическое ожидание сводных показателей по классам качества вод

Классы качества вод		г/ф	г/х	УТЗ	Единый показатель (г/ф + г/х)
Предельно чистая	предельно чистая	0–0,01	0–0,006		0–0,008
Чистая	очень чистая	0,01–0,3	0,006–0,033		0,008–0,16
	вполне чистая	0,31–0,36	0,033–0,04		0,17–0,22
Удовлетворительной чистоты	достаточно чистая	0,37–0,42	0,04–0,07	0–0,001	0,23–0,28
	слабо загрязненная	0,43–0,48	0,08–0,14	0,001–0,057	0,29–0,35
Загрязненная	умеренно загрязненная	0,49–0,55	0,15–0,22	0,057–0,066	0,36–0,44
	сильно загрязненная	0,56–0,69	0,23–0,33	0,066–0,16	0,45–0,65
Грязная	весьма грязная	0,7–0,99	0,34–0,61	0,17–0,41	0,66–0,99
	предельно грязная	0,99–1	0,62–1	0,42–1	0,99–1
Дополнительная информация (вариант приоритетности)			$O_2 > NH_4 > NO_3 > PO_4 > pH$; $O_2 \leq 0,4$	$Zn = Cu = Hg = F$; $СПАВ = НФП$	г/ф=г/х

На втором уровне оценивался единый сводный показатель качества вод. При этом применялись разные наборы дополнительной информации о приоритетном влиянии гидрофизических, гидрохимических характеристик и информации о токсическом загрязнении воды. В табл. 1 в качестве примера указаны значения математического ожидания единого показателя (для гидрофизических и гидрохимических характеристик),

вычисленные при одном из наборов дополнительной информации. Исходными данными для его расчета послужили результаты первого уровня.

Свертка информации для трех озер осуществлялась в двух направлениях: первое — выборка значений 15 характеристик для каждого месяца за все 9 лет (с 2002 по 2010 г.) для анализа внутригодовой динамики качества воды; второе — выборка 15 характеристик качества для каждого месяца каждого года для анализа многолетней динамики. При этом на первом уровне происходила свертка данных для каждого озера отдельно по гидрофизическим, гидрохимическим параметрам и уровню токсического загрязнения. На втором уровне свертки получали единый сводный показатель для гидрофизических и гидрохимических данных. Уровень токсического загрязнения анализировался отдельно, так как он по комплексной классификации имеет различные степени градации классов качества воды. Таким образом, были получены данные качества вод, иллюстрируемые на рис. 1–4.

Результаты

Многокритериальная оценка качества вод озер Щучинско-Боровской курортной зоны в рамках существующих в настоящее время представлений о классах качества и о приоритетном влиянии отдельных показателей на общую характеристику, а также в условиях дефицита исходной информации показала следующее.

Графики выявили периоды низкого и высокого качества воды озер. Согласно гидрохимическим данным, качество вод озер находится в пределах от «удовлетворительно чистой» до «загрязненной». Причем, между озерами нет существенных различий — практически одновременно происходит снижение и рост качества воды. Также заметна внутригодовая динамика, которую можно более детально проследить на рис. 4а и 4б.

Гидрофизические данные озер демонстрируют лучшую ситуацию, поскольку вода в озерах значительный период времени была «чистой». До 2007 г. динамика качества вод имела более длительные циклы и колебалась существенно от «предельно чистой» до «загрязненной». После 2007 г. циклы уменьшились, внутригодовая динамика стала более отчетливой. Качество воды в озерах Боровом и Щучьем в начале 2010 г. по гидрофизическим данным снижается.

При сведении гидрофизических и гидрохимических характеристик в единый показатель качества было выявлено озеро с преимущественно низким качеством воды (оз. Большое Чебачье) по сравнению с другими. После 2005 г. вода в озерах теряет свое качество, практически вначале каждого года переходит в разряд «загрязненной», что может быть обусловлено накоплением в водах загрязняющих веществ.

График уровня токсического загрязнения водоемов иллюстрирует распространение «весьма грязной» воды. На протяжении всего времени года в озерах качество воды снижается, достигает критических значений в середине года при интенсивной (предполагается) антропогенной нагрузке.

При анализе графиков внутригодовой динамики качества озерных вод за 9 лет в течение каждого месяца был выявлена цикличность. Сведенные гидрофизические и гидрохимические показатели (рис. 4а) демонстрируют более низкое качество вод оз. Большое Чебачье по сравнению с другими двумя (качество вод в оз. Боровое и Щучье находится в пределах от «чистых» до «удовлетворительно чистых»).

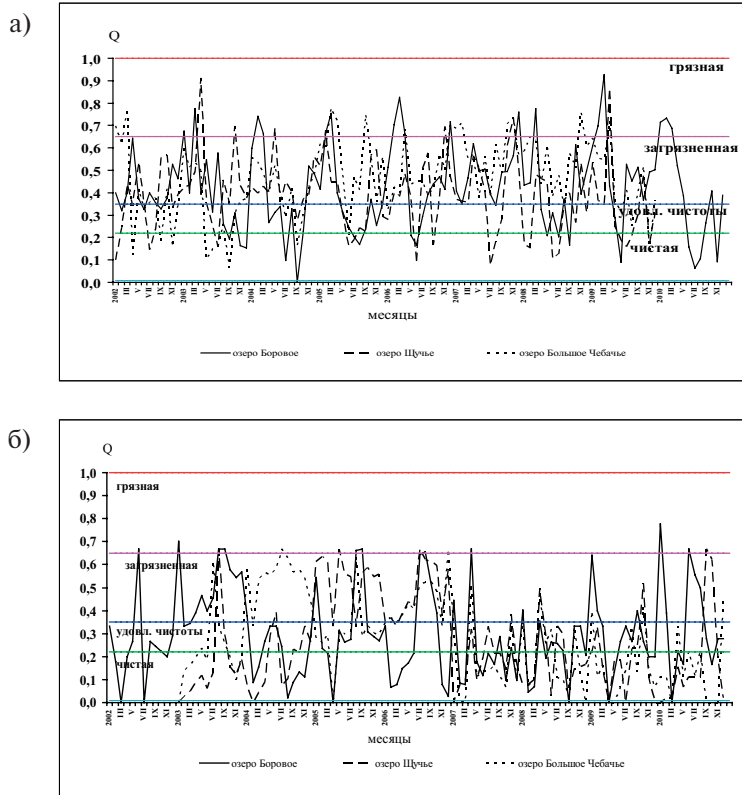


Рис. 1. Качество воды озер за многолетний период (2002–2010 гг.) по гидрохимическим (а) и гидрофизическим (б) данным

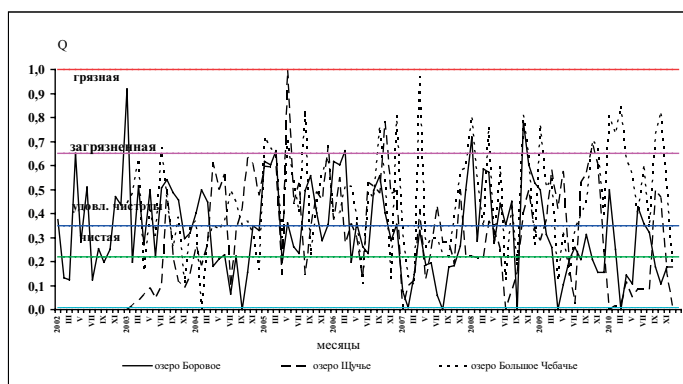


Рис. 2. Качество воды озер за многолетний период (2002–2010 гг.) по сведенным гидрохимическим и гидрофизическим данным

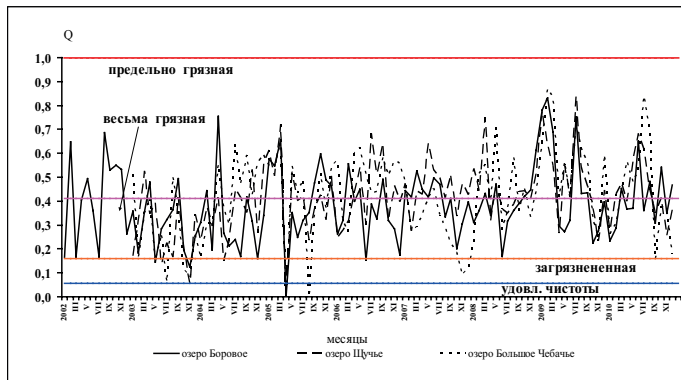


Рис. 3. Качество воды озер за многолетний период (2002–2010 гг.) по уровню токсического загрязнения

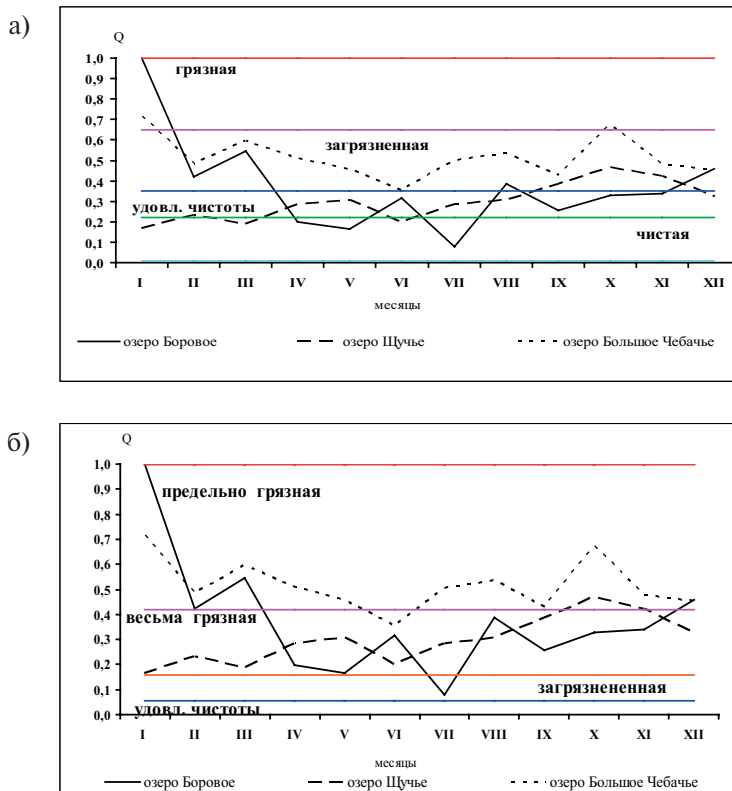


Рис. 4. Качество воды озер в течение года за многолетний период (2002–2010 гг.): при сведении гидрофизических и гидрохимических характеристик (а) и по уровню токсического загрязнения (б)

В начале года качество воды имеет низкие значения, что может быть обусловлено естественными процессами: органическое вещество, поступившее в экосистему извне или накопившееся в ней, слабо минерализуется, но из-за нахождения в воде достаточного количества биогенных элементов, может развиваться цветение водорослей.

Весной наблюдается рост качества воды, что может быть обусловлено сезонными изменениями состава вод (распреснение водоемов, обогащение вод кислородом, пополнение запасов биогенными элементами). Также в этот период заметны весенние вспышки фитопланктона, которые представляют собой естественный процесс эвтрофирования водоемов.

В летний период времени наблюдаются антропогенно обусловленное эвтрофирование водоемов, что заметно ухудшает качество вод. К осени эти процессы замедляются (обменные процессы живых организмов, зависящие от температурных условий, ослабевают; содержание органическое взвеси увеличивается, концентрация компонентов растворенной органики стабилизируется, биомасса и продукция живых организмов уменьшаются). Происходит общее оздоровление среды. Эти процессы иллюстрирует внутригодовая динамика качества вод озер по сведенным гидрохимическим и гидрофизическим параметрам.

На рис. 4б представлена динамика качества вод исходя из загрязнения озер токсическими веществами.

Качество вод изменяется от «загрязненной» до «весьма грязной». Вода оз. Большое Чебачье является наиболее грязной. В начале года наблюдается самое низкое качество вод, что может быть обусловлено накоплением в воде токсических веществ. С наступлением весны происходит распреснение водоемов, поступление свежих вод, их перемешивание, тогда качество воды улучшается. При интенсивном антропогенном использовании озер в летний период, заметны колебания качества вод — происходит загрязнение воды.

Выводы

1. При задании равных приоритетов между характеристиками качества исследуемые озера оказались в группе чистых вод с разрядностью «вполне чистая». При учете приоритета степени токсического загрязнения, воды озер попали в третий класс удовлетворительной чистоты с разрядностью «слабо загрязненных вод».
2. С помощью применения метода сводных показателей была произведена многокритериальная оценка качества вод озер Щучинско-Боровской курортной зоны. Методика данного исследования может быть применена для более углубленного изучения состояния водоемов данной территории или Северного Казахстана в целом.

Литература

1. Богословский Б.Б., Филь С.А. Классификация водоемов по внешнему водообмену. Географо-гидрологический метод исследования вод суши. — М.: изд. АН СССР. Геогр. об-во СССР, 1984, с. 54–60.
2. Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Хованов Н.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. Ст. 1. Качество природных вод. // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география, 1996, вып. 3 (№ 21), с. 40–52.

3. *Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Третьяков В.Ю. и др.* Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. Ст. 2. Трофический статус водных экосистем. // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология, география, 1997, вып. 1 (№ 7), с. 51–67.
4. *Догановский А.М.* Уровенный режим озер — интегральный показатель динамики их биоценозов. Дис. на соискание учен. степени д-ра географ. наук. — СПб., 1994. — 348 с.
5. *Догановский А.М., Мякишева Н.В.* Построение комплексных индексов внешнего водообмена озер в условиях неопределенности и дефицита гидрологической информации. // Водные ресурсы, 2002, т. 29, № 3, с. 284–291.
6. *Мякишева Н.В.* Многокритериальная классификация озер. — СПб.: РГГМУ, 2009. — 160 с.
7. *Мякишева Н.В., Жумангалиева З.М.* Внешний водообмен озер зоны недостаточного увлажнения. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 27, с. 36–44.
8. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. // Гидробиол. журн., 1993, т. 29, № 4, с. 62–77.
9. *Хованов Н.В.* Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. — СПб.: изд-во Санкт-Петербургского университета, 1996. — 196 с.