

И. С. ШИГАПОВ*, Н. М. МИНГАЗОВА**, А. Н. ШАРИФУЛЛИН**, О. В. ПАЛАГУШКИНА**,
Л. Р. ПАВЛОВА**, А. Г. МУСИН*

* Татарский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Казань

** Казанский государственный университет

ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ ОЗЕР УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОТ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

С помощью факторного анализа методом главных компонент установлена зависимость физико-химических показателей озер урбанизированных территорий от их морфометрических параметров на примере водных объектов г. Казани. На гидрофизические показатели воздействие оказывают объем водной массы и показатель открытости, на гидрохимические показатели — средняя ширина и удельный водосбор. Выявлено также взаимовлияние гидрохимических и гидрофизических показателей озер между собой (между кислородом и величиной рН, кислородом и прозрачностью воды, кислородом и минеральным фосфором в воде, фосфором и БПК₅).

Ключевые слова: озера, морфометрические параметры, гидрохимические и гидрофизические показатели, факторный анализ.

A dependence of physicochemical indices of lakes on urbanized territories on their morphometric parameters has been determined through factorial analysis using the method of main components by considering an example of water bodies of the city of Kazan. Hydrophysical indices are influenced by the volume of water mass, and by the index of openness, while hydrochemical indices are influenced by the mean width, and by the specific water catchment. The study revealed also the reciprocal influence of hydrochemical and hydrophysical indices of the lakes (between oxygen and the pH value, oxygen and water transparency, oxygen and mineral phosphorus in the water, and between phosphorus and BOD₅).

Keywords: lakes, morphometric parameters, hydrochemical and hydrophysical indices, factorial analysis.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При изучении вопросов функционирования, динамики и эволюции озер как геосистем часто из вида упускается существующая связь между разными элементами озер. Обычно это связано с узким пониманием рассматриваемой проблемы. Например, традиционно считается, что котловина озера как отрицательная форма рельефа является объектом изучения геоморфологов. При такой постановке вопроса можно прийти к выводу, что форма и размеры котловины озера не влияют на происходящие в водной толще процессы. Следовательно, между гидродинамическими явлениями в крупных и малых озерах не может быть различий. Однако наблюдения показывают обратное [1].

В настоящее время в публикациях наиболее подробно освещаются вопросы динамики водных масс и особенности термического режима озер. В работах [2, 3] учитывается влияние географических факторов на формирование термического режима озер. Влияние морфометрии озер на таксономическое разнообразие альгофлоры и ее структурные составляющие показано в [4, 5]. В целом же зависимость физико-химических показателей воды от морфометрических характеристик в литературе освещена недостаточно. Основными причинами такого положения являются незначительное количество выборки для выведения статистически достоверных результатов исследования, относительно короткие периоды и асинхронность наблюдений. Кроме того, при исследованиях рассматриваются обычно относительно крупные водоемы со слабоварушенной площадью водосбора.

Цель данной работы — выявление связи между физико-химическими показателями воды озер урбанизированных территорий и их морфометрическими параметрами. Нами изучались озера на территории г. Казань, большей частью являющиеся мелководными водоемами со значительно нарушенной площадью водосбора.

В процессе исследования решались следующие задачи: 1) вычисление площади водосбора с использованием космических снимков и крупномасштабных топографических карт района расположения озер; 2) составление батиметрических схем и получение на их основе расчетных морфометрических характеристик (изрезанность береговой линии, показатель открытости водоема, показатель формы озерной котловины, удельный водосбор); 3) выявление статистически достоверной корреляционной зависимости между лимнологическими показателями.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили данные инвентаризации¹ водных объектов г. Казани, проведенной в 2007 г., включающие результаты гидрологического и гидрохимического изучения. Для выполнения задач исследования обработана информация по 63 озерам Советского и Ново-Савиновского районов Казани. В ходе работы обработаны космические снимки и топографические карты м-бов 1:25 000 и 1:10 000, на основании которых вычислены площади водосборов, получены расчетные морфометрические показатели для каждого из исследуемых озер.

При статистической обработке материала применен метод главных компонент с использованием программного обеспечения StatSoft Statistica 7. Факторный анализ проводили с учетом рангового коэффициента корреляции по Спирману с уровнем значимости $p < 0.05$. Для описания величины коэффициента корреляции использовались общепринятые градации [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам исследований установлено, что средняя площадь водосбора для данных озер составляет 73 860 м², наибольшей площадью водосбора (477 885,2 м²) обладает оз. Длинная старица (Советский район), наименьшей (499,6 м²) — водоем озерно-болотного комплекса в парке Победы (Ново-Савиновский район). Выявлено, что у озер естественного происхождения большая часть объема водной массы расположена на меньшей глубине по сравнению с исследуемыми искусственными водоемами. Это можно объяснить генезисом, разницей в стадиях развития (искусственные озера были образованы позже естественных водоемов) и в трофическом статусе озер.

С помощью факторного анализа методом главных компонент установлено, что достоверную корреляцию имеют следующие пары показателей: объем—прозрачность воды; открытость—прозрачность воды; содержание кислорода—прозрачность воды; водородный показатель—содержание кислорода в воде; электропроводность—минерализация воды; БПК₅—содержание соединений фосфора в воде. Отрицательные корреляции обнаружены внутри следующих пар показателей: содержание кислорода—содержание соединений фосфора в воде; минерализация воды—средняя ширина водоема; содержание соединений азота в воде—удельный водосбор водоема. Других статистически достоверных корреляций не выявлено, за исключением случаев, когда один из морфометрических показателей являлся расчетной величиной, полученной с использованием другого показателя.

Факторный анализ методом главных компонент позволил выявить, что наибольшее влияние на такие физико-химические показатели воды, как минерализация, прозрачность, содержание биогенных веществ, содержание кислорода, величина pH, БПК₅, оказывают объем воды, показатель открытости водоема, средняя ширина и удельный водосбор. (Статистически значимые результаты представлены в таблице.) Указанные морфометрические параметры влияют прежде всего на растворяющую способность воды озер и количество поступающих в водоемы веществ. При этом большое значение имеет протяженность зоны контакта водоемов с окружающей сушей.

Высокая степень корреляции обнаружена между электропроводностью и минерализацией воды, что является общеизвестным фактом. В то же время выявлена слабая зависимость гидрохимических характеристик озер от их морфометрических параметров. Отмечены обратные корреляции минерализации воды в озерах с их средней шириной и содержания соединений азота в воде с показателем удельного водосбора. В то же время по отношению к гидрофизическим показателям (в данном случае к прозрачности) морфометрические показатели коррелируют со средней степенью. Наибольшее значение корреляции с прозрачностью обнаружилось для показателя открытости водоема, в наименьшей степени — для объема воды.

При рассмотрении зависимости между гидрохимическими и гидрофизическими показателями установлена средняя корреляция между содержанием кислорода в воде и прозрачностью, отрицательная средняя корреляция между содержанием кислорода и содержанием соединений фосфора. Выявлены также слабые корреляции между показателем БПК₅ и содержанием соединений фосфора в воде, между содержанием кислорода в воде и ее водородным показателем.

Статистически значимые результаты ранговой корреляции лимнологических показателей

Коррелирующие показатели	Степень корреляции
Минерализация воды — электропроводность воды	0,88
Содержание кислорода в воде — содержание соединений фосфора в воде	-0,62
Прозрачность — показатель открытости	0,57
Прозрачность — объем водной массы	0,56
Прозрачность — содержание кислорода в воде	0,56
Содержание кислорода в воде — pH воды	0,41
Содержание соединений фосфора в воде — БПК ₅	0,35
Удельный водосбор озера — содержание соединений азота	-0,30
Средняя ширина озера — минерализация воды	-0,30

¹ Инвентаризация проводилась Лабораторией водных экосистем факультета географии и экологии Казанского государственного университета.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Причины обнаруженных корреляций объясняются косвенным воздействием морфометрических параметров на физико-химические показатели озер. Например, при рассмотрении обратной корреляции минерализации воды со средней шириной озера необходимо учесть конечное значение площади водного зеркала. В сумме общая площадь акватории всех исследованных водоемов составляет около 1 166 500 м². При уменьшении средней ширины водоемов и неизменной площади возрастает их длина, т. е. удлиняется главная ось озера. Это повышает вероятность большего выхода грунтовых вод в озеро, что влияет на степень минерализации воды.

Кроме того, удлинение главной оси озера ведет к увеличению длины береговой линии, что расширяет зону контакта озера с сушей и, следовательно, увеличивает объем одновременно поступающего в озеро площадного притока. При этом известно, что воды поверхностного стока в городских условиях часто отличаются повышенной минерализацией [7].

Отсутствие корреляции между минерализацией воды и площадью водосбора озера в наших исследованиях объясняется антропогенным влиянием, так как в городских экосистемах подстилающая поверхность площади водосбора обычно сильно изменена и большая часть поверхностного стока перехватывается [8]. Следовательно, в озеро попадает поверхностный сток лишь с небольшой части площади водосбора, прилегающей к водному зеркалу.

При выяснении причин корреляции водородного показателя и содержания кислорода в воде необходимо учитывать, что показатель pH зависит в основном от температуры воды, жизнедеятельности растений и гидродинамических процессов. От этих же факторов зависит и содержание кислорода в воде. Поступление в воду углекислого газа при дыхании гидробионтов вызывает ее подкисление, что способствует снижению показателя pH. При фотосинтезе растений образуются углеводы и свободный кислород, поглощение углекислого газа растениями вызывает повышение величины pH. Следовательно, увеличение содержания кислорода в воде свидетельствует об уменьшении содержания углекислого газа и повышении pH.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований установлено влияние морфометрических параметров водоемов (объем, показатель открытости, удельный водосбор, средняя ширина, изрезанность береговой линии) урбанизированных территорий на значения других лимнологических, в частности физических и химических показателей воды (прозрачность, содержание кислорода, минерализация, электропроводность, pH, БПК₅, содержание биогенных веществ), что важно при понимании вопросов функционирования озер как геосистем.

Таким образом, нами установлено, что прозрачность воды (гидрофизический показатель) главным образом зависит от объема водной массы (0,56) и показателя открытости (0,57). В то же время на гидрохимические показатели (минерализация, содержание соединений азота со значением корреляции -0,3) влияют средняя ширина и удельный водосбор водоема. Также установлена связь гидрохимических и гидрофизических показателей и только гидрохимических показателей между собой.

Содержание кислорода коррелирует с прозрачностью (0,56) и водородным показателем воды (0,41). Содержание соединений фосфора в воде коррелирует с показателем БПК₅ (0,35) и отрицательно коррелирует с содержанием кислорода (-0,62). Таким образом, выявленные связи между различными элементами озер расширяют представление о функционировании озерных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомские В. Р. Динамика и термика малых озер. — Вильнюс: Минтис, 1969. — 204 с.
2. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. — Петрозаводск: Изд-во Карел. науч. центра РАН, 2007. — 395 с.
3. Теоретические вопросы классификации озер / Отв. ред. Н. П. Смирнов. — СПб: Наука, 1993. — 185 с.
4. Трифонова И. С. Закономерности изменения фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — СПб, 1994. — 77 с.
5. Палагушкина О. В. Экология фитопланктона карстовых озер Среднего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Казань, 2004. — 25 с.
6. Шишляникова Л. М. Математическое сопровождение научной работы с помощью статистического пакета SPSS for Windows 11.5.0. — М., 2005. — 107 с.
7. Шилькрот Г. С. Типологические изменения режима озер в условиях культурных ландшафтов. — М.: Наука, 1979. — 168 с.
8. Шигапов И. С., Мингазова Н. М., Мусин А. Г. Виды воздействия градостроительства на водные объекты на примере г. Казани // Экология и промышленная безопасность. — 2007. — № 3 (33). — С. 86–90.

Поступила в редакцию 4 августа 2008 г.