

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ, гидрофизические ПОКАЗАТЕЛИ воды и ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС как ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕР Г. Казани

По данным исследования 190 озер г. Казани были определены преобладающие типы вод по физико-химическим показателям и индексу Миллиус. Показано, что лимногенез озер идет в сторону интенсивного антропогенного эвтрофирования, выявлена зависимость количества озер с высоким трофическим статусом от продолжительности застройки территории. Наличие слабозагрязненных озер свидетельствует о возможности сохранения их относительно благополучного состояния в условиях сильного антропогенного воздействия.

Введение

Проблеме развития озерных экосистем в условиях урбанизированных территорий в последнее время уделяется достаточно большое внимание. В частности, значительное количество исследований посвящено критериям экологического состояния водных объектов [1], качеству водных ресурсов [2], изменению экологического состояния озер [3], формированию внешней нагрузки на водоемы [4], моделированию озерных экосистем [5] и др. Целый ряд работ посвящен вопросам ухудшения качества вод городских озер и проблемам оптимизации их экологического состояния.

Тем не менее, недостаточно полно изучены механизмы взаимодействия урбоэ-

И.С. Шигапов*, ассистент кафедры природообустройства и водопользования, ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт управления и территориального развития

косистемы и экосистем озер. В частности, остаются слабоизученными вопросы прогнозирования экологического состояния малых озер урботерриторий с учетом как изменений внешних условий, так и процессов, происходящих в самих озерах. При этом одними из наиболее доступных показателей экологического состояния являются гидрохимические и гидрофизические параметры воды озер, а также их трофический статус.

Описание объектов исследования

На территории г. Казани, занимающей площадь 413 км², в настоящее время учтено и изучено 190 озер разного генезиса. Исследуемые озера очень малы, поэтому несмотря на относительно высокую плотность озер (0,46 на 1 км²), озерность территории (отношение площади всех озер к площади города) составляет лишь 1,39%.

При изучении морфометрических параметров озер территории г. Казани выявлено, что большинство озер имеют площадь водного зеркала от 0,1 га до 0,5 га, на их долю приходится 36,4% от общего числа и 3,3% от общей площади озер. Также распространены озера с площадью водного зеркала менее 0,1 га (30% общего числа и 0,8% площади водной поверхности) и от 1 га до 10 га (16,3% и 19,1%, соответственно). Наряду с малыми водоемами встречаются относительно крупные, с площадью водного зеркала более 10 га (6,3% и 74,3%, соответственно), из них одно (оз. Средний Кабан) площадью более 100 га. При этом наиболее крупными являются междюнные, долинные и косвенно-искусственные озера (рис. 1).

Необходимо отметить, что даже самое крупное оз. Средний Кабан по площади

shigapov.irshat@yandex.ru

водного зеркала относится лишь к категории малых озер. Кроме того, большинство озер г. Казани находится в зоне застройки и данные по площадям и количеству озер могут меняться очень быстро. Только в Ново-Савиновском районе за 2004-2007 гг. исчезло более 30% малых озер.

Целью настоящей работы было изучение гидрохимических, гидрофизических показателей и определение трофического статуса озер г. Казани.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований Лаборатории оптимизации водных экосистем Казанского (Приволжского) федерального университета для 190 озер г. Казани были получены данные по физико-химическим показателям на основе анализов специализированных химических лабораторий г. Казани. Результаты представлены в табл. 1.

Отличительной чертой озер г. Казани является разнотипность их гидрохимического состава. Анализ на ионный состав воды выявил 21 сочетание преобладающих в воде анионов и катионов. Вода 45% объектов относилась к гидрокарбонатному типу, кальциевой группе; 10% — к гидрокарбонатному типу, натриевой группе; 25% — к сульфатному типу (с преобладанием катионов кальция — 16%); 11% — к хлоридному типу с преобладанием ионов натрия (6,4%) и кальция (4,6%). Таким образом, преобладающими анионами в водоёмах города являются гидрокарбонаты и сульфаты, а катионом — кальций.

Согласно классификации [6] большинство озер г. Казани имеют воды со средней и повышенной степенью минерализации, воды всего 13% озер имеют очень малую минерализацию.

Природные воды в зависимости от водородного показателя рационально делить на 7 классов. Согласно данной классификации воды большинства озер г. Казани (44,7%) относятся к слабощелочным. Воды 37,4% озер имеют нейтральную реакцию. Воды 10% и 7,9% озер имеют щелочную и слабокислую реакцию, соответственно. Воды сильнокислой и сильнощелочной реакции не обнаружены.

Содержание соединений азота в воде озер является показателем антропогенного воздействия, поэтому для характеристики экосистемы водоёмов обычно используют

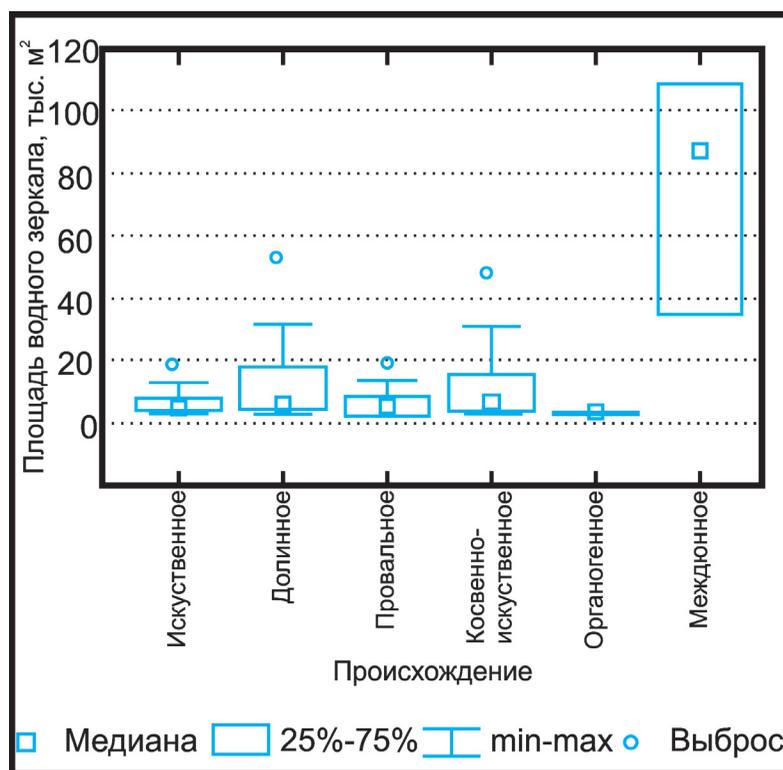


Рис. 1. Распределение площади водного зеркала озер различного происхождения.

показатель «общий азот» ($N_{\text{общ.}}$), определяемый как сумма содержания всех растворимых форм органического и неорганического азота [11]. Полученные данные о высоком содержании соединений азота в воде большинства озер г. Казани (до 0,35 мг/л отмечено в воде 17 озер) свидетельствуют о повышенной антропогенной нагрузке. Большинство исследованных озер по содержанию азота являются гипертрофными водоемами (32,0%), в меньшей степени — мезотрофными (19,4%), эвтрофными (18,9%) и олиготрофными (16,6%).

Содержание соединений фосфора, важнейшего биогенного элемента, чаще всего лимитирует развитие продуктивности водоемов. Обычно концентрация общего растворенного фосфора (минерального и органического) в незагрязненных природных водах изменяется от 5 до 200 мкг/л [12]. Вода большинства озер г. Казани (68,2%) содержит до 0,1 мг/л соединений фосфора.

Постоянно используемыми показателями для оценки качества вод являются содержание БПК₅ и кислорода. При делении озер на классы по показателю БПК₅ к классу «очень чистых» озер было отнесено 8 озер, к классу «чистых» — 15. Подавляющее большинство озер города (115) относятся к грязным водоемам.

Таблица 1

Распределение озер г. Казани по основным гидрохимическим показателям

По минерализации воды (классификация по [6])		
<i>Категория</i>	<i>Показатели воды (мг/л)</i>	<i>Количество озер</i>
Очень малая	меньше 100	25
Малая	100-200	32
Средняя	200-500	62
Повышенная	500-1000	71
По величине водородного показателя (классификация по [7])		
<i>Класс воды</i>	<i>pH</i>	<i>Количество озер</i>
Сильнокислые воды	< 3	0
Кислые воды	3...5	0
Слабокислые воды	5...6.5	15
Нейтральные воды	6.5...7.5	71
Слабощелочные воды	7.5...8.5	85
Щелочные воды	8.5...9.5	19
По содержанию общего азота (классификация по [8])		
<i>Содержание общего азота (Нобц), мг/л</i>		<i>Количество озер</i>
До 0,35		17 (8,9%)
0,35-0,95		56 (29,5%)
Свыше 0,95		117 (61,6%)
По степени загрязнения с использованием классификации по показателю БПК₅ (классификация по [9])		
<i>Степень загрязнения (классы качества воды)</i>	<i>БПК₅</i>	<i>Количество озер</i>
Очень чистые	0,5–1,0	8
Чистые	1,1–1,9	15
Умеренно загрязненные	2,0–2,9	24
Загрязненные	3,0–3,9	28
Грязные	4,0–10,0	115
По классам чистоты воды согласно эколого-санитарной классификации вод по насыщению кислородом (классификация по [10])		
<i>Класс</i>	<i>% насыщения O₂</i>	<i>Количество озер</i>
Предельно чистая	100	0
Чистая	81-100/101-110	38 (27/11)
Удовлетворительной чистоты	61-80/111-130	41 (16/25)
Загрязненная	31-60/131-150	38(21/17)
Грязная	<30/>150	73 (57/16)

Содержание растворенного кислорода (O_2) является индикатором биологической активности в водоеме и служит косвенной характеристикой качества поверхностных вод. Данный показатель определяется атмосферным поступлением и за счет фотосинтеза, поэтому его содержание в воде нередко превышает 100%. При распределении озер г. Казани по классам в соответствии с насыщением воды O_2 можно отметить, что одинаковое количество озер (20%) имеют воду как класса «чистая», так и класса «грязная».

В основе трофической типизации озерных экосистем лежит оценка уровня биологической продуктивности как главной функциональной характеристики водоема. Трофический тип водоема — это интегральная и многомерная характеристика, определяемая множеством взаимосвязанных процессов физической, химической и биологической природы. Определение трофического статуса включает, как правило, использование комплекса признаков, дополняющих друг друга.

Трофический статус озер классически определяется по гидробиологическим показателям, в первую очередь по биомассе фитопланктона, поэтому может служить индикатором изменения гидробиологических характеристик озер. Для оценки трофического состояния озер г. Казани использовался трофический индекс Миллиус, рассчитанный по биомассе фитопланктона.

Значение трофического индекса Миллиус озер г. Казани варьирует в широких пределах трофической 100-бальной

шкалы — от 27,7 (протока р. Казанки) до 97,35 (оз. Песчаное).

По результатам исследования можно сделать вывод, что на территории г. Казани по трофическому статусу в настоящее время отмечаются все типы озер. Из исследованной группы (190 озер) всего 11 озер (5,8%) были отнесены к категории олиготрофных водоемов. В основном это искусственные и косвенно искусственные водоемы, находящиеся вдали от селитебных зон города. Наибольшее количество озер г. Казани — 96 (50,5%) — отнесены к категории эвтрофных водоемов. К категории мезотрофных было отнесено 51 озеро (26,8%), гипертрофных — 32 озера (16,8%). В целом отмечается преобладание эвтрофных и мезотрофных типов озер, что связано с процессом антропогенного эвтрофирования.

При определении трофического статуса озер, находящихся на территориях с разной продолжительностью застройки, можно отметить, что все озера, расположенные на территории, застраиваемой с середины XVI в. и второй половины XVII в., относятся к категории эвтрофных водоемов (табл. 2). Вероятнее всего, это связано с тем, что они подвержены большей антропогенной нагрузке, но обладают относительно большой растворяющей способностью. Кроме того, данные озера находятся в центральной части города и на них периодически проводятся мероприятия по их очистке. Для крупных озер Кабан проблемы эвтрофирования водоемов остались в прошлом, к 1970-1980 гг. они были гипертрофированы и токсикофицированы, специальными восстановительными мероприятиями состоя-

Таблица 2

Распределение озер г. Казани, имеющих различный трофический статус, по территориям с различной продолжительностью антропогенного воздействия

Начало застройки	Количество озер				
	олиготрофные	мезотрофные	эвтрофные	гипертрофные	всего
с середины XVI в.	0	0	3 (100%)	0	3 (100%)
со второй половины XVII в.	0	0	4 (100%)	0	4 (100%)
с начала XX в.	7 (5,3%)	25 (18,9%)	68 (51,5%)	32 (24,2%)	132 (100%)
незастроенные территории	4 (7,8%)	26 (51,0%)	21 (41,2%)	0	51 (100%)

ние этих озер оптимизировано до эвтрофных водоемов.

Все озера г. Казани, имеющие статус гипертрофных водоемов, расположены на территориях, застроенных с начала XX века. В основном это территории, относящиеся к жилым и промышленным зонам города. Для данных территорий характерно преобладание количества гипертрофных озер (24,2%) над количеством мезотрофных (18,9%).

Для незастроенных территорий г. Казани характерно практически равное соотношение мезотрофных и эвтрофных озер (26 и 21, соответственно), 4 озера относятся к категории олиготрофных.

Выявленная тенденция преобладания эвтрофных и гипертрофных водоемов над олиготрофными и мезотрофными характерна в целом для территории Республики Татарстан [13], однако в последнем случае имеет место сельскохозяйственное воздействие (эвтрофирование в результате поступления биогенных веществ от земледелия и животноводства). Для урботерриторий определяющим является поступление загрязняющих (биогенных) веществ с поверхностным стоком, коммунальными и хозяйственными сточными водами.

Заключение

Полученные результаты указывают на неблагоприятное состояние озер г. Казани. Большинство озер города по ряду гидрохимических и гидрофизических показателей относятся к классу «грязные» и «очень грязные». Однако необходимо отметить наличие водоемов, вода кото-

рых имеет невысокую степень загрязнения, что свидетельствует о возможности сохранения относительно благополучного состояния озер даже в условиях сильного антропогенного воздействия (в случае сохранения слабо нарушенного водосбора и зеленых зон).

Приведенные данные подтверждают, что лимногенез озер г. Казани идет в сторону интенсивного антропогенного эвтрофирования, что приводит к неустойчивому или неблагоприятному состоянию озер. На территориях, застроенных в XVI-XVIII вв., находится небольшое количество озер, прежде существовавших здесь (по историческим свидетельствам и старым картам); многочисленные пойменные озера погребены под мощными насыпными грунтами, оставшиеся озера были гипертрофированы и токсикофицированы, а в настоящее время их трофический статус был вторично возвращен к эвтрофному благодаря проводимым восстановительным и благоустроительным мероприятиям.

При анализе соотношения озер различного трофического статуса на территориях, застроенных с начала XX в. и незастроенных, очевидна тенденция увеличения уровня трофности озер при застройке территорий; все гипертрофные и наибольшее количество эвтрофных озер отмечаются на застроенных в XX в. территориях.

По результатам исследования также выявлено, что трофический статус озер фактически является индикатором изменения их состояния в условиях урбанизации. Преобладание эвтрофных и большое количество гипертрофных озер определяют необходимость проведения мероприятий по восстановлению озер г. Казани.



Литература

1. Кондратьев С. А. Водные объекты мегаполисов: критерии экологического состояния и концепция рационального управления / С. А. Кондратьев, Т. П. Гронская, С. Э. Глухова, Н. В. Игнатьева, Л. В. Ефремова, Г. А. Алябина, И. Н. Сорокин, Н. И. Силина. СПб.: СПб: НИИ химии СПбГУ, 2001. 53с.
2. Румянцев В. А. Качество водных ресурсов Ладожского озера: приоритетные факторы формирования и тенденции изменения / В. А. Румянцев, В. Г. Дробкова, С. А. Кондратьев // Изв. РГО, 2001. Т. 133. Вып.1. С. 43–53.
3. Кудерский Л. А. Изменение экологического состояния озер в связи с антропогенным влиянием / Л. А. Кудерский, В. А. Румянцев, В. В. Кулибаба. СПб.: Институт озероведения РАН, 2002. 63 с.
4. Кондратьев С. А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 255 с.
5. Астраханцев Г. П. Моделирование экосистем больших стратифицированных озер / Г. П. Астраханцев, В. В. Меншуткин, Н. А. Петрова. М.: Наука, 2003. 363 с.
6. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 443 с.
7. Никаноров А. М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 352 с.
8. Дмитриев В. В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. II. Трофический статус водных экосистем / В. В. Дмитриев, Н. В. Мякишева, В. Ю. Третьяков, Н. В. Хованов // Вестник СПбГУ. 1997. № 7. С. 51–67.
9. Косов В. И. Охрана и рациональное использование водных ресурсов. Ч. 1. Охрана поверхностных вод / В. И. Косов, В. Н. Иванов. Тверь: Изд-во Твер. гос. техн. ун-та, 1995. 385 с.
10. Романенко В. Д. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты / В. Д. Романенко, О. П. Оксюк, В. Н. Жукинский, Ф. В. Стольберг, В. И. Лаврик. Киев: Наукова думка, 1990. 2560 с.
11. Ягов Г. В. Современные методы определения содержания общего азота и углерода в пробах природных вод // Вода: химия и экология. 2009. № 10. С. 28–33.
12. Теоретические вопросы классификации озер / Отв. ред. Н. П. Смирнов. СПб.: Наука. 1993. 185 с.
13. Мингазова Н. М. Антропогенные изменения и восстановление экосистем малых озер (на примере Среднего Поволжья). Дис... д-ра биол. наук. Казань, 1999. 460 с.



I.S. Shigapov

HYDROCHEMICAL AND HYDROPHYSICAL PARAMETERS OF WATER AND TROPHIC STATUS AS INDICATORS OF ECOLOGICAL STATE OF LAKES OF THE KAZAN CITY

Dominant water types differing by physicochemical characteristics and Millius index were detected based on results of research of 190 lakes near the Kazan city. It was shown that lake limnogenesis develops to intensive anthropogenic eutrophication. Dependence of quantity of lakes with high trophic status on term of building development was revealed. Presence of low-polluted lakes gives evidence of their maintainability at relative unharmed state under anthropogenic impact.

Key words: lakes, hydrochemistry, trophic status

