

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ модификации ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ КУЙБЫШЕВСКОГО **ВОДОХРАНИЛИЩА** в ПРЕДЕЛАХ Республики Татарстан

Обсуждаются результаты двадцатилетних наблюдений за состоянием экосистемы Куйбышевского водохранилища в Республике Татарстан. Дается оценка доли антропогенного воздействия на водохранилище и в связи с этим приводится уровень экологического регресса его гидробиоценозов. По уровню экологического регресса экосистема Куйбышевского водохранилища находится в переходной стадии из равновесного состояния в кризисное. По уровню антропогенного эвтрофирования состояние экосистемы характеризуется как «критическое».



Введение

В условиях увеличивающегося масштаба антропогенного воздействия на окружающую среду происходит глубокая перестройка биоценозов, которые реагируют на подобные воздействия приспособительными изменениями — экологическими модификациями [1]. Наиболее масштабным оказывается антропогенное эвтрофирование водоемов.

Цель данной работы — на основе обобщенной гидрохимической и гидробиологической информации оценить экологические модификации гидробиоценозов Куйбышевского вдхр. на территории деятельности Управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан в условиях усиливающегося антропогенного воздействия.

В связи с этим нами были поставлены следующие задачи: выявить внутри-

Т.А. Кондратьева*, кандидат биологических наук, ведущий гидробиолог, ФГБУ Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан

межгодовую изменчивость концентраций биогенных элементов, основных загрязняющих веществ и состояние гидробиоценозов в Куйбышевском вдхр.; оценить влияние химического загрязнения на состояние биотической составляющей экосистемы Куйбышевского вдхр.илища.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных использовали ряды многолетней режимной гидрохимической информации за период наблюдений 1990-2011 годы в Куйбышевском вдхр.илище в створах наблюдений — Зеленодольск, Казань, Тетюши, Чистополь, Нижнекамск, Набережные Челны.

Для оценки состояния экосистемы водохранилища проведена статистическая обработка многолетней информации по изменчивости концентрации растворенного кислорода, легкоокисляемых органических веществ по БПК₅, азота аммонийного и выде-

*Адрес для корреспонденции: tatjana_kondrate@mail.ru

Таблица 1

Оценка состояния Куйбышевского вдхр. по основным гидрохимическим показателям

Пункт наблюдений	Модальный интервал БПК ₅ , мг/л (мода)	Состояние экосистемы	Модальный интервал NH ₄ , мг/л (мода)	Состояние экосистемы
г. Зеленодольск	1,54–3,25 (2,29)	кризисное	н.о.-0,38 (0,21)	равновесное
г. Казань — 1 км выше города	0,91–2,5 (1,8)	переходное от равновесного к кризисному	н.о.-0,37 (0,21)	равновесное
г. Казань — 1 км ниже города	0,84 — 2,89 (1,96)	переходное от равновесного к кризисному	н.о.-0,62 (0,32)	переходное от равновесного к кризисному
г. Тетюши	0,71–2,45 (1,64)	переходное от равновесного к кризисному	н.о.-0,22 (0,12)	равновесное
г. Чистополь	1,53–3,38 (2,29)	кризисное	н.о.-0,48 (0,25)	равновесное
г. Нижнекамск, выше города	1–2,8 (1,97)	переходное от равновесного к кризисному	0,29–0,56 (0,37)	переходное от равновесного к кризисному
г. Нижнекамск, ниже города	1–2,76 (1,96)	переходное от равновесного к кризисному	н.о.-0,31 (0,19)	равновесное
г. Набережные Челны, выше города	1–2,54 (1,89)	переходное от равновесного к кризисному	0,2–0,37 (0,28)	равновесное
г. Набережные Челны, ниже города	1–2,53 (1,88)	переходное от равновесного к кризисному	0,2–0,36 (0,26)	равновесное

лены наиболее часто встречаемые значения (модальный интервал). Проведена сравнительная оценка полученных данных с предложенным ГХИ классификатором [2, 3].

Для оценки состояния экосистемы Куйбышевского вдхр. по гидробиологическим параметрам проведена статистическая обработка многолетней информации (1997–2011 гг.) по изменчивости численности фитопланктона, зоопланктона, относительной численности коловраток, общей численности зообентоса, относительной численности олигохет. [4, 5].

Для выявления основных признаков экологического неблагополучия исследуемых водных экосистем использованы два подхода: сравнительная оценка степени загрязненности водной среды по комбинаторному индексу загрязнения вод (**КИЗВ**) условно фонового участка водохранилища и наиболее загрязненного с целью выбора показателей, ответственных за ухудшение качества; анализ структурной организации и уровня развития планктонных и бентосных сообществ

водных организмов, результаты которого позволяют выделить экологически благополучную экосистему или ее участок из экосистем, в которых произошли существенные изменения, вызванные внешним, в первую очередь антропогенным воздействием.

Результаты и их обсуждение

Сравнительная оценка полученных данных с предложенным классификатором [2] показала, что состояние Куйбышевского вдхр. в створах наблюдений Зеленодольск и Чистополь оценивается как кризисное по величине БПК₅ и равновесное по значениям концентрации аммонийного азота.

В створах наблюдений Казань (ниже города) и Нижнекамск (выше города) водохранилище переходное от равновесного к кризисному по БПК₅ и по значениям концентрации аммонийного азота. В створах наблюдений Казань (выше города), Нижнекамск

(ниже города), Набережные Челны в створах выше и ниже города Тетюши водохранилище переходное от равновесного к кризисному по величине БПК₅ и равновесное по значениям концентрации аммонийного азота (табл. 1).

Используя результаты расчета КИЗВ, проведена оценка изменчивости доли антропогенной нагрузки по 15 загрязняющим веществам. Полученные результаты показали, что при увеличении степени загрязненности водной среды величина доли антропогенного воздействия возрастает. Последнее свидетельствует о переходе состояния экосистем из естественного в критическое (табл. 2).

До 30 % доля антропогенного воздействия составляет в створах наблюдений Казань (выше города), Тетюши и Наб. Челны (ниже города); от 30 до 40% — в створах Зеленодольск, Казань (ниже города), Чистополь и Наб. Челны (выше города); 40 % и выше — в 2 створах наблюдений (Нижекамск выше и ниже города). Как равновесное по доле антропогенного воздействия состояние экосистемы характеризуется в створах наблюдений Казань (выше города) и Тетюши. Диапазон модальных интервалов по доле антропогенного воздействия для этих створов наблюдений составил от 6,7 до

Ключевые слова: экологическая модификация, гидробиоценозы, антропогенная нагрузка, эвтрофирование

46,7 %. В остальных створах наблюдений (за исключением створа г. Нижекамск — ниже города) состояние экосистемы оценивается как переходное от равновесного к кризисному (верхняя граница диапазонов значений изменяется от 53,3 % до 66,7 %). Как кризисное состояние экосистемы по доле антропогенного воздействия характеризуется в створе наблюдений ниже г. Нижекамск. В Куйбышевском вдхр., в основном, прослеживается зависимость ухудшения качества воды в результате антропогенного воздействия в контрольном створе по сравнению с фоновым.

Результаты проведенных исследований показали, что в условиях длительного или кратковременного сильного антропогенного воздействия в водных экосистемах происходит антропогенная трансформация компонентного состава водной среды и их структурной организации. При этом, как правило, наблюдается усиление процессов антропогенного эвтрофирования и экологического регресса.

Для выявления направленности этих процессов по результатам гидробиологических наблюдений проведена оценка эффекта антропогенного воздействия. Анализ многолетней режимной информации по об-

Таблица 2

Оценка состояния Куйбышевского вдхр. по антропогенной нагрузке

Пункт наблюдений	Доля антропогенного воздействия	
	Диапазон значений, %	состояние экосистемы
г. Зеленодольск, выше города (Козловка)	0-80* 6,7-53,3 (33,3)	переходное от равновесного к кризисному
г. Казань, выше города	0-80 6,7-46,6 (26,7)	равновесное
г. Казань, ниже города	0-80 6,7-66,7 (33,3)	переходное от равновесного к кризисному
г. Чистополь, выше города	0-80 0-53,3 (33,3)	переходное от равновесного к кризисному
г. Нижекамск, выше города	0-80 6,7-66,7 (40)	переходное от равновесного к кризисному
г. Нижекамск, ниже города	0-80 6,7-66,7 (46,7)	кризисное
г. Набережные Челны, выше города	0-80 13,3-66,7 (33,3)	переходное от равновесного к кризисному
г. Набережные Челны, ниже города	0-80 6,7-60 (26,7)	переходное от равновесного к кризисному
г. Тетюши	0-80 6,7-46,7 (26,7)	равновесное

Примечание: в числителе — общий диапазон колебания, в знаменателе — наиболее часто встречаемые значения, в скобках — среднемноголетнее значение.

Таблица 3

Эффект антропогенного воздействия

Пункт режимных наблюдений	Степень загрязненности	Мода вариационного ряда общей численности фитопланктона, тыс. кл/мл	Относительная плотность вариационного ряда, Π_0 %	Эффект антропогенного воздействия по показателям фитопланктона
г. Зеленодольск	грязная	1,08	47	Антропогенное напряжение с элементами регресса
г. Казань	грязная	1,3	37	Антропогенное напряжение с элементами регресса
г. Чистополь	грязная	1,2	48	Антропогенное напряжение с элементами регресса
г. Тетюши	грязная	0,4	48	Антропогенное напряжение с элементами регресса

шей численности фитопланктонных сообществ Куйбышевского вдхр. за 1997–2011 гг. и сравнительная оценка с классификатором [5] показали следующее. Альгофлора состоит из диатомовых, сине-зеленых, зеленых, криптофитовых, эвгленовых, золотистых и желто-зеленых водорослей. Основу фитопланктонного сообщества составляют диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли. Численность фитопланктона в створах наблюдений довольно сильно различалась и колебалась в диапазоне 0,07–108,16 тыс. кл/л. В Куйбышевском вдхр. при уровне загрязнения воды «грязная» в фитопланктонном сообществе доминирующей группой в период максимального развития (июль) становятся сине-зеленые и диатомовые водоросли. В планктоне доминируют 3–4 вида водорослей: *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. — 36–98 % от численности фитопланктона, *Melosira granulata* (Ehr) Ralfs — 32–44 %, *Skeletonema subscalum* (A. Cl.) — 21–49 %, *Stephanodiscus hantzschii* Crun. — до 43 %, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) — до 58 %. Максимальный уровень доминирования сине-зеленых водорослей зарегистрирован у г. Тетюши, минимальный — у г. Чистополь.

Данные особенности развития фитопланктона, а именно преобладание диатомовых водорослей, всплеск численности сине-зеленых водорослей в определенные этапы вегетационного периода, отмечались в наблюдениях ряда авторов [6].

В целом, наблюдается широкое распределение значений численности фитопланктона по интервалам, однако более 50 % данных укладываются в диапазон 0–4. Наиболее часто встречаются значения в диапазоне 0–2 тыс. кл/мл, частота (W) их в этом интервале составляет 37,5–67 % во всех створах наблюдений. Максимальная плотность вариационного ряда или плотность распределения ($\Pi_0 = W/K$) составляет 48 (табл. 3).

По значениям Π_0 и M_0 можно определить эффект антропогенного воздействия на водную экосистему Куйбышевского вдхр. в пределах вод Татарстана. Низкие значения Π_0 и высокие M_0 характеризуют, как правило, экосистемы с высоким уровнем антропогенного эвтрофирования. Для Куйбышевского вдхр. в зоне наших наблюдений характерны значения Π_0 и M_0 , соответствующие антропогенному напряжению с элементами экологического регресса (табл. 3), т.е. такое состояние биоценоза, которое характеризуется уменьшением разнообразия и пространственно-временной гетерогенности, упрощением межвидовых отношений, временной структуры, трофических цепей.

При антропогенном эвтрофировании используют дополнительные статистические характеристики: частоты обнаружения высоких и низких значений (α), кратность отклонения аномальных значений (β). В соответствии с классификацией загрязненности водных экосистем [4] по значениям M_0 , Π_0 , α и β тип отклика экосистем Куйбышевского

вдхр. можно охарактеризовать как экологический регресс планктонных сообществ в ответ на высокую степень эвтрофирующего воздействия на экосистемы, а в районе г. Тетюши – на средний токсичный эффект (табл. 4).

Зоопланктон Куйбышевского вдхр. характеризуется различием количественных характеристик от верхнего участка к нижнему. Так, численность зоопланктона у г. Зеленодольск варьировала от 0,2 до 163,4 тыс. экз./м³, у г. Казань от 0,9 до 406,6 тыс. экз./м³, у г. Чистополь – от 1,1 до 265,3 тыс. экз./м³, у г. Тетюши – от 0,7 до 610,0 тыс. экз./м³. Максимальные значения в развитии зоопланктона зафиксированы у г. Тетюши летом 2003 г., когда доминировали ветвистоусые ракообразные (77 % численности). Доля коловраток в планктонном сообществе варьировала от 1 до 84 %. Минимальные значения наблюдались вблизи г. Чистополь, максимальные – вблизи г. Казани. Однако в целом по водохранилищу численность зоопланктона не очень высока (в среднем 43,3 тыс. экз./м³) [7].

Несмотря на это, в зоопланктонном сообществе Куйбышевского вдхр. отмечается тенденция к росту численности зоопланктона под воздействием эвтрофирования от верхнего участка водохранилища (Зеленодольск – Казань) к нижнему (Чистополь – Тетюши) (табл. 5). По показателям зоопланктонного сообщества, в частности по относительной доли в сообществе коловраток, экосистема водохранилища в районе г. Зеленодольск и

г. Чистополь испытывает антропогенное эвтрофирование с элементами экологического регресса. В районе г. Казань и г. Тетюши в экосистеме отмечаются элементы экологического регресса (табл. 5).

Состав зообентоса на станциях наблюдения был довольно стабильным по годам и включал, в основном, моллюсков, олигохет, гаммарид, хирономид; кроме того, встречались пиявки, водяные клещи, полихеты, кумовые ракообразные, мизиды, нематоды. Диапазон изменения численности зообентоса составлял от 0,02 до 22,44 тыс. экз./м². Наибольший размах значений отмечен у г. Казань 0,1–22,4 тыс. экз./м². У г. Зеленодольска численность зообентоса варьировала от 0,12 до 8,32 тыс. экз./м², у г. Тетюши – от 1,24 до 19,48 тыс. экз./м², у г. Чистополь – от 0,02 до 8,16 тыс. экз./м². При этом наиболее часто встречаемые величины составляли у г. Казани 0,7–2,8, у г. Зеленодольска – 1,2–9,1, у г. Чистополь – 0,1–3,8, у г. Тетюши – 1,2–7,6 тыс. экз./м². Доля олигохет в бентосном сообществе варьировала от 1 до 100 %, максимальные значения были отмечены у г. Чистополь, наиболее часто встречаемые значения здесь составляли 56–100 %. Полихеты максимальных значений развития также достигали у г. Чистополь – 10–62 %.

Бентосное сообщество Куйбышевского вдхр. характеризуется широким диапазоном колебания численности. Наиболее часто встречаемые значения изменяются в пределах от 0,1 до 9,1 тыс. экз./м². Наибольшие

Таблица 4

Пространственная изменчивость уровня антропогенного эвтрофирования и экологического регресса

Пункты наблюдений	Статистические характеристики развития фитопланктона*					Уровень регресса
	P_o	$M_{оч}$	a_1	$M_{од}$	$M_{ов}$	
г. Зеленодольск	24	1,1	50	24	13	высокий эвтрофирующий
г. Казань	21	1,3	53	26	14	высокий эвтрофирующий
г. Чистополь	49	1,2	53	17	16	высокий эвтрофирующий
г. Тетюши	48	0,4	50	30	8	средний токсичный

* P_o – относительная плотность вариационного ряда значений общей численности;

$M_{оч}$ – мода внутри модального интервала значений общей численности;

a_1 – частота обнаружения высоких значений общей численности;

$M_{од}$ – мода модального интервала относительной численности доминирующего вида;

$M_{ов}$ – мода модального интервала видового разнообразия фитопланктонного сообщества.

Таблица 5
Изменчивость уровня регресса планктонных и бентосных сообществ Куйбышевского водохранилища

Пункт режимных наблюдений (степень загрязненности)	Сообщество фитопланктона		Сообщество зоопланктона		Сообщество зообентоса		
	Наиболее часто встречаемые значения численности фитопланктона, тыс. кл./мл	Уровень экологического регресса	Наиболее часто встречаемые значения относительной численности коловраток, %	Уровень экологического регресса	Наиболее часто встречаемые значения		Уровень экологического регресса
					общей численности зообентоса, тыс. экз/м ²	относительной численности олигохет, %	
г. Зеленодольск (грязная)	0,1-1,9	Элементы экологического регресса	3,8-27,6	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	0,7-2,8	11-60	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса
г. Казань (грязная)	0,2-1,9	Элементы экологического регресса	31,0-84,0	Элементы экологического регресса	1,2-9,1	20-54	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса
г. Чистополь (грязная)	0,4-1,8	Элементы экологического регресса	1,0-24,0	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	0,1-3,8	56-100	Элементы экологического регресса
г. Тетюши (грязная)	0,1-1,4	Элементы экологического регресса	33,7-76,0	Элементы экологического регресса	1,2-7,6	1-20	Антропогенное напряжение

значения численности отмечены для участка водохранилища в районе г. Казани, наименьшие — у г. Зеленодольска. Относительная численность олигохет варьировала от 1 до 100 %. Отклик бентосного сообщества на усиление эвтрофирования прослеживается в увеличении доли олигохет (до 100 %) и полихет (до 60 %). Наиболее высокие значения отмечены у г. Тетюши, наименьшие — у г. Чистополь. Увеличение в сообществе доли личинок хирономид имеет сезонный характер и связано с циклом их развития, поэтому говорить о четких тенденциях на основе проанализированных материалов здесь не представляется целесообразным. Тем не менее, отмечается некоторое увеличение их относительной численности у г. Казань.

По уровню развития олигохет в бентосном сообществе в экосистеме Куйбышевского вдхр. у г. Зеленодольск и г. Казань наблюдается антропогенное эвтрофирование с элементами экологического регресса, у г. Тетюши — антропогенное эвтрофирование, у г. Чистополь — элементы экологического регресса.

Анализ гидробиологической информации и сравнительная оценка характера изменчивости качественных и количественных показателей развития планктонных и бентосных сообществ на исследуемых участках Куйбышевского вдхр. позволяет проследить, в первую очередь, изменчивость их структурной организации по мере увеличения степени загрязненности водной среды (табл. 5). В условиях испытываемого внешнего воздействия трансформация состояния исследуемых экосистем происходит за счет усиления процесса экологического регресса, вызывающего глубокую, нередко необратимую перестройку структурной организации отдельных сообществ водных организмов и даже биоценоза в целом [8].

Заключение

На основе проанализированных материалов по уровню экологического регресса и уровню антропогенного эвтрофирования экосистемы Куйбышевского вдхр. произведена оценка уровня риска антропогенного воздействия на экосистему водохранилища по гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам. По уровню экологического регресса экосистема Куйбышевского вдхр. находится в переходной стадии из равновесного состояния в кризисное. По уровню антропогенного эвтрофирования состояние

экосистемы характеризуется как «критическое».

В целом состояние экосистемы по биотической и абиотической компоненте оценивается одинаково — как переходное от равновесного к кризисному, за исключением участков Куйбышевского вдхр. у городов Казань (выше) и Тетюши, где состояние экосистемы пока характеризуется как равновесное.

Литература

1. Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие гидробиоценозов // Тр. Междун. симп. «Экологические модификации и критерии экологического нормирования» Л.: Гидрометеоздат, 1991. С. 18–40.
2. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Охрана природы. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 49 с.
3. РД 52.24.661-2004. Рекомендации. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 25 с.
4. РД 52.24.620-2000. Методические указания. Охрана природы. Гидросфера. Организация и функционирование специальной подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 40 с.
5. РД 52.24.633-2002. Методические указания. Методические основы создания и функционирования подсистемы мониторинга экологического регресса пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2003.. 32 с.
6. Калайда М.Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия / М.Л. Калайда // Казань: КГЭУ, 2003. 135 с.
7. Степанова Н.Ю. Использование основных структурных показателей зоопланктонного сообщества для характеристики трофического статуса Куйбышевского водохранилища / Н.Ю. Степанова, Д.С. Захаров, Л.К. Говоркова, Т.А. Кондратьева, В.З. Латыпова // Проблемы региональной экологии. 2006. №6. С. 95-101.
8. Никаноров А.М. Пресноводные экосистемы в импактных районах России / А.М. Никаноров, В.А. Брызгалов. Ростов-на-Дону: «НОК», 2006. 275 с.



T.A. Kondrat'eva

ECOLOGICAL MODIFICATIONS OF HYDROBIOCENOSSES OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR WITHIN THE LIMITS OF THE TATARSTAN REPUBLIC

This article discusses twenty-year's results of ecosystem monitoring of the Kuibyshev reservoir in the Tatarstan Republic. Anthropogenic impact on the reservoir was estimated and ecological regress rate of its hydrobiocenoses was indicated. Ecosystem of the Kuibyshev reservoir is in transition stage between balanced and unbalanced state according to the regress rate. And state of the system is characterized as critical according to anthropogenic eutrophication rate.

Key words: ecological modification, hydrobiocenosis, anthropogenic impact, eutrophication