

оз. Белое достигнет 1 г/л, т. е. вода станет непригодной для технических целей.

При строительстве водохранилищ на базе озер происходят изменения в составе и биомассе фитопланктона. Существенно уменьшается биомасса фитопланктона за счет снижения количества синезеленых водорослей. Биомасса диатомовых остается на прежнем уровне, но соотношение синезеленых к диатомовым часто становится в пользу последних. Например, на озере-водохранилище Лепельское общая биомасса фитопланктона летом 1971 г. составляла 2,44 г/м³, а диатомовых — 1,7 г/м³. При обследовании в 1984 г. отмечена общая биомасса 1,07 г/м³, соотношение синезеленых и диатомовых водорослей осталось прежним. В озере-водохранилище Черное биомасса фитопланктона понизилась с 53,4 до 16,1 г/м³; в 1985 г. диатомовые составили 62 % общей биомассы. В водохранилище Луково общая биомасса фитопланктона уменьшилась в 2,5 раза за счет синезеленых водорослей, их биомасса в июле 1986 достигла 0,5 г/м³, или 6 % общей. Численность и биомасса диатомовых практически не изменились (5,2—5,5 г/м³).

В озере-водохранилище Погост развитие фитопланктона иное: общая биомасса составляет 8,5—22,8 г/м³, преобладают синезеленые водоросли (84,8 % общей биомассы), что связано, по-видимому, с неподготовленностью ложа водохранилища и значительным (до 2,5 м) сезонным колебанием уровня.

В гидробиологическом режиме озера-водохранилища Белое следует отметить значительный рост фитопланктона. Его биомасса за последние 30 лет увеличилась более чем в 30 раз: с 2,8 до 86,8 г/м³. Причем основу (97 %) составляют синезеленые.

Таким образом, при техногенном воздействии аквальные ландшафты претерпевают значительные изменения, проявляющиеся во всех урочищах и фациях. Наиболее быстро реагируют литоральные и сублиторальные урочища, а также эпи-, мета- и гипolimниальные фашии пелагиального урочища. Направление техногенных трансформаций совпадает с антропогенным эвтрофированием [1], но происходит значительно быстрее.

Список литературы

1. Якушко О. Ф. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2: Хим. Биол. Геогр. 1986. № 1. С. 53.
2. Якушко О. Ф., Лавринович М. В., Лопотко М. З. и др. // Проблемы Полесья. Минск, 1973. Вып. 2. С. 235.
3. Широков В. М. // История озер СССР: Тез. докл. VI Всесоюз. совещ. Таллин, 1983. Т. 1. С. 195.
4. Широков В. М., Лопух П. С. Там же. С. 197.
5. Широков В. М., Лопух П. С. Формирование малых водохранилищ гидроэлектростанций. М., 1986.

УДК 581.526.3(476)

Г. С. ГИГЕВИЧ, В. Ф. ИКОННИКОВ

СТАТИСТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ХАРАКТЕРА И СТЕПЕНИ ЗАРАСТАНИЯ ВОДОЕМОВ С ЛИМНИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Высшая водная растительность является неотъемлемым компонентом экосистемы водоема. Развитие макрофитов в озере определяется совокупностью целого ряда лимнических показателей: морфометрических, гидробиологических и т. д. В последнее время все больше внимания уделяется использованию статистических методов для выявления связей между развитием растительности в водоемах и отдельными лимническими показателями [1—7]. В настоящей работе проводит-

ся анализ связи развития макрофитов с комплексом лимнических показателей в озерах разных типов, выделенных на основании генетической классификации озер Белоруссии О. Ф. Якушко [8].

Материал и методика

Для установления статистической связи развития высшей водной растительности с лимническими показателями использован многомерный линейный регрессионный анализ. Фактическим материалом послужили данные комплексных лимнологических обследований 410 разнотипных озер Белоруссии. Каждый водоем характеризуется по следующим показателям: 1) площадь зарастания, %; 2) коэффициент глубинности; 3) средняя глубина, м; 4) площадь мелководий до 2 м глубины, %; 5) активная реакция воды, pH; 6) прозрачность воды, м; 7) общая минерализация воды, мг/л; 8) биомасса фитопланктона, г/м³; 9) ППП донных отложений литоральной зоны, %.

Все гидрохимические и гидробиологические характеристики являются средними для вегетационного периода. Приводимые в данной работе величины коэффициентов множественной корреляции (R), а также коэффициента парной корреляции (r) больше значения 0,21 (при уровне значимости 0,01) для нашей выборки являются достоверными (значимыми).

Результаты и их обсуждение

Исследование макрофитной растительности и анализ статистической связи развития высшей водной растительности с лимническими показателями в озерах различного генетического типа показали, что характер и степень развития высшей водной растительности зависят от комплекса лимнических показателей: морфометрических, гидрохимических, гидробиологических, донных отложений. Значение этих факторов для озер различных типов неравнозначно.

В мезотрофных с признаками олиготрофии озерах макрофиты получили довольно широкое распространение (в среднем 36 % площади озера занято водорослями). Доминирует погруженная растительность: харовые водоросли, широколистные рдесты, роголистник. Средняя биомасса макрофитов 0,200 кг/м² зарослей.

По морфометрическим параметрам это озера с самой узкой литоралью и крутым сублиторальным склоном, что отрицательно сказывается на развитии полупогруженной растительности, которая в озерах этого типа почти полностью отсутствует или образует узкую полосу (шириной 3—5 м) редких зарослей тростника (оз. Волос Ю.).

Гидрохимические показатели: высокая прозрачность (4—8 м), слабощелочная среда (pH 7—8), незначительная минерализация воды (160—200 мг/л), невысокое содержание органики в донных отложениях (15—34 %) — способствуют развитию погруженной растительности, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов парной корреляции ($r_5=0,77$; $r_4=-0,72$; $r_6=-0,60$; $r_8=0,49$ соответственно). Причем с прозрачностью воды и с составом донных отложений зависимость прямая, с остальными лимническими показателями — обратная (табл. 1). Коэффициент множественной корреляции для этой группы $R=0,92$.

Озера мезотрофного типа зарастают в среднем на 36 % (очень часто до 60 % — оз. Снуды, оз. Волос Сев.). В растительном покрове, по сравнению с предыдущей группой, увеличивается процент площадей, занятых полупогруженной растительностью (в основном тростником, реже камышом), становится богаче видовой состав флоры (17—42 вида). Доминирует как по занимаемой площади, так и по биомассе погруженная растительность, представленная преимущественно харовыми водорослями. Часто встречаются рдесты, элодея, роголистник, телорез. Биомасса макрофитов в среднем 0,270 кг/м² зарослей.

В этой группе озер наиболее тесная прямая связь прослеживается

Таблица 1

Корреляционная матрица

Лимнические показатели	Тип водоема							
	мезотрофный с признаками олиготрофии	мезотрофный	слабоэвтрофный неглубокий воронкообразный	слабоэвтрофный неглубокий большой площади	эвтрофный мелководный выс. эвтрофный	дистрофирую- щий	олигонизко- минерали- зованный	гиперэвтрофный
Коэффициент глубин- ности r_1	—0,21	—0,24	—0,42	—0,25	—0,22	—0,38	—0,30	—0,10
Средняя глубина r_2	—0,52	—0,56	—0,41	—0,48	—0,42	—0,38	—0,42	—0,15
Процент мелководий r_3	—0,10	0,73	0,13	0,55	0,40	0,55	0,53	0,10
pH воды r_4	—0,72	—0,58	0,04	0,13	0,09	0,59	—0,18	—0,02
Прозрачность r_5	0,77	0,50	0,14	0,01	0,18	0,10	0,22	—0,12
Сумма ионов r_6	—0,60	—0,41	0,09	—0,07	—0,03	0,55	—0,06	0,36
Биомасса фито- планктона r_7	—0,12	—0,11	—0,11	—0,08	0,31	0,13	—0,48	0,15
ППП донных отложений r_8	0,49	0,41	0,31	0,16	0,23	—0,19	0,60	0,04
Коэффициент множест- венной корреляции R	0,92	0,80	0,67	0,71	0,63	0,72	0,91	0,79
Процент зарастания	36,1	36,0	19,5	32,7	53,7	84,5	59,0	14,7

между величиной зарастания водоема и процентом мелководий ($r_3 = 0,73$), обратная — со средней глубиной ($r_2 = -0,56$). Широкому распространению погруженной растительности способствуют высокая прозрачность воды (в среднем 4 м), слабощелочная реакция (рН 8), невысокая минерализация воды (около 180 мг/л) и наличие в сублиторальной зоне карбонатных сапропелей (ППП = 36 %) (табл. 2). Тесноты связи развития растительности с перечисленными лимнологическими показателями иллюстрируют коэффициенты парной корреляции ($r_5 = 0,50$; $r_4 = -0,58$; $r_6 = -0,41$; $r_8 = 0,41$ соответственно). Коэффициент множественной корреляции для этой группы $R = 0,80$.

Слабоэвтрофные неглубокие водоемы с воронкообразными котловинами слабозаросшие — в среднем около 20 % площади озера. Такой же величиной определяется процент мелководий в этих озерах. Преимущественное развитие в них получила полупогруженная растительность (тростник, камыш). Низкая прозрачность (около 2 м) и наличие в литоральной зоне низкоорганических глинистых илов (ППП = 24,5 %) сдерживают развитие подводной растительности в озерах этого типа. Однако низкие коэффициенты парной корреляции прозрачности с величиной зарастания указывают на то, что прозрачность не является определяющим фактором в зарастании озер этой группы. Отрицательная связь ($r_2 = -0,41$) со средней глубиной и положительная с величиной ППП допных отложений ($r_8 = 0,31$) свидетельствуют о том, что степень зарастания озер этого типа определяют морфометрические особенности котловины и характер грунтов. Доказательством может служить группа слабоэвтрофных озер (больших по площади) с такой же прозрачностью (в среднем 2,0 м), но с меньшей глубиной (4,1 м), большим процентом мелководий (24 %) и увеличением содержания органики в грунтах (32,2 %). Эти озера зарастают в среднем на 33 %. Наряду с полупогруженными растениями в них значительное развитие получили и подводные. Доминируют тростник, камыш, рдесты, элодея, роголистник. Степень зарастания озер этого типа определяется морфометрией котловины: процентом мелководий и средней глубиной ($r_3 = 0,55$; $r_2 = -0,48$ соответственно). Коэффициент множественной корреляции $R = 0,71$.

Лимнические условия мелководных высокоэвтрофных озер наиболее благоприятны для произрастания как полупогруженной, так и погруженной растительности, что выражается в значительном зарастании этих водоемов (40—100 %) и более высоких биомассах макрофитов (в среднем 0,350 кг/м² зарослей).

Наиболее заросшими среди этой группы оказались самые мелководные и прозрачные до дна озера (100 % зарастания). В этих озерах доминируют погруженные макрофиты (преимущественно рдесты), распространение которых наиболее тесно связано с биомассой фитопланктона ($r_7 = -0,38$). В наиболее глубоких озерах этого типа с уменьшением прозрачности и возрастом биомассы фитопланктона снижается площадь зарастания (до 54 %). Увеличение биомассы фитопланктона до 17,76 г/м³ и более приводит к снижению прозрачности воды (до 1 м и ниже), при которой подводная растительность не получает развития. В таких озерах доминирует полупогруженная растительность, а степень зарастания определяется морфометрией котловины.

Среди дистрофирующих есть полностью зарастающие и слабозарастающие водоемы. Кислая реакция (рН 4—7,5) и низкая минерализация воды (15—150 мг/л) являются решающими факторами формирования видового состава макрофитов: бедный видовой состав (5—10 видов), в растительном покрове доминируют мхи.

В дистрофирующих озерах биомассы макрофитов очень низкие. Даже в полностью зарастающих озерах заросли рдестов очень редкие, биомасса не превышает 0,010 кг/м² зарослей. Прозрачность не определяет степени зарастания водоемов этого типа; решающее значение имеют рН воды, минерализация, а также процент мелководий ($r_4 = 0,59$; $r_6 = 0,55$;

Т а б л и ц а 2

Средние значения лимнических показателей озер разного типа

Лимнические показатели	Тип водоема							
	мезотрофный с признаками олиготрофии	мезотрофный	слабозэвтрофный неглубокий воронкообразный	слабозэвтрофный неглубокий большой площади	эвтрофный мелководный выс. эвтрофный	дистрофирующий	олигонизко- минерали- зованный	гиперэвтрофный
Коэффициент глубинности	9,9	4,7	7,1	4,1	2,3	1,5	4,1	5,5
Средняя глубина	9,9	6,4	6,2	4,1	1,4	1,3	3,7	4,8
Процент мелководий	14,0	20,0	20,0	24,0	50,8	82,0	32,0	36,4
pH воды	7,99	8,24	8,25	8,25	8,20	7,57	6,86	8,61
Прозрачность	5,1	4,0	2,2	2,0	1,4	1,7	4,1	0,9
Сумма ионов	182,2	182,1	233,1	209,0	196,0	119,8	45,7	320,0
Биомасса фито- ППП донных отложений	1,28	7,56	5,9	7,25	12,80	4,83	1,09	23,38
	29,8	36,4	24,5	32,2	44,0	64,8	64,5	27,1
Процент зарастания	36,1	36,0	19,5	32,7	53,7	84,5	59,0	14,7

$r_3=0,55$ соответственно). Коэффициент множественной корреляции для дистрофирующих озер $R=0,72$.

Лимнические показатели олиготрофных низкоминерализованных озер во многом определяют степень зарастания водоема и видовой состав макрофитов, о чем свидетельствует коэффициент множественной корреляции $R=0,91$. Развитие растительности в этих озерах зависит от характера грунтов ($r_8=0,60$), морфометрии котловины ($r_3=0,53$; $r_2=-0,42$) и биомассы фитопланктона ($r_7=-0,48$). Зарастают они в среднем на 59 % и имеют в видовом составе до 7 видов, среди которых доминирует полушник озерный. Биомасса низкая — 0,010 кг/м².

Слабое развитие растительности в гиперэвтрофных озерах обусловлено ограниченной площадью мелководий (14 %), почти полное отсутствие подводной растительности в них зависит в первую очередь от низкой прозрачности и высокой биомассы фитопланктона (см. табл. 2).

Низкие значения коэффициентов парной корреляции для озер этой группы свидетельствуют о существовании слабой статистической связи между лимническими показателями и зарастаемостью озера.

Таким образом, степень зарастания озер эвтрофного типа определяется прежде всего морфометрическими показателями водоемов, озер мезотрофных с признаками олиготрофии и дистрофирующих — гидрохимическими показателями, мезотрофных — совокупностью морфометрических и гидрохимических показателей, олиготрофных низкоминерализованных — сочетанием морфометрических показателей с составом донных отложений и биомассой фитопланктона.

Погруженная растительность доминирует в озерах с самой высокой степенью связи между величиной зарастания и лимническими показателями. Следовательно, степень развития погруженной растительности, а также ее видовой состав являются индикаторами состояния экосистемы.

Список литературы

1. Биочино А. А. // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. 1985. № 52/55. С. 3.
2. Wiegand G. // Arch. Hydrobiol. 1978. 83. № 4. С. 443.
3. Dale H. M. // Hydrobiologia. 1986. 133. № 1. С. 73.
4. Duarte Carlos M. // Can. Journ. Fish. and Aquat. Sci. 1986. 43. № 10. С. 1900.
5. Canfield Daniel E. // Journ. Aquat. Plant Manag. 1985. 23. Jan. С. 23.
6. Chambers Patricia A. // Can. Journ. Fish. and Aquat. Sci. 1985. 42. № 4. С. 701.
7. Мязметс А. А. // Биологические ресурсы водоемов бассейна Балтийского моря. Вильнюс, 1987.
8. Якушко О. Ф. Озероведение. География озер Белоруссии. Минск, 1981.