

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОЗЁР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Савченко Н.В.

В работе отражены результаты гидробиологического разнообразия и продуктивности озёр региона. На основе сравнительной оценки продукционно-деструкционных процессов рассчитан коэффициент экологической устойчивости и определён характер экологической устойчивости водоёмов различных генетических типов и различных ландшафтных зон.

Западная Сибирь является одним из самых заозёрных регионов мира. Здесь сосредоточено более 998 тыс. озёр, что составляет 24,4% озерного фонда и 9% водноозерных акваторий материка Евразии. За последние 40 лет экосистемы региона (в том числе и озёрные) испытывают интенсивные антропогенные воздействия со стороны топливно-энергетического, лесохимического, транспортного и агропромышленного комплексов. В этой связи возрастает общественный и научный интерес к выявлению функционального состояния, охране и рациональному использованию озёрных экосистем. К сожалению, до сих пор, в научной литературе имеются лишь разрозненные публикации, посвящённые характеристикам отдельных озёрных компонентов – альгофлоры, зоогидрофауны, ионно-гидрохимического состава и т.п. Такой подход не даёт полного и чёткого представления об экологическом состоянии водоёмов, и, тем более, о возможностях и перспективах их хозяйственной, рекреационной и экологической диверсификации.

В контексте выше сказанного, цель нашего исследования заключалась в том, чтобы показать фундаментально-прикладные возможности комплексного гидробиологического мониторинга озёр для установления их функционально-динамического состояния, которое, в свою очередь, позволяет оценивать степень их экологической устойчивости к лимитирующим антропогенным и ландшафтными факторам окружающей среды.

Суть мониторинга заключалась в следующем. В период с 1991 по 2008 гг. на ключевых озёрах (различных по генезису и морфометрическим параметрам) каждой ландшафтной зоны региона проводились комплексно-режимно-гидробиологические наблюдения за 13 количественными и качественными параметрами планктона, бентоса и органического вещества (ОВ). Из количественных показателей определялись: разнообразие видов и форм гидробионтов, их плотность и биомасса; качественные определения проводились по методике В.Г. Драбковой с соавторами [1] и включали: значения первичной продукции ОВ (Ф), деструкция ОВ (Д), коэффициента $\Phi / Д$ (табл. 1–3), на основе которых оценивалось экологическая устойчивость озёр.

Полученные результаты позволили выявить следующие ландшафтно-эколого-лимнологические закономерности.

1. Как видно из данных табл. 1 современные термокарстовые озёра территории тундры и лесотундры имеют неустойчивую экосистему, что сказывается на видовом разнообразии планктонных и бентосных сообществ. Он значительно ниже, чем в глубоководных озёрах ледниково-тектонического происхождения и в сравнительно крупных пойменных водоёмах. Так, по результатам многолетних наблюдений [2] фитопланктон в первых постоянно представлен 6–11 видами против 12–25 в последних, зоопланктон соответственно 9–11 и 16–28 видами, а простейшие соответственно 3–9 и 8–19 видами. Аналогичная закономерность выявлена и по результатам единичных (локально-полурежимных) наблюдений (табл. 1).

Обе эти группы озёр различаются и по функциональным показателям гидробионтов, прежде всего по соотношению продукционно-деструкционных процессов. В термокарстовых, как правило, величины первичной продукции (Ф) значительно превышают скорость деструкции ОВ (Д), коэффициент $\Phi / Д$ в абсолютном большинстве озёр был больше 1. Следовательно, эти озёра способны к быстрому накоплению в толще воды ОВ, создаваемого фитопланктоном, и более уязвимы к эвтрофированию при поступлении дополнительных биогенных элементов. В крупных ледниковых и пойменных водоёмах с более сбалансированными экосистемами наблюдалось преобладание деструкционных процессов над продукционными ($\Phi / Д$ был < 1).

Таблица 1

Биопродуктивность некоторых озёр различного генезиса территории тундры и лесотундры по результатам полурежимных наблюдений (с 27 июня по 22 июля 1991 года и с 30 июня по 30 июля 2008 года)

Показатели продуктивности	Единица измерения	Генетические типы озёр			
		Тектонические	Пойменные	Термокарстовые	Антропогенные
ФИТОПЛАНКТОН		(6)[19]	(4)[21]	(6)[25]	(6)[40]
Число видов	штук	7 – 15	12 – 21	2 – 5	10 – 12
Количество	тыс.кл/л	44-2242	5,6-29172	0,04 - 4,9	94,4 - 456,5

Биомасса	мг/л	$26 \cdot 10^{-5}$ - 0,066783	0,003 - 0,01	$19 \cdot 10^{-5}$ - 0,0006	0,47- 2,27
Первичная продукция ОВ (Ф)	г О ₂ (м ² ·сут)	0,18	0,62	0,09	0,72
Деструкция ОВ (Д)	(м ² ·сут)	1,22	0,74	0,04	0,59
Ф / Д	коэф-т	0,15	0,84	2,25	1,22
Хлорофилл «а»	мг/м ³	1,08	5,08	3,29	16,12
ЗООПЛАНКТОН					
Число видов	штук	(6)[22] 2 – 7	(4)[20] 6 – 8	(6)[19] 3 – 5	(6)[32] 5 - 8
Численность	тыс.экз/м ³	0,1 – 1,2	2,5–33,2	2,5–14,1	6,4 – 31,5
Биомасса	г/м ³	0,002-0,03	0,14 – 8,35	0,47– 5,9	0,385 – 147,9
ЗООБЕНТОС					
Число видов	штук	(6)[22] 3 – 4	(4)[20] 6 – 11	(6)[19] 2 – 5	(6)[32] 2 – 10
Численность	штук/м ²	58,8-470,6	411,7–705,7	29419412	235,3 -823,4
Биомасса	мг/м ²	58,8-5588,2	4058,8- 12647,6	2588,2- 11294,1	1882,4- 21853

Примечания. Фито- и зоопланктон отобраны в слое воды 0 – 1 м. В круглых скобках (здесь и далее) указано число исследованных озёр, в квадратных - число проб. Знак тире указывает на предельные значения.

Кроме этого выявлены некоторые специфические особенности молодых озёр антропогенного генезиса. В частности, на юго-востоке и юго-западе от посёлка Харасавэй на полуострове Ямал в 1991 и 2008 годах исследовано четыре таких водоёмов с глубинами 0,4–0,9 метра и с площадью акваторий от 0,2 до 1 га. Они образовались в понижениях вблизи у буровых скважин, заложенных с 1983 по 1985 годы, и имеют небольшие по площади водосборы (от 1 до 3 га). Водосборы почти полностью лишены почвенно-растительного покрова. Примечательно, что три озера (имеющих ручьевого приток из буровых и сток из своих котловин) по параметрам биопродуктивности почти не отличаются от озёр пойменного типа, а по биомассе основных групп гидробионтов даже опережают их. Рассчитанный для них коэффициент Ф / Д (от 1,16 до 1,22) указывает на то, что эти озёра, несмотря на свою молодость, являются сбалансированными, достаточно устойчивыми системами. Четвёртый водоём также имеет ручьевого приток, но является бессточным.

Таблица 2

Биопродуктивность некоторых озёр различного генезиса территории лесной зоны, лесостепи и степи по результатам полурежимных наблюдений в период открытой воды (средние значения за VI-IX 1989 – 2008 г.г.)

Показатели продуктивности	Единица измерения	Генетические типы озёр							
		Пойменные	Внутриболотные	Термокарстовые	Антропогенные	Пойменные	Внутриболотные	Антропогенные	Соровые
		Северная тайга				Средняя тайга			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Фитопланктон</i>		(6) [149]	(8) [157]	(6) [141]	(18) [197]	(11) [188]	(6) [124]	(14)[191]	(8) [143]
Число видов	штук	69	18	18	72	76	14	60	108
Количество	тыс.кл/л	1588	1,445	3,125	237,55	1602,9	1,31	207,1	15555,5
Биомасса	мг/л	0,4	<0,00024	<0,00081	1,46	0,9	<0,0001	1,36	0,81
Ф	гО ₂ (м ² ·сут)	0,164	0,81	0,117	0,746	0,171	0,62	0,766	0,692
Д	гО ₂ (м ² ·сут)	0,16	0,223	0,09	0,311	0,166	0,09	0,278	0,699
Ф / Д	коэф-т	1,025	3,63	1,3	2,4	1,03	6,89	2,76	0,99
Хлорофилл «а»	мг/м ³	7,38	2,04	3,11	16,3	4,62	3,19	14,47	4,14
<i>Зоопланктон</i>		(6) [124]	(8) [132]	(6) [124]	(18) [194]	(11) [173]	(6) [118]	(14)[191]	(8) [140]
Число видов	штук	35	16	16	12	22	10	10	23
Численность	тыс.экз/м ³	40	18	32,2	19,2	19,025	8,62	51,79	513,52
Биомасса	г/м ³	0,64	0,42	0,58	0,46	2,2	0,14	1,06	3,22
<i>Зообентос</i>		(6) [112]	(8) [124]	(6) [120]	(18) [142]	(11) [144]	(6) [112]	(14) [164]	(8) [124]
Число видов	штук	8	3	5	5	18	7	11	12
Численность	штук/м ²	712	41	526	260	785	654	125	1558
Биомасса	г/м ²	0,558	0,200	6,010	0,558	1,218	0,263	0,360	6,188

Продолжение табл. 2

Генетические типы озёр									
Соровые	Пойменные	Внутриболотные	Антропогенные	Суффозионные	Соровые	Пойменные	Внутриболотные	Антропогенные	Суффозионные
Южная тайга					Подтайга				
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(8) [92]	(11) [186]	(14) [132]	(12) [164]	(9) [122]	(4) [104]	(19) [238]	(11) [119]	(21) [108]	(11) [234]
111	116	37	160	128	128	82	46	176	147
14559,2	31111	2,06	198,6	11641,7	34137	27011	4,18	206,4	188,8
1,04	0,92	<0,00025	2,18	1,46	1,97	1,34	<0,002	2,61	2,52
0,711	0,184	0,54	0,844	0,784	0,862	0,604	0,87	0,916	0,899
0,726	0,169	0,18	0,192	0,697	0,811	0,619	0,21	0,171	0,161
0,979	1,08	3,0	4,396	1,125	1,063	0,976	4,143	5,357	5,584
3,64	3,97	2,84	15,01	11,3	11,07	13,21	3,06	21,18	20,6
(8) [84]	(11) [167]	(14) [128]	(12) [144]	(9) [122]	(4) [86]	(19) [172]	(11) [107]	(21) [104]	(11) [212]
15	15	13	10	22	11	10	11	20	13
253,136	98,036	97,11	25,37	33,65	19,3	78,22	9,12	21,34	26,15
8,788	2,967	2,625	5,093	0,274	4,113	3,811	0,928	4,811	3,387
(6) [74]	(11) [164]	(11) [120]	(9) [127]	(8) [114]	(4) [72]	(16) [164]	(9) [92]	(19) [98]	(9) [134]
15	10	7	14	17	36	38	16	28	32
1082	371	654	812	310	987	1116	347	916	1260
6,527	0,708	0,263	2,089	10,483	3,9	6,4	0,017	6,3	6,32

Окончание табл. 2

Показатели продуктивности	Единица измерения	Лесостепи и степи					
		Суффозионно-просадочные	Остаточные	Старичные	Антропогенные	Пойменные	Внутриболотные
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Фитопланктон</i>		138[652]	36[492]	52[337]	21[148]	44[560]	27[161]
Число видов	штук	80	55	53	63	73	20
Количество	тыс.кл/л	908005	92950	41615	243756	24705	2312
Биомасса	мг/л	21,5	14,430	16,855	10,15	14,38	5,623
Ф	гО ₂ (м ² ·сут)	3,6	4,7	2,27	4,2	2,85	2,06
Д	гО ₂ (м ² ·сут)	3,12	1,2	1,68	2,75	2,96	1,32
Ф / Д	коэф-т	1,15	3,8	1,35	1,53	0,96	1,56
Хлорофилл «а»	мг/м ³	5,78	4,88	6,49	6,02	6,18	3,22
<i>Зоопланктон</i>		129[568]	32[492]	36[348]	49[490]	44[417]	27[158]
Число видов	штук	35	38	21	14	36	8
Численность	тыс.экз/м ³	250,1	236,2	59,6	40,38	164,72	22,82
Биомасса	г/м ³	9,23	9,562	4,440	3,69	6,37	0,817
<i>Зообентос</i>		106[426]	30[390]	29[133]	49[448]	44[374]	22[144]
Число видов	штук	68	64	52	19	47	12
Численность	штук/м ²	1496	3900	830	1255	4363	226
Биомасса	г/м ²	6,229	20,311	1,315	2,99	9,9	0,414

Хотя показатели его биопродуктивности также несколько выше, чем в пойменных водоёмах, но коэффициент $\Phi / Д$, равный 2,27, больше роднит его с молодыми озёрами термокарстового типа. Аналогичные тенденции отчётливо проявляются и в рукотворном озере-коллекторе Харасавэй. Следовательно, можно предполагать, что бессточно-приточный гидрологический режим является не только важным условием доминирования продукционных процессов ОВ над деструкционными в молодых озёрах антропогенного и термокарстового генезиса, но и одним из основных факторов их экологической неустойчивости. Напротив, проявление устойчивости пойменных и приточно-сточных антропогенных озёр, т.е. способности сохранять своё оптимальное состояние в процессе активного функционирования, следует рассматривать в аспекте ручьевого (речного) стока, благодаря которому не создаётся одностороннего накопления ОВ и обеспечивается необходимая для гидробионтов и человека биогеохимическая, а значит и экологическая обстановка.

2. В лесоболотной зоне региона наблюдается заметное усиление функционально-динамических процессов во всех генетических типах озёр. Как и в зоне тундры, наиболее устойчивыми являются озёра пойменного типа и крупные материковые водоёмы, а также большинство сорových озёр. Соотношение $\Phi / Д$ в них равно единице или максимально приближено к ней (табл. 2). Соответственно и количественные показатели биопродуктивности гидробионтов возрастают в них от 3-5 до 60 раз. Чуть выше становится устойчивость термокарстовых озёр, хотя, как и в тундре, продукционные процессы в них преобладают над деструкционными.

Слабоустойчивыми и неустойчивыми (деградирующими) в лесной зоне являются экосистемы озёр внутриводотного генезиса и все водоёмы антропогенного генезиса. Они имеют самый бедный видовой состав зоогидробионтов (зоопланктона 10–16 видов, зообентоса 3–11) и весьма низкие показатели их продуктивности (соответственно 0,14–0,42 г/м³ и 200–260 мг/м²), коэффициент $\Phi / Д$ варьирует от 3,6 до 6,7. В водной толще и озёрных илах много накапливается ОВ, которое почти не подвергается окислению и тем более деструкции.

3. Лесостепной и степной регионы Западной Сибири, несмотря на наибольшую антропогенную нагрузку на озёра, чрезмерную пестроту и комплексность гидрохимического состава их вод и почв водосборов, характеризуются наиболее позитивными показателями экологической устойчивости (табл. 2). Высокой устойчивостью обладают пойменные озёра и водоёмы суффозионно-просадочного генезиса. Соотношение продукции и деструкции ОВ в них варьирует в пределах от 0,96 до 1,15, а показатели биопродуктивности имеют максимальные значения из всех озёр Западной Сибири. Все другие типы озёр (в том числе и антропогенного генезиса) находятся в состоянии близкого к устойчивому с некоторым доминированием процессов продукции и аккумуляции ОВ. Исключение из общего правила составляют водоёмы остаточного происхождения с высокой минерализацией воды и бессточным гидрологическим режимом. Деструкция ОВ в них лимитируется высокой концентрацией в воде и в донных отложениях хлоридов натрия и магния. Именно это обстоятельство обуславливает неустойчивость их экосистем.

Таким образом, на территории всех ландшафтных зон Западной Сибири доминируют в той или иной степени неустойчивые экосистемы озёр. В большинстве водоёмов продукционные процессы превышают деструкционные, что приводит к аккумуляции ОВ. В тундре и лесотундре, слабая экологическая устойчивость озёр связана как с доминированием продукции ОВ в бессточных термокарстовых озёрах, так и с активным гидрологическим водообменом (в сточных озёрах всех генетических типов), с которым выносятся большая часть ОВ. Высокой устойчивостью во всех ландшафтных зонах региона обладают в основном экосистемы пойменных озёр и подавляющее большинство озёр всех генетических типов, обладающих стабильным сточно-приточным гидрологическим режимом. В направлении от зон тундры и лесотундры к лесостепям и степям устойчивость экосистем всех генетических типов возрастает.

Литература

1. Драбова В.Г., Беляков В.П., Денисова И.А. и др. Закономерности формирования экосистем тундровых озёр и их изменение под влиянием антропогенного воздействия // Особенности структуры экосистем озёр Крайнего Севера. – СПб.: Наука, 1994. – С. 242–248.
2. Савченко Н.В. Гидробиологическое состояние озёр Западно-Сибирской субарктики // Современное состояние водных биоресурсов: Мат. междунар. конф. 26–28 марта 2008 г. – Новосибирск, 2008 – С. 73–76.

HYDRO-BIOLOGICAL MONITORING OF THE WESTERN SIBERIA LAKES AND THEIR ECOLOGICAL STABILITY

Savchenko N.V.

The paper presents an analysis of hydro-biological diversity and productivity of the local lakes. The author has given a comparative evaluation of productive-destructive processes and on this basis has calculated a ratio of ecological stability. The author has identified ecological stability features of reservoirs of different genetic types and location.