

Проблемы комплексного мониторинга экосистем

А. П. ОСТАПЕНЯ

Введение

Мониторинг экосистем – система длительных, регулярных наблюдений за отдельными элементами и экосистемой в целом. Целью этих наблюдений является оценка состояния экосистем, качества среды и прогноз изменения в будущем основных параметров структурной и функциональной организации наблюдаемых экосистем. **Комплексный мониторинг экосистем (КМЭ)** имеет свои особенности. Он объединяет результаты наблюдений, проводимых в рамках отдельных видов мониторинга в границах конкретной экосистемы. Однако комплексность мониторинга должна обеспечиваться не только тем, что различные виды наблюдений выполняются по согласованному графику на одной и той же территории, а, в первую очередь, интегрированным анализом всей совокупности полученных данных мониторинга. Совершенно очевидно, что в системе комплексного мониторинга экосистем должны использоваться интегральные показатели с высоким уровнем обобщения. Избыточная информация лишь затрудняет интерпретацию результатов мониторинга. В идеале, весь массив полученных материалов должен быть сведен к одному или нескольким характеристикам, количественно отражающим состояние изучаемой экосистемы.

К сожалению, методология интегральной оценки состояния экосистем по материалам различных видов мониторинга до сих пор отсутствует и должна рассматриваться как важнейшая задача научного сопровождения КМЭ.

Результаты и обсуждение

В настоящей работе в качестве одного из вариантов интегральной оценки состояния экосистем на примере, взятом из практики гидроэкологических исследований рассматривается количественная модификация метода так называемой «экспертной панели» (метод DELPHI). Этот метод позволяет обобщить и выразить в численной форме опыт, знания и интуицию специалистов разного профиля и широко используется за рубежом в различных сферах деятельности, в том числе и при решении проблем, связанных с оценкой состояния экосистем [1, 3, 4].

Суть метода «экспертной панели» заключается в следующем. Из числа специалистов разного профиля – экологов, лимнологов, непосредственных водопользователей, представителей территориальных органов управления и других специалистов, хорошо знакомых с объектом, состояние которого требуется оценить, формируется группа экспертов. В их распоряжение представляется база данных экологического мониторинга. Эксперты должны:

- 1 определить возможные варианты использования водоема, их приоритетность (сохранение природных особенностей, рекреация, рыболовство, хозяйственное и питьевое водоснабжение и др.);
- 2 из многочисленных гидрохимических, гидробиологических, лимнологических и санитарных показателей выбрать для использования в модели управления несколько (4 - 6), в наибольшей степени отражающих экологический портрет данного водоема;
- 3 определить характерный для каждого озера диапазон возможных изменений (сезонные, межгодовые) отобранных показателей;
- 4 проранжировать в относительных единицах в диапазоне от 0 (очень плохо) до 100 (отлично) численные значения показателей по отношению к каждому из вариантов исполь-

зования и целей управления. При этом ранг в диапазоне от 100 до 60 присваивается величинам, удовлетворяющим, по мнению эксперта, рассматриваемый вариант использования ресурсов экосистемы.

Проранжированные показатели умножаются на коэффициент, характеризующий приоритетность того или иного варианта использования экосистемы или цели управления. Полученные таким образом рейтинги усредняются. Их средние величины позволяют определить приемлемый диапазон изменений того или иного показателя с учетом возможных вариантов использования ресурсов экосистемы или целей управления. Осредненные и статистически обработанные рейтинговые оценки, полученные для различных показателей разными экспертами, позволяют дать интегральную оценку качества воды в конкретной экосистеме, учитывая ее экологические особенности, варианты хозяйственного использования и цели управления.

В отношении Нарочанских озер попытка использовать метод «экспертной панели» была предпринята в 1998–2000 годах при выполнении международного проекта INTAS-BELARUS № – 97-0306 [2]. Была сформирована группа экспертов из 26 человек, в состав которой входили экологи, лимнологи, непосредственные водопользователи, представители республиканских и территориальных органов управления и др. Основным требованием к экспертам было хорошее знание Нарочанских озер и проблем Нарочанского региона. В их распоряжение была передана уникальная база данных экологического мониторинга Нарочанских озер, накопленная в результате многолетних исследований НИЛ гидроэкологии и Нарочанской биологической станции Белгосуниверситета, а также другие материалы, характеризующие экологическую ситуацию в Нарочанском регионе. По обобщенному мнению экспертов варианты хозяйственного использования и относительная значимость целей и усилий управления различались для трех озер, как представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты использования природного потенциала озер Нарочанской группы и относительная значимость (%) целей и усилий управления

Озеро	Сохранение природных особенностей	Рекреация	Рыболовство	Другие
Нарочь	54	32	13	1
Мястро	49	25	23	3
Баторино	49	13	34	4

Для всех озер приоритеты отданы сохранению природных особенностей. На втором по значимости месте для озер Нарочь и Мястро стоит рекреационное использование, а для наиболее продуктивного эвтрофного озера Баторино – рыболовство.

Важнейшим элементом анализа состояния экосистемы является оценка приемлемых диапазонов изменения показателей при целевых установках управления. Такими целевыми установками могут быть сохранение природных особенностей озер, рекреация, рыболовство либо вариант сохранения природных особенностей и комплексного использования озерных ресурсов. Технология этого расчета описана выше. Напомним, что для различных целей использования каждому значению показателя экспертами присваивается индекс качества (R^i): $R^i < 60$ – плохо, $60 < R^i < 80$ – удовлетворительно, $R^i > 80$ – хорошо. Далее рассчитывается общий индекс качества показателя с учетом приоритетов использования по формуле (1):

$$R_{\text{общий}} = \sum R_n, \quad (1)$$

где, $R_n = R^i \cdot K_p$ (K_p – значимость целевой установки)

Для примера приведем расчет приемлемого диапазона для такого важного показателя качества воды, как концентрация взвешенных веществ, представленный в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2 – Расчет индекса качества (R) для взвешенного вещества в воде оз. Нарочь

Показатель	Варианты использования природного потенциала						Общий R (R ₁ +R ₂ +R ₃)
	Сохранение		Рекреация		Рыболовство		
	Значимость (K ₁) 0,54		Значимость (K ₂) 0,32		Значимость (K ₃) 0,13		
Взвешенное вещество, мг/л	R ¹	R ₁	R ²	R ₂	R ³	R ₃	
0,2	0	0,0	100	32,0	10	1,3	33,3
0,4	10	5,4	100	32,0	20	2,6	40,0
0,6	50	27,0	100	32,0	30	3,9	62,9
0,8	70	37,8	100	32,0	40	5,2	75,0
1,0	80	43,2	100	32,0	60	7,8	83,0
1,2	90	48,6	100	32,0	90	11,7	92,3
1,4	95	51,3	100	32,0	100	13,0	96,3
1,6	100	54,0	100	32,0	100	13,0	99,0
1,8	100	54,0	100	32,0	100	13,0	99,0
2,0	95	51,3	95	30,4	100	13,0	94,7
2,2	90	48,6	90	28,8	100	13,0	90,4
2,4	90	48,6	80	25,6	95	12,4	86,6
2,6	80	43,2	70	22,4	90	11,7	77,3
2,8	70	37,8	60	19,2	85	11,1	68,1
3,0	60	32,4	50	16,0	80	10,4	58,8
3,2	50	27,0	30	9,6	75	9,8	46,4
3,4	40	21,6	15	4,8	70	9,1	35,5
3,6	25	13,5	10	3,2	65	8,5	25,2
3,8	10	5,4	5	1,6	60	7,8	14,8
4,0	0	0	0	0	55	7,2	7,2
4,2	0	0	0	0	50	6,5	6,5

Примечание: R¹ – оценка целевой установки по 100-бальной шкале, R₁ – с учетом коэффициента значимости целевой установки

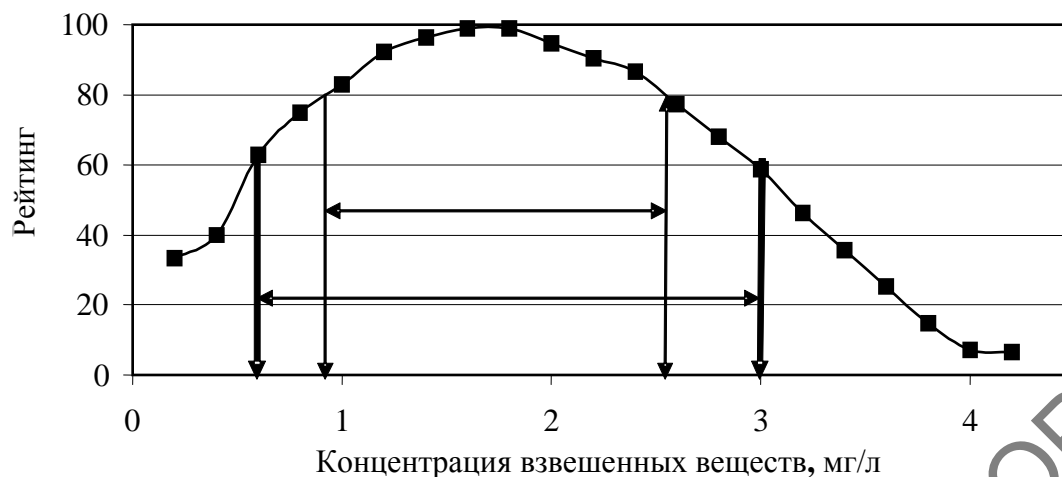


Рисунок 1 – Рейтинговая кривая индексов качества для взвешенных веществ. Пространство, ограниченное крайними вертикальными стрелками, соответствует допустимому диапазону изменения величин концентрации взвешенных веществ, внутренними – оптимальному

Зная приемлемые диапазоны отдельных показателей качества воды, можно легко оценить экологическую ситуацию в каждом из озер, используя материалы мониторинговых наблюдений, что также является важной составляющей стратегии управления экосистемой Нарочанских озер.

В качестве примера рассмотрим ситуацию в озере Нарочь (таблица 3).

Таблица 3 – Допустимый диапазон показателей качества воды и их величины в 2008 г. в оз. Нарочь

Показатели	Допустимый диапазон	2008 г.	Рейтинг показателя
Прозрачность, м	4,0 – 7,8	7,02	75,1
Взвешенные вещества, мг/л	0,7 – 2,8	0,7	59,2
Хлорофилл, мкг/л	1,2 – 7,8	1,09	58,3
Кислород, процент насыщения у поверхности	> 92 – 110	102,1	96,3
Кислород, процент насыщения у дна	48 – 110	83,4	94,0
Общий азот, мг/л	0,39 – 1,47	0,97	92,7
Общий фосфор, мг/л	0,01 – 0,04	0,017	80,3
Общий углерод, мг/л	3,8 – 6,8	5,82	86,4
Первичная продукция, мг С/м ³ сутки	26 – 64	65,3	51,5
Деструкция, мг С/м ³ сутки	29 – 70	38,8	75,0
Биомасса фитопланктона, г/м ³	0,5 – 3,0	0,96	80,3
Цианобактерии, процент общей биомассы водорослей	2,0 – 27,0	21,6	76,8
БПК ₅ , мг О ₂ /л	0,5 – 1,8	0,84	77,7
Средний рейтинг	77,2		

Осредненный по всем показателям рейтинг является искомым показателем, интегрально отражающим качество воды и состояние экосистемы озера Нарочь. В 2008 году он

составил 77.2. Напомним, что состояние экосистемы при величинах рейтинга в диапазоне от 60 до 80 следует рассматривать как приемлемое, а от 80 до 100 как хорошее.

Abstract. The paper considers the problems of complex monitoring of ecosystems.

Литература

1. Brown, R.M. A water quality index – do we dare? / R.M.Brown, N.I. McClelland, R.A. Deininger, G. Tozer // *Water and Sewage Works*, 1970. – 117. – P. 339-343.
2. Hakanson, L. Development of a system of water quality as a tool for management / L. Hakanson // *Final report from project, INTAS – BELARUS 97-0306*, 2000.
3. Hambright, K.D.H. Indices of water quality for sustainable management and conservation of an arid region lake, Lake Kinneret (Sea of Galilee) / K.D.H. Hambright, A. Parparov, T. Berman // *Kinneret. Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 2000. 10: 393-406.
4. Parparov, A. Trophic classification and water quality estimation / A. Parparov // *Aquatic Ecology at the Dawn of XXI Century 3 -7 October, 2005. St. Petersburg, 2005.* – P. 71.

Белорусский государственный университет

Поступило 28.01.09