

У статті виконано узагальнення коефіцієнтів екологічної моделі на прикладі Кременчуцького водосховища з використанням даних натурних вимірів

Ключові слова: екологічна модель, якість води, коефіцієнти трансформації

В статье выполнено обобщение коэффициентов экологической модели на примере Кременчугского водохранилища с использованием данных натурных измерений

Ключевые слова: экологическая модель, качество воды, коэффициенты трансформации

In article the generalization of coefficients of ecological model has been executed with using data of the measurements on location for Kremenchug reservoir as an example

Keywords: ecological model, water quality, coefficients of transformation

ОБОБЩЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭКОМОДЕЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩА

Е. В. Еременко

Доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник

Лаборатория гидрофизических процессов формирования качества и мероприятий по охране морских вод
Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем
ул. Бакулина, 6, г. Харьков, Украина, 61166
Контактный тел.: (057) 345-04-97; (057) 702-15-93
E-mail: morlabkr@ukr.net

Таблица 1

Характеристики камер

Характеристика	Камеры водохранилища						Все водохранилище
	1	2	3	4	5	6	
Площадь, км ²	155	373	409	404	422	364	2250
Объем, км ³	0,5	1,4	2,1	1,5	4,3	3,7	13,5
Глубина средняя, м	2,7	3,8	5,0	3,7	7,3	11,0	6,0
Длина, км	22,75	25,5	25,25	30,0	24,0	21,0	150,5

Экологические модели, используемые для описания формирования качества воды потоков, основаны в общем случае на уравнениях гидродинамики течения, переноса и трансформации веществ. Их особенностью является наличие ряда коэффициентов, а том числе, трансформации веществ, определение которых предполагается с помощью данных натурных измерений для конкретно рассматриваемого водного объекта.

Опыт исследований показал, что при наличии данных измерений нахождение значений коэффициентов задача решаемая, но для конкретно рассматриваемых случаев, однако проблема состоит в использовании таких результатов для количественного описания процессов формирования качества воды в разных условиях, что требует обобщения коэффициентов экологической модели, иногда высказываются предположения об использовании средних значений коэффициентов. Эти вопросы рассматриваются в настоящей статье.

В работе [1] приведены экологические модели разной сложности по числу учитываемых факторов, в зависимости от которой увеличивается количество требующих экспериментального определения коэффициентов. Подобная модель применялась для Кременчугского водохранилища [2] с целью оценки локального влияния на качество воды тепловых сбросов ТЭС. Ниже также рассматривается Кременчугское водохранилище, но в полном объеме с применением многокамерной экологической модели, простейшей из описанных в [1] сложности. Характеристики камер (нумерация по направлению течения) при отметке водной поверхности 81 м приведены в табл. 1.

С учетом того, что для рассматриваемого водохранилища лимитирующим биохимических процессов является азот, а наибольший вклад в массу органического вещества вносит фитопланктон [3,4], использовалась схема взаимосвязи компонент, приведенная ниже на рис. 1, соответствующая системе уравнений для каждой камеры модели, учитывающей восемь компонент, а именно: аммонийный азот ($NH_4 - N_1$), нитритный азот ($NO_2 - N_2$), нитратный азот ($NO_3 - N_3$), фитопланктон (Фито - N_4), взвешенное органическое вещество (ВОВ - N_6), растворенное органическое вещество (РОВ - N_7), фосфор органический ($P_{орг} - P_1$) и минеральный ($P_{мин} - P_2$), исходя из задач исследования на данном этапе, принято, что концентрация растворенного кислорода в потоке обеспечивает БПК_{полн.}

$$\frac{dN_1}{dt} = k_1 k_{17} N_7 - k_1 k_{21} N_1 - k_1 \bar{k}_1 \mu_{41} \left(\frac{N_1}{k_{s41} + N_1} \right) N_4 + f_1; \quad (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = k_1 k_{21} N_1 - k_1 k_{32} N_2 + f_2; \quad (2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = k_t k_{32} N_2 - k_t \bar{k}_t \mu_{43} \left(\frac{N_3}{k_{s43} + N_3} \right) N_4 + f_3; \quad (3)$$

$$\frac{dN_4}{dt} = k_f \bar{k}_t \left[\mu_{41} \frac{N_1}{k_{s41} + N_1} + \mu_{43} \frac{N_3}{k_{s43} + N_3} \right] N_4 - \bar{k}_t k_{64} N_4 + f_4; \quad (4)$$

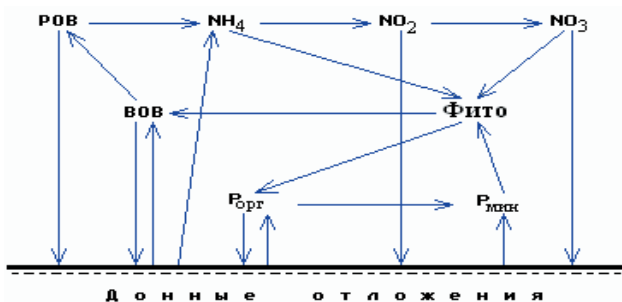


Рис. 1. Схема взаимосвязи компонент экологической модели

$$\frac{dN_6}{dt} = \bar{k}_t k_{64} N_4 - k_t k_{76} N_6 - k_{cd} (N_6 - k_{cn} S_p) + f_6; \quad (5)$$

$$\frac{dN_7}{dt} = k_t k_{76} N_6 - k_t k_{17} N_7 + f_7; \quad (6)$$

$$\frac{dP_1}{dt} = p_n \bar{k}_t k_{64} N_4 - k_t k_{21p} P_1 - k_{cp} k_{cd} (N_6 - k_{cn} S_p) + f_{1p}; \quad (7)$$

$$\frac{dP_2}{dt} = k_t k_{21p} P_1 - p_n k_f \bar{k}_t \left[\mu_{41} \frac{N_1}{k_{s41} + N_1} + \mu_{43} \frac{N_3}{k_{s43} + N_3} \right] N_4 + f_{pa}; \quad (8)$$

где

$\mu_{41}, \mu_{43}, \mu_{64}$ - экологические коэффициенты максимальной скорости роста и отмирания, 1/сут.;
 k_{s41}, k_{s43} - экологические коэффициенты полунасыщения, гN/м³;
 $k_{17}, k_{21}, k_{32}, k_{76}, k_{21p}$ - коэффициенты трансформации, 1/сут.;

$$f_i = \phi_i - (Q/W) N_i;$$

Q - расход воды в стоке из камеры, м³/сут.;

W - объем воды в камере, м³;

ϕ_i - интенсивность внешнего источника i -той компоненты, г/м³/сут.;

k_{cd} - коэффициент седиментации, 1/сут.;

u - гидравлическая крупность взвесей, м/сут.;

H - средняя глубина камеры, м;

k_f - коэффициент освещенности с учетом самозатемнения;

k_t, \bar{k}_t - температурные коэффициенты соответственно для «неживых» и «живых» компонент, зависящих от температуры T воды в камере;

S_p - равновесная концентрация взвесей, г/м³ [5];

k_{cp} - коэффициент связи между фосфором и азотом, который берет участие в процессах осаждения-взмучивания ВОВ;

k_{cn} - коэффициент пропорциональности между концентрациями органического вещества и взвесей, гN/г;

p_n - отношение удельного содержания фосфора к удельному содержанию азота в сухом органическом веществе фитопланктона, гP/гN.

Приведенная система уравнений решалась методом Рунге-Кутты-Мерсона [6] с построением алгоритмов и программ расчета среднесезонных значений компонент модели по камерам. Идентификации коэффициентов модели выполняются с помощью данных натуральных измерений концентраций компонентов в Кременчугском водохранилище [7, 8, 9, 10] за вегетационные периоды 1982 и 1985 гг., которые были обобщены по сезонам. Гидрометеорологические показатели этих лет приведены в табл. 2.

Использование натуральных данных для определения значений коэффициентов модели производилось с обеспечением точности концентраций компонент $\pm 20\%$, а баланса азота в компонентах по камерам $\pm 2\%$. В расчетах учитывалось поступление биогенных веществ по сезонам с притоками и из других источников (с бытовыми стоками, стоками минеральных удобрений, с продуктами разложения высшей водной растительности), а также влияние на компоненты модели донных отложений илов и песков.

На первом этапе исследований, описанных ниже, рассматривались коэффициенты, связанные с жизнедеятельностью фитопланктона и трансформацией нормируемых веществ. Для фитопланктона это коэффициенты максимальной скорости роста μ_{41}, μ_{43} отмирания k_{64} , полунасыщения k_{s41}, k_{s43} коэффициенты трансформации: k_{17} - растворенного органического вещества в аммонийный азот, k_{21} - аммонийного азота в нитритный азот, k_{32} - нитритного азота в нитратный азот, k_{76} - взвешенного органического вещества в растворенное органическое вещество, k_{21p} - органического фосфора в минеральный фосфор.

Принято, что коэффициенты максимальной скорости роста и отмирания фитопланктона определяются для каждой камеры в связи с их особенностями конфигурации, растительности, характеристик течения, при этом регулятором питания фитопланктона являются коэффициенты полунасыщения, которые наряду с коэффициентами трансформации зависят от условий жизнедеятельности в водной среде, источником которой является органическое вещество, продуцируемое в рассматриваемой модели фитопланктоном. По этой причине обобщение коэффициентов производилось в зависимости от равновесной концентрации взвесей S_p . Эти концентрации определялись по средним показателям течения для каждой камеры и сезона двух рассматриваемых лет, также соблюдалось известное условие [11] обеспечения определяемыми зависимостями величин коэффициентов корреляции $r^* \geq 0,8$.

Расчеты производились по данным измерения концентраций компонент модели вариацией коэффициентов для достижения установленной точности определения концентраций при условиях, что коэффициенты $\mu_{41}, \mu_{43}, k_{64}$ (первая группа) в каждой камере по сезонам для различных лет измерений должны быть одинаковы, а коэффициенты, $k_{s41}, k_{s43}, k_{17}, k_{21}, k_{32}, k_{76}, k_{21p}$ (вторая группа) также для каждой камеры для всего вегетационного периода двух лет должны представ-

ляться единой зависимостью от S_p с удовлетворением приведенного требования к величине коэффициента корреляции.

Таблица 2

Значение гидрометеорологических данных, использованных в расчетах качества воды Кременчугского водохранилища для идентификации коэффициентов экологической модели

Величина	Весна (61 сутки)	Лето (92 суток)	Осень (61 сутки)
1982 г.			
Коэффициент освещенности	0,9	1,1	1,0
Температура воды в водохранилище, °С	9,0	20,2	15,9
Среднесезонные расходы р. Днепр, м ³ /с	3040,0	1482,0	749,7
Среднесезонные расходы р. Сула в камеру 4, м ³ /с	168,9	82,34	41,65
Среднесезонные расходы р. Рось в камеру 1, м ³ /с	101,3	49,4	25,0
Среднесезонные расходы через плотину Кременчугской ГЭС, м ³ /с	2110,0	1724,0	1283,0
Глубины, м	5,725	5,978	5,613
Уровень свободной поверхности, м	80,26	80,91	80,0
Объем водохранилища, км ³	12,01	13,34	11,48
Площадь зеркала водохранилища, км ²	2097,6	2231,5	2044,0
1985 г.			
Коэффициент освещенности	0,99	1,24	0,65
Температура воды в водохранилище, °С	12,2	20,1	14,0
Среднесезонные расходы р. Днепр, м ³ /с	3223,0	1323,0	1238,0
Среднесезонные расходы р. Сула в камеру 4, м ³ /с	106,0	27,5	26,0
Среднесезонные расходы р. Рось в камеру 1, м ³ /с	55,0	27,5	24,0
Среднесезонные расходы через плотину Кременчугской ГЭС, м ³ /с	1674,0	1682,0	1012,0
Глубины, м	4,944	5,918	5,768
Уровень свободной поверхности, м	79,24	80,75	80,37
Объем водохранилища, км ³	9,33	13,01	12,23
Площадь зеркала водохранилища, км ²	1887,0	2198,5	2120,2

Результаты по обобщению коэффициентов первой группы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов первой группы

Камера	1			2			3		
	в	л	о	в	л	о	в	л	о
μ ₄₁	5,7	8,22	3,61	4,88	5,822	2,25	4,4	10,19	2,1
μ ₄₃	3,12	4,81	0,74	4,082	0,872	2,6	2,806	4,65	1,96
k ₆₄	1,53	3,62	1,31	2,7455	1,932	0,891	3,8	5,535	0,969
Камера	4			5			6		
	в	л	о	в	л	о	в	л	о
μ ₄₁	9,2	1,76	2,8	2,889	2,752	2,472	8,372	5,23	2,94
μ ₄₃	2,22	0,346	1,7	1,02	1,4	1,234	4,734	2,23	1,95
k ₆₄	1,86	0,64	0,625	0,711	2,065	1,08	8,895	6,566	2,269

Таблица 4

Значения коэффициентов второй группы по камере 5

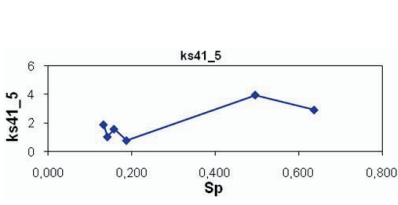
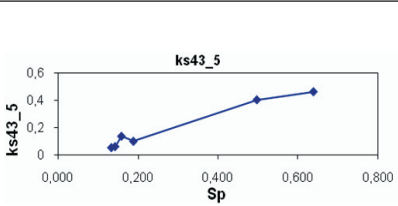
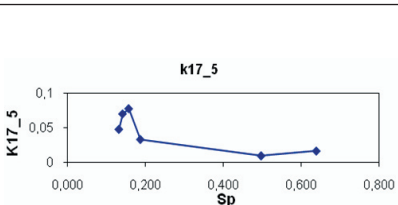
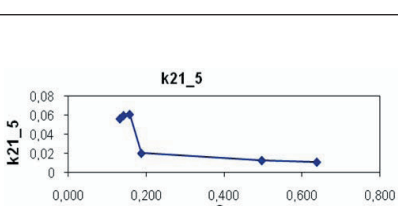
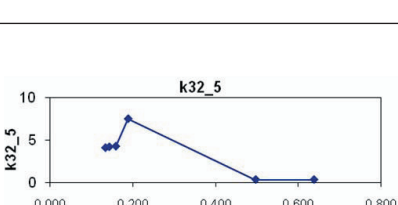
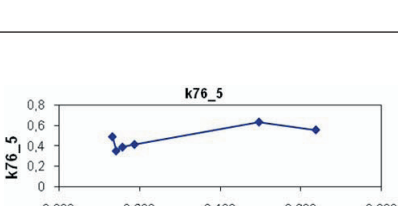
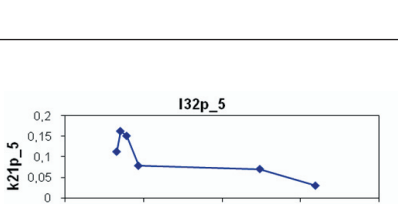
Sp	ks41_5	
0,133040	1,8963	
0,14238	1,0562	
0,15813	1,59	
0,18799	0,8033	
0,49665	3,94	
0,63776	2,912	
r* =	0,808022	
Sp	ks43_5	
0,133040	0,05108	
0,14238	0,05876	
0,15813	0,1343	
0,18799	0,0973	
0,49665	0,4009	
0,63776	0,4598	
r* =	0,985974	
Sp	k17_5	
0,133040	0,04741	
0,14238	0,0697	
0,15813	0,0772	
0,18799	0,03282	
0,49665	0,0092	
0,63776	0,01605	
r* =	-0,80593	
Sp	k21_5	
0,133040	0,05618	
0,14238	0,0595	
0,15813	0,0607	
0,18799	0,02037	
0,49665	0,0129	
0,63776	0,01119	
r* =	-0,81851	
Sp	k32_5	
0,133040	4,1	
0,14238	4,2	
0,15813	4,27	
0,18799	7,5	
0,49665	0,3542	
0,63776	0,35	
r* =	-0,82379	
Sp	k76_5	
0,133040	0,4911	
0,14238	0,3546	
0,15813	0,3913	
0,18799	0,417	
0,49665	0,632	
0,63776	0,5571	
r* =	0,804091	
Sp	k21p_5	
0,133040	0,112	
0,14238	0,1617	
0,15813	0,1503	
0,18799	0,078	
0,49665	0,07	
0,63776	0,03	
r* =	-0,8336	

Таблица 5

Результаты расчетов при средних значениях коэффициентов второй группы

Весна 1982 г.							
Вещество	Кам.1	Кам.2	Кам.3	Кам.4	Кам.5	Кам.6	Водохранил.
РОВ	-17,249	-6,667	-21,48	16,257	-23,71	-73,703	-32,615
NH ₄	27,191	-23,563	-28,154	-26,874	-26,452	-0,079	-17,227
NO ₂	-45,962	-62,712	-56,384	-19,255	-45,331	-29,535	-42,782
NO ₃	29,963	-21,656	-57,342	-70,1	-66,249	117,263	-2,607
Фито	82,835	152,209	111,567	-13,077	-16,41	-88,264	1,68
ВОВ	-34,434	13,956	-4,504	83,114	-30,622	-64,541	-16,228
P _{орг}	7,921	70,405	107,034	100,807	76,445	-44,743	61,693
P _{мин}	-7,538	-37,647	-34,403	-60,523	14,342	137,438	31,24
Сум.N	2,751	-10,051	-28,742	6,233	-33,797	-14,815	-21,358
Лето 1982 г.							
Вещество	Кам.1	Кам.2	Кам.3	Кам.4	Кам.5	Кам.6	Водохранил.
РОВ	-3,821	6,67	6,443	73,583	-14,815	-28,024	-9,245
NH ₄	-14,925	3,278	17,742	-21,558	30,935	75,302	24,067
NO ₂	63,389	75,713	49,94	85,675	203,396	91,641	107,775
NO ₃	4,77	-18,314	-36,449	-44,14	53,874	114,662	24,497
Фито	5,724	-30,085	-22,501	-18,026	-10,358	-6,33	-14,543
ВОВ	5,204	7,089	52,531	66,996	-10,942	-28,054	4,946
P _{орг}	5,607	-11,914	-12,293	20,731	-26,396	-35,563	-19,982
P _{мин}	-5,543	-6,82	-10,839	-22,132	4,767	28,353	2,652
Сум.N	-4,752	0,955	3,612	13,84	0,009	8,09	3,331
Лето 1985 г.							
Вещество	Кам.1	Кам.2	Кам.3	Кам.4	Кам.5	Кам.6	Водохранил.
РОВ	3,503	17,999	11,52	-27,978	13,688	39,659	16,752
NH ₄	16,754	-18,589	-14,02	-8,163	-1,293	-38,398	-17,569
NO ₂	-64,082	-69,956	-58,076	-72,252	-49,897	-69,488	-62,359
NO ₃	5,756	24,918	38,07	336,684	-13,932	-26,821	35,336
Фито	-1,416	-3,991	-4,722	19,872	-1,973	-12,659	-1,988
ВОВ	9,383	-10,801	-33,707	-24,459	28,339	35,624	1,095
P _{орг}	42,391	21,246	35,534	4,02	22,571	40,199	28,672
P _{мин}	-32,498	-38,73	-38,006	20,347	8,094	19,418	0,944
Сум.N	7,174	4,533	2,689	18,205	7,143	5,445	5,641
Осень 1985 г.							
Вещество	Кам.1	Кам.2	Кам.3	Кам.4	Кам.5	Кам.6	Водохранил.
РОВ	-16,285	17,976	1,513	-63,455	-13,501	15,842	-11,631
NH ₄	6,224	30,663	47,617	-15,18	25,499	24,262	38,899
NO ₂	-32,25	-24,737	8,287	-23,572	2,982	81,824	7,77
NO ₃	31,573	60,481	212,882	73,256	148,414	181,886	183,407
Фито	-13,916	-37,036	-36,018	-15,487	-12,506	-50,129	-29,946
ВОВ	54,463	50,067	15,524	42,658	-12,798	-22,344	-7,302
P _{орг}	-15,907	-6,671	8,76	-8,492	-16,319	31,271	2,049
P _{мин}	4,495	-5,829	-0,303	-3,838	-15,729	6,668	-4,383
Сум.N	4,8	26,266	32,186	-18,781	21,313	38,894	25,43

Значения коэффициентов второй группы представляются в таблицах с графиками с указанием полученных величин коэффициентов корреляции, которые для всех камер отвечают требуемым значениям. Для примера в табл. 4 приводятся результаты по камере 5.

В целом проведенными расчетами с помощью найденных и обобщенных коэффициентов была достигнута установленная точность определения концентраций компонент экологической модели и суммарного азота. Это позволило проверить предположения о возможности использования в экологической модели средних значений коэффициентов. Такие расчеты были проведены для рассмотренных двух лет, результаты приведены в табл. 5, из кото-

рой следует, что при использовании средних значений коэффициентов, естественно второй группы, в каждой камере в различные сезоны есть вещества, концентрации которых превышают требования точности их расчета, что касается и показателей суммарного азота, свидетельствующие о разбалансе вещества в системе.

В статье показана возможность для повышения точности расчета обобщения коэффициентов экологической модели с обеспечением заданной точности расчетов. Для дальнейшего развития необходимо рассмотреть еще уравнение для расчета БПКпол с его коэффициентами и обобщение оставшихся еще коэффициентов k_{sp} и k_{sr} экологической модели. Это задача дальнейших исследований.

Литература

1. Еременко, Е.В. Экологические модели разной сложности для прогнозирования качества воды [Текст] / Е.В. Еременко // Сб. науч. тр. УкрНИИЭП. – Харьков, 2000, С. 90-99.
2. Еременко, Е.В. Моделирование качества воды в водохранилище в зоне влияния тепловых сбросов [Текст] / Е.В. Еременко, Л.Н. Зимбалева // Сб. науч. тр. ВНИИВО. – Харьков, 1988, С. 3-13.
3. Касакад Днепровских водохранилищ [Текст] / Под ред. М.С. Каганера. – Л. Гидрометеиздат. 1976, 348 с.
4. Новиков, Б.И. Донные отложения Днепровских водохранилищ [Текст] / Б.И. Новиков – К. Наукова думка, 1985, 172 с.
5. Караушев, А.В. Теория и методы расчета речных наносов [Текст] / А.В. Караушев – Л. Гидрометеиздат, 1977, 272 с.
6. Годунов, С.К. Разностные схемы [Текст] / С.К. Годунов, В.С. Рябенский – М. Наука, 1973, 400 с.
7. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1982, часть 2, т. II, вып.2. – Киев:Укр УГгс, 1984.
8. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1985, часть 2, т. II, вып.2. – Киев:Укр Уггс, 1987.
9. Гидрохимический бюллетень (материалы наблюдений за загрязненностью поверхностных вод на территории УССР). Киев, апрель-июнь 1982 г., июль-сентябрь 1982 г., октябрь-декабрь 1982 г.
10. Гидрохимический бюллетень (материалы наблюдений за загрязненностью поверхностных вод на территории УССР). Киев, апрель-июнь 1985 г., июль-сентябрь 1985 г., октябрь-декабрь 1985 г.
11. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул [Текст] / Е.Н. Львовский – М. Высш. школа, 1982, 224 с.