

Воздействие антропогенных факторов на гидрологию и гидрохимию Варненского озера

Александр В. Рождественский

Институт океанологии, БАН (Варна)

Варненское озеро - лиман, расположенный западнее Варненского залива в старой речной долине, в которой находились еще некоторые водоемы. Из них, после ряда мероприятий, сохранилось Белославское озеро. Длина Варненского озера 12 km, средняя ширина 1.16 km средняя глубина 9.5 m, максимальная - 19 m. Основное питание речной водой из Белославского озера, в которое впадает р. Девня и р. Провадйская. До 1909 г., когда был прокопан морской канал глубиной 5 m, Варненское озеро было пресноводным. В августе 1911 г. поверхностная соленость достигла 11.11‰, а у дна имелся сероводород (Лебединцев, Тихий, 1912). Более поздние наблюдения в отдельные месяцы и годы - Л. Божкова, Г. Паспалева, А. Вылканова, А. Нечаева, В. Великова, М. Генчева и др. (Рождественский, 1957) дают значительные колебания солёности и других показателей. С 1948 г. начинаются наши ежемесячные исследования в ряде станций, имеющие характер многолетнего мониторинга, позволившие вывести средний гидрологический и гидрохимический режим за период 1948 - 1955 гг., когда воды озера были практически чистыми (Рождественский, 1957, 1962). После начинается период загрязнения. В Девнянской долине развивается промышленность (химические заводы, сахарный завод и др.), использующая Девнянские источники и выпускающая загрязнения в р. Девню и Белославское озеро, откуда они по-

ступают в Варненское озеро. Кроме того, городской сток переносится из залива в озеро (Рождественский, 1967, 1977).

Последующие годы характеризуются двумя крупными мероприятиями, оказавшими значительное влияние на гидрологию и химию Варненского озера. К 1966г. практически заканчивается строительство термоэлектрической станции „Варна“, использующей глубинные воды озера для охлаждения, и после пробных пусков в 1976 г. начинается ее регулярная работа. В связи с строительством порта „Варна-запад“ в белославском озере (которое углубляется, а связь между двумя озерами расширяется) Варненское озеро в 1976 г. соединяется с морем вторым каналом с глубиной 10m.



Рис.1. Положение станции в Варненском озере

В настоящей работе рассматриваются изменения режим температуры и наиболее важных гидрохимических показателей в периоды 1966 - 1975 гг. и 1976 - 1985 гг. в двух постоянных станциях: 1 - у вос-

точного берега и 2 — по середине озера (рис. 1). Анализы проводились по установленным гидрохимическим методам, несколько измененным при определении перманганатной окисляемости в нейтральной среде: в присутствии сероводорода пробы предварительно кипятились до исчезновения запаха, а в присутствии значительного количества нитритов — предварительно кипятились после прибавления хлористого аммония (NH_4Cl).

Температура. Средняя годовая температура воды за 1976 — 1985 гг. показывает небольшое уменьшение по сравнению с 1966 — 1975 гг. (табл. 1), очевидно от увеличенного морского влияния, т.к. средняя температура воды в заливе $13,8^\circ\text{C}$ (Рождественски, 1960). В связи с этим весенняя температура ниже, осенняя выше, а абсолютная амплитуда меньше. По середине озера (табл. 3) годовые температуры на всех горизонтах значительно выше; в основном играет роль увеличенное поступление морской воды в глубине горизонты, влияющее и на охлаждающие воды ТЭЦ. Для сравнения следует отметить, что поверхностная температура за 1948 — 1955 гг. была $14,0^\circ\text{C}$, а глубинная $8,4^\circ\text{C}$ (Рождественски, 1962).

Хлорность (соленость). Средняя стоимость для поверхностной воды в 1948 — 1955 гг. $6,26\text{‰}$ (соленость $11,33\text{‰}$, т.е. почти столько же, как в 1911 г.), а придонной — $8,17\text{‰}$ (соленость $14,78\text{‰}$). Постепенно соленость растет (морские воды, водозабор источников, хлориды промышленного стока). В 1966 — 1975 гг. поверхностные прибрежные воды (ст. 1) имеют хлорность $6,91\text{‰}$ и соленость $12,50\text{‰}$, а в 1976 — 1985 гг. $7,93$ и $14,34\text{‰}$ под влиянием второго канала. По середине озера (табл. 3) в 1966 — 1975 гг., по сравнению с 1948 — 1955 гг., отмечается небольшое уменьшение Cl^- в придонных водах и заметное увеличение в поверхностных, очевидно под влиянием ТЭЦ (усиление вертикального обмена). Средняя соленость на 0 м — $12,52\text{‰}$, с колебаниями от $8,51$ до $14,22\text{‰}$, а у дна — $14,54\text{‰}$, с колебаниями от $12,50$ до $17,29\text{‰}$. В 1976 — 1985 гг. соленость возрастает на всех горизонтах: средняя стоимость для 0 м — $14,81\text{‰}$ с амплитудой $11,13$ — $16,31\text{‰}$ и для придонного слоя —

$15,86\text{‰}$ с колебаниями от $13,91$ до $17,50\text{‰}$. Несклько данных других авторов по пробам в период 1976 — 1980 гг. (М и х о в а, И в а н о в, 1985), близки к нашим.

Тенденция роста солёности поддерживается уменьшением речного стока. Иногда, в летние месяцы, он становится меньше испарений. Тогда в ряде случаев солёность озера приближается к морской, а изредка даже становится немного больше, чем в заливе. Водообмен с морем происходит от разницы уровней (главно при ветрах), т.к. движущая сила нижнего течения в канале от разницы плотностей практически отпадает. Создаются условия для увеличения застоявания озерных вод, особенно при тихой погоде. Ранее застоявание озерных (глубинных) происходило под влиянием температурного фактора, при оформлении летом в большинстве случаев мезохалинной структуры (Рождественски, 1957, 1962), которая в последнем периоде почти не отмечается; изменяется и основная роль температурного фактора.

Щелочность. В период 1948 — 1955 гг. средняя щелочность поверхностной воды Варненского озера была $4,19 \text{ mg equiv./l}$, под влиянием доминирующего карстового питания р. Девни. По вертикали она сначала уменьшалась (влияние морской воды с средней щелочностью $3,33 \text{ mg equiv./l}$) ко дну опять возрастала от сероводородного брожения в летние месяцы (Рождественски, 1962). В 1956 — 1965 гг. и 1976 — 1985 гг. этот процесс усиливается (табл. 1 и 3), при росте заводов и увеличении водозабора из карстовых источников. Влияние сероводородного брожения на щелочность придонных слоев в 1976 - 1985 гг. меньше, чем в 1966 — 1975 гг.

Водородный показатель. В поверхностных водах он имеет наименьшие стоимости обычно осенью и зимой, при кислородном дефиците, а максимальные — летом при сильном фотосинтезе и высокой температуре. В ст. 1 в 1976 — 1985 гг. отмечается известное уменьшение рН, очевидно под влиянием локального загрязнения. Один раз была отмечена стоимость $6,90$, которую мы не включили в вычисление среднего результата. В ст. 2 для 0 м средний результат в 1966 —

Т а б л и ц а 1. Режим температуры, хлорности, кислорода, щелочности и водородного показателя в восточной части Варленского озера (ст./) в периоды 1966 – 1975 гг. (I) и 1975 – 1985 гг. (II)

Период	Месяц												Среднегодовое		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			max
I	5,8	4,3	7,0	12,0	17,6	21,1	23,4	24,6	21,8	17,0	12,0	7,6	14,5	26,4	0,5
II	4,9	5,1	6,4	11,0	16,1	20,7	23,0	23,2	22,1	17,4	12,4	9,1	14,3	26,0	1,5
I	7,17	7,07	6,40	6,36	6,40	6,38	6,81	7,22	7,28	7,37	7,20	7,20	6,91	8,76	4,34
II	7,81	7,71	7,30	7,49	7,34	7,68	8,07	8,11	8,56	8,46	8,42	8,25	7,93	9,41	5,67
I	8,04	8,70	9,10	8,83	7,81	6,68	6,95	6,71	6,79	5,97	5,91	6,53	7,34	13,91	2,38
II	7,93	8,18	9,82	8,86	8,30	7,18	7,87	8,03	6,58	5,46	6,03	6,00	7,52	18,25	3,49
I	98,5	102,6	113,8	123,0	121,1	110,0	120,0	118,3	114,7	92,7	83,0	83,5	106,8	237,4	39,8
II	95,8	99,2	122,3	122,4	126,5	119,3	136,6	139,9	113,1	88,4	86,5	80,3	110,8	316,8	49,5
I	3,34	3,43	3,30	3,30	3,13	3,23	2,90	2,65	2,99	2,97	3,14	3,23	3,13	3,90	1,71
II	3,12	3,04	2,83	2,86	2,88	3,10	2,92	2,64	2,89	3,01	3,17	3,27	2,98	3,98	1,44
I	8,05	8,03	8,21	8,37	8,37	8,14	8,25	8,44	8,05	7,95	8,10	8,13	8,17	9,15	7,40
II	7,96	7,97	8,04	8,38	8,26	8,29	8,19	8,43	7,98	8,00	7,89	7,79	8,10	9,85	7,20

Температура воды (t, °C)

Хлорность (Cl‰)

Растворенный кислород (O₂, mg/l)

Насыщенность кислородом (O₂, %)

Щелочность (A, mg equiv/l)

Водородный показатель (pH)

Т а б л и ц а 2. Режим биогенов и окисляемости в восточной части Варненского озера (ст. 1) в периоде 1966 — 1975 гг. (I) и 1977 — 1985 гг. (II)

Период	Месяц												Среднегодовое	max	min
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
	Нитратный анион (NO ₃ ⁻ , mg/l)														
I	6,00	6,83	9,13	6,79	4,19	3,72	0,95	1,95	1,34	1,80	2,38	2,18	3,94	14,50	0
II	3,77	2,65	1,96	1,79	0,55	1,00	1,24	0,63	0,61	0,58	3,24	1,96	1,67	12,00	0
Нитритный анион (NO ₂ ⁻ , mg/l)															
I	0,01	0,18	0,12	0,33	0,80	0,01	0,003	0,06	0,20	0,48	0,35	0,69	0,27	2,50	0
II	0,06	0,01	0,06	0,15	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,53	0
Аммониевый катион (NH ₄ ⁺ , mg/l)															
I	0,12	0,29	0,47	0,50	1,08	0,72	2,60	1,07	0,20	0,80	0,30	0,56	0,73	5,20	0,05
II	1,64	1,25	2,28	2,09	1,99	0,81	0,75	0,44	0,51	1,03	0,52	0,59	1,16	10,35	0,05
Фосфатный анион (PO ₄ ³⁻ , mg/l)															
I	0,63	0,51	0,01	0,07	0,89	0,33	0,03	0,51	0,74	0,68	1,10	0,28	0,48	5,10	0
II	1,23	1,13	0,61	1,92	0,42	0,42	0,92	0,29	0,19	0,30	0,39	0,45	0,69	8,25	0
Кремний (SiO ₂ , mg/l)															
I	3,12	0,75	0,75	2,94	5,85	1,99	1,80	1,13	2,63	1,35	3,48	3,90	2,44	11,00	0,38
II	2,22	2,30	2,20	2,41	1,14	1,72	1,73	1,68	2,62	2,22	2,38	1,49	2,08	6,12	0,50
Окисляемость (mg O/l)															
I	1,69	2,50	2,51	3,69	2,41	2,15	3,17	3,20	4,21	3,93	1,91	2,50	2,82	10,90	0,54
II	2,61	1,98	3,15	3,07	3,24	2,83	3,05	3,21	2,75	2,39	2,24	2,18	2,73	7,66	0,37

Т а б л и ц а 3. Режим температуры, хлорности и щелочности по середине Варненского озера (ст. 2) в периоды 1966 — 1975 гг.(I) и 1976 — 1985 гг.(II)

Период	Глубина, м	Месяц												Среднегодовые		
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	max	min	
		Температура воды, (t, °C)														
I	0	5,5	4,3	5,7	9,9	18,5	21,7	23,7	25,0	21,8	16,9	12,1	7,5	14,4	26,0	2,9
	8	6,4	3,7	4,5	7,2	9,7	14,2	17,0	18,3	18,1	16,0	13,1	9,8	11,5	25,2	1,6
	16	6,7	3,8	3,9	3,8	6,8	8,3	10,5	12,2	13,7	15,6	12,8	10,2	9,0	17,2	1,9
II	0	6,2	6,3	7,1	12,6	17,4	22,3	22,5	24,6	22,5	20,5	12,3	10,0	15,4	25,6	4,2
	8	6,3	6,0	6,4	10,7	14,5	19,4	19,7	21,9	21,6	19,6	12,3	9,9	14,0	24,6	4,2
	16	6,3	5,7	5,9	8,7	10,9	14,3	16,3	18,0	20,8	19,5	12,0	9,9	12,4	23,0	4,0
		Хлорность (С, ‰)														
I	0	7,50	7,31	6,03	5,92	6,08	6,45	6,28	7,55	7,63	7,68	6,90	7,67	6,92	7,86	4,70
	8	7,92	7,67	6,51	8,17	7,92	7,73	7,34	7,57	8,26	8,05	7,50	7,75	7,70	8,44	5,38
	16	8,00	8,20	7,55	8,77	8,19	7,97	7,78	7,67	8,49	8,27	7,69	7,86	8,04	9,50	6,91
II	0	8,41	8,12	8,08	7,75	7,40	7,57	8,46	8,53	8,45	8,76	8,48	8,29	8,19	9,02	6,15
	8	8,58	8,17	8,23	8,08	8,14	8,14	8,71	8,76	8,56	8,89	8,69	8,41	8,45	9,40	6,97
	16	8,71	8,39	8,51	8,61	8,82	8,76	9,05	9,06	8,86	9,06	8,82	8,56	8,77	9,68	7,69
		Щелочность (А, mg equiv./l)														
I	0	3,28	3,13	3,45	3,41	2,90	2,91	2,48	2,87	2,55	2,97	3,01	3,12	3,01	3,83	2,07
	8	3,22	3,14	3,49	3,43	3,34	3,20	3,21	2,83	3,07	2,91	3,00	3,19	3,17	3,94	2,22
	16	3,37	3,14	3,49	3,55	3,58	3,48	3,44	3,53	3,60	2,97	3,19	3,34	3,39	3,80	2,61
II	0	2,99	3,12	2,78	2,75	2,55	2,60	2,68	2,59	2,23	2,43	2,90	2,97	2,72	3,45	1,83
	8	3,00	3,16	2,89	2,92	2,61	2,76	2,80	2,82	2,28	2,58	2,86	2,92	2,80	3,48	2,12
	16	3,05	3,17	3,04	3,17	3,10	3,30	3,04	3,18	2,75	2,63	2,88	3,04	3,03	3,61	2,23

Т а б л и ц а 4. Режим растворенного кислорода, насыщенности кислородом и окисляемости по середине Варненского озера (ст. 2) в периоды 1966 — 1975 гг. (I) и 1976 — 1985 гг. (II)

Период	Глубина, м	Месяц												Среднегодовые			
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII				
		Растворенный кислород (O ₂ , мг/л)														max	min
I	0	6,21	8,14	10,60	10,06	9,96	6,92	6,50	7,20	5,12	5,50	6,28	5,70	7,35	12,35	3,33	
	8	6,17	7,97	7,65	5,57	3,53	2,85	1,61	0,98	0,65	2,11	4,19	5,62	4,33	8,46	0	
	16	4,02	5,44	5,29	4,17	1,60	0,43	0	0	0	1,66	1,32	3,77	2,31	7,68	0	
II	0	7,62	9,16	10,07	8,90	6,69	6,40	8,50	6,43	6,24	5,89	5,96	5,76	7,30	13,31	4,36	
	8	7,22	8,19	8,93	6,70	4,93	3,08	3,98	2,43	4,97	4,96	5,92	5,77	5,59	10,30	1,16	
	16	7,62	8,12	7,61	3,97	3,86	2,79	1,05	0,85	2,02	4,00	4,86	5,66	4,37	9,81	0	
Насыщенность кислородом (O ₂ , %)																	
I	0	75,8	96,2	127,9	133,4	157,2	115,7	112,3	128,3	86,6	85,4	88,2	73,1	106,7	193,0	53,7	
	8	77,4	93,2	91,1	71,4	47,5	42,2	25,0	15,6	10,4	32,4	60,4	75,8	53,5	112,5	0	
	16	50,6	64,2	65,2	49,6	20,3	5,6	0	0	0	25,3	19,0	52,1	29,3	94,4	0	
II	0	95,6	114,8	128,6	127,3	104,5	107,2	146,8	115,0	107,8	98,7	85,4	78,6	109,2	212,5	60,6	
	8	91,1	102,0	112,2	92,4	73,6	50,5	65,8	41,8	85,0	82,0	85,2	78,1	80,0	132,9	19,7	
	16	96,2	100,6	94	52,9	54,3	36,3	16,4	13,7	34,1	66,0	69,6	77,2	59,4	122,8	0	
Окисляемость (mg O/l)																	
I	0	1,42	1,61	2,27	2,36	2,12	2,02	3,58	1,96	2,46	1,57	3,18	1,76	2,19	5,46	0,84	
	8	1,46	1,57	1,64	1,71	1,48	1,77	3,99	1,76	3,07	1,42	2,84	1,99	2,08	6,46	0,70	
	16	1,38	1,54	1,41	1,48	1,50	1,64	3,27	2,16	3,36	2,25	2,05	1,67	1,81	6,16	0,78	
II	0	3,66	2,73	4,28	2,78	2,59	2,87	3,42	3,43	3,36	2,56	2,27	2,09	3,00	8,14	0,41	
	8	3,39	2,09	2,82	2,16	2,17	2,79	3,08	2,58	3,62	2,66	3,13	1,92	2,70	8,71	1,35	
	16	3,17	2,06	2,87	1,72	2,37	2,67	3,17	1,90	2,26	2,27	2,09	1,81	2,36	7,40	1,25	

1975 г. 8,02, а в 1976 — 1985 г. 8,04 (рост фотосинтеза), а у дна — соответственно 7,62 и 7,90. На последнюю стоимость оказывают влияние не только O_2 (%), но и увеличенное поступление морской воды. Абсолютные колебания на 0 м были 9,00 — 7,63 и 9,84 — 7,47, а у дна — 7,98 — 7,22 и 8,20 — 7,14. В период 1948 — 1955 г. колебания рН в поверхностных водах были от 8,61 до 7,83, а в придонных — от 7,90 до 7,48.

Растворенный кислород. Режим O_2 в поверхностных водах (табл. 1 и 4) показывает максимум в марте (при „цветениях“ в конце зимы) и минимальные стоимости в осенние месяцы, при размешивании и подъеме глубинных вод и увеличенном поступлении органики (сахарные заводы, бытовой сток, паводки). Тогда же отмечаются минимумы процента насыщенности, а максимумы — при весенних и летних „цветениях“. В незагрязненном озере (1948 — 1955 г.) максимум O_2 в поверхностных водах был закономерно в феврале, а минимум в августе (Рождественски, 1957, 1962). Средняя годовая стоимость тогда была 7,78 ml/l, а насыщенность 109,9%. Последние периоды отмечаются случаи сильного увеличения O_2 при „цветениях“, но и случаи сильного дефицита, понижающие годовой результат. В придонных водах в 1948 — 1955 г. средние стоимости 2,87 ml/l и 36,2%. С 1956 г. до прорытия второго канала они уменьшаются, а после увеличиваются, при чем полное исчерпывание O_2 при сероводородном брожении отмечается не каждый год. При уменьшении поступления морской водой, после случаев выравнивания солености с заливом, можно ожидать опять известное ухудшение кислородного режима придонных вод озера.

Сероводород. Появляется в глубинных водах озера обыкновенно летом и исчезает в конце осени. В редких случаях, при тихой и теплой погоде, сохраняется и зимой (1957 г.). Появлялся ли он в пресноводной период озера, при значительной температурной стратификации, сведений не имеется, однако по аналогии с Шабленским озером такая возможность не исключается (Рождественски, 1964). Происхождение — до периода загрязнения в среднем около 80% от гниения

остатков главно водной и прибрежной растительности и 20% от бактериальной сульфатредукции (Рождественски, 1957, 1962). После 1955 г. усиливается влияние антропогенной органики. За 1948 — 1955 г. средняя стоимость для всех придонных проб содержащих H_2S — 2,35 ml/l, абсолютный максимум 5,81 ml/l, наивысший горизонт подъема 8 м от поверхности воды. В период 1956 — 1965 г. максимум достигает 11,66 ml/l, а наивысший горизонт — 5 м. Выпуск теплых вод ТЭЦ благоприятствует образованию H_2S , абсолютный максимум за 1966 — 1975 г. 12,70 ml/l, средняя стоимость 3,36 ml/l, начало появления весной, наивысший горизонт летом 4 м. Увеличение поступления морской воды в 1976 — 1985 г. уменьшает образование H_2S ; средняя придонная стоимость 1,38 ml/l, абсолютный максимум 4,25 ml/l, наивысший горизонт 10 м. Положение H_2S в промежуточных слоях, а у дна наличие O_2 уже не наблюдается; иногда только промежуточный минимум O_2 . Сгонный подъем сероводородных вод к поверхности у подветренного берега, вызывающий локальный мор рыбы, хотя и реже, но все же бывает. При уменьшении водообмена с морем и наличии загрязнений возможно известное увеличение придонного сероводорода в летние месяцы, если распределение солености не уменьшит чувствительно эффекта температурной расслоености.

Биогенные элементы: азот нитратов, нитритов и аммония, фосфатный фосфор и растворимая форма кремния (табл. 2). Динамика нитратов показывает закономерное увеличение в зимние месяцы и уменьшение в конце весны и летом. Такой режим наблюдался и ранее. Средние концентрации в 1976 — 1985 г. меньше, очевидно, под влиянием морской воды и „цветений“. В ст. 2 концентрации NO_3^- в 1966 — 1975 г. на 0 м 2,57, а у дна 2,02 mg/l (0,58 и 0,46 mg N/l), а в 1976 — 1985 г. 0,78 и 1,90 mg/l (0,18 и 0,48 mg N/l); при доминировании редуционных процессов у дна средние концентрации нитратов по вертикали уменьшаются, а при усилении окислительных процессов возрастают. Абсолютные максимумы NO_3^- в первом периоде 9 mg/l в поверхностном слое и 14,8 в придонном, а во втором

— 11,2 и 12 mg/l. Абсолютные минимумы — аналитические нули, в поверхностных водах при „цветениях“, а в придонных при значительных количествах H_2S . В чистых водах озера (1948 — 1955 гг.) среднее содержание NO_3^- на 0 м было 0,46 mg/l, а у дна 0,11 mg/l (0,10 и 0,03 mg N/l).

Нитриты часто имеют значительные концентрации, хотя чувствительно меньше нитратов. Среднее содержание NO_2^- в ст. 1 за 1966 — 1975 гг. 0,27 mg/l (0,08 mg N/l), с колебаниями от 2,50 до 0, а за 1976 — 1985 гг. 0,03 mg/l (0,01 mg N/l), с колебаниями от 0,53 mg/l до 0. В ст. 2 амплитуды значительно меньше. Средние стоимости на 0 м соответственно 0,06 и 0,02 mg/l (0,018 и 0,006 mg N/l), а у дна — 0,07 и 0,013 mg/l (0,021 и 0,004 mg N/l).

Катион аммония (с небольшим процентом свободного аммиака в зависимости от pH) показывает увеличение, как в прибрежных водах, так и по середине озера, очевидно в связи с ростом загрязнения. В ст. 2 среднее содержание NH_4^+ в 1966 — 1975 гг. на 0 м 0,59, а у дна 0,80 mg/l (0,46 и 0,62 mg N/l), а в 1976 — 1985 гг. — 1,65 и 1,24 mg/l (1,23 и 0,96 mg N/l); изменение характера вертикального распределения, в связи с уменьшением образования H_2S , было среднее 0,17 mg/l (0,13 mg N/l), а в 1956 — 1966 гг. — 0,67 mg/l (0,52 mg N/l); ко дну в обоих периодах имелось известное увеличение, в связи с летним сероводородным брожением.

Между нитратами, нитритами и аммонием существует взаимосвязь, в зависимости от особенностей водообмена в различные периоды, отражающихся на редукционно-восстановительных процессах слоев. При этом изменяется характер вертикального распределения и общие количества. При уменьшении водообмена с морем, при известном застаивании озерных вод, достаточно времени для аммонификации и значительной нитрификации, а при усиленном водообмене поверхностные воды, с значительным содержанием NH_4^+ (бытовой и промышленный сток, подъем глубинных вод и др.), выносятся в море верхним течением канала. Следует отметить, что наблюдения после 1985 г. показывают в случаях слабого водообмена с морем, после сильного летнего увеличения солености озерных вод, очень большое

содержание нитритов и нитратов и малое аммония.

Фосфаты также показывают обычно закономерное уменьшение весной или летом (усиленный фотосинтез), но загрязнения часто искажают естественный ход перемен; это отражается на средних результатах главным в прибрежных водах. По середине озера в 1976 — 1985 гг. заметно влияние не только „цветений“, но и морской воды, особенно у дна, где концентрации PO_4^{3-} уменьшается, тогда как ранее под влиянием накопления гниющей органики они увеличивались. Средние стоимости за 1966 — 1975 гг. — на 0 м 1,26 и у дна 2,04 mg/l (0,41 и 0,67 mg P/l), а за 1976 — 1985 гг. — 0,55 и 0,48 mg/l (0,18 и 0,16 mg P/l). В незагрязненных водах озера (1948 — 1955 гг.) среднее содержание PO_4^{3-} на 0 м было 0,23, а у дна 0,39 mg/l (0,09 и 0,13 mg P/l).

Растворенная форма кремния, в большинстве случаев, также отмечает уменьшение содержания весной и летом, хотя в прежних наших исследованиях, когда поступление речной воды значительнее, иногда весной бывали увеличения. Средние стоимости SiO_2 за 1966 — 1975 гг. и 1976 — 1985 гг. в ст. 1 — 2,44 и 2,08 mg/l (1,14 и 0,97 mg Si/l), а в ст. 2 на 0 м — 2,32 и 2,76 mg/l (1,08 и 1,29 mg Si/l) и у дна — 3,88 и 2,27 mg/l (1,81 и 1,06 mg Si/l). При увеличении поступления морской воды в 1976 — 1985 гг. у дна замечается уменьшение содержания кремния, аналогичное уменьшению фосфора. Абсолютные колебания SiO_2 за оба периода от 15,0 до 0,2 mg/l (7,0 — 0,09 mg Si/l). Средние стоимости за 1948 — 1955 гг. на 0 м 3,40 и у дна 3,64 mg/l (1,61 и 1,70 mg Si/l).

Ж е л е з о. Из микроэлементов подробно было исследовано железо (растворенная и взвешанная форма). Ряд микроэлементов рассматриваются в работах Стоянова (1979) и Андреева (1984). Внутригодовая динамика Fe показывает увеличение в осенние и зимние месяцы, при усилении вертикального размешивания и значительном речном стоке. Средние стоимости в поверхностных водах по середине озера практически одинаковы для обоих периодов (взвешенная форма 0,12 и растворенная 0,03 — 0,02 mg/l), несмотря на увеличения поступления морс-

кой воды в 1976 — 1985 гг. Очевидно оказывает влияние рост промышленности. Максимум — в промежуточном горизонте (взвешенная форма $0,14$ и растворенная $0,03$ mg/l), что наблюдалось и раньше (Рождественски, 1957); кроме скопления сидерофильных организмов возможно и осаждение $Fe(OH)_3$, т.к. источники в западной части озера содержат значительное количество бикарбоната железа. В придонном слое содержание взвешенного железа $0,13$ и $0,11$ mg/l, а растворенного — $0,03$ и $0,04$ mg/l: Абсолютные колебания от $1,2$ mg/l до аналитического 0. В ст. 1 среднее содержание взвешенного Fe $0,32$ mg/l и растворенного $0,07$ mg/l. Абсолютные колебания от $2,5$ до 0. Один раз была отмечена стоимость суммарного Fe $14,7$ mg/l в серой мутной воде от разлившегося после дождя Максуденского ручья, которая не была включена нами в вычисление среднего результата. До загрязнения озера (1948 — 1955 гг.) средняя стоимость суммарного железа в поверхностной воде по середине озера была $0,07$ mg/l, а в придонной $0,12$ mg/l.

Окисляемость. Внутригодовой режим, в общих чертах, показывает увеличение весной и летом, т.е. обратно режиму биогенных элементов и железа. Рост поступления морской воды в ст. 1 вызывает небольшое уменьшение окисляемости (табл. 2). В центральной части озера, напротив, отмечается увеличение (табл. 4); кроме аллохтонной органики оказывает влияние и автохтонная, на что указывает рост $O_2(\%)$. Подъем глубинных вод благоприятствует „цветениям“. Средняя окисляемость поверхностных вод по середине озера за 1948 — 1955 гг., по определениям в щелочной среде $3,04$ mg O/l,

что отвечает стоимости в нейтральной среде $2,03$ mg O/l.

Пятидневная биохимическая потребность в кислороде (БПК₅). Она колеблется от $0,55$ до $15,60$ ml O_2 /l. Средние стоимости в ст. 1 за 1966 — 1975 гг. 1976 — 1985 гг. — $5,22$ и $3,51$ ml O_2 /l. Коэффициент загрязнения (отношение БПК₅ к нейтральной окисляемости) соответственно $1,85$ и $1,29$. Поверхностные воды по середине озера имеют стоимости $4,23$ и $3,39$ ml O_2 /l, а коэффициенты загрязнения $1,93$ и $1,13$, т.е. и здесь загрязнения уменьшаются в 1976 — 1985 гг. Это еще раз подтверждает значительную роль автохтонной органики (главно фитопланктона) в росте окисляемости во втором периоде.

Выводы. Гидрохимические изменения в озере связаны не только с качествами и количествами поступающих вод, но и с процессами под влиянием перемени и водообмена. Внутригодовой гидрохимический режим не выражен так четко как в море (Рождественски, 1978) вследствие антропогенного воздействия. Увеличение поступления морской воды улучшает режим. Однако, после случаев практического выравнивания солености с морской, поступление воды из залива в озеро сильно затрудняется, что имеет отрицательное влияние, особенно при недостаточных мерах по очистке загрязненного стока. Процессы, протекающие в озере сравнительно быстро, в многовековом аспекте можно использовать как модель для Черного моря, при сильном водозаборе из рек, углублении прибосфорского порога, повышении температуры и загрязнения.

Литература

Андреев, Г. А. 1984. Антропогенни изменения в химизма на българската черноморска акватория и на някои по-значителни крайбрежни езера. Дисерт. труд (БАН, ЕЦН на земята). Лебединцев, А., М. Тихий. 1912. Материали по гидрологию Черногo моря у берегов Болгарии и Румынии. — Вестник рыбопромышленности, т.3, С. Петербург, 1 — 20. Михова, Л. Д., К. М. Иванов. 1985. Промени в съдържанието на главните йони на Варненското и Белославското езеро под влияние на антропогенни фактори. — Океанология (С.), 14, 29 — 36. Рож-

дественски, А. В. 1957. Хидрологични и хидрохимични изследвания на Варненското езеро. Дисерт. труд (С., СУ, Физ.-мат. фак.). 196с. Рождественски, А. В. 1960. Температура и соленост на повърхностната вода във Варненския залив през периода 1948 — 1957 г. — Тр. НИИ рыб. пром. — Варна, II, 215 — 274. Рождественски, А. В. 1962. Българските близки крайбрежни черноморски лимани води в хидрологично и хидрохимично отношение. — Изв. НИИ рибовъд. и риболов — Варна, II, 207 — 234. Рождественски, А. В. 1967.

Промени на хидрологичния и хидрохимичния режим на по-важните в риболовно отношение български езера край Черно море. — Изв. НИИ рибно стоп. и океанография — Варна, VIII, 93 — 129. Р о ж д е с т в е н с к и, А. В. 1978. Хидрохимия на югозоподната част на Черно море пред българския бряг. Дисерт. труд (БАН, ВЦН на земята). 554с. Р о ж д е с т в е н с к и, А. В. 1986. Хидрохимия на българския сектор на Черно море. С., БАН. 190с. С т о я н о в, С. А. 1979. Динамика на основния макро- и микро-състав на морските води пред българския бряг и на някои крайбрежни езера. Дисерт. труд (БАН, ВЦН на земята, Геол. инст.).

т в е н с к и, А. В. 1986. Хидрохимия на българския сектор на Черно море. С., БАН. 190с. С т о я н о в, С. А. 1979. Динамика на основния макро- и микро-състав на морските води пред българския бряг и на някои крайбрежни езера. Дисерт. труд (БАН, ВЦН на земята, Геол. инст.).

The impact of anthropogenic factors on the hydrology and on the hydro-chemistry of the Varna Lake

Alexander V. Rozhdestvenskiy

(Summary)

The Varna lake is a brackish lagoon located in the West direction of the Varna Bay. Until 1909 when the first channel connecting the lake with the sea was excavated, the lake was a fresh-water one. In connection with the density stratification and the weak water exchange with the sea, hydrogen sulphide appears periodically in the deep water layers (in the warm months mainly). Initially episodal, the lake surveys became since 1948 systematic monthly surveys having a character of a multi-year monitoring. After 1955 the lake is being considerably polluted (by industrial waters, domestic wastewater disposal, etc.). The period of the clean lake and the one after the beginning of its pollution

have been considered in the previous papers (1957, 1962, 1967). During the last two decades the anthropogenic impact has increased, the lake waters are used for cooling in the Thermal Power Station - Varna, a second water-way channel to the sea had been excavated, wider and twice as deep as the first one. As a result, the thermal balance and the water exchange had been changed which payed a certain influence on the chemistry of the lake waters: the salinity, the dissolved oxygen, the hydrogen sulphide, the biogenic elements, etc. In certain conditions the lake, which is a place where processes take place faster, might be used as a model for possible long-term changes in the Black Sea.

Поступила 31.10. 1990 г.