

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МАНДРЕНСКОГО ОЗЕРА ЗА ПЕРИОД 1966 - 1985 г.

Александр В. Рождественский

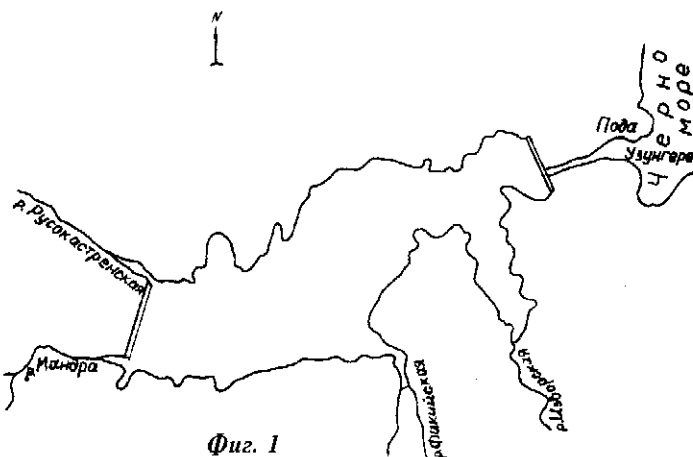
Институт океанологии, БАН (Варна)

Мандренское озеро - самое южное из трех озер около г.Бургаса. В начале оно было открытым лиманом с значительной проточностью в весенние и отчасти зимние месяцы. Поверхность была около 10 km<sup>2</sup>, глубины в западной части менее 1m, а восточной - до 2 m; связь с морем - довольно широкий естественный канал, с глубинами достигающими у устья(Пода) 5m и с широким мелким разливом южнее устья (Узунгерен). Реки выпадающие в озеро: Мандра (Среднецкая), Русокастренская, Факийская (Зидаровская) и Изворская.

Первые сведения о солености воды озера - 15,66 ‰ (хлорист 8,66 ‰) - 21.VIII.1911г. дают Лебединцев и Тихий (1912). Караогланови и Хаджиев (1926) также дают результаты одной пробы, взятой 8.VIII.1925г.; исследуя главные йоны они устанавливают хлорист 6,91 ‰, что отвечает солености 12,50 ‰. Вилканов (1936) дает результаты трех проб в различных частях озера: 4.VI.1931г. - 9 ‰

и 5 ‰ и 29.IX.1935 г. - 12 ‰. Сравнительно более подробные данные содержатся у Нечаева и Чернева (1938) для восточной половины озера: 6.VII.1937г. в основном около 7 ‰, 28.IX.1937г. около 9 ‰, с чувствительными увеличениями по вертикали и приустьевой морской части канала, и 8.XII.1937г. почти во всей исследованной акватории 0,24 ‰.

Наши исследования морских и прибрежных озерных вод, включительно Мандренского озера, начатые в 1948 г., охватывали ряд показателей. Анализы проводились по установленным гидротех-



Фиг. 1

ническими методам (Б р у е в и ч, 1933; К а ш и н с к и й и др., 1946). По подробные исследования всего озера были проведены нами в сентябре 1950 г. в связи с мором рыбы. Анализы отвергли предположения о кислородном дефиците. Характерно, что мор охватил только пресноводных рыб. Имея ввиду, кроме того, что все впадающие в озеро реки полностью пересохли (только в приустьевой части р. Мандры было немного воды) особое внимание было обращено мною на соленость. Вода в приустьевой части р. Мандры оказалась не пресной, а с соленостью 33,01‰, т. е. почти вдвое больше, чем в море. В западной части озера соленость была 26,65‰ в естественном канале к морю 20,88‰, а в самом море - 17,97‰. Морская вода поступала в озеро и испарялась. Причиной мора пресноводной фауны было сильное увеличение солености (Р о ж д е с т в е н с к и й, 1951). Дальнейшие исследования (Р о ж д е с т в е н с к и й, 1957, 1962, 1964) позволили вывести гидрологический и гидрохимический режим озера, в котором был и случай, когда вода во всем озере имела хлорность 0,09‰, т. е. была практически речной.

В 1962 г. большая часть озера была превращена в водохранилище. Открытой акваторией лимана остались только естественный канал к морю и разлив Узун-

герен. Поверхность озера (водохранилища) увеличилась приблизительно в 3 раза, а глубины более чем в два раза, с значительными колебаниями как естественного происхождения так и от степени водозабора. Ежемесячные исследования от 1963 г. до 1966 г. дали режим в период первоначального формирования водохранилища, с средней хлорностью 0,09‰, щелочностью 4,37<sup>mg equiv/l</sup> насыщенностью кислородом 93,2 %, окисляемостью в нейтральной среде 4,34<sup>mgO<sub>2</sub>/l</sup>, температурой 14,8 °С и т.д. (Р о ж д е с т в е н с к и й, 1967). В следующие годы мы ориентировались к сезонному мониторингу в ряде постоянных станций, к которым в особенных случаях прибавлялись дополнительные; в 1981 - 1985 г. число станций было несколько сокращено. Анализы проводились по указанным выше методам. Результаты в настоящей работе, для большей наглядности изменений режима, группированы по пятилетним периодам.

**Хлорность** (Cl, ‰) в водохранилище в период 1966 - 1970 г. показала известное уменьшение, а последующие периоды некоторого увеличения (табл.1). Минимальная годовая хлорность (0,06) была отмечена в 1967 г., а максимальная (0,16) - в 1974 г. Абсолютные колебания за весь период 1966 - 1985 г. были от 0,04 до 0,28. В открытой части (Пода) были изме-

*Таблица 1. Среднее содержание главных йонов и их процентного соотношения в воде Мандренского озера (водохранилища) за периоды 1966 - 1970 г.г. и 1976 - 1980 г.г.*

Йоны	1966 - 1970 г.г.		1976 - 1980 г.г.	
	g/l	%	g/l	%
HCO <sup>-3</sup>	0,2031	45,91	0,1929	40,58
CO <sup>2-3</sup>	0,0232	5,24	0,0267	5,62
SO <sup>2-4</sup>	0,0351	7,93	0,0365	7,67
Cl <sup>-</sup>	0,0706	16,00	0,0915	19,25
Ca <sup>2+</sup>	0,0397	8,98	0,0405	8,52
Mg <sup>2+</sup>	0,0380	8,59	0,0369	7,76
Na <sup>+</sup>	0,0271	6,13	0,0433	9,11
K <sup>+</sup>	0,0054	1,22	0,0071	1,49

**Таблица 2. Сезонная динамика средних пятилетних данных наиболее важных гидрохимических показателей и температуры воды Мандренского озера (водохранилища) за период 1966 - 1985г.г.**

Период	Зима	Весна	Лето	Осень	Средне- годовое	Зима	Весна	Лето	Осень	Средне- годовое
<i>Cl<sub>2</sub>, г/л</i>					<i>t, C</i>					
1966 - 1970	0,06	0,06	0,08	0,08	0,07	5,52	20,44	24,79	11,69	15,61
1971 - 1975	0,09	0,09	0,11	0,14	0,108	5,19	19,54	25,03	8,21	14,49
1976 - 1980	0,12	0,09	0,10	0,12	0,108	5,08	21,00	22,25	9,60	14,48
1981 - 1985	0,11	0,08	0,10	0,16	0,113	6,15	18,43	24,30	8,95	14,46
<i>O<sub>2</sub>, мг/л</i>					<i>O<sub>2</sub>, %</i>					
1966 - 1970	8,84	6,53	6,61	7,29	7,32	98,1	100,1	109,3	95,8	100,8
1971 - 1975	10,39	6,82	7,15	7,92	8,07	116,9	103,3	108,7	94,9	105,9
1976 - 1980	9,67	9,09	7,08	8,04	8,47	107,2	140,9	112,0	99,0	114,8
<i>A, мг эквив. /л</i>					<i>Окисляемость, мг O/л</i>					
1966 - 1970	3,50	3,90	4,22	4,15	3,94	3,35	3,08	4,20	3,34	3,54
1971 - 1975	3,59	3,14	3,41	3,49	3,41	2,92	3,17	3,24	3,70	3,26
1976 - 1980	3,53	3,37	4,07	4,10	3,77	2,97	3,73	3,46	3,17	3,33
1981 - 1985	3,68	3,26	3,30	3,85	3,52	3,42	3,88	3,50	3,22	3,51
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/л</i>					<i>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, мг/л</i>					
1966 - 1970	8,51	6,69	0,42	2,33	4,49	0,06	0,61	0,11	0,10	0,22
1971 - 1975	2,43	3,52	0,36	3,13	2,36	0,27	0,22	0,75	0,68	0,48
1976 - 1980	3,57	0,58	0,21	1,31	1,42	0,83	0,50	0,72	0,99	0,76
1981 - 1985	0,60	4,37	0,04	1,88	1,72	0,32	0,28	0,15	0,30	0,26
<i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, мг/л</i>					<i>SiO<sub>2</sub>, мг/л</i>					
1966 - 1970	0,06	0,13	0,12	0,11	0,11	5,95	7,63	8,64	6,76	7,25
1971 - 1975	0,10	0,12	0,37	0,25	0,21	4,08	5,31	4,99	4,39	4,69
1976 - 1980	0,43	0,20	0,25	0,12	0,25	6,31	6,20	8,55	8,11	7,29
1981 - 1985	0,49	0,25	0,08	0,08	0,23	4,31	6,33	5,50	6,10	5,56

рены стоимости от 0,3 до 4,14. Сезонная динамика в водохранилище и в открытой части - минимум весной и максимум осенью. Пространственные различия в водохранилище невелики, но не отсутствуют. При значительных морских ветрах, главно зимой и весной, заметно известное увеличение хлорности в восточной части (брызги), а осенью и отчасти летом, чаще в западной (промывка дождями засоленных почв). В среднем многолетнем результате разницы оглаживаются (в восточной части хлорность больше только на  $0,001\%$ ). Несколько более заметны разницы по вертикали. В большинстве случаев отмечается небольшое увеличение в придонных водах (поступление компонентных вод с различной хлорностью, влияние поровых вод илов); весной и летом, однако, при высоких температурах поверхностной воды иногда заметны случаи некоторого увеличения хлорности в поверхностных слоях (испарения, морские брызги, различные речные воды), в других сезонах это явление бывает редко. В среднем результате придонная хлорность приблизительно на  $0,01\%$  больше поверхностной.

**Главные ионы** (g/l отвечает g/kg или,  $\%$  т.к. при количествах разницы практически отсутствует). Исследования были проведены в 1966 - 1970 г. и 1976 - 1980 г. (табл.1) Общая тенденция изменений - уменьшение бикарбонатов и увеличение хлоридов щелочных металлов. Характер изменений в общих чертах качественно сходен с ходом изменений средних пятилетних данных в дунайской воде (R o j d e s t v e n s k y, 1990; P o ж д e s t v e n c k i й, 1991). Сказывается близость влияния естественных и антропогенных факторов.

**Соленость** ( $S$ ,  $\%$ ) вычисленная по формуле Кнудсена - 0,13 для периода 1966 - 1970г., а для остальных периодов - 0,23. Действительная же соленость, выведена из главных ионов (при условии, что

бикарбонаты и карбонаты превращены в окиси), в первом случае 0,25, а во втором - 0,34.

**Щелочность** ( $A$ , mg equiv/l). Суммарная щелочность, практически зависящая от содержания бикарбонатов и карбонатов, за 1966 - 1985 г. имела колебания от 5,62 до 1,13. Один раз в устье р.Факийской, при свашении конопля в июне 1969 г. была отмечена щелочность 12, но при выходе из приустьевого залива она приобретала нормальные размеры около 4. Общая многолетняя тенденция известное уменьшение (табл.2), что соответствует уменьшению  $\text{HCO}_3^-$ . Сезонная динамика минимум весной и максимум осенью, как и у хлорности. Основная причина для обоих показателей речной сток. Соотношение карбонатной к бикарбонатной щелочности показывает максимум летом (температура, фотосинтез) и минимум осенью (взбалтывание донной мути). Пространственные различия суммарной щелочности в отдельных случаях довольно значительны и с неодинаковым распределением. В средних многолетних результатах разницы до известной степени сглаживаются, очерчивая закономерное увеличение в восточной части на 0,05, а по вертикали ко дну на 0,06.

**Кислород** ( $O_2$ , ml/l). Содержание растворенного в воде кислорода за период 1966 - 1985 г. движется от 19,43 (сильное цветение в июне и начале августа 1967 г.) до 3,79 (в августе 1968 г. при изобилии гниющей органики), если исключит указанный выше случай квашения конопля; тогда в устье р.Факийской был аналитический 0 кислорода, в юговосточной части озера (залив р.Факийской) в поверхностном слое содержание  $O_2$  было от 0,13 до 0,40, а в придонном - от 1,09 до 1,51. В этой части озера был отмечен мор рыбы. В центральной части озера количество  $O_2$  в поверхностном слое было тогда 8,58, а в придонном - 5,69. Пространственные колебания в те-

Таблица 3. Сезонный гидрохимический и температурный режим поверхностной воды Мандренского озера (водохранилища) за период 1966 -1985 г.г.

Показатель	Зима	Весна	Лето	Осень	Среднегодовое
Cl, г/л	0,095	0,080	0,098	0,125	0,100
A, mg equiv./л	3,58	3,42	3,75	3,90	3,66
A <sub>НСО<sub>3</sub></sub> , mg equiv./л	3,34	2,76	2,91	3,68	3,17
A <sub>СО<sub>3</sub></sub> , mg equiv./л	0,24	0,66	0,84	0,22	0,49
pH	7,85	8,28	8,36	7,84	8,08
O <sub>2</sub> , ml/l	9,27	7,21	7,17	7,87	7,88
O <sub>2</sub> , %	103,9	109,8	113,7	97,5	106,2
Окисляемость, mg O/l	3,17	3,47	3,60	3,41	3,41
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/l	3,78	3,79	0,26	2,16	2,50
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , mg/l	0,37	0,40	0,43	0,52	0,43
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/l	0,27	0,18	0,21	0,14	0,20
SiO <sub>2</sub> , mg/l	5,16	6,37	6,92	6,34	6,20
t°, C	5,49	19,85	24,09	9,61	13,76

чение 1966 - 1985 г. в средних многолетних результатах сглаживаются, очерчивая закономерное увеличение в поверхностных водах восточной части на 0,08 по сравнению с западной, и уменьшение в придонных водах на 0,30.

Многолетняя тенденция первых трех пятилетних периодов (табл.2) рост содержания O<sub>2</sub> (увеличение эвтрофности при уменьшении проточности), но в последнем периоде наступает известное уменьшение. Сезонная динамика закономерный максимум зимой и минимум летом (табл.3)

В открытой части озера (Пода) колебания O<sub>2</sub> были от 11,86 до 6,91. Среднее содержание 8,70. Влияние оказывают «цветения» в Узунгерен.

**Насыщенность кислородом (O<sub>2</sub>, %)**. Процент насыщенности воды кислородом имеет абсолютную амплитуду от 322,2 («цветение» в 1967 г.) до 2,16 (в Факийском заливе от квашения конопля в реке в 1969 г.). Последующие периоды также экстремные стоимости наблюдаются. Многолетняя тенденция первых трех периодов рост средних годовых (пятилетних) стоимостей, а в последнем периоде известное уменьшение

(табл.2). Средняя сезонная динамика (табл.3) показывает максимум летом, при усиленном фотосинтезе и сравнительно тихой погоде, и минимум осенью, при увеличении вертикального размешивания затрагивающего придонные или с накопленной за лето гниющей органикой. Пространственные различия, как и при других показателях, в отдельных случаях велики и разнородны по положению, но в среднем многолетнем результате поверхностные воды восточной части имеют насыщенность приблизительно на 1% больше, чем в западной; по вертикали придонные воды в среднем имеют на 3% насыщенность меньше, чем поверхностные. Зимой вертикальные различия обыкновенно отсутствуют, а наибольшее различия отмечаются весной.

**Водородный показатель (pH)** в течение наблюдений в целом периоде 1966 - 1985 г. имел абсолютные колебания от 9,5 до 7,2 в связи с сильным «цветением» и кислородным дефицитом. Сезонная динамика средних данных (табл.3) очерчивает в основном связь с температурой воды, с небольшим отклонением осенью (стоимость меньше чем зимой)

под влиянием биохимического фактора - кислородного дефицита). Прослеживается закономерная связь с процентом насыщенности кислородом и карбонатной щелочностью.

**Температура воды** ( $t^{\circ}\text{C}$ ) оказывающая влияние на ряд гидрохимических показателей, в средних результатах (табл.3) имеет режим как в прежних исследованиях (Р о ж д е с т в е н с к и й, 1967), но тогда при ежемесячных исследованиях абсолютный максимум был  $29^{\circ}\text{C}$ , а при сезонных исследованиях в 1966 - 1985 г. был констатирован максимум  $27,5^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум в обоих случаях около 0 (при замерзании), когда озеро полностью или частично замерзает. Это отмечается только в суровые зимы, как например в 1972г, когда ледяной покров сковывал все озеро в течение более месяца (январь и начало февраля). Ледовые явления последние годы наблюдаются реже.

**Биохимическая потребность в кислороде** (БПК<sub>5</sub>,  $\text{ml O}_2/\text{l}$ ). Пятидневная биохимическая потребность в кислороде имеет абсолютную амплитуду от 42,20, при массовом цветении во всем озере в 1967 г., до 0,73 осенью 1968 г. в сравнительно чистой воде западной части. Средний многолетний результат, не включая данных, указанного «цветения», 2,83.

**Окисляемость** ( $\text{mg O}_2/\text{l}$ ). Перманганатная окисляемость в нейтральной среде, в зависимости от содержания автохтонного и аллоотонного органического вещества, за 1966 - 1985 г. колеблется от 9,72 до 0,96. Средние пятилетние стоимости (табл.2) показывают сравнительно малые колебания. Сезонная динамика (табл.3) в среднем результате имеет связь с температурой воды. Пространственные различия средних многолетних показывают небольшое увеличение в западной части (около 0,01) и увеличение в придонных слоях на 0,08. В районе Пода колебания окисляемости были от 5,45 до 3,74, с средней стоимос-

тью 3,90.

**Нитраты** ( $\text{NO}_3$ ;  $\text{mg/l}$ ). Содержание нитратного аниона движется от 18 до аналитического нуля. Многолетняя тенденция в общих чертах уменьшение (табл.1), которое до известной степени можно связать с речными водами, увеличением фотосинтеза, редуционными процессами. Сезонная динамика - минимум летом и почти одинаковые максимальные стоимости зимой и весной, при най-большем поступлении речной воды (табл.3). Средние пространственные особенности - увеличение на 0,6 в поверхностных водах западной части и небольшое уменьшение (на 0,05) в придонных водах. Содержание нитратного азота в среднем результате  $564,5 \text{ mg/m}^3$ .

**Нитриты** ( $\text{NO}_2$   $\text{mg/l}$ ). Количество нитритного аниона невелики - от 0,02 до аналитического 0. Один раз в сильно загрязненной воде Факийского залива (в августе 1968 г.) была отмечена стоимость 0,26, которую мы не включили в вычисление среднего результата: размеры последнего 0,008, что отвечает количеству нитритного азота  $2,4 \text{ mg/m}^3$ .

**Аммоний** ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{mg/l}$ ). Аммониевый катион, с небольшим равновесным количеством аммиака:  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ , т.к. вода имеет слабо щелочную реакцию, колеблется от 3 до 0,05. Многолетняя тенденция вначале известное увеличение, а последний период - уменьшение (табл.2). Сезонная динамика в различные периоды показывает некоторым изменения, но в конечном результате (табл.3) доминирует максимум зимой и минимум осенью, что в значительной степени можно связать с дождями в которых среднее содержание  $\text{NH}_4^+$  -  $0,51 \text{ mg/l}$  (Р о ж д е с т в е н с к и й, 1958), при минимуме фотосинтеза в зимние месяцы. На случаи чувствительного увеличения оказывают воздействие загрязнения и редуционные процессы. Среднее содержание аммониевого азота в воде озера  $155,6 \text{ mg/m}^3$ .

**Фосфаты** ( $PO_4^{3-}$ ,  $mg/l$ ). Фосфатный анион имеет абсолютную амплитуду от 7,3 до аналитического 0. Многолетняя тенденция (табл.2) аналогична с тенденцией изменения аммония - вначале чувствительное увеличение, а в последнем периоде - уменьшение. Средняя сезонная динамика однако различна, с минимумом зимой и максимумом осенью (табл.3); для количества фосфатов очевидно главную роль играет разлагающаяся органика. Средние пространственные различия - увеличение на 0,2 в западной части и небольшое увеличение (на 0,01) в придонных водах. Среднее содержание элементарного фосфора  $140,3 mg/m^3$ .

**Кремний**. Растворенная форма  $SiO_2$  движется от 16 до  $0,5 mg/l$ . Многолетние изменения (табл.2) показывают нередование повышенных и уменьшенных стоимостей, главным в связи с особенностями речного стока и пылевыми осадками. Хотя  $Si$  относится к биогенным элементам, потребление его при фотосинтезе очевидно не столь велико, как

других биогенных элементов. Среднее содержание элементарного кремния в воде озера  $2895,4 mg/m^3$ .

**Железо** ( $Fe$ ,  $mg/l$ ). Взвешенное железо имеет колебания от 3,10 до 0,08. Максимальные стоимости отмечаются в предустевых районах после сильных дождей. Средняя стоимость (включая указанные максимумы) 0,82. Растворенная форма движется от 0,13 до 0,01, с средней стоимостью 0,04.

**Неорганическая глинистая взвесь** имеет колебания от 236 до  $58 mg/l$ .

Заключение: Воды Мандренского водохранилища в основном сохраняют речной характер, отражая особенности естественного и антропогенного влияния в различные периоды. Изменения в самом озере отмечаются главным по отношению газового состава, биогенов и органики. В открытой части озера, связанной с морем, играет роль сравнительное увеличение стока из водохранилища в летние и осенние месяцы.

## ЛИТЕРАТУРА

Б р у с е в и ч, С.В. 1933. Методика химической океанографии. М., Гидрометеиздат. 144с. В ъ л к а н о в, А. 1936. Бележки върху нашите бракични води. 2 - Год. СУ, XXXII №3, 209 - 341. К а р а о г л а н о в, З., М. Х а д ж и с в, 1926. Химически изследвания върху състава на черноморската вода и на някои от езерата покрай Черно море. - Год. СУ, XXII, №2, 135 - 220. К а ш и н к и й, П. И др. Краткое руководство по химическому анализу воды в экспедиционных условиях. АН СССР, М. - Л. 107 с. Л е б е д и н ц е в, А., М. Т и х и й, 1912. Материалы по гидрологии Черного моря у берегов Болгарии и Румынии. В-к Рыбпром., №3, С. Петербург 1 - 20. Н е ч а е в, А., С. Чернев,

1938. Мандренско блато в риболовно и хидрологично отношение. Труд. Опит. ихтиолог. ст. Созопол за 1937 г. VI, 92 - 106. Р о ж д е с т в е н с к и, А. В. 1951. Измирането на сладководната фауна в Мандренското езеро. - Природа и знание, IV, №4-5, 18 - 22. Р о ж д е с т в е н с к и, А. В. 1957. Хидрохимия на бургаските езера. - Природа, VI, № 2, 83 - 87. Р. о. ж. д. е. с. т. в. е. н. с. к. и, А. В. 1958. Състав на главните гидрометеори в района на черноморското крайбрежие и значението му за химичната динамика на морските води. - Изв. Хим. инст. VI, 131 - 148. Р о ж д е с т в е н с к и, А. В. 1962. Българските близки крайбрежни черноморски и лиманни води в гидро-

логично и хидрохимично отношение. Изв. ЦНИИ рибовъд. И риболов - Варна, II, 207 - 234. Рождественски, А. В., 1964. Крайморски езера (хидрология и химия). - Труд., Инст. Хидрол. и метеоролог, XVI, 7 - 54. Рождественски, А.В., Промени на хидрологичния и хидрохимичния режим на по-важните в риболовно отношение български езера край Черно морс. - Изв. НИИ рибно

стоп. и оксанография - Варна, VIII, 93 - 129. Рождественски, А.В., 1991. Хидрохимия Нижнего Дуная. - Океанология. (С.), 20, 3 - 15. Rojdestvenskiy, A.V. 1990. Hydrochemische Verhältnisse in der Unteren Donau. - In: Limnologische Berichte der 28 Tagung der Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung, 40 - 43.

## HYDROCHEMICAL MONITORING OF MANDRA - LAKE DURING 1966 - 1985

Alexander V. Rozhdestvenskiy

### (Summary)

Mandra - lake is the southern of the tree Burgas - lakes. At first it was open to sea, with the great seasonal movements of salinity ( 0,18 - 33,01 ‰ in our investigations 1948 - 1962). In 1962 the greater part of lake was

turn into reservoir. Became a change of chemical composition of water in dammed and open parts of lake.(1962 - 1965). In this paper are the results of investigations during 1966 - 1985.

Постъпила на 23.11.92 г.