

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ
РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

№5804-В87

УДК 551.465.16 (262.5)

В.А.Жоров, С.Г.Богуславский, О.Н.Богатко, В.П.Ронкова,
Е.А.Годин, Т.Н.Абакумова

Структура гидролого-гидрохимических полей
в конце продолжительного периода без суровых зим
в восточной половине Черного моря.

Последние 2-3 десятилетия характеризуются рядом особенностей гидролого-гидрохимических процессов в Черном море. К таковым относятся некоторое потепление верхнего слоя вод, возрастание среднего содержания кислорода в слое фотосинтеза, обострение гидролого-гидрохимических градиентов на границе зон, расширение сероводородной зоны моря и увеличение концентрации сероводорода в верхней части. Отмеченные особенности процессов совпали с направленным потеплением атмосферы северного полушария.

В данной работе сопоставлены результаты экспедиционных исследований 27 рейса нис "Академик Вернадский" (май-июнь 1983г) с осредненными данными по распределению температуры, солености и ряда гидрохимических параметров в восточной половине моря. Этот рейс выполнен в конце длительного периода (20 лет), в течении которого по принятой классификации [1], в регионе Черного моря отмечались лишь умеренные и мягкие зимы. Это не могло, видимо, не отразиться на структуре полей и количественных характеристиках параметров морской воды.

По многолетним обобщенным данным в весенний период общей тенденцией в распределении температур является потепление вод на поверхности с запада на восток. При этом структура термического поля изменяется монотонно. По результатам 27 рейса нис "Академик Вернадский" идентифицируется ряд структурных особенностей. От южного берега Крыма к Анатолийскому побережью отмечается заток распресненных теплых вод из мелководной зоны. В тоже время от Синопа на север по поверхности ответвляются

от основного Черноморского потока распресненные холодные воды (рис. 1а,б). Влияние кавказских рек выражается в опреснении и охлаждении поверхностных вод района. Средняя температура поверхностной воды восточной половины моря в мае-июне 1983 г была выше средней многолетней на 2,5-5,5°C.

Содержания кислорода в морской воде контролируются физическим процессом - растворимостью. Поэтому в общих чертах существует соответствие между структурами полей кислорода (рис. 1в), гидрологических параметров, а также структурой осредненного поля кислорода [2]. Структура поля общей щелочности (рис. 1г) практически тождественна структуре поля солености (рис. 1б) и определяется, как было показано нами ранее [3], гидрологической структурой вод и речным стоком. Аналогично щелочности и солености распределяются значения pH_B , (рис. 1д), pCO_2 , (рис. 1е). При этом поля распределения pH_B и pCO_2 зависят не только от гидродинамики вод, но и от интенсивности фотосинтетических процессов.

Структура поля величин насыщения морской воды в отношении карбоната кальция наиболее тесно коррелирует с распределением pH_B и солености (рис. 1б,д,з), завися в основном от гидродинамической структуры вод и процессов фотосинтеза на поверхности. В зонах высокой фотосинтетической активности фитопланктона степень насыщенности вод карбонатом кальция выше, чем в других районах, что, видимо, связано с повышением pH_B морской воды, возрастанием концентрации ионов CO_3^{2-} .

Структура полей распределения гидрологических и гидрохимических элементов на горизонте 10 м такая же, как и на поверхности, но воды теплее на 1 - 4°C по сравнению со средне-многолетними значениями.

Между структурами гидрологических и гидрохимических полей на горизонте 30 м, а также по сравнению со структурами их на 0 и 10 м горизонтах соответствия не наблюдается.

Структуры полей распределения температур, соленостей и кислорода на горизонтах 50, 75, 100 и 150 м соответствуют распределению этих параметров по климатическим данным и отражают особенности гидродинамики вод бассейна (рис. 2а-з). Элементы карбонатной системы распределяются в соответствии

с гидродинамической структурой вод, но на горизонте 50 м отчетливо видно влияние биохимических процессов промежуточной зоны, которое выражается в понижении абсолютных значений общей щелочности, pH_B , величин степени насыщенности вод в отношении карбоната кальция в зонах подъема вод на данном горизонте. Воды у Кавказа и юго-восточной части по сравнению со средними многолетними данными холоднее на $0,5^{\circ}C$, а южнее Новоросийска - теплее. На горизонтах 75, 100, 150 м в центральных районах восточной части по сравнению со среднемноголетней нормой, воды были теплее на $0,1-0,7^{\circ}C$, а в юго-восточном углу - холоднее на $0,3^{\circ}C$. В приглубых зонах восточной половины моря идентифицируются по всем параметрам несколько антициклонических вихрей.

Термическая структура на 200 метровой глубине весной 1983г аналогична осредненной климатической структуре, но воды в этот период были теплее на $\sim 0,05^{\circ}C$. Особенностью является то, что структура полей температуры, солености, кислорода на горизонтах 100 и 200 м аналогична, незначительно отличается в случае pCO_2 и сохраняется лишь в самых общих чертах при распределении щелочности и суммы неорганических форм углерода (рис. 3а-з). На одном и том же горизонте 200 м существует соответствие между структурами полей O_2 , pCO_2 , pH , ΣCO_2 и H_2S , при этом в одних и тех же районах моря изменение концентрации кислорода и сероводорода носят обратный характер. Такое соответствие нарушается между полями следующих параметров: $\%O$ - $A\sigma_k$; H_2S - $A\sigma_k$; Ω - pH_B ; $A\sigma_k$ - pH_B ; Ω - H_2S из-за влияния биохимических процессов на границе 2-х зон. Глубже, на горизонте 250 м возрастают пространственно-временные градиенты неконсервативных параметров - H_2S , $A\sigma_k$, ΣCO_2 . В этих условиях сохраняется сходство между структурами полей H_2S и pCO_2 , Ω . В толще 200-250 м поля и процессы с участием H_2S подобны. В то же время структура климатического поля распределения H_2S проще, чем синоптического в 1983 г.

На горизонтах 500 и 750 м, где еще возможно влияние сезонных изменений на структуру поля неконсервативного элемента, структура поля солености совпадает с таковой на горизонте 200 м с климатическим сезонным распределением ее. Существует сходство между структурами полей H_2S - $\%O$ и pCO_2 , pH , ΣCO_2 .

Ω , которое выражается в совпадении максимумов и минимумов областей распределения различных элементов с распределением H_2S . В центре моря вертикальные движения вод в 1983 г были противоположны многолетним. Зона подъема вод четко очерчена южнее, юго-западнее Новороссийска.

Зоны подъема на 1000-метровой глубине заметно выделяются юго-западнее Новороссийска, западнее г. Сочи, севернее Трабзона, а зоны опускания - у Батуми, севернее м. Бафра. Гидрохимические параметры среды - $A_{\Sigma}k$, pH, pCO_2 , ΣCO_2 , Ω определяются гидродинамикой вод, структура полей этих элементов подобна структуре температурного поля.

Структура гидрологических и гидрохимических полей на горизонтах 1250 и 1500 м такая же, как и на 1000 м.

Анализ распределения температуры, солености и гидрологических характеристик на больших глубинах Черного моря позволяет оценить отклонения их от осредненных или условно "нормированных" данных, таким образом, хотя бы качественно судить о временных изменениях параметров среды. Информация по данному вопросу приведена в табл. I.

Средние величины гидрологических характеристик глубоководной зоны моря, приводимые Чигириным, получены в основном по результатам зимней экспедиции 1935 г. Нейман пользовался данными из рукописных работ Чигирина по средней температуре и солености, осреднял их для станций, выполненных в одной точке (в 20-х - 30-х гг.). Скопинцев и Киткин осреднили данные 84 станций за 20-е - 30-е гг. Сведения Филиппова получены путем осреднения всех имевшихся до 1958 г. гидрологических данных для восточной части Черного моря (табл. I). В отличие от рассматриваемого нами периода работы этих исследователей приходится на годы с частой сменой типов зим. Если принять, как это сделал автор [4], средние величины Скопинцева и Киткина за "норму", то данные Чигирина и Филиппова оказываются несколько завышенными по температуре и заниженными по солености, а наши характеризуют воды слоя как более теплыми и солеными. С 20-х до начала 60-х годов воды слоя 300-1500 м несколько потеплели и распреснились, а верхнего (0-75 м) - осолонились [5]. Затем, по нашим данным [6], воды в верхнем слое (0-100 м)

потеплели и распреснились, а в слое (500-1500 м) видимо, осолонились (табл. I).

Ниже сопоставим результаты некоторых экспедиций 50-60 гг. и проведенной в 1983 г. (табл. 2). Видно, что весной 1983г. осредненные данные по значениям температуры не отличаются от результатов экспедиций 1951 и 1956 гг., а по солености и горизонтальным гидрологическим градиентам занимают в большинстве случаев среднее положение. В 1983 г. воды были несколько теплее (на $0,02-0,06^{\circ}\text{C}$) и солонее (на $0,03-0,06\text{‰}$) по сравнению с "нормой", а по сравнению с водами западной половины были более пресными на $0,06-0,09\text{‰}$ (табл. 2). Можно полагать, что изменения солености глубинных вод Черного моря, как это ранее допускал автор [4], связаны с колебаниями притока мраморноморских вод. На глубине 500 м по данным 4-х рейсов (табл. 3) температура была выше "нормы", а соленость на $0,03\text{‰}$ была выше "нормы" только в 1983 г. На горизонтах 1000-1500 м соленость выше "нормы" отмечалась в августе 1960 г., апреле 1961 г и в мае-июне 1983 г., а в октябре 1960 г. она была ниже "нормы". Воды на этих горизонтах были теплее "нормы".

Если горизонтальные градиенты гидрологических параметров, против обычно наблюдаемых, в 27 рейсе были существенно выше "нормы", то видимо, это связано с вертикальными движениями вод, что отразилось на распределении гидрохимических характеристик. Весной 1983 г. вертикальные градиенты всех характеристик в глубинной области моря, глубже 1000 м, были минимальны. Мы имеем средние данные по восточной части моря и крайние значения характеристик на данном горизонте. Средние содержания сероводорода, солености, свободной углекислоты и сумма неорганических форм углерода, щелочности увеличиваются с глубиной [7], а величины pH уменьшаются. Очень незначительные вертикальные градиенты в слое 1000-1500 м свидетельствуют об интенсивном перемешивании глубинных вод.

Из анализа данных 27 рейса нис "Академик Вернадский" следует, что средние значения температуры и солености весной в 1983 г. были выше "нормы". Вертикальные и горизонтальные градиенты солености и гидрохимических параметров с глубиной уменьшаются. Наличие значительных горизонтальных градиентов температуры на глубине 1000 и 1500 м можно связать с существованием устойчи-

вых антициклонических вихрей весной в юго-восточном углу и в приглубой части у Керченского пролива. Косвенно эти характеристики указывают на малые горизонтальные градиенты плотности вод этого слоя. Причины больших вертикальных градиентов гидрологических и гидрохимических параметров в верхнем слое (0-200 м) очевидны. В то же время большие гидрохимические градиенты в толщине 200-1000 м объяснить только существованием антициклонических вихрей нельзя. Вероятно, в этих случаях сказывается влияние биохимических процессов, зависящих от распределения первичной продукции верхнего слоя.

В табл. 4 приведены средние значения температур на стандартных горизонтах. Видно, что в поверхностном слое (0-10 м) температура вод в восточной части в мае-июне 1983 г. занимала среднее состояние между осредненными значениями за май и июнь месяцами. Однако в слое холодных промежуточных вод (горизонт 50 м) температура была заметно ниже многолетней нормы (на $\sim 0,1-0,2^{\circ}\text{C}$), что повлияло на среднее значение ее на горизонте 30 м. Объясняется это тем, что холодные воды промежуточного слоя, сформированные в феврале-апреле на шельфе и материковом склоне в северо-западной части Черного моря и в районе, прилегающем к Керченскому проливу, пройдя в струе основного черноморского течения, по сложным циркуляционным траекториям, по разному накапливались в западной и восточной половинах моря. Вероятно, в 1983 г. весной их предпочтительное накопление происходило в восточной половине.

Ниже слоя холодных промежуточных вод температура в толще 75-200 м была заметно выше многолетней нормы. Это находится в согласии с ранее обнаруженной нами тенденцией. После 1963 г. по сравнению с предыдущими годами температурный фон на горизонте 100 м увеличивался на $\sim 0,3^{\circ}\text{C}$. Это изменение фона уменьшалось с глубиной [6]. Градиенты температуры между горизонтами 100-150 и 150-200 м в 1983 г. были меньше.

Вертикальное распределение кислорода по осредненным данным и по результатам 27 рейса нис "Академик Вернадский" дано в таблице 5.

На поверхности, по сравнению с климатической нормой, кислорода в воде содержалось меньше из-за более высокой температуры. В верхнем слое 10-30 м содержание кислорода выше, чем

по среднемноголетним данным или по результатам отдельных рейсов прошлых лет [8]. Это согласуется с общей тенденцией возрастания среднего количества кислорода в верхнем слое в последние десятилетия и убыванием в нижнем [8]. Поле кислорода ниже 10-метрового горизонта определяется гидрологической структурой. На горизонте 50 м в зонах подъема вод в годы с уменьшенной ветровой деятельностью среднее содержание кислорода в 2-3 раза ниже, по сравнению с годами активной ветровой деятельности [8]. Среднее взвешенное содержание сероводорода в толще 200-500 м по осредненным данным составляет 1,76 мл/л, а по результатам 27 рейса нис "Академик Вернадский" 2,05 мл/л. Т.е. наблюдается некоторое надежное определяемое увеличение количества сероводорода в водах восточной половины Черного моря. Этот факт подтверждает ранее сделанные выводы [6] о расширении сероводородной зоны Черного моря и в увеличении количества сероводорода в ее верхней части в последние годы (по крайней мере до зимы 1984 г.).

Выводы.

1. Весной (май-июнь) 1983 г. гидролого-гидрохимическая съемка восточной части Черного моря показала, что структура полей квадродного слоя определяется гидродинамикой вод; у берегов обнаруживается влияние речного стока; воды в нем теплее на $1-1,5^{\circ}\text{C}$. В толще 0-200 м воды оказались теплее против нормы.
2. В слоях 0-150 м и 250-500 м структуры гидрологических и гидрохимических полей аналогичны между собой. В промежуточном слое между кислородной и сероводородной зонами (150-250 м) такое соответствие между структурами полей рассмотренных параметров нарушается из-за влияния биохимических процессов.
3. Холодные воды промежуточного слоя, видимо, предпочтительно могут накапливаться в восточной половине моря.
4. Сероводородная зона восточной части расширилась, на верхней границе концентрация сероводорода возросла.
5. В глубинных слоях воды моря были теплее и солонее против "нормы".
6. Одним из факторов, обусловившим наблюдавшуюся структуру гидролого-гидрохимических полей, является длительный период без ледовых зим.

ТАБЛИЦА I

Среднее значение температуры ($^{\circ}\text{C}$) и солености (‰)
в глубинных слоях по данным различных авторов

Глубина, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Соленость ‰	Авторы, год
500	8,87	21,95	Чигирин, 1938
	8,83	22,09	Нейман, 1943
	8,83	22,04	Скопинцев, Киткин, 1955
	8,87	22,00	Филиппов, 1958
	8,87	22,07	Наши, 1983
1000	8,96	22,20	Чигирин, 1938
	8,93	22,24	Нейман, 1943
	8,92	22,25	Скопинцев, Киткин, 1955
	8,95	-	Филиппов, 1958
	8,94	22,31	Наши, 1983
1500	9,04	22,25	Чигирин, 1938
	-	22,31	Нейман, 1943
	8,97	22,31	Скопинцев, Киткин, 1955
	9,02	-	Филиппов, 1958
	9,01	22,35	Наши, 1983

ТАБЛИЦА 2

Температура и соленость глубинных
вод по данным различных экспедиций

Глубина, м	Температура, °С		Соленость, ‰	
	Среднее	Разность между кратными зна- чениями	Среднее	Разность между кратными зна- чениями
500	8,88 [*] (8,89) [8,87]	0,20 (0,06) [0,18]	21,99 (22,16) [22,07]	0,47 (0,17) [0,24]
1000	8,93 (8,93) [8,94]	0,24 (0,07) [0,15]	22,25 (22,39) [22,31]	0,34 (0,15) [0,10]
1500	9,00 (9,03) [9,01]	0,21 (0,11) [0,14]	22,31 (22,41) [22,35]	0,07 (-) [0,02]

* - цифры без скобок - экспедиция на У/С "Экватор", 1951 г.

() - экспедиция института океанологии АН СССР в 1956 г.,
в основном западная часть моря.

[] - экспедиция НИС "Академик Вернадский", май-июнь
1983 г., восточная часть моря.

ТАБЛИЦА 3

Средние величины температуры, солености и отклонения от них в глубинных слоях по данным различных экспедиций

Глубина, м	Температура, °C	Соленость, ‰	Число наблюдений <i>n</i>
500	$8,86 \pm 0,06^*$	$22,01 \pm 0,07$	15
	$(8,84 \pm 0,04)$	$(22,01 \pm 0,07)$	29
	$[8,88 \pm 0,02]$	$[22,00 \pm 0,14]$	20
	$\{8,87 \pm 0,09\}$	$\{22,07 \pm 0,12\}$	35
1000	$8,92 \pm 0,03$	$22,31 \pm 0,03$	12
	$(8,91 \pm 0,03)$	$(22,23 \pm 0,02)$	29
	$[8,96 \pm 0,02]$	$[22,28 \pm 0,10]$	12
	$\{8,94 \pm 0,07\}$	$\{22,31 \pm 0,10\}$	35
1500	$8,99 \pm 0,03$	$22,35 \pm 0,03$	8
	$(9,01 \pm 0,04)$	$(22,29 \pm 0,01)$	27
	$[9,06 \pm 0,01]$	$[22,34 \pm 0,05]$	6
	$\{9,01 \pm 0,07\}$	$\{22,35 \pm 0,01\}$	35

* - без скобок - экспедиция э/с "Витязь", август 1960 г.

() - "Михаил Ломоносов", октябрь 1960 г.

[] - э/с "Академик С.Вавилов", апрель 1961 г.

{ } - "Академик Вернадский", май-июнь 1983 г.

ТАБЛИЦА 4

Значения температур на стандартных горизонтах, ($^{\circ}\text{C}$) (восточная часть)

Горизонт, м	В р е м я		
	Осредненные - май	Осредненные-июнь	Май-июнь 1983
0	14,7	19,9	18,94
10	12,7	17,5	14,55
30	8,2	8,8	7,45
50	7,3	7,4	7,17
75	7,6	7,5	7,75
100	8,4	8,4	8,55
200	8,6	8,6	8,70

ТАБЛИЦА 5

Содержания кислорода на стандартных горизонтах в восточной части моря, мл/л

Горизонт, м	В р е м я	
	Многолетние	Май - июнь 1932 г.
0	6,50	6,05
10	6,78	7,24
30	6,70	7,18
50	6,67	5,74
75	4,48	3,23
100	2,45	1,37
150	0,57	0,34
200	0,24	0,10

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Георгиев Ю.С. - Условия образования экстремумов биоокеанографических характеристик на северо-западном шельфе Черного моря. - Вестник АН УССР, 1983, № 6.
2. Жоров В.А., Богуславский С.Г. и др. - Распределение некоторых гидрохимических элементов Черного моря. - ВИНТИ М., № 2747-85 Деп. 211 с., 24.04.85.
3. Жоров В.А., Богуславский С.Г., Абакумова Т.Н. - Распределение щелочности, минеральных соединений углерода и степени насыщенности вод карбонатом кальция в воде Черного моря. - Гидрохимические материалы, 1981, т.88, с.23-26.
4. Филиппов Д.М. - Циркуляция и структура вод Черного моря - М., Наука, 1968, с.136.
5. Богданова А.К. - Многолетние колебания уровня моря и величина материкового стока как факторы, определяющие изменения гидрологического режима Черного моря. - Труды СБС, 1960, т.13.
6. Жоров В.А., Богуславский С.Г. - Тенденции некоторых гидролого-гидрохимических процессов Черного моря. - Метеорология и гидрология, 1985, № II, с.63-69.
7. Скопинцев Б.А. - Формирование современного химического состава вод Черного моря. - Гидрометиздат, Л., 1975, с.336.
8. Богуславский С.Г., Бербенев В.И., Жоров В.А., Паненко М.В. - Гидролого-гидрохимическая структура верхнего слоя в летний период 1975-1977 гг. - Сб. "Временные проблемы океанологии Черного моря". МГИ АН УССР, Севастополь, 1986, т.2., ВИНТИ М., (в печати).

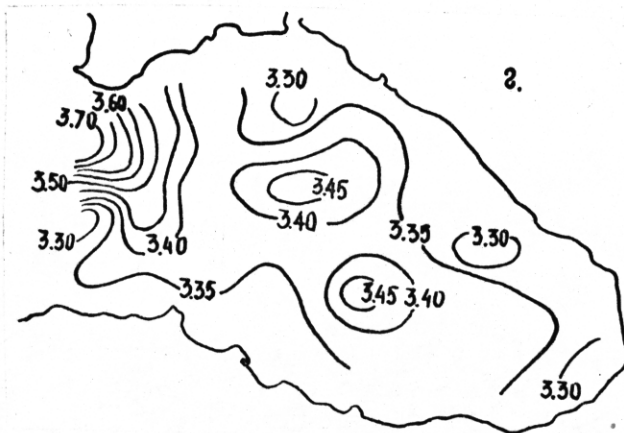
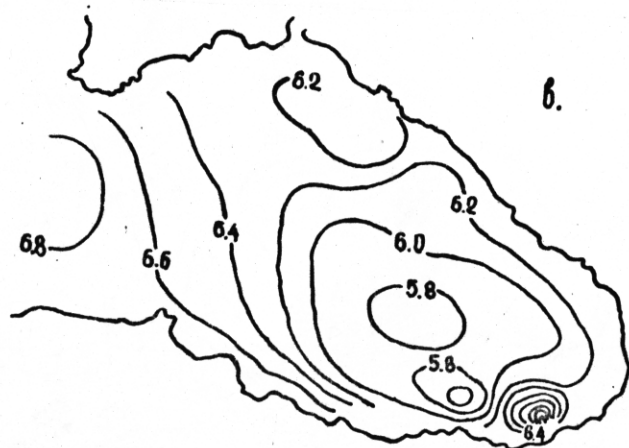
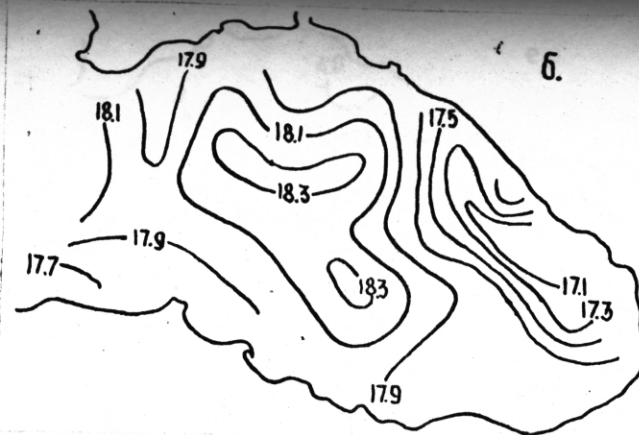
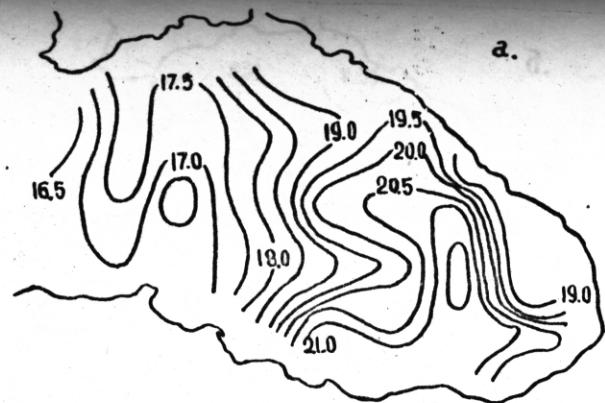


Рис. I. Распределение гидролого-гидрохимических параметров на горизонте 0 м:
 а - температура воды ($t^{\circ}\text{C}$); б - соленость (‰ промилле);
 в - содержание концентрации кислорода (мл $\text{O}_2/\text{л}$); г - щелочность (мг-экв./л).

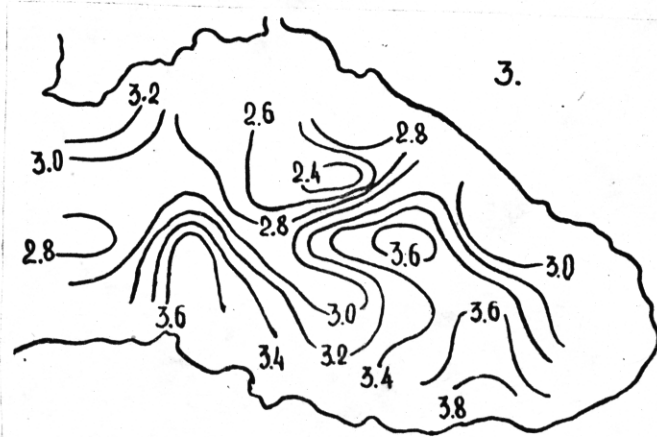
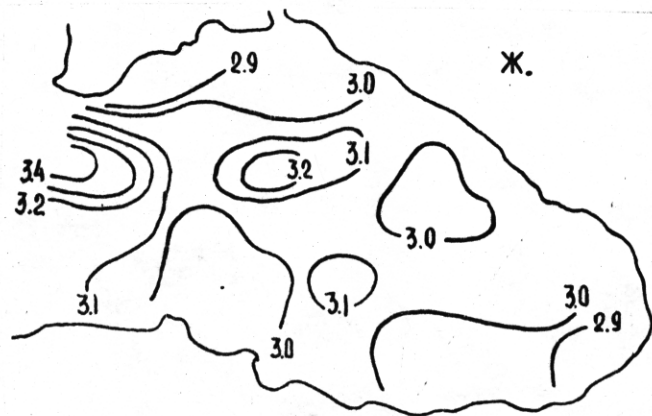
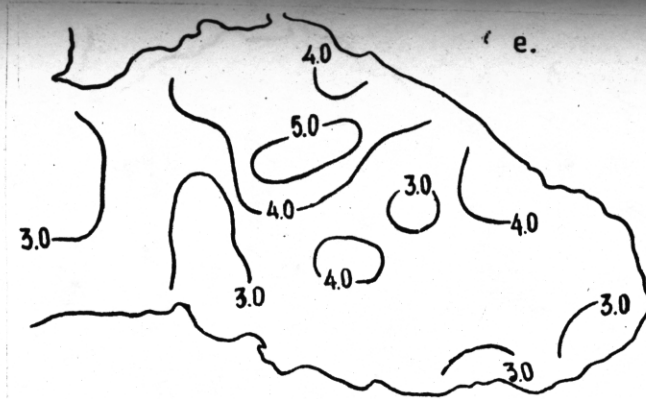
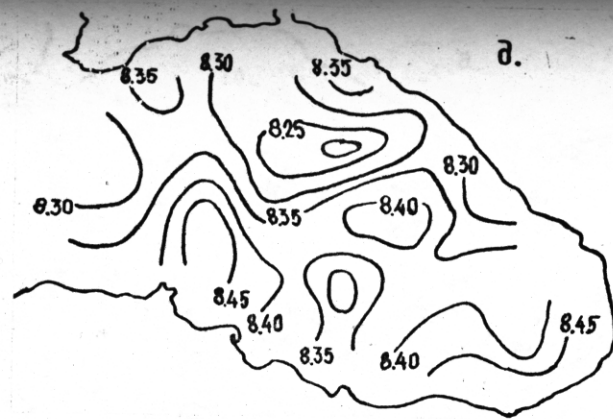


Рис. I. Распределение гидролого-гидрохимических параметров на горизонте 0 м:
 д - концентрация водородных ионов (рН, ед. Серенсена); е - парциальное давление углекислоты ($p\text{CO}_2$, атм $\cdot 10^{-4}$); ж - сумма неорганических форм углекислоты (ΣCO_2 , мг-экв/л); з - насыщенность морской воды карбонатом кальция (Ω).

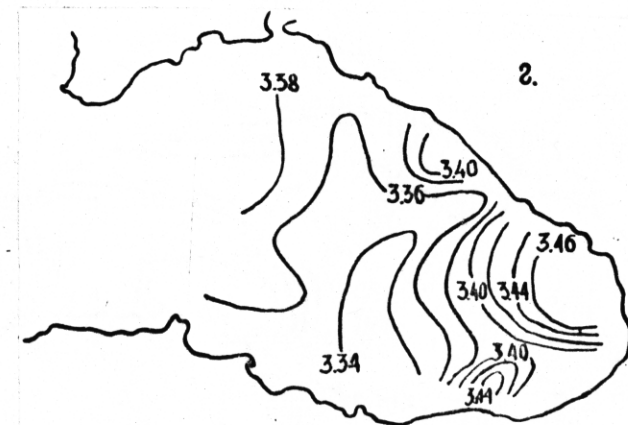
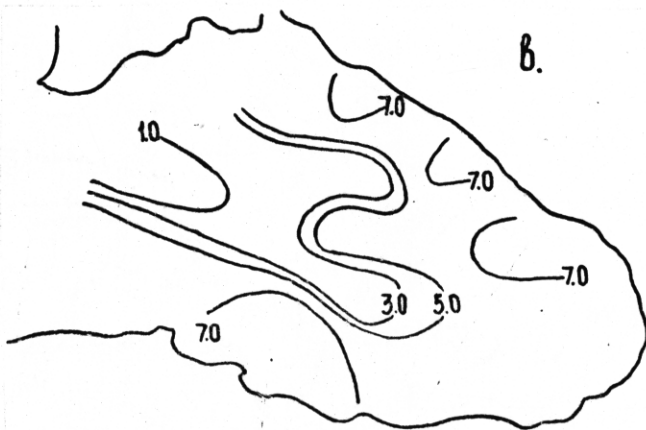
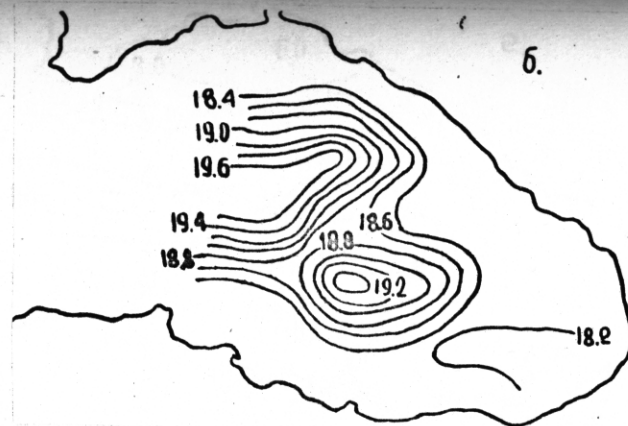
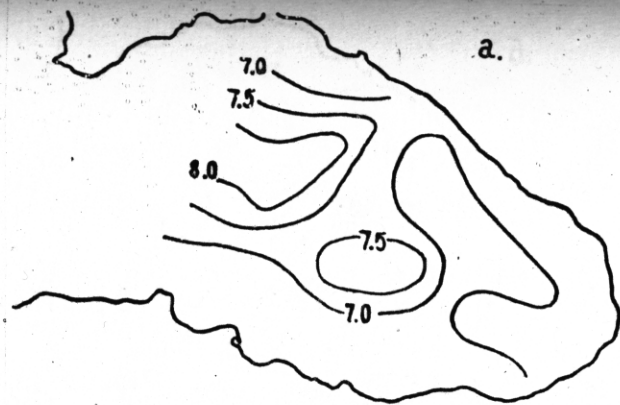


Рис. 2. Распределение гидролого-гидрохимических параметров на горизонте 50 м:
 а - температура воды ($t^{\circ}\text{C}$); б - соленость (‰ , промилле);
 в - содержание концентрации кислорода ($\text{мл O}_2/\text{л}$); г - щелочность (мг-экв./л).

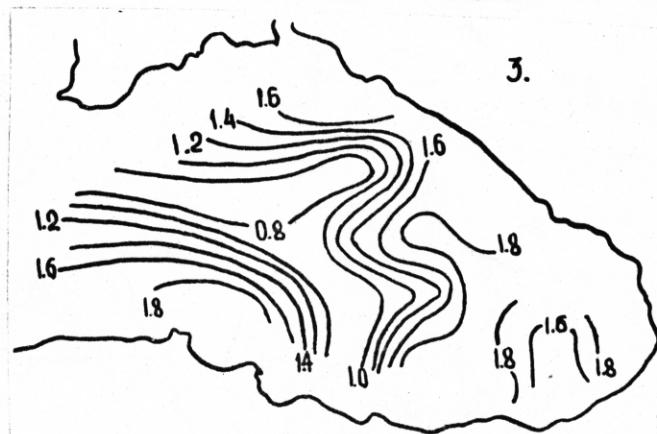
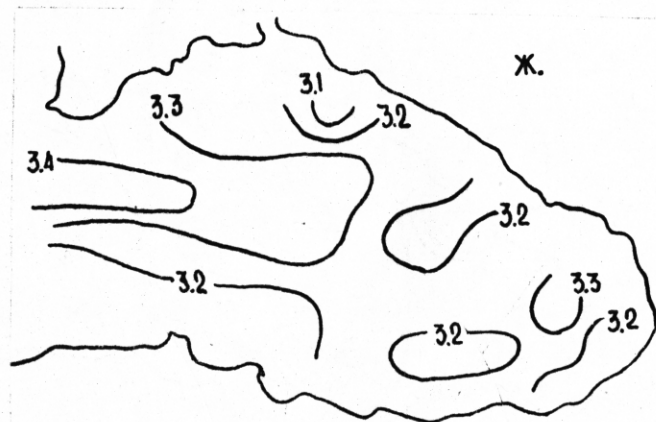
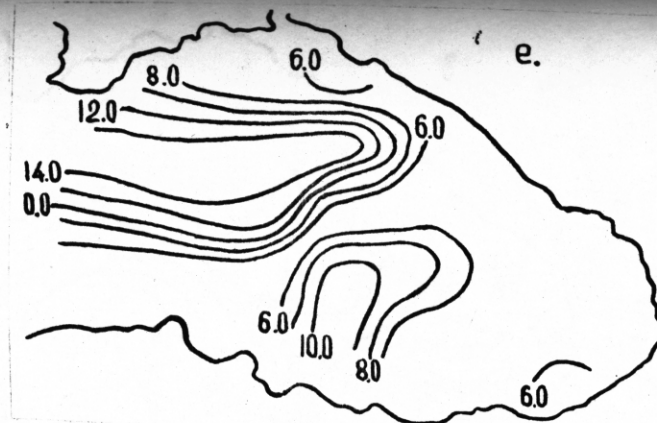
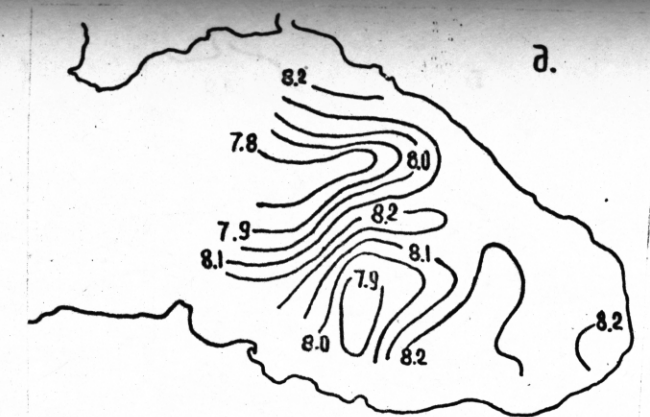


Рис. 2. Распределение гидролого-гидрохимических параметров на горизонте 50 м: д - концентрация водородных ионов (рН, ед. Серенсена); е - парциальное давление углекислоты (pCO_2 , атм $\cdot 10^{-4}$); ж - сумма неорганических форм углекислоты (ΣCO_2 , мг-экв/л); з - насыщенность морской воды карбонатом кальция (Ω).

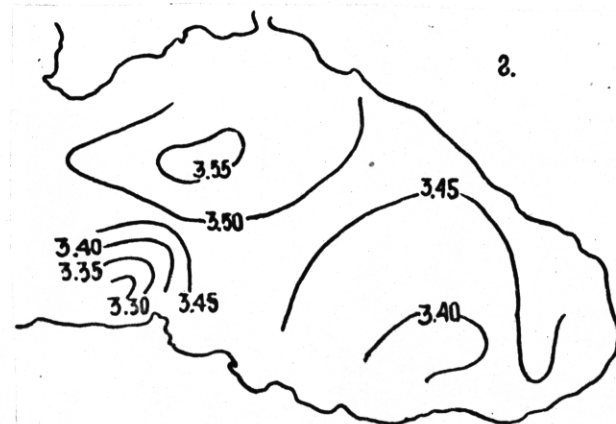
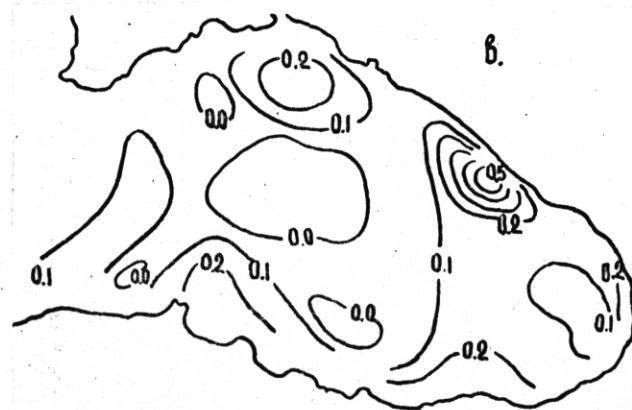
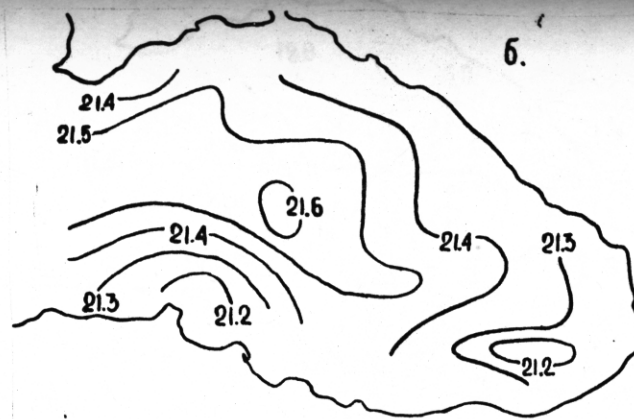
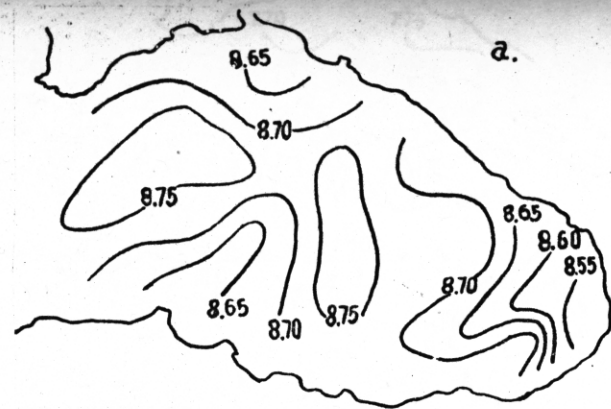


Рис. 3. Распределение гидролого-гидрохимических параметров на горизонте 200 м:
 а - температура воды ($t^{\circ}\text{C}$); б - соленость (‰ , промилле);
 в - содержание концентрации кислорода (мл $\text{O}_2/\text{л}$); г - щелочность (мг-экв/л).

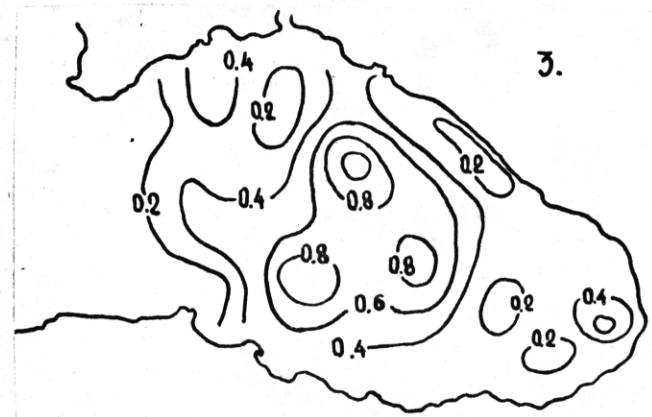
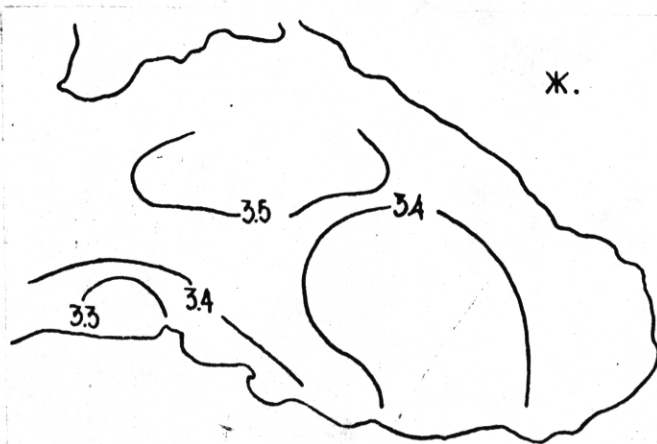
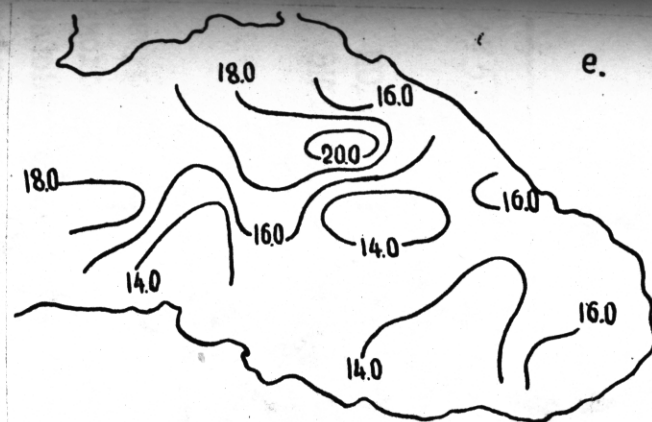
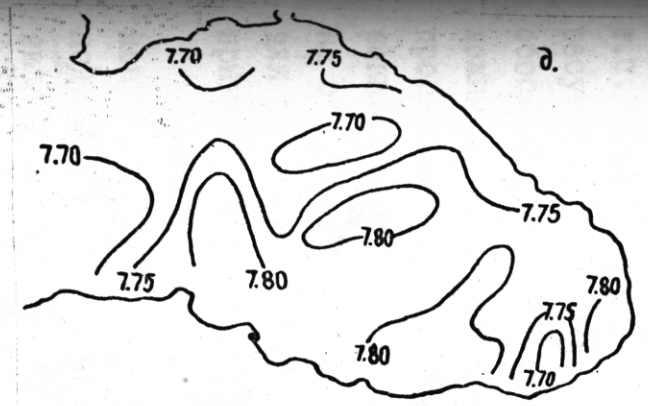


Рис. 3. Распределение гидролого-гидрохимических параметров на горизонте 200 м:
 д - концентрация водородных ионов (рН, ед. Серенсена); е - парциальное давление углекислоты ($p\text{CO}_2$, атм· 10^{-4}); ж - сумма неорганических форм углекислоты (ΣCO_2 , мг-экв/л); з - концентрация сероводорода (мл H_2S /л).