

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE IN Leningrad

Transactions

Труды
вып. 32

vol. 32

06
778

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ ОКЕАН—АТМОСФЕРА

INVESTIGATIONS
ON THE OCEAN — ATMOSPHERE PROBLEM

Сборник 2

работ научно-исследовательского института взаимодействия океана
и атмосферы

issue 2

of the papers of the air sea interaction institute

24443

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института

ЛЕНИНГРАД
1970

Сборник содержит результаты исследований взаимодействия океана и атмосферы, выполняемых в Ленинградском гидрометеорологическом институте. Статьи посвящены формированию процессов в реальных океанах и морях, изменению метеорологических и гидрологических условий и их прогнозу. Некоторые статьи имеют теоретическое и методическое содержание.

Сборник рассчитан на широкий круг океанологов, метеорологов и геофизиков, а также на преподавателей, аспирантов и студентов.

Научный редактор **В. В. Тимонов**

Ответственный редактор *О. А. Алекин*

2—9—6

Труды Ленинградского Гидрометеорологического института
Исследования по проблеме океан — атмосфера

СБОРНИК 2

Работ научно-исследовательского института взаимодействия океана и атмосферы

Редактор *Б. И. Леонова*

М-13 525. Сдано в набор 21/V-1968 г. Подписано к печати 2/VII-1970 г. Формат бум. 70 × 108¹/₁₆.
Бумага тип. № 3. Печ. л. 16. Уч.-изд. л. 19. Тираж 500. Заказ 2329. Цена 1 р. 84 к. Тем. план 1968 г.

Типография профессионально-технического училища № 4. Ленинград, 12-я Красноармейская ул., 27.

СОДЕРЖАНИЕ

Часть первая. ФИЗИКА ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

Теория, эксперименты, методы расчета

	Стр.
<i>В. М. Радикевич.</i> Исследование некоторых характеристик взаимодействия пограничных слоев атмосферы и моря на основе новой теоретической модели	3
<i>А. С. Балуева, В. Н. Веретенников.</i> К теории нестационарных чисто дрейфовых течений в океане	16
<i>А. С. Балуева, В. Н. Веретенников.</i> К вопросу о расчете ветрового нагона	23
<i>В. А. Макаров.</i> О распространении длинной волны в канале переменной ширины	30
<i>Л. И. Борис.</i> О расчете внутренних приливных волн и связанных с ними течений в океане	33
<i>Б. А. Каган, А. В. Некрасов, Р. Э. Тамсалу.</i> Расчет приливных явлений в море с учетом горизонтального турбулентного трения	50
<i>А. В. Некрасов.</i> Использование соотношений между уровнем и его наклоном при анализе приливных колебаний	56
<i>А. Б. Мензин.</i> Об электрической аналоговой модели глубинной циркуляции	64

Формирование процессов в реальных океанах и морях

В. В. Тимонов . Очаги взаимодействия океана и атмосферы	69
<i>В. М. Радикевич.</i> Основные причины изменений сезонных величин турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение в Северной Атлантике	76
<i>И. П. Карпова.</i> К вопросу об устойчивости атмосферы над Северной Атлантикой	81
<i>Н. Л. Козутовский.</i> К обмену теплом и солями между верхним слоем и глубинными водами Северной Атлантики	85
<i>Б. И. Тюрков.</i> Расчетная схема изменений структуры деятельного слоя Охотского моря от сезона к сезону	94
<i>В. П. Хрол.</i> Метод расчета адвективных изменений толщины льда вдоль восточно-американского пути перемещения льдов	121

Изменение метеорологических и гидрологических условий, их прогноз

<i>Б. Б. Елекоев.</i> Об изменении длины планетарных волн при переходе от зональной циркуляции к меридиональной	138
<i>А. А. Гирс.</i> Учет развития макросиноптических процессов при изучении причин изменения фоновых характеристик гидросферы	145
<i>А. И. Савичев.</i> К вопросу о прогнозе барического поля над Северной Атлантикой в июле	169
<i>Е. И. Серяков, В. П. Карауловский.</i> Расчет вариаций месячных величин потерь тепла на испарение и теплообмена с атмосферой в Северной Атлантике	184
<i>Е. И. Серяков, А. И. Смирнова.</i> Связь составляющих теплового баланса Северной Атлантики с аномалиями температуры воды за характерные годы	193
<i>А. И. Смирнова.</i> Изменение теплосодержания деятельного слоя Северной Атлантики при разных типах атмосферной циркуляции	206
<i>И. П. Карпова.</i> О влиянии Исландского минимума атмосферного давления на течения Норвежского моря	221

Методы натурных исследований, приборы

<i>А. В. Проворкин, Г. Р. Рехтзамер.</i> Применение искусственных спутников Земли для океанологических исследований	230
<i>А. В. Проворкин, Г. Р. Рехтзамер.</i> О дешифрировании снимков льдов, полученных с метеорологических спутников Земли	239

Часть вторая. ХИМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

<i>О. А. Алекин, Н. П. Моричева.</i> Расчет насыщенности карбонатом кальция воды Черного моря	250
---	-----

CONTENTS

Part first. PHYSICS OF THE OCEAN AND THE ATMOSPHERE

Theory, experiments, methods of calculation

	Pp.
<i>V. M. Radikevich.</i> Investigation of some characteristics of interaction between the atmosphere and sea boundary layers on the base of a new theoretical model	3
<i>A. S. Baluyeva, V. N. Veretennikov.</i> On the calculation of wind-induced surge	16
<i>A. S. Baluyeva, V. N. Veretennikov.</i> On the theory of non-stationary drift currents in the ocean	23
<i>V. A. Makarov.</i> On the propagation of a long wave in a channel with the variable cross-section	30
<i>L. I. Boris.</i> Calculation of internal waves and associated currents in the ocean	33
<i>B. A. Kagan, A. V. Nekrasov, R. E. Tamsalu.</i> Calculation of tidal phenomena in the sea taking into account the lateral turbulent friction	50
<i>A. V. Nekrasov.</i> Use of the relationships between the sea-level and its slope at the tidal oscillation analysis	56
<i>A. B. Menzin.</i> Electrical analogue model of the deep circulation	64

Formation of real ocean and sea processes

<i>V. V. Timonov</i> . Centers of ocean.—atmosphere interaction	69
<i>V. M. Radikevich.</i> Main causes of variations of seasonal values of turbulent heat flux and evaporation heat loss in the North Atlantic	76
<i>I. P. Karpova.</i> On the atmosphere stability over the North Atlantic	81
<i>N. L. Kogutovskv.</i> Heat and salt exchange between the upper and deep layers in the North Atlantic	85
<i>B. I. Tjuriakov.</i> Calculated pattern of the changes of the structure of the Okhotsk Sea from season to season	94
<i>V. P. Khrol.</i> Methods of calculation of the advective variation of the thickness of the ice along the East American ice travel path	121

Variation of meteorological and hydrological conditions and their forecast

<i>B. B. Elekoyev.</i> Change of the planetary waves length during the transition from the zonal to meridional circulation	138
<i>A. A. Girs.</i> Use of the data of the development of the macrosynoptic processes in studying causes of background hydrosphere characteristics variations	145
<i>A. I. Savichev.</i> The forecast of the atmosphere pressure field over the North Atlantic in July	169
<i>E. I. Seryakov, V. P. Karaulovsky.</i> Calculation of variations of the month values of evaporation heat loss and the sea—air heat exchange in the North Atlantic	184
<i>E. I. Seryakov, A. I. Smirnova.</i> Relation between heat balance components and water temperature anomalies for the characteristic years in the North Atlantic	193
<i>A. I. Smirnova.</i> Variation of the active layer heat content in the North Atlantic in various types of the atmospheric circulation	206
<i>I. P. Karpova.</i> Influence of the Icelandic depression on the currents of the Norwegian Sea	221

Methods of natural investigations. Apparatus

<i>A. V. Provorkin, G. R. Rekhzamer.</i> Use of satellites for oceanological investigations	230
<i>A. V. Provorkin, G. R. Rekhzamer.</i> Decoding of ice photographs made by means of meteorological satellites	239

Part second. CHEMICAL SEA-AIR INTERACTION

<i>O. A. Alekii, <i>N. P. Moricheva</i>.</i> Calculation of the saturation of calcium carbonate in the water of the Black Sea	250
---	-----

Часть вторая
ХИМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ

**РАСЧЕТ НАСЫЩЕННОСТИ КАРБОНАТОМ КАЛЬЦИЯ
ВОДЫ ЧЕРНОГО МОРЯ**

О. А. Алекин, Н. П. Моричева

Насыщенность воды карбонатом кальция является важнейшей океанологической характеристикой, имеющей большое значение для понимания геохимических, биологических и геологических процессов в море.

Своеобразное распределение компонентов химического состава воды в Черном море и исключительно резкая их неоднородность по глубинам дает возможность предполагать и значительную разницу в насыщенности карбонатом кальция воды на разных глубинах и соответственно возможность выпадения, или наоборот, растворения его.

Мы уже делали попытку количественно охарактеризовать насыщенность черноморской воды карбонатом кальция на разных глубинах [1] и показали, что вся водная масса моря насыщена и пересыщена карбонатом кальция. Только у самого дна наблюдается состояние, близкое к равновесию. После этого мы пересмотрели и уточнили константы произведения растворимости карбоната кальция и ввели поправки на все константы карбонатного равновесия, возникающие в результате гидростатического давления на глубинах. В результате получены результаты, подтверждающие сделанные ранее выводы, но при несколько иных количественных характеристиках пересыщения.

Для количественной характеристики насыщенности воды карбонатом кальция наиболее целесообразным приемом является отношение величины произведения активности ионов кальция и карбонатных ионов ($a_{Ca} \cdot a_{CO_3} = L_{CaCO_3}$), найденное для данной воды, к этой же величине, установленной экспериментально для тех же условий (t° и P). Расчет затрудняется расхождением величин произведения активности у разных авторов, определявших или вычислявших ее. Термодинамическая константа — L_{CaCO_3} , по Ларсону и Басвелу [2], составляет $5,25 \cdot 10^{-9}$ (20°), Гаррелсу и Драйеру [3] — $5,13 \cdot 10^{-9}$ (25°), Тройлиусу [4] — $5,36 \cdot 10^{-9}$ (25°), Бьянуччи [5] — $2,9 \cdot 10^{-9}$ (25°), С. С. Заволнову [6] — $4,17 \cdot 10^{-9}$ (20°). Другим затруднением для расчета является отсутствие надежных сведений о величинах коэффициентов активности ионов Ca^{++} и CO_3^{--} , которые для морской воды во много раз меньше пресной воды. Величина $\gamma_{CO_3^{--}}$ для воды с хлорностью 19‰, по Ваттенбергу, равна 0,008 [7], по Бернеру — 0,021 [8], а величина $\gamma_{Ca^{++}}$, по Гаррелсу, — 0,25 [9] и по Бернеру — 0,203.

Г. Ваттенберг [10] предпочел использовать для характеристики растворимости карбоната кальция не термодинамическую константу и коэффициенты активности, а так называемые концентрационные, или кажущиеся, константы, которые зависят от солёности морской воды и представляют собой произведение не активностей, а уже концентраций ионов Ca^{++} и CO_3^{--} , т. е. $[\text{Ca}^{++}] \cdot [\text{CO}_3^{--}] = L'_{\text{CaCO}_3}$.

Величина L'_{CaCO_3} определялась Г. Ваттенбергом экспериментально непосредственно в морской воде после установления равновесия с твёрдым карбонатом кальция при пропускании воздуха с различным парциальным давлением CO_2 . Последующее аналитическое определение Ca^{++} , pH и карбонатной щёлочности позволило ему по второй концентрационной константе угольной кислоты K_2 , отнесенной к данной температуре, рассчитать кажущуюся константу произведения растворимости — L'_{CaCO_3} . По определению Г. Ваттенберга и Е. Тиммермана [10] L'_{CaCO_3} для хлорности морской воды 17,56‰ составляет следующие величины:

t°	0	10	20	25	30	35
L'_{CaCO_3} . .	0,83	0,74	0,62	0,52	0,44	$0,40 \cdot 10^{-6}$

Эти величины L'_{CaCO_3} по существу являются единственными экспериментально определёнными величинами в морской воде, известными в литературе для кажущейся константы произведения растворимости карбоната кальция. Они приводились в последующем Свердрупом, Джонсоном и Флемингом [11] и Харвеём [12].

Применение кажущейся константы произведения растворимости для вычисления насыщенности морской воды карбонатом кальция вместо произведения активности удобно, так как для этого не требуется знание коэффициентов активности. По-видимому, для океанской воды этот прием расчета будет применяться и в дальнейшем. Однако при солёностях ниже океанской, поскольку кажущаяся константа зависит от солёности, для расчета требуется знать ее величину не только для каждой температуры, но и для солёности.

Г. Ваттенберг приводит величины L'_{CaCO_3} для температур от 0 до 30° лишь при хлорности 17,56‰ и для всех хлорностей лишь при температуре в 20°. На основе этих двух рядов зависимости нами была рассчитана приближенная формула, связывающая L'_{CaCO_3} как функцию t° и $S\text{‰}$ [1].

При определении L'_{CaCO_3} Г. Ваттенберг использовал для расчета CO_3^{--} старую константу второй ступени диссоциации угольной кислоты, которая в дальнейшем в 1951 г. была уточнена К. Бухом [13]. Поэтому мы, используя найденные Г. Ваттенбергом экспериментальным путем величины карбонатной щёлочности и pH, пересчитали величину CO_3^{--} на основе новых констант К. Буха для соответствующих температур и хлорности. По известным величинам концентрации кальция были найдены величины L'_{CaCO_3} для разных температур и хлорности, равной 17,56‰. При этой хлорности и температуре 20° величина L'_{CaCO_3} оказалась равной $5,58 \cdot 10^{-7}$, а не $6,2 \cdot 10^{-7}$, как у Г. Ваттенберга и Е. Тиммермана. Затем по найденной константе L'_{CaCO_3} была рассчитана термодинамическая константа L_{CaCO_3} исходя из уравнения:

$$L_{\text{CaCO}_3} = \gamma_{\text{Ca}^{++}} \cdot \gamma_{\text{CO}_3^{--}} \cdot L'_{\text{CaCO}_3}$$

Коэффициент активности $\gamma_{\text{CO}_3^{--}}$ был рассчитан по вторым константам

диссоциации угольной кислоты K_2 при нулевой хлорности и K_2 при хлорности 17,56‰ по уравнению

$$\gamma_{CO_3''} = \frac{K_2}{K_2'} \gamma_{HCO_3'}$$

Для воды с хлорностью 17,56‰ его можно считать равным 0,02.

Коэффициент активности γ_{Ca} для воды с хлорностью 17,56‰ был найден по кривой $\gamma_{Ca} = f(Cl^0/_{\infty})$. Основанием для ее построения были величины γ_{Ca} , рассчитанные при малых соленостях (до 2‰) по формуле Дебая и Хюккеля, и величина γ_{Ca} при хлорности 19‰, по Гаррелсу и Томсону [9], равная 0,25. Ход изменения кривой γ_{Ca} в средней ее части был скорректирован по кривой $\gamma_{CO_3''} = f(Cl^0/_{\infty})$. Величина γ_{Ca} для хлорности 17,56‰ была найдена равной 0,255 (табл. 1). При указанных величинах L_{CaCO_3} , γ_{Ca} и $\gamma_{CO_3''}$ термодинамическая константа произведения активностей $L_{CaCO_3} = 2,84 \cdot 10^{-9}$ (20°). В этом случае L_{CaCO_3} для хлорности 19‰ равна $6,17 \cdot 10^{-7}$ (принимая $\gamma_{Ca} = 0,25$ и $\gamma_{CO_3''} = 0,0184$).

Таблица 1

Концентрированные произведения растворимости ($L_{CaCO_3} \cdot 10^{-7}$) при разных температурах и хлорности и коэффициенты активности ионов Ca и CO_3'' в зависимости от хлорности

Хлорность, %	Температура							$\gamma_{HCO_3'}$	$\gamma_{CO_3''}$	γ_{Ca}
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°			
0	0,0381	0,0366	0,0341	0,0317	0,0284	0,0244	0,0202	—	—	—
2	0,300	0,288	0,269	0,250	0,224	0,192	0,159	0,833	0,292	0,435
4	0,801	0,778	0,725	0,674	0,604	0,520	0,430	0,714	0,136	0,345
6	1,44	1,39	1,29	1,20	1,03	0,925	0,765	0,647	0,085	0,31
8	2,33	2,24	2,08	1,94	1,73	1,49	1,23	0,567	0,0567	0,29
10	3,32	3,19	2,97	2,76	2,47	2,12	1,75	0,519	0,0419	0,275
12	4,32	4,13	3,96	3,58	3,21	2,76	2,29	0,487	0,0335	0,265
14	5,39	5,17	4,82	4,48	4,02	3,45	2,85	0,460	0,0272	2,26
16	6,51	6,25	5,83	5,42	4,87	4,18	3,46	0,442	0,0229	0,255
18	7,55	7,26	6,76	6,28	5,60	4,83	4,00	0,428	0,0198	0,255
19	8,30	7,95	7,40	6,88	6,17	5,30	4,40	0,421	0,0184	0,25

Найденная величина термодинамической константы произведения активности $CaCO_3$ позволяет рассчитать величины кажущихся констант для всех температур и соленостей (табл. 1).

Расчет насыщенности воды

Станция	Глубина м	t°С	Cl‰	O ₂ , мг/л	pH	H ₂ S, мг/л	HS', мг-экв/л	Ca ²⁺ , г=мол. 10 ⁻³
У берега	0	18,1	10,15	—	8,32	..	..	6,25
50 миль	0	17,0	10,17	6,39	8,30	..	..	6,29
..	10	15,2	10,20	6,94	8,27	..	..	9,9
..	25	8,2	10,27	7,40	8,13	..	..	6,51
..	50	7,9	10,77	3,23	8,06	..	..	6,62
..	500	8,9	12,24	..	7,93*)	3,50	0,095	6,79
..	1500	8,98	12,35	..	7,66*)	4,53	0,113	7,03

В приводимые величины pH, K_2' и L_{CaCO_3}

Найденные величины L'_{CaCO_3} были использованы для расчета степени насыщенности черноморской воды карбонатом кальция.

При расчете, кроме того, были введены поправки на гидростатическое давление к следующим константам: K_w (для учета изменения pH), согласно данным Оуэна и Бринкли [14], K_2' согласно Свердрупу, Джонсону и Флемингу [11], а также Г. Ваттенбургу [15] и для L_{CaCO_3} . Увеличение последней константы было принято по Р. Питковичу и Д. Коннеру [16] для давления 200 атм в 1,33 раза, для 150 атм в 1,24 раза и 50 атм в 1,084 раза.

Расчет степени насыщенности черноморской воды карбонатом кальция был произведен по материалам глубоководной станции, взятой нами 6 июня 1959 г. в 50 милях от южного побережья Крыма (широта $43^{\circ} 32'$, долгота $34^{\circ} 10'$). В воде определялись температура, хлорность, общая щелочность, pH, содержание кислорода и сумма $H_2S + HS'$. По результатам этих определений рассчитывались другие необходимые для данных целей компоненты. Карбонатная щелочность вычислялась с учетом боратной и сульфидной щелочностей. Концентрация H_2BO_3 рассчитывалась по pH и K_b [17]. Концентрация HS' вычислялась по сумме сульфидных соединений, pH и первой константе диссоциации сероводородной кислоты, причем последняя была взята по Ф. И. Головину [18], а $\gamma_{HS'}$ принят равным 0,42 по аналогии с $\gamma_{HCO_3'}$. Величина K_2' была принята по К. Буху [19] с пересчетом соответственно температуры и хлорности Черного моря.

Как видно из результатов расчета, приведенных в табл. 2, степень насыщенности черноморской воды карбонатом кальция в поверхностном слое достигает весьма значительной величины, превышающей насыщенность $CaCO_3$ при данных температурах и солености в поверхностном слое до 10 м в 5 и 6 раз.

В поверхностных слоях океана в низких широтах наблюдается близкое к этому пересыщение воды карбонатом кальция.

С увеличением глубины насыщение черноморской воды карбонатом кальция падает. Уменьшение насыщения с глубиной, разумеется, не означает падения концентрации ионов кальция и величины щелочности. Наоборот, с глубиной она увеличивается. Но одновременный рост с глубиной pCO_2 создает изменение в карбонатной щелочности и соотношениях между концентрациями ионов HCO_3' и CO_3'' в сторону

Черного моря карбонатом кальция

Таблица 2.

Alk мг-экв./л		$K_2' \times 10^{-9}$	$K_1' \times 10^{-9}$	$L'_{CaCO_3} \times 10^{-7}$	$[CO_3''] \times 10^{-4}$ г-моль	$[Ca^{++}] \times [CO_3''] \times 10^{-7}$	$\frac{[Ca^{++}] \cdot [CO_3'']}{L_{CaCO_3}}$
общая	карбон.						
3,20	3,155	0,51	1,22	2,65	2,77	17,3	613
3,26	3,217	0,49	1,20	2,69	2,63	16,5	653
3,24	3,20	0,46	1,17	2,79	2,34	14,8	530
3,36	3,332	0,40	1,03	3,17	1,61	10,5	332
3,62	3,595	0,42	1,05	3,42	1,53	10,1	296
4,03	3,919	0,50*)	1,15	4,9*)	0,154	10,45	238
4,33	4,202	0,527*)	1,16	5,14*)	0,097	6,83	133

внесены поправки на гидростатическое давление.

увеличения первых за счет вторых, в результате чего концентрация CO_3 падает почти в пять раз.

На глубине 1500 м пересыщение все еще достигает 133%. Если допустить возможности понижения pH в отдельных зонах у самого дна (2000 м) до 7,6, то насыщение карбонатом кальция все же составит около 110%.

Следовательно, есть основание считать, что в Черном море на всех глубинах наблюдается пересыщение воды карбонатом кальция. Это естественное следствие очень высокой по сравнению с океаном щелочностью черноморской воды, достигающей в среднем у поверхности 3, 13 мг-экв/л и 4,44 у дна мг-экв/л.

Установленное для черноморской воды перенасыщение карбонатом кальция находится в соответствии с наличием во всех грунтах Черного моря твердого CaCO_3 , содержание которого достигает до 50% [20].

ЛИТЕРАТУРА

1. О. А. Алёкин и Н. П. Моричева. К вопросу о насыщенности воды Черного моря карбонатом кальция. ДАН СССР, т. XXII, № 168, 1966.
2. T. E. Larson, A. M. Buswell. Calcium carbonate saturation index and alkalinity interrelations. J. Amer. Water Works Assoc., vol. 34, № 11, pp. 1667—1678, 1942.
3. R. M. Garrels R. M. Dreyer. Mechanism of limestone replacement at low temperatures and pressures. Bulletin Geol. Soc. of Amer. vol. 63, № 4, pp. 325—380, 1952.
4. C. Troilius. Solubility product of calcium carbonate. Tek. Tidskr., vol. 88, S. 211. 1958.
5. G. Bianucci, L. Ghiringhelli. Determinazione della solubilità del carbonato di calcio in soluzioni acquose a, 25°C e calcolo del prodotto di solubilità secondo la teoria di Debye—Hückel. Ann. chimica, vol. 59, № 1—2, pp. 99—107, 1960.
6. С. С. Заводнов. Карбонатное и сульфидное равновесие в минеральных водах. Л., Гидрометеоздат, 1965. стр. 1—191.
7. H. Wattenberg. Calciumcarbonat und Kohlensäuregehalt des Meerwassers. Wissen. Ergebn. der Deut. Ateant. Exped. auf dem Dampf. «Meteor». B. VIII, 1933
8. R. A. Berner. Activity coefficients of bicarbonate and calcium ions in sea water. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 29, № 8, pp. 947—966, 1965.
9. H. S. Garrels, M. E. Thomson. A chemical model for sea water at 25°C and one atm. total pressure. Amer. J. Sci., 260, pp. 57—66, 1962.
10. H. Wattenberg, E. Timmerman. Ueber die Sättigung des Seewassers on CaCO_3 . Annal. der Hydrog. und Magit. Meteorol. Heft 1, Berlin, 23—31, 1936.
11. H. U. Sverdrup, M. W. Johnson, R. H. Fleming. The Oceans, their Physics, Chemistry and Biology. pp. 1087, 1942.
12. H. W. Harvey. The Chemistry and Fertility of Sea Waters. Cambridge. 1963.
13. K. Buch. Das Kohlensäure gleichgewichtssystem im Meerwasser. Havsforsk. Inst. Skr. Helsingf., no 151, 1951.
14. B. B. Owen, S. K. Brinkley. Calculation of the effect of pressure upon ionic equilibria in pure water and in salt solutions. Chem. Revs., vol. 29, 1941.
15. H. Wattenberg. Kohlensäure und Kalzium—Carbonat in Meere. Fortschritte der Miner. Kristal. und Petzog. B. 2, T. 2. Berlin, 35, 168-195, 1936.
16. R. M. Pylkowicz, D. N. Connors. High pressure solubility of calcium carbonate in sea water. Science, № 3620, 840—841, 1964.
17. K. Вич. On the boric acid in the sea and its influence on the carbonic acid equilibrium. Journ. du Conseil, 1963.
18. Ф. И. Головин. Термодинамическая константа первой ступени диссоциации, сероводородной кислоты в водных растворах при различных температурах. Гидрохим. матер., т. XXIX, 1959, стр. 179—195.
19. М. А. Глаголева. К геохимии осадков Черного моря. «Современные осадки моря и океанов.» М., АН СССР. стр. 448—477, 1961.
20. Н. М. Страхов, Н. Г. Дродская и др. Образование осадков в современных водоемах. М., АН СССР, 1954.