

**1. Химические основы биопродуктивности морей**

УДК 551.464.38

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
БИОГЕННОЙ ХИМИЧЕСКОЙ БАЗЫ БИОПРОДУКТИВНОСТИ  
ВОД ОКЕАНОВ И МОРЕЙ****М. В. Федосов**

Воды Мирового океана образуют монолитную природную геосистему, которая получила общее для морских и океанских вод название — галосфера (Зенкевич, 1968). Чтобы отразить жидкостную природу и генетически обоснованную, непосредственную связь галосферы прежде всего с гидросферой, а также существенное отличие от нее, целесообразно называть монолитную систему морских и океанских вод гидрогалосферой.

Океаны и моря, образующие среди других геосфер земной коры гидрогалосферу, сосредоточивают огромную массу природной воды, минерализованную химическими веществами ~ до 3,5%.

Вся масса океанско-морской воды исчисляется в  $1,4-1,6 \cdot 10^9 \cdot 10^9$  т и представляет своеобразную геохимическую и физико-химическую систему, основная особенность которой — преобладание в ее пределах основного вещества в гомогенной фазе. Однако это не только природный раствор в воде неорганических и органических соединений многих химических элементов, входящих в состав земной коры, но и природная суспензия с большим количеством разнообразных веществ, находящихся в различной степени дисперсии — от коллоидов до взвесей.

Гидрогалосфера в отличие от остальной части гидросферы — единая, в значительной мере монолитная природная система. Кроме того, в отличие от других геосфер гидрогалосфера почти полностью [по подсчетам Л. А. Зенкевича (1968), на 99,9% по объему] является областью развития на Земле биосферы. В гидрогалосфере гидробиохимические процессы происходят повсеместно.

В литосфере, как известно, область развития биосферы и биохимических процессов приурочена лишь к самым поверхностным слоям. Атмосфера Земли в основном не является полноценной областью развития биосферы, так как воспроизводство живых организмов непосредственно в ней не происходит. В глубинных подземных водах, которые составляют значительную часть гидросферы Земли в отличие от гидрогалосферы и ее донных фракций, развитие биосферы ограничено.

Вторая характерная особенность гидрогалосферы по сравнению с другими сферами, особенно с литосферой, — повсеместное распро-

странение в ее толще гидродинамических, гидрохимических и гидробиохимических процессов.

По направленности гидробиохимических процессов вся толща воды гидрогалосферы делится по вертикали на слои. В верхнем слое — слое фотосинтеза — происходит воспроизводство (новообразование) растительного органического вещества — первичного звена в развитии трофико-биохимической цепи морских гетеротрофных организмов. В лежащей ниже водной толще фотобиосинтетические процессы не протекают вследствие недостатка фотосинтетически эффективной световой энергии солнечной радиации. В нижних слоях преобладают процессы биохимического окисления органического вещества, его распада и минерализации. Между основными слоями, различающимися по преобладанию в них разнонаправленных гидробиохимических процессов, в водной толще океанов и морей целесообразно рассматривать третий, промежуточный слой, подстилающий верхний слой продуктивного фотосинтеза и наиболее активный по непосредственному обмену с ним веществом.

Гидрогалосфера как природная открытая система находится во взаимодействии с окружающей ее средой и обменивается с ней веществом. Непосредственными и наиболее значительными объектами обмена веществом и энергией для гидрогалосферы служат поверхностные слои континентов, нижние слои атмосферы (тропосфера) и космическая энергия солнечной радиации.

В обмене основной массы вещества гидрогалосфера под влиянием солнечной радиации сама — наиболее активный агент взаимодействия между сферами. Активность гидрогалосферы прежде всего проявляется в том, что она под влиянием солнечной радиации доставляет основное вещество для непрерывного водообмена на Земле. В результате этого в Мировой океан переносятся и другие вещества — химические элементы из литосферы, где сосредоточена их основная масса.

Принято считать в соответствии с собранными данными и произведенными рядом исследователей расчетами, что ежегодно с поверхности Земли испаряется  $52 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> воды (Федосеев, 1967), в том числе с поверхности океанов и морей —  $35,5$ — $44,8 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup>. При этом испарение, т. е. расход воды с поверхности гидрогалосферы в целом (а в некоторых зонах особенно) преобладает над возвратом воды в Мировой океан. В результате образуются зоны повышенной минерализации воды.

Возврат воды в гидрогалосферу осуществляется в виде атмосферных осадков, выпадающих непосредственно на поверхность океанов и морей ( $32,4$ — $44,16 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год), а также речного ( $3,6 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год) стока воды с суши (в том числе ливневого —  $2,5 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год). Воды, стекающие с континентов, увлекают вещество суши и в конечном итоге перемещают его в океаны и моря.

Учитывая, что единовременный объем почвенной влаги равен  $7,5 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> и в 62,5 раза превышает единовременный объем речных вод, можно оценить денудационную роль речных поверхностных вод ( $2,4 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год), вод подземного активного ( $1,2 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год) и медленного ( $0,003 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год) стока, сформированного глубинными водами.

Испарение с поверхности океанов и морей в 36 раз превышает единовременный объем влаги, содержащейся в атмосфере. Если сюда прибавить испарение влаги с суши, то суммарная величина ежегодного испарения с поверхностей гидрогалосферы и суши ( $51,8 \cdot 10^4$  км<sup>3</sup> в год) будет в 42 раза превышать количество влаги, содержащейся в атмо-

сфере в парообразном и каплеобразном состоянии. Такой интенсивный водообмен между гидрогалосферой и атмосферой приводит к тому, что ежегодно примерно в трех процентах объема поверхностного слоя продуктивного фотосинтеза гидрогалосферы молекулы воды полностью возобновляются. Этот водообмен имеет значение в снабжении поверхностных морских вод веществами, находящимися в атмосфере в газообразном состоянии, и некоторыми другими компонентами.

Только  $30-35 \cdot 10^3$  км<sup>3</sup> в год воды, испарившейся с поверхности гидрогалосферы, достигает поверхностных слоев литосферы, хотя, возможно, и с двух-, трех-кратной повторяемостью.

Вода, испаряющаяся с суши, «промывает» атмосферу и возвращается в виде атмосферных осадков. Этот процесс повторяется также 2—3 раза за год.

Таковы основные черты ежегодно повторяющегося цикла водообмена в поверхностных оболочках Земли, вещественным источником которого является водная толща гидрогалосферы, служащая в данном процессе началом активного гидрохимического и гидродинамического переноса и перераспределения вещества в верхних оболочках земной коры.

Перенос и перераспределение веществ в поверхностных оболочках Земли при громадном участии природной воды получает определенную направленность под влиянием основных гидрохимических процессов вследствие большой способности молекул воды к химической эрозии природных веществ и их растворению.

Процесс растворения твердых веществ приводит к их рассеянию. Гидрогалосфера является геосистемой, где начинается и конечный в современную эпоху второй основной геохимический процесс, противоположный рассеянию вещества. Фотосинтетически продуктивное и придонное гидрогеохимические поля океанов и морей — области проявления процесса геохимического концентрирования вещества. Выделение химических компонентов гидрогалосферы из растворенного состояния гидрохимическим и гидробиохимическим путем в донные отложения приводит к перераспределению неорганических и органических веществ и тем самым создает постоянную предпосылку для формирования и концентрации современных осадочных пород.

Исторически развивавшиеся многочисленные и разнообразные геохимические процессы обусловили современные формы состояния вещества и химический состав оболочек и сфер Земли.

Химический состав поверхностных слоев земной коры в ближайшие нам эпохи развития Земли формировался в значительной мере под влиянием процессов гипергенеза, литогенеза, эрозии, выветривания, денудации, в том числе химической и механической абразии, химической и биогенной седиментации, метаморфизма, диагенеза, химической и механической дифференциации химических элементов и их соединений. Однако и магматические процессы влияли на формирование химического состава и химической структуры геосфер земной коры.

Несмотря на присущее материи постоянное развитие — движение, проявляющееся в процессах геохимической миграции элементов в настоящую и предшествовавшие эпохи, существует определенная тенденция в распределении химических элементов между геосферами. Газообразная масса атмосферы Земли, естественно, является геосредой, чрезвычайно благоприятствующей в силу своей большой динамичности рассеянию химических элементов, входящих в ее состав, особенно в газообразном и парообразном состоянии.

Причинами образования естественных, исторически сложившихся

к современному геологическому периоду количественных ассоциаций и дисперсий рассеяния химических элементов в земной коре являются и внешние условия определяющей среды (физико-химические и термодинамические условия геохимических и биогеохимических процессов) и внутренние (свойства самих химических элементов).

Масса земной коры составляет всего около 0,7% от массы всей планеты; остальные 99,3% — вещество мантии и ядра Земли. Между этими сферами Земли происходит непрерывный обмен веществом. Распределение масс вещества между геосферами земной коры характеризуется величинами, приведенными в табл. 2.

По А. Полдерварту (см. Алекин, 1966), геосферы земной коры содержат следующие массы вещества (в  $10^6 \cdot 10^9$  т): литосфера 22 000—25 000, гидросфера 1640 и больше, атмосфера 5,1, биомасса биосферы 0,01, гидрогалосфера ~1400. Соотношение масс гидрогалосферы и остальной гидросферы Земли выражается как  $1: \leq 1$ . Отношение же массы гидрогалосферы к массе верхней части литосферы (земной коры) принято считать равным 1:22, а по нашим расчетам 1:16. Масса вещества гидрогалосферы составляет не более 5—6% от массы верхней части суши Земли. Соотношение масс Мирового океана с массой атмосферы выражается несоизмеримо малой величиной — примерно 1:0,003.

Три основные фазы существования природного вещества составляют три геосферы поверхностных слоев земной коры. Основная масса поверхностных слоев земной коры находится в твердой фазе (22 000—25 000  $\cdot 10^6 \cdot 10^9$  т), в жидкой водной фазе — в 16—22 раза меньше, в газообразной фазе — в 4000—5000 раз меньше.

Учитывая соотношение масс геосфер, можно в первом приближении дать количественное соотношение основных биогенно-значимых химических элементов в геосферах (табл. 1).

Таблица 1

Распределение основных массобразующих химических элементов земной коры в отдельных геосферах

(% вес. от массы геосферы или ее части)\*

Элементы	Литосфера	Атмосфера	Гидрогалосфера	Биосфера (живые организмы)	Земная кора	Изверженные породы	Осадочные породы
O	47,20—47,00	23,00	85,61	60—64	49,13	46,60—47,0	50,07—49,95
Si	29,50—27,60	—	0,001	0,1—0,001	26,00	27,79	27,49
Al	8,30—8,05	—	—	—	—	8,08—8,13	6,93
Fe	5,10—4,65	—	<0,001	—	—	5,0—5,08	3,90
Ca	3,60—2,96	—	0,41	<2,5—0,01	3,25	3,63—3,66	3,88—3,85
Na	2,64—2,50	—	1,08	0,1—0,02	2,4	2,8—2,83	0,82
K	2,60—2,50	—	0,41	2,05—0,01	2,35	2,49—2,59	2,33
Mg	2,10—1,87	—	0,128	0,31—0,16	2,35	2,11—2,09	1,51—1,52
Ti	0,60—0,45	—	—	—	—	0,58—0,44	0,38
H	0,15	Сл.	10,79	9,9	1,00	0,13—0,14	0,56—0,47
C	0,10—0,02	0,01	0,003	21,8—18,5	0,35	0,05—0,03	1,53—1,97
Mn	0,10—0,09	—	—	—	0,10	0,01—0,07	0,002
P	0,09—0,08	—	0,001	1,1—0,01	0,12	0,08—0,09	0,06
S	0,05—0,04	—	0,089	0,14—0,1	0,10	0,05—0,08	0,20
Ba	0,06—0,05	—	—	—	—	0,01—0,08	0,04
Cl	0,04—0,02	—	1,922	0,3—0,16	0,20	0,05—0,10	0,001
N	0,01—0,002	76,95	0,002	2,6—0,1	0,04	—	—

\* Используются данные Вернадского, 1960; Виноградова, 1967; Саукова, 1961; Гаврусевича, 1968.

Геохимические процессы в земной коре в определенных физико-химических и термодинамических условиях приводят к двум основным результатам: к геохимическому рассеянию или к геохимической концентрации химических элементов. Дифференциация вещества и химических элементов происходит в значительной мере под влиянием внутренней причины — свойств самих химических элементов. Химические элементы, находящиеся в состоянии рассеяния в земной массе вследствие перемещения, миграции и накопления, образуют геохимические зоны, области и поля со всей совокупностью присущих им специфических особенностей.

Процессы рассеяния охватывают все химические элементы земной коры, однако состояние рассеяния имеет свои пределы, которые не для всех элементов одинаковы. В состоянии рассеяния химические элементы находятся в веществе земной коры в виде следов; для некоторых элементов это характерная форма состояния. Предел рассеяния химических элементов представляет элемент радон, содержание которого в воздухе определяется порядком  $5 \cdot 10^{-17} \%$  вес. от массы воздуха, что составляет 1,0—1,3 атома в  $1 \text{ см}^3$  земного вещества. Следы химических элементов встречаются во всех природных формациях.

Жидкая водная среда гидрогалосферы благоприятствует рассеянию химических элементов. В рассеянном состоянии в гидрогалосфере находится до 50 различных типов атомов химических элементов, относимых к микроэлементам.

Газовая среда атмосферы Земли особенно благоприятна для рассеяния элементов, находящихся в ней в газообразном состоянии. В гидросфере также происходит процесс рассеяния химических элементов — переход твердых частиц суши и газов атмосферы в водный раствор. Гидросфера, ее монолитная часть — гидрогалосфера по количеству вещества еще больше обуславливает не только рассеяние, миграцию, но и начало концентрации химических элементов и их соединений — переход в твердую фазу. Этими процессами в значительной мере обусловлена и дифференциация химических элементов.

Микроэлементы, не составляющие основную массу живого вещества, находятся в гидросфере и особенно в гидрогалосфере в рассеянном состоянии, и морские организмы для обеспечения биохимических процессов своей жизнедеятельности вынуждены усиленно накапливать их, концентрировать в своих телах (клетках). В то же время химические элементы, составляющие массу земной коры, распределены неравномерно между геосферами, в пределах которых происходит развитие биосферы, существуют живые организмы.

В различных геосферах распределение геомассообразующих и биомассообразующих химических элементов весьма различно. В гидросфере и ее монолитной, основной части — гидрогалосфере — медленно, на протяжении всей истории Земли, формируются донные отложения и осадочные породы, в которых после выделения из раствора концентрируются соединения химических элементов. Из растворенного состояния химические компоненты морских вод выделяются в зависимости от физико-химического состояния водной среды в результате физико-химических процессов и гидробиохимических взаимодействий морских организмов с водной средой.

Учитывая, что основную роль в миграции химических элементов в земной коре играет вода, можно считать, что для гидросферы верхних слоев земной коры характерен комплекс основных геохимических процессов: рассеяние, миграция, дифференциация и концентрация вещества. Специфический для гидросферы комплекс природных процессов

дополняют биогидрохимические процессы, которые формируют основные особенности химического состава и химической структуры геосфер.

Основные массобразующие химические элементы различных геосфер, самые распространенные в области земной коры — первые 28 относительно легких химических элементов менделеевской таблицы (с низким атомным весом). Выше 28-го порядкового номера периодической таблицы химические элементы в земной коре находятся в значительно меньшем количестве (Вернадский, 1960).

Наиболее распространенными в земной коре по весу (около 50%) и по количеству атомов (свыше 50%) следует считать: кислород — на первом месте, затем по весовой доле — кремний, алюминий, железо, кальций, натрий, магний и водород, а по числу атомов — водород, кремний, алюминий, натрий, магний, кальций, железо и калий (Вернадский, 1967).

Весовые кларки земной коры группируются по декадам:

I. Кислород и кремний — 75,13% вес. ( $\sim 10^{18}$  т);

II. Кальций, натрий, магний, калий, алюминий, железо, водород — 23,0% вес. ( $10^{17}$ — $10^{18}$  т);

III. Углерод, хлор, титан, фосфор, кремний, марганец — 1,48% вес. ( $10^{16}$ — $10^{17}$  т);

IV. Фтор, барий, азот, стронций, хром, цирконий, ванадий, никель, цинк, медь — 0,33% вес. ( $10^{15}$ — $10^{16}$  т).

В первых четырех группах-декадах содержится 25 химических элементов. Остальные элементы, также существенно биогеннозначимые, распределяются по весовым кларкам (в %) в пятой группе — В, Со, Мо, Вг и другие, всего 14 элементов, составляющих в сумме 0,05% вес. и исчисляемых в земной коре  $10^{14}$ — $10^{15}$  т. Еще один биогенно-значимый элемент — мышьяк (As) — находится в шестой группе весовых кларков, исчисляемой в земной коре  $10^{13}$ — $10^{14}$  т. Все остальные химические элементы рассеяны в геосферах земной коры.

Наибольшая концентрация кислорода — в гидрогалосфере, но и в других геосферах его много. Водород в гидрогалосфере и вообще в гидросфере находится в концентрации большей, чем где-либо еще. Углерод больше всего сосредоточен в литосфере, но в основном в малоподвижном состоянии. Азот сосредоточен главным образом в атмосфере, но в биологически трудно ассимилируемой форме. Фосфор, кальций, кремний и железо сосредоточены преимущественно в литосфере.

Развитие гидробиохимических, химических и особенно разнонаправленных фотобиохимических, гидролитических и микробиохимических процессов и существование переходных периферийных зон взаимодействия между геосферами приводят к образованию в пределах самих геосфер биогеохимических и геохимических зон. В атмосфере — это нижняя часть ее тропосферы, в литосфере — зоны почвенного покрова, увлажнения и дренажа, зона осадочных пород; в гидрогалосфере — зона фотосинтеза, зона периферийных областей — шельфа, зона донных отложений. Существенно также деление гидрогалосферы на слои по вертикали.

Динамичность состояния водной толщи океанов и морей не нарушает разделение монолитной по существу природной системы гидрогалосферы по вертикали на два гидробиохимических слоя с образованием между ними промежуточного слоя их взаимодействия.

Обмен веществом геосфер естественно происходит в зонах их соприкосновения. Для гидрогалосферы это прежде всего самые поверхностные слои вод океанов и морей. Именно здесь осуществляется интенсивный

и количественно самый мощный обмен водой в виде ее паро- и каплеобразных фаз. Поверхностный слой непосредственно участвует в интенсивном обмене газообразующими молекулами химических элементов, составными частями атмосферы; здесь же происходит обмен между геосферами химическими элементами, включенными в аэрозоли и атмосферные осадки. Непосредственное взаимодействие гидрогалосферы с литосферой осуществляется главным образом в ее периферийной, шельфовой области, в области ложа водоемов гидросферы и дренируемых ее водами поверхностных слоев суши. Именно в поверхностный слой шельфовой области океанов и морей поступает растворенный и взвешенный сток соединений химических элементов с суши, здесь происходят абразия берегов, эоловый нанос пылеобразных веществ суши и т. д.

В поверхностном слое гидрогалосферы протекает гидрогеохимическое рассеяние или концентрация ее компонентов под влиянием количественного изменения процессов водообмена с литосферой, водо- и газообмена с атмосферой под воздействием термического изменения фазового состояния воды. Здесь же, в поверхностном слое, осуществляется трансформация соединений химических элементов при гидробиохимических процессах фотосинтеза, биохимического распада и гидролиза, приводящих к синтезу первично-органического вещества, его распаду и минерализации, к биоассимиляции минеральных веществ и их регенерации.

Результирующая всех процессов обмена веществом — всех геохимических миграций — обмен между геосферами, особенно между сушей и океаном. Процесс этот необратимый, как и все природные процессы, что отображено в современном мировоззрении. Этому же учит нас и диалектика природы, которая понимает термин «круговорот природных веществ» как цикл процессов.

Существует временная относительность, которую следует учитывать и при исследовании геохимических и гидробиохимических процессов. Жизнедеятельность необратима для конкретного живого организма в течение его жизни и обратима в вековом времени для биологического вида, образуемого данными организмами. Относительно обратим водо-парообмен между гидросферой и атмосферой и русловой сток рек, укладываемый в декаду времени. В то же время необратим в вековом, эпохальном времени вынос вещества с водами рек в океаны и моря. Для количественной и качественной оценки гидрохимических и гидробиохимических процессов формирования и обмена в системе океан — суша особенно необходимо учитывать степень временной относительности этих необратимых по существу процессов.

Гидробиохимический процесс — фотосинтез — трансформирует минеральные соединения химических элементов, в том числе и воду, и синтезирует из них органическое вещество живых фитоорганизмов, тем самым концентрируя рассеянные в гидрогалосфере химические элементы. В гидрогалосфере это происходит только в освещенном фотическом слое, и то в его верхней части, снабжаемой достаточным количеством квантов фотосинтетически активной энергии солнечной радиации. Именно гидрофотосинтетический процесс и снабжение веществом извне придают химическому составу верхнего слоя гидрогалосферы своеобразную специфику химической биогенной основы синтеза первичного растительного вещества. Ниже слоя фотосинтеза лежат слои морской воды, где в основном происходит противоположный восстановительному процессу фотосинтеза окислительный процесс распада и минерализации органических веществ.

Роль гидроденудации изверженных пород в миграции вещества и снабжении им Мирового океана весьма значительна. В многофазном процессе образования осадочных пород происходит перегруппировка — дифференциация химических элементов между взаимодействующими геосферами и геохимическими полями. Основные тенденции в их взаимодействии в настоящее время (как и в историческое) — процессы рассеяния химических элементов и процессы их концентрации. Процессы первой группы происходят в период пребывания химических элементов в гидросфере и атмосфере, т. е. в растворенном и газообразном состояниях. Для многих (около 50) химических элементов из-за строения их атомов и присущих им свойств рассеяние — основная форма существования в составе вещества планеты. Вторая группа процессов, приводящая к концентрации химических элементов, преобладает при переходе вещества в твердое и особенно в кристаллическое состояние.

Процессы формирования химического состава и химической структуры в наше время происходят на естественной, исторически сложившейся гидрогеохимической базе, возникшей в результате многочисленных геохимических процессов.

Данные геохимических исследований дают основание говорить о накоплении более легких элементов в поверхностных слоях Земли. Своеобразная количественная дифференциация вещества происходит не только при вековых, эпохальных процессах, но, в известной мере, и в современной гидрогалосфере. Компоненты химического макросостава стратифицируются вместе с водной толщей по ее плотности, а труднорастворимые и биоассимилируемые соединения химических элементов переходят в твердую фазу и постепенно оседают.

Направленность и кинетика гидрогеохимических и гидробиохимических процессов зависят от химического состава водной среды отдельных областей гидрогалосферы, ее физико-химических и термодинамических условий в гидрохимической зоне, от физико-химической обстановки в гидрогеохимической зоне, которая сложилась в генетической связи с историей развития каждой зоны Земли. Именно в гидросфере и гидрогалосфере происходят количественно и кинетически преобладающие все три основных геохимических процесса: рассеяние химических элементов при переходе в раствор или суспензию, их миграция в водной среде, накопление, т. е. концентрация вещества при выделении из растворенного состояния в отложениях твердой фракции (в осадочных породах). Именно нахождение вещества в гидросфере в результате растворения или диспергирования под влиянием основных геохимических процессов определяет количественное и качественное распределение химических элементов и их соединений в верхних слоях земной коры.

Твердая фаза — литосфера более чем другие геосферы служит концентратором вещества в целом и многих химических элементов в отдельности.

Происходит постоянный обмен веществом между геосферами путем миграции вещества в диспергированном в различной степени состоянии. В оболочках Земли скорости и пути миграции вещества максимальны в газообразном и растворенном состоянии и минимальны в раздробленном, но твердом состоянии. Как уже упоминалось, по массе наибольшее значение имеет гидромиграция вещества в растворенном, псевдоразтворенном, диспергированном в разной степени состоянии. Смена этих процессов приводит в известной мере и к дифференциации вещества.



Гидрогалосфера — область развития биосферы, полностью являющейся жизненной средой живых организмов. На литосферу приходится только около 0,25% всей зоны биосферы. Воспроизводство живых организмов происходит непосредственно в гидросфере или в узкой оболочке поверхности литосферы. Именно в гидросфере, включая зону проникновения ее в узкий поверхностный слой литосферы, количественно почти полностью преобладают бисгеохимические процессы, являющиеся мощным фактором трансформации, миграции и концентрации вещества в зоне развития биосферы.

Именно биохимические процессы фотосинтеза и распада органического вещества разделяют гидрогалосферу по вертикали на два биохимических поля в дополнение к однозначно с ними пространственно расположенным геохимическим полям Мирового океана. Гидрогалосфера и ее поверхностный биофотосинтетический слой представляют сложную смешанную и взаимодействующую природную систему. Основная масса гидрогалосферы на 96,5% состоит из кислорода и водорода ( $H_2O$ ), она является природным водным раствором неорганических и органических соединений химических элементов и в основном находится в гомогенном состоянии. В гидрогалосфере, особенно в ее периферийных областях и поверхностных слоях, содержится значительное количество в различной степени диспергированных твердых и коллоидных форм природных веществ в суспендированном и взвешенном состоянии; гидрогалосфера является гетерогенной средой.

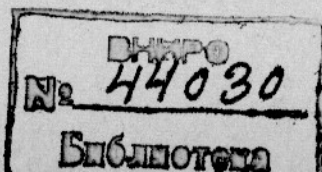
Основная масса гидрогалосферы состоит из пяти химических элементов: кислород и водород (96,5% массы), хлор, натрий и магний, которые в сумме составляют 3,3%; всего 99,8% ее массы. На долю остальных химических элементов, из которых, по современным знаниям, состоит земная кора, т. е. 93 (97) вместе взятых, приходится только около 0,2% массы гидрогалосферы. В эти две десятые доли процента входят еще семь биогеннозначимых химических элементов (в том числе углерод), которые составляют каждый от 0,1 до 0,001% всей массы гидрогалосферы.

Биокаталитически значимые микроэлементы (около  $10^{-4}$ — $10^{-5}$ %) находятся в океанской воде в рассеянном состоянии.

Последовательно происходящие в верхних слоях земной коры количественно основные геохимические процессы: гидрорассеяние, миграция, концентрация и дифференциация определяют существующий в геосферах необратимый в конечном итоге процесс миграции вещества из твердой фазы поверхностных дренируемых слоев литосферы непосредственно и через атмосферу в гидрогалосферу с последующим выделением из нее в донные отложения. Образование осадочных пород в ложе океанов и морей в количественно преобладающей доле происходит в их периферийных зонах.

В отличие от основных геохимических процессов гидробиохимические процессы в океанах и морях существенно не участвуют в рассеянии элементов. Гидробиохимические процессы трансформируют биогенные химические элементы и ряд других химических веществ, способствуют миграции химических элементов в гидрогалосфере и концентрации их вначале в слое фотосинтеза, а затем в донных отложениях.

При количественной оценке состояния химической основы жизненной среды в связи с проблемой воспроизводства живых организмов в разных геосферах необходимо принимать во внимание форму нахождения химических элементов в окружающей среде, влияющую на доступность для фитоорганизмов их ассимиляции. Агрегатное, фазовое состояние основных массуобразующих химических элементов в гидро-



галосфере в значительной мере определяет их геохимическую и гидро-биохимическую судьбу. В газообразном состоянии в водной толще океанов и морей находятся кислород, азот, углерод (последний в виде двуокиси), аргон и водород.

Кислород не только образует с водородом молекулы воды, но и присутствует в водной массе в виде абсорбированного растворенного газа. В газовом абсорбированном состоянии находятся в океанской воде и химически и биохимически относительно инертный молекулярный азот, и физико-химически и биохимически активная двуокись углерода, и инертный газ аргон. Газообразующие молекулы углекислого газа, кислорода, азота, аргона, а также водород в виде паров воды составляют основную количественно значимую часть массы атмосферы. Они находятся в различном по интенсивности и по физико-химической сущности взаимодействии с водой океанов и морей и определяют в значительной мере физико-химические и физиолого-экологические условия в водной толще сферы. В гидрогалосфере эти элементы, как и большинство остальных, находятся в виде растворенных ионно-солевых и органических соединений и в форме коллоидных и твердых частиц их.

Для решения проблемы химической основы фотосинтетического воспроизводства органического вещества необходимо знать закономерности и условия формирования химического биогенного состава и его структуры в слое продуктивного фотосинтеза. Если при взаимодействии геосфер в процессах обмена веществом известное значение имели динамика и кинетика масс природной воды, то в гидрохимической системе поверхностного слоя продуктивного фотосинтеза существенное значение приобретают также гидробиохимические и гидрохимические процессы трансформации соединений химических элементов в процессе фотосинтеза, гидролиза и биохимической минерализации.

Направленность исследования, вытекающая из существа изучения химической основы биоресурсов и биопродуктивности гидросферы, в частности гидрогалосферы, обуславливает особое значение изучения гидрохимического и биогидрохимического режимов химических элементов, составляющих основную часть биомассы морских организмов.

Живые организмы состоят в основном из следующих химических элементов (сырой вес в %)\*:

О 60—64	Н 9,9	С 18,5—21,8	Ν 0,1—2,6	Р 0,01—1,1	Са 0,001—2,5	Сумма ~95,1
К 0,01—2,05	Мg 0,02—0,31	Cl 0,16—0,3	Si 0,01—0,14	S 0,001—0,1	Na 0,02—0,1	~1,75
Всего . .						~96,85%

Морские живые организмы содержат и другие химические элементы, из которых состоит земная кора. Основные химические элементы состава морских организмов можно разделить по их преобладающему биологическому и биохимическому значению на три основные группы: биомассообразующие, физиолого-каталитические и осморегулирующие\*\*.

\* Виноградов, 1967 и др.

\*\* См. также Дитрих-Калле, 1961.

Главными биомассообразующими можно считать следующие химические элементы: кислород, водород, углерод, азот, фосфор, кальций, калий, серу, магний, кремний, натрий и хлор. Из них первые шесть входят в состав живой биомассы в количестве от 1 до 64%. В отдельных организмах кремний можно отнести к основным биомассообразующим химическим элементам. Остальные из перечисленных элементов содержатся в организмах в десятых и сотых долях процента. Кроме того, калий, натрий и хлор участвуют главным образом в осморегуляции ионных процессов морских организмов. Все остальные микроэлементы выполняют биокаталитические функции.

Кроме углеводов, фитопланктон содержит до 70% белков, до 10% и более жиров, в состав которых входят углерод, водород, кислород, азот, фосфор, магний, калий, железо и другие химические элементы. Так называемые скелетные образования планктона содержат кальций и кремний и как включения в клетки их организмов — натрий и хлор. Остальные химические элементы входят в состав морских организмов в микродозах.

Кислород и водород, из которых состоят молекулы воды, находятся в гидросфере в избытке, так же как и другие химические элементы макросостава морской воды — кальций, магний, калий, натрий, сера и хлор.

Перечисленные выше 12 химических элементов составляют от 92 до 98% массы живых организмов. Остальные даже жизненно необходимые химические элементы (железо, медь, марганец, бор, кобальт, цинк, ванадий и др.) входят в состав живых организмов в виде микроэлементов, в основном менее чем в сотых долях процента.

Для более четкого сопоставления количественных характеристик, показывающих, в какой массе химические элементы входят в состав живых организмов и окружающей среды геосфер, приводим табл. 2.

Таблица 2

Относительные количественные характеристики распределения химических элементов

Элемент	Литосфера (22 000— 25 000)*	Гидрога- лосфера (1400)	Атмосфера (5,1)	Биомасса, биосферы (0,01)	Элемент	Литосфера (22 000— 25 000)*	Гидрога- лосфера (1400)	Атмосфера (5,1)	Биомасса, биосферы (0,01)
O	11 000	1200	1,2	0,006	Mg	470	18	—	< 0,0001
H	35	250	Сл.	0,001	S	11	1	—	0,0002
C	14	0,5	Сл.	0,002	Si	6700	1	—	~ 0,0002
N	1,4	1	3,9	0,0003	Na	600	15	—	~ 0,0003
P	200	1	—	0,0001	Cl	70	27	—	~ 0,0003
Ca	760	6	—	0,0001	Fe	1150	1	—	~ 0,0001
K	600	6	—	0,0001					

В скобках — масса в  $10^6 \cdot 10^9$  т.

Из массообразующих химических элементов морских организмов в водной среде содержатся углерод, азот, фосфор, кремний и железо. Именно эти химические элементы могут находиться в верхнем продуктивном слое в количестве, недостаточном для синтеза полноценного растительного органического вещества. Отношения содержаний перечисленных пяти химических элементов в биомассе и воде характеризуют потребность в них фитопланктона для его нормального развития.

Соотношения содержаний химических элементов (в %) в биомассе фитопланктона (числитель) и в морской воде (знаменатель) приведены ниже:

C	$\frac{1,85-3,35}{0,0028} \approx 1\ 000$	S	$\frac{0,1}{0,09} = 1,11$
N	$\frac{0,25-0,71}{0,00005} \approx 10\ 000$	Mg	$\frac{0,04}{0,13} = 0,3$
P	$\frac{0,06-0,08}{0,000006} \approx 11\ 000$	Ca	$\frac{0,05}{0,042} = 1,2$
Si	$\frac{0,09-1,74}{0,0001} \approx 10\ 000$	K	$\frac{0,1}{0,039} = 2,56$
Fe	$\frac{0,04-0,11}{0,000001} \approx 75\ 000$	Na	$\frac{0,3}{1,075} = 0,278$
		Cl	$\frac{0,4}{1,93} = 0,208$

Для пяти лимитирующих химических элементов отношение их содержания в биомассе фитопланктона к их содержанию в морской воде выражается десятком тысяч и более. Для остальных шести массуобразующих элементов это отношение лежит в пределах единиц и их десятых.

Микрокомпоненты, которые в фитопланктоне и других морских организмах участвуют в биокаталитических процессах, находятся в морской воде в рассеянном состоянии. Фитопланктон вынужден концентрировать их в клетках своего организма в десятки тысяч раз. Учитывая кратковременность существования живой клетки фитопланктона (одни-двое суток), следует считать, что такая интенсивность концентрации микроэлементов доступна только биологическому виду в целом, а не отдельным организмам, которые могут лишь путем деления своих тел при размножении передавать накопленный химический микроэлемент морской воде своему потомству.

Процесс биохимической ассимиляции химических элементов превращает верхний слой морских вод — слой фотосинтеза в гидробиохимическое поле концентрирования рассеянных в той или иной степени элементов. Биохимическому концентрированию элементов может предшествовать (или совпадать с ним) физико-химическое концентрирование растворенных в морской воде химических элементов путем выделения из раствора твердой фазы их труднорастворимых соединений. Следует отметить, что если в литосфере, в твердой оболочке поверхности Земли миграция химических элементов происходит в значительной мере путем перемещения водной фракции вещества, т. е. путем гидромиграции, как указывалось выше, то в фотосинтетическом поле гидрогалосферы миграция и дифференциация химических элементов и их соединений происходят в значительной мере при выделении вещества в твердую фазу. В таком виде миграция его осуществляется под влиянием гравитационной силы и не совпадает полностью с движением водной толщи.

Итак, в верхнем гидробиохимическом поле гидрогалосферы весьма интенсивно происходят процессы дифференциации, миграции и концентрации вещества.

Гидродинамические факторы в формировании специфической гидробиохимической и гидрохимической структуры химического состава исследуемой водной толщи имеют только косвенное и в значительной мере одностороннее значение. Гидродинамические процессы в пределах гид-

рогалосферы только перемещают вещество вместе с содержащей их водной средой. В результате перемещения вещества с водными массами в пределах гидрогалосферы меняется только его положение в пространстве. При смешении водных слоев с разным содержанием вещества происходит лишь осреднение степеней концентрации и рассеяния смешивающихся растворов с уменьшением наибольших величин. Увеличение концентрации биогенных веществ, необходимых для благоприятного развития фитопланктона или микроорганизмов, происходит в данном районе в результате смешения водных масс только при уменьшении концентрации веществ в другом районе гидрогалосферы.

Физико-химические условия и процессы в гидрогалосфере в отличие от гидродинамических приводят в основном к уменьшению или увеличению концентрации растворенных в воде веществ и иногда концентрируют их в образующейся твердой фазе в виде суспензий, взвесей. Гидробиохимические процессы вызывают в верхнем фотогидробиохимическом поле концентрацию вещества в живых организмах в основном путем трансформации минеральных соединений в органические. Под влиянием гравитационных сил уменьшается содержание вещества в верхнем фотогидробиохимическом поле. Подобного рода уменьшение содержания биогенных веществ приводит не только к снижению концентрации их в фотогидробиохимическом слое, но, в конечном счете, и к уменьшению возможности трофического использования биогенных минеральных веществ. Образующиеся из них биохимически весьма стабильные органические соединения постепенно выводятся гравитационными силами в донные отложения гидрогалосферы и там почти полностью находятся весь эпохальный период.

Все гидрогеохимические процессы, протекающие в верхнем гидробиохимическом поле гидрогалосферы, совместно с действием гравитационных сил приводят к уменьшению в нем биогенных химических веществ. Этому не могут воспрепятствовать ни гидролиз, ни биохимический распад и минерализация органических веществ как суспендированных, псевдорастворенных, так и истинно растворенных в воде. Распад, минерализация и растворение органического вещества в пределах не только верхнего гидробиохимического поля, но и всей гидрогалосферы не протекают до конца. Эти процессы в гидрогалосфере трансформируют органическое вещество только на 75—85% от его первоначальной массы (Скопинцев, 1950). Не трансформированное полностью так называемое стабильное в пределах водной толщи органическое вещество выводится гравитационными силами в донные отложения. Если воды части гидросферы, рассредоточенной в пределах литосферы, выполняли в той или иной мере рассеивающие миграционные геохимические функции, то гидробиохимическое поле гидрогалосферы является областью, где происходят процессы дифференциации и концентрации вещества и осуществляется вывод его в донные отложения.

Емери, Ор и Ритгенберг (Emery a. o., 1955) составили бюджет биогенных элементов в океане (табл. 3).

Эти исследователи уже давно считают, что биогенные запасы гидрогалосферы постоянно пополняются из литосферы непосредственно с речным стоком и через атмосферные осадки. Это ежегодное пополнение достигает 0,0001 доли (0,01%) всего запаса каждого из трех биогенных элементов, включенных в таблицу. Учитывая, что объем верхнего гидробиохимического поля вод составляет не более 1,8% от всего объема Мирового океана и что содержание упомянутых биогенных химических элементов в этом слое несколько меньше, чем в подстилающих и глубинных водах, можно утверждать, что ежегодно в гидрогалосферу и,

Бюджет биогенных элементов в океане  
(Emery, Orr, Rittenberg, 1955)

Показатели	N	P	Si
Запас в гидрогалосфере, млн. <i>m</i> . . . . .	920 000	120 000	4 000 000— 5 200 000
Поступает в гидрогалосферу, млн. <i>m</i> в год			
в растворенном виде с речным стоком . . . . .	19	2	150
во взвешенном состоянии с речным стоком . . . . .	0	12	4150
с атмосферными осадками (дождь) . . . . .	59	0	0
Всего . . . . .	78	14	4300
Уходит из гидрогалосферы в процессе осадкообразования, млн. <i>m</i> в год . . . . .	9	13	3800
Потребляется фитопланктоном, млн. <i>m</i> в год . . . . .	9600	1300	?

естественно, непосредственно в ее верхнее гидробиохимическое поле поступает около 1% запаса в нем этих химических элементов.

Авторам предложенного бюджета биогенных элементов в Мировом океане удалось сбалансировать ежегодный приход и расход только в отношении фосфора и кремния. Обращает на себя внимание более интенсивный (на декаду) обмен запаса кремния, что связано с большим содержанием его в литосфере. Азот, который поступает также в количестве около 0,01% от его запаса, т. е. в значительно большем, чем его выводится из водной толщи гидрогалосферы, должен в ней накапливаться. В вековом исчислении такое накопление будет равняться 1%. Данные, которые приводят Емери, Ор и Риттенберг, показывают, что фитопланктон ежегодно потребляет 1,1% имеющегося запаса азота и фосфора и только около 60% единовременной средней для Океана величины запаса этих биогенных элементов в верхнем слое продуктивного фотосинтеза.

Указанные авторы в своей схеме бюджета трех химических элементов в Мировом океане не учитывают, по-видимому, органических соединений этих элементов, их минерализации. Нет в их схеме и таких форм поступления химических элементов, как абразия берегов, эоловый нанос, ледниковое транспортирование, подводные фильтрация и вулканические извержения, выделение из донных отложений в результате диагенеза. Надежных сведений о количественных поступлениях этими путями биогенных химических элементов нет. Основной по массе расход вещества из гидрогалосферы — химическое и биохимическое образование твердой, коллоидной и сорбированной фаз химических элементов и осаждение их в донные отложения. В то же время существуют еще аэрозольное распыление и вынос вещества в периферийные районы литосферы. Однако количественная характеристика этих процессов еще мало обоснованна.

Произведенные независимо от указанных авторов расчеты, в том числе и нами, дали в основном тот же порядок величин прихода и расхода биогенных химических элементов (как это было показано выше для трех элементов). Подобные же расчеты для углерода и железа дают результаты, приведенные в табл. 4.

Приведенные величины показывают, что углерод поступает в водную массу гидрогалосферы и уходит за ее пределы в количестве, в 10-ки раз

Таблица 4

## Бюджет углерода и железа в гидрогалосфере

Показатели	C	Fe
Запас в гидрогалосфере, млн. <i>m</i>		
углекислоты и карбонатов . . . . .	33 900 000—37 000 000	—
органических веществ . . . . .	3 200 000—3 000 000	—
Всего . . . . .	37 100 000—40 000 000	16 000
Поступает с суши с речным стоком в виде, млн. <i>m</i> в год		
растворенных карбонатов . . . . .	190—223	—
взвешенных карбонатов . . . . .	3,1	—
органических веществ . . . . .	242—360	—
Обмен с атмосферой в виде CO <sub>2</sub> . . . . .	В первом приближении уравновешен	
Всего . . . . .	464—581 (0,00045—0,00082% запаса)	114 (0,71% запаса)
Переходит в донные отложения (в среднем) в виде, млн. <i>m</i> в год		
карбонатов . . . . .	310	—
органических веществ . . . . .	154	—
Всего . . . . .	464	Вся масса, поступающая в гидрогалосферу извне

большем, чем азот и фосфор. Однако картина совершенно изменится, если учесть, что непосредственно фитопланктон ассимилирует углерод в основном только из его двуокиси, которая составляет в пересчете на углерод не более 1% от массы углерода карбонатов в океанской воде, т. е. абсолютная концентрация углерода (его двуокиси) не превышает 2 мг/л и в среднем равна 1 мг/л. Тогда можно считать, что снабжение углеродом воды гидрогалосферы из литосферы в форме соединения, непосредственно доступного ассимиляции фитопланктоном без лимитирующего воспроизводства расхода энергии на разложение бикарбоната, будет примерно 0,01%, т. е. того же порядка, что и снабжение азотом и фосфором. Все это увеличивает значимость снабжения Мирового океана биогенными химическими элементами с суши.

Из рассмотрения приведенных выше составляющих баланса углерода в водной толще гидрогалосферы видно, что в ее пределах происходит трансформация соединений углерода. Углерод поступает в океан на 50—60% в виде углерода органических веществ, а уходит в донные отложения на 60—70%, в виде карбонатов. Такая трансформация соединений углерода в океане происходит в результате гидробиохимических и физико-химических процессов, т. е. биогеохимическим путем, приводящим к значительной (полуторакратной) карбонатизации углеродных органических соединений.

Иной цикл в Мировом океане претерпевает железо (этот цикл характерен и для других, более рассеянных микроэлементов, образующих труднорастворимые гидроокиси). Значительное поступление его с суши и малое содержание в гидрогалосфере определяются его преоблада-

нием в земной коре в твердой фазе (99,999...%) и чрезвычайно малой растворимостью гидроокиси железа в океанской воде при существующих там величинах активной реакции (рН 7,5—8,5). Аналитически наблюдаемая концентрация железа в водах океана обусловлена молекулярно-комплексными и сорбированными формами железа, а не ионной формой его содержания, которая наиболее доступна непосредственной ассимиляции биогенных химических элементов фитопланктоном.

Взаимодействие между соединениями химических элементов в пределах гидрогалосферы осуществляется в результате гидробиохимических реакций (прежде всего фотосинтеза и биохимического расхода и минерализации) и взаимодействия с водой и абсорбированным в ней молекулярным кислородом. Молекулярный и особенно атомарный кислород — основной окислитель в природной окислительно-восстановительной среде геосфер верхней части земной коры. Вследствие окислительной химической активности кислород в литосфере и гидросфере находится в основном в соединении с другими химическими элементами, образуя кислородный радикал, гидроксил и т. д. Весь молекулярный газообразный кислород, распространенный в атмосфере и абсорбированный в гидросфере, фотосинтетического, биохимического происхождения, так как до возникновения земной биосферы кислород вследствие своей химической активности в основном был соединен с другими химическими элементами (Виноградов, 1964). В этом проявляется вторая (если не первая) роль растительных организмов Земли: кроме продуцирования из минеральных веществ органического вещества — трофической основы для зооорганизмов, продуцирование в процессе фотосинтеза молекулярного кислорода, необходимого всем аэробным, высшим организмам для осуществления обмена веществ.

Водород, имеющий наибольшую концентрацию в гидросфере и образующий более 10% ее массы, вторую по величине весовую концентрацию имеет в живых организмах. Именно гидросфера служит поставщиком водорода для первичного воспроизводства органического вещества — фотосинтеза. Без воды нет жизни.

В противоположность кислороду молекулярный, газообразный азот, составляющий основную массу земной атмосферы, где он имеет наибольшую геосферную концентрацию, весьма инертен, труднодоступен большинству живых организмов, кроме группы азотофиксаторов. Солевые же минеральные соединения элементарного азота интенсивно ассимилируются живыми фитоорганизмами и концентрируются в белковых клетках морских организмов. Вторая по величине концентрация азота обнаружена в органическом веществе. Процессами-поставщиками следовых форм азота в зону земной коры, кроме дегазации из недр Земли, являются электромагнитные и ультрафиолетовые процессы в атмосфере, переводящие молекулярный азот в ионно-атомарную форму, и гидробиохимические — азотфиксирующие процессы, протекающие преимущественно в почвенном покрове литосферы.

Непременный составной компонент ряда ферментных и белковых органических веществ живых организмов — сера, имеющая наибольшую массуобразующую концентрацию в гидросфере и близкую к ней величину концентрации в литосфере, где она представлена и в окисленных кислородных соединениях, и в восстановленных соединениях, и в элементарной форме. Сера распространена в гидросфере главным образом в виде окисленных радикалов-сульфатов, которые и ассимилируются фитоорганизмами с последующим их восстановлением и включением в ферментно-белковый состав живых клеток организма. Сравнительно незначительная относительная концентрация серы в живых ор-



ганизмах указывает на второстепенное биогеохимическое участие ее в миграции вещества между геосферами.

Хлор и натрий — химические элементы, составляющие физиолого-регулирующую систему живых организмов, имеют наибольшую концентрацию: хлор — в гидросфере в виде иона хлорида, натрий — в литосфере, а затем уже в гидросфере. Эти элементы постепенно и в известной степени безвозвратно переходили и переходят из твердой фазы земной коры в жидкую. В осадочных породах их относительная концентрация в 3 раза меньше, чем в изверженных породах земной коры, и меньше, чем в гидросфере.

### Заключение

Специфика гидрогалосферы — обширной среды обитания морских организмов и химической базы их трофики заключается в том, что гидрогалосфера формировалась и формируется под влиянием не только рассмотренных выше общих гидрогеохимических и гидробиохимических процессов, но и под влиянием физико-химических условий и процессов, протекающих в самой водной толще.

Величины активной реакции (рН) водной толщи океанов и морей, зависящие от степени и состава ее минерализации, окислительно-восстановительные условия в толще морских вод, являющиеся результатом газового режима и процессов взаимодействия газов и минеральных и органических веществ ее состава и живых организмов, и термодинамические параметры, обусловленные геофизическими и климатическими особенностями поверхностных оболочек Земли, имеют существенное значение в формировании химического состава гидрогалосферы.

Изучая и обобщая условия и закономерности формирования химической основы биопродуктивности океанов и морей, зная количественные характеристики ее формирования, исследователь рыбохозяйственных проблем сможет быстрее и целеустремленнее решать конкретные вопросы потенциальной и одновременно наблюдаемой биопродуктивности морских вод.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О. А. Химия оксана. Гидрометеиздат, 1966.  
Вернадский В. И. Избр. сочинения. Т. IV (II). Изд-во АН СССР, 1960.  
Вернадский В. И. Биосфера. Изд-во «Мысль», 1967.  
Виноградов А. П. Газовый режим Земли. Сб. «Химия земной коры». Изд-во АН СССР, 1964.  
Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. Изд-во «Наука», 1967.  
Гаврусевич Б. А. Основы общей геохимии. Изд-во «Недра», 1968.  
Дитрих Г. и Калле К. Общее мореведение. Гидрометеиздат, Л., 1968.  
Зенкевич Л. А. и др. Научные основы десятилетней программы исследований Мирового океана. «Океанология». Т. VIII, № 5, 1968.  
Сауков А. А. Геохимия. Госгеолтехиздат, 1961.  
Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах. Труды ГОИН, № 17 (29). Гидрометеиздат, 1950.  
Федосеев И. А. Развитие знаний о происхождении, количестве и круговороте воды на земле. Изд-во «Наука», 1967.  
Федосов М. В. Условия формирования первичных кормовых ресурсов океана. Труды ВНИРО. Т. LVII, 1965.  
Федосов М. В. Формирование химической основы первичной продуктивности морских вод. Сб. «Химические процессы в морях и океанах». Изд-во «Наука», 1966.  
Emery X. O., Orr W. L., Rittenberg S. C. Nutrient budgets in the ocean. Southern California Press, Los Angeles, 1955.  
Fedosov M. V. Some distinctive properties of the formation of chemical composition of ocean waters. Abstracts of Papers Symposium. Int. Ass. Phys. Oceanogr. Berne, 1967.

## SUMMARY

Conditions are considered, and regularities revealed in the formation of biogenic chemical structure of the World Ocean as a basis of its bioproductivity. The World Ocean is regarded as a single natural system of mineralized waters, that is hydrohalosphere.

Interrelation is observed between the trends and kinetics of hydrochemical, hydrological, biochemical and hydrobiological processes proceeding in the hydrohalosphere in close association with the history of development of other spheres of the earth's crust.

As regards the volume and amount of matter, hydrohalosphere is a predominant region in the biosphere. Owing to its dynamic nature it contributes to an active exchange of matter between geospheres.

The study of regularities of the formation of bioproductivity of oceans and seas enables a more rapid determination of their actually observed and potential bioproductivity.