

Министерство образования и науки РФ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ГОРНО-АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра неорганической и аналитической химии

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Горно-Алтайского государственного университета

ББК 28.080.3
Б 63

Биогеохимия: учебно-методический комплекс (для студентов, обучающихся по специальности 020101.65 «Химия») - Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010.- 40 с.

БИОГЕОХИМИЯ

(спецкурс по выбору)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

*для студентов, обучающихся по специальности
020101.65 «Химия»*

Составитель -
Майманова Т.М., к.б.н., доцент ГАГУ

Рецензенты:

Темерев С.В., д.х.н., заведующий кафедрой аналитической химии Алтайского государственного университета
Ларина Г.В., к.х.н., заведующая кафедрой неорганической и аналитической химии Горно-Алтайского государственного университета

В работе даны планы лекционных, семинарских и практических занятий по биогеохимии для студентов биолого-химического факультета по специальности «Химия» и в соответствии с программой курса. Перед каждой изучаемой темой дан перечень основных рассматриваемых вопросов в лекционном курсе, представлены индивидуальные задания. Дисциплина «Биогеохимия» является элективным курсом для студентов 3 курса отделения «Химия».

Горно-Алтайск
РИО Горно-Алтайского госуниверситета
2010

© Майманова Т.М., 2010

Содержание

Предисловие	4
I. Квалификационная характеристика выпускника.	4
II. Компетенции выпускника	4
III. Рабочая программа	5
3.1 Пояснительная записка	5
3.2 Требования к обязательному минимуму содержания дисциплины	6
3.3 Технологическая карта учебного курса.	6
3.4 Содержание учебного курса	7
3.5 Краткий курс лекций	8
3.6 Методические указания к выполнению практических работ	29
3.7 Глоссарий	32
3.8 Рекомендуемая литература	33
IV. Методические указания по самостоятельной работе студентов	34
V. Темы рефератов	35
VI. Контрольные вопросы, выносимые на экзамен	36
VII. Контрольно-измерительные материалы для контроля остаточных знаний	38

Предисловие

Настоящий Учебно-методический комплекс включает в себя: квалификационную характеристику и компетенции выпускника-химика; рабочую программу дисциплины с технологической картой; краткий курс лекций; методические указания к выполнению практических работ; вопросы контрольного опроса; глоссарий; рекомендуемую литературу (основную и дополнительную); методические указания по самостоятельной работе студентов; темы рефератов; контрольные вопросы, выносимые на экзамен; контрольно-измерительные материалы по модульно-рейтинговой системе.

I. Квалификационная характеристика выпускника

Студент, обучающийся по специальности 020101.65 «Химия» должен:

- иметь представление об общих законах круговорота вещества и потоков энергии;
- знать основные закономерности протекания эндогенных и экзогенных процессов в различных объектах окружающей среды;
- знать основные формы трансформации химических веществ и механизмы физико-химических процессов протекающих в объектах окружающей среды, базирующихся на основных законах химии.

II. Компетенции выпускника

При изучении спецкурса «Биогеохимия» будет сформирован следующий перечень практических навыков и умений студентов:

- умение оперировать основными биогеохимическими понятиями – биогеохимия, биосфера, ноосфера, геохимические аспекты учения о биосфере, роль живого вещества в геологической истории Земли, миграция веществ, биогеохимические функции живого вещества, влияние геохимической среды на развитие и химический состав растений, биогеохимические циклы важнейших химических элементов.
- умение наблюдать, анализировать и объяснять данные наблюдения в ходе практических занятий;

- умение анализировать современные концепции в системе химических наук;
- умение проводить сравнительный анализ разных химических процессов.

III. Рабочая программа

3.1 Пояснительная записка

Курс, рассчитан на 50 часов (20 часов лекций и 16 часов семинарских и практических занятий, 14 часов самостоятельной работы), ставит своей целью краткое изложение основных разделов биогеохимии, которые необходимы для изучения естественнонаучных дисциплин.

В курсе освещены вопросы эволюционной биогеохимии, биогеохимические циклы элементов, биогеохимия окружающей среды.

Биогеохимия изучает как биологическое воздействие на химический состав окружающей среды, так и геохимическое регулирование структуры и функций экологических систем. В настоящее время биогеохимия выступает в качестве силы, объединяющей многие направления биологических, химических и геологических дисциплин.

Задачи дисциплины:

- сформировать основные понятия и представления о важнейших физико-химических процессах, закономерностях и принципах;
- помочь осмыслить механизм влияния физико-химических процессов для понимания биологических явлений;
- оказать помощь студентам в выборе теоретических и экспериментальных подходов, которые наиболее полно отвечают запросам и потребностям будущих учителей и научных работников;
- создать условия для овладения практическими умениями и навыками при выполнении экспериментальных работ;
- научить студентов наблюдать, выявлять и оценивать результаты своей работы;
- обеспечить формирование у студентов умений и навыков осуществления учебно-познавательной и профессиональной деятельности.

Место дисциплины в учебном процессе

«Биогеохимия» относится к циклу естественнонаучных дисциплин федерального компонента. Курс тесно связан с неорганической и физической химией, экологией. Дисциплина изучается на 3 курсе в течение 1 семестра. Formой отчетности является экзамен.

3.2 Требования к обязательному минимуму содержания дисциплины, определенные ГОС ВПО

Биогеохимия как наука. Химический состав земной коры. Живое вещество. Биогеохимия оболочек Земли. Миграция веществ. Биогеохимические циклы важнейших элементов. Экологические проблемы современности и биогеохимия.

3.3 Технологическая карта учебного процесса

Факультет: биолого-химический

Кафедра: неорганической и аналитической химии

Семестр: 5

Темы модулей	Аудиторные занятия			Самостоят. работа студентов
	Всего часов	Лекции	Сем. Практич.	
1. Биогеохимия как наука. Эволюционная биогеохимия.	8	4	2	2
2. Химический состав земной коры как фактор биосферы	6	2	2	2
3. Живое вещество. Биогеохимические функции живого вещества	8	4	2	2
4. Биогеохимия оболочек Земли.	6	2	2	2
5. Миграция веществ. Типы миграции. Геохимические барьеры.	6	2	2	2
6. Биогеохимические циклы важнейших химических элементов	6	2	2	2
7. Биогеохимические циклы тяжелых металлов	5	2	2	1
8. Экологические проблемы современности и биогеохимия	5	2	2	1
Всего:	50	20	16	14

3.4 Содержание учебного курса

Введение

Биогеохимия, её задачи и значение. Базовые концепции биогеохимии. Взаимодействие биогеохимии с другими науками. Исторические корни биогеохимии. В.И.Вернадский как основатель биогеохимии. Развитие биогеохимии в XX веке.

1. Эволюционная биогеохимия

Происхождение элементов и эволюция минеральных циклов. Первичный синтез элементов. Эволюция Земли. Эволюция литосферы. Эволюция атмосферы. Эволюция гидросферы. Предбиотическая Земля и минеральные циклы. Возникновение жизни на Земле. Эволюция биогеохимических циклов.

2. Биосфера. Учение В.И.Вернадского о биосфере как о структурной оболочке планеты Земля

Геохимические аспекты учения о биосфере. Роль живого вещества в геологической истории Земли. Компоненты биосферы. Живое вещество. Органические соединения и их трансформация. Биогеохимические функции живого вещества. Типы миграции. Интенсивность биологического поглощения. Геохимические барьеры.

3. Биогеохимические циклы элементов

Биогеохимический круговорот элементов в различных средах биосферы. Биогеохимические циклы макроэлементов в атмосфере. Биогеохимические циклы элементов в водных экосистемах суши. Биогеохимические функции почв. Биогеохимия важнейших химических элементов.

4. Экологические проблемы современности и биогеохимия

Понятие о ноосфере. Отличительные признаки ноосферы. Техногенез. Техногенные аномалии и техногенные барьеры. Пути оптимизации перехода биосферы в ноосферу.

Тематический план лекций

№ п/п	Темы лекций	Кол-во часов
1.	Биогеохимия как наука	2
2.	Эволюционная биогеохимия	2
3.	Химический состав земной коры как фактор биосферы	
4.	Живое вещество. Биогеохимические функции живого вещества	2
5.	Биогеохимия оболочек Земли.	2
6.	Миграция веществ. Типы миграции. Геохимические барьеры.	2
7.	Влияние геохимической среды на развитие и состав растений	2
8.	Биогеохимические циклы важнейших химических элементов	2
9.	Биогеохимические циклы тяжелых металлов	2
10.	Экологические проблемы современности и биогеохимия	2
	итого	20

3.5 Краткий курс лекций по биогеохимии

1. Базовые концепции биогеохимии

Биогеохимия – междисциплинарная наука, возникшая в XX в в пограничной области между биологией, геологией и химией. Она концентрирует свое внимание на изучении роли живых организмов в миграции и перераспределении химических элементов в земной коре. Термин «биогеохимический цикл» используется для качественного и количественного понимания трансформации и перемещения вещества как в природной, так и в антропогенно-модифицированной окружающей среде.

1.1. Базовые концепции

Теоретической основой биогеохимии является концепция живой материи и биосферы, предложенной В.И.Вернадским в начале XX в.

Концепция живого вещества. Характерная черта всех живых организмов – трансформация окружающей среды в процессе их жизнедеятельности. В соответствии со своими физиологическими потребностями живые организмы избирательно поглощают химические элементы. Наиболее необходимыми являются углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий, сера, кремний, кальций, магний и железо. Эти же элементы составляют основу химического состава океана, атмосферы и горных пород. Их поглощение живыми организмами приводит к биогенной трансформации этих оболочек и дифференциации элементов в окружающей среде. Выделяемые в атмосферу газообразные метаболиты постепенно изменяют ее состав (появление кислорода). Жидкие метаболиты и продукты распада вовлекаются в кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные процессы в природных водах, которые, просачиваясь через почвы и подстилающие геологические породы, трансформируют их минералогический и химический состав. Далее происходит изменение химического состава воды морей и океанов, что сказывается на формировании осадочных пород.

Это воздействие началось 3,8-3,5 млрд.л.н. и имело огромное влияние на формирование геологических отложений.

Концепция биосферы. Е.Зюсс (австр.) предложил термин «биосфера» - внешняя оболочка Земли, населенная живыми организмами.

В.Вернадский определил биосферу как внешнюю сферу Земли, в которой не только существует жизнь, но которая в той или иной форме видоизменена или сформирована под воздействием жизни и биогеохимической активности. В.И. понимал биосферу не только как место сосредоточения живых организмов, но как глобальную систему взаимодействия живого и неживого (косного) вещества. Живое вещество включает в себя все разнообразие живой материи и различных форм жизни, а косное – материю твердой, жидкой и газовой фазы. Примеры образующихся биокосных тел – почва, морская, речная и озерная вода, нефть, битумы. Биосфера включает в себя слои тропосферы, гидросферы и литосферы суммарной мощностью около 40 км.

Биокосные системы – системы, образованные живыми организмами и средой их обитания, включают в себя обмен химическими элементами между живыми организмами и окружающей их средой. (термин введен В.И. в 1944). Обмен химическими элементами в биокосных системах составляет биогеохимическую организованность биосферы. В.И. обозначил процессы, являющиеся по сути геохимическими (природная геохимическая миграция элементов), но находя-

щиеся под воздействием двух мощных факторов - геологическим и биологическим воздействием – как биогеохимические процессы.

Биогеохимические циклы. Представляют собой универсальное свойство биосферы. Основаны на том, что процессы биологического обмена являются циклическими по своему характеру. В биогеохимических циклах происходит динамический обмен массами химических элементов, который поддерживает химический состав как живых организмов, так и геологических пород, почв, воды и воздуха.

Концепция биогеохимической пищевой цепи. В результате определенных взаимоотношений в экосистеме происходит трансформация вещества и энергии.

2. Эволюционная биогеохимия

Происхождение элементов и эволюция минеральных циклов

Первичный синтез элементов

Ядра атомов состоят из 2 основных компонентов, объединение которых в различных пропорциях ведет к формированию элементов и их изотопов. За несколько секунд жизни Вселенной было образовано достаточное количество протонов и нейтронов для синтеза хим. элементов. Нейтроны очень реакционноспособны по отношению к др. ядрам. Современные расчеты показали, что в течение первых 3 минут возникли стабильные ядра дейтерия, ^3He , ^4He и ^7He .

Следовательно, тяжелый изотоп водорода и изотопы гелия были синтезированы в неск. первых секунд с массовым отношением 3:1. Остальные 90 элементов были синтезированы на определенных звездах и энергетических уровнях, обеспечиваемых в течение жизни звезды и ее смерти. Предположительно, что элементы произошли от водорода, поскольку, в отличие от нейтрона, протон стабилен. В настоящее время большинство ученых согласно с гипотезой о существовании подобия «космического реактора» в теле звезд, который может генерировать не только энергию, но и полный спектр химических элементов.

Время, необходимое для синтеза элементов в космосе, простирается от сек до млрд. лет. Температурная шкала колеблется в пределах неск. порядков ($10^7 - 10^{10}$ К). Хим. состав Вселенной, за искл. вещества «нейтронных звезд» и «черных дыр», может быть охарактеризован в виде пропорции: из 1000000 атомов – 924400 – водород, 74000 – ге-

лий, 830 – кислород, 470 - углерод, 84 – азот, 82 –неон, 35 – магний, 33 –кремний, 32 – железо, 18 – сера, 8 – аргон, 3 – алюминий, 3 –кальций, оставшиеся 2 атома – все остальные элементы.

Эволюция литосферы

В настоящее время доказано, что Солнечная система развивалась из вращающейся дисковидной небулы. Температура и давление во внутренней части составляли около 1400 К и 10 Па (10^{-4} атм). В соответствии с существующими теориями на первых стадиях конденсации происходило формирование оксидов кальция, алюминия, титана и силикатов, металлов платиновой группы, железа и никеля (около 1360 К). При снижении температуры до 1200 К происходил синтез силикатов в форме $MgSiO_3$.

Произошло подразделение прото-Земли на относительно затвердевшие слои железа, расположенные над мантией из силикатов магния. Более поздние стадии конденсации происходили при температуре около 400 К. Образовавшийся равновесный конденсат содержал железо, сульфиды железа, гидратированные силикаты магния и некоторые летучие вещества. Три типа пыли конденсировались из солнечного газа: оксиды, металлические никель, железо и силикаты магния. При остывании железо реагировало с H_2S и H_2O , образуя FeS и FeO . Дальнейшие изменения происходили при температуре ниже 400 К.

4 млрд. лет назад Земля испытывала дегазацию, что привело к образованию прото-атмосферы и прото-гидросферы. Рассеянный материал коры и гидротермически образованные обогащенные железом глины аккумуляровались в эфемерной коре океана, которая состояла из обедненных щелочами базальтов и габбро. Они произошли из магмы при плавлении восходящих потоков перидотитов.

Ранее 4 млрд. лет интенсивный вулканизм, резкие перемещения полигональных клеток и огромные тектонические давления препятствовали появлению континентоподобных образований коры. В то время могли возникать лишь небольшие «лужайки» до нескольких сотен км в поперечнике, такие как прото-континенты.

Наиболее сохранившиеся породы имеют возраст около 3,8 млрд. лет и по ним можно изучать эволюцию земной коры.

Геологи подразделяют земной шар на кору, мантию и ядро. Кора глубиной от 10 до 70 км; верхняя мантия – до 400 км; транзитная зона – 400-1000 км; нижняя мантия – 1000-2900 км; жидкое внешнее ядро –

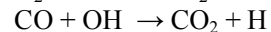
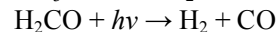
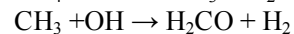
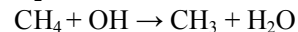
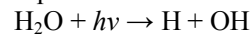
до 4600 км; транзитная зона – 4600-5150 км; твердое внутреннее ядро – 5150-6371 км. .

Самый тонкий слой – кора, имеющая среднюю толщину 17 км. Она состоит из двух силикатных слоев: сиалического, обогащенного алюминием и симатического, обогащенного магнием и железом. Континенты в основном сложены сиалическими материалами, подстилаемыми симатическим субстратом.

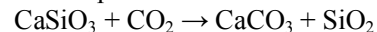
Эволюция атмосферы

В конце периода отвердения земного шара большая часть водяных паров, находящихся в атмосфере, была сконденсирована в форме примитивного протобиотического океана. Это привело к формированию атмосферы с преобладанием молекулярного азота и соединений углерода, в основном, CO_2 и CO . Молекулярный водород бы важным следовым компонентом. Свободный молекулярный кислород в основном отсутствовал. Его накопление в виде тонкого слоя могло происходить в верхних слоях атмосферы вследствие фотодиссоциативных реакций CO_2 и H_2O .

Содержание и степень окисления углерода в ранней атмосфере Земли до сих пор вызывает много споров. Современные модели предполагают существование атмосферы, обогащенной CO_2 , со следами метана и несколько большим количеством CO . В настоящее время вулканическая активность вносит наибольший вклад в поступление CO_2 из мантии; логично предположить это и для прошлых геологических эпох. Возможно, реакционная последовательность выглядит следующим образом:



Физические модели эволюции Солнца показывают, что освещение земной поверхности возрастало с течением времени, вызывая изменения в радиационном балансе Земли для поддержания стабильного, биологически приемлемого климата. Такие изменения могли приводить к обеднению атмосферной двуокиси углерода, в основном, из-за процессов выветривания:



Этот процесс мог бы уменьшить содержание двуокиси углерода, степень улавливания тепловой радиации и тепличный эффект в древней атмосфере. Выветривание силикатов с образованием карбонатов можно рассматривать как основной механизм поглощения CO_2 с обратным эффектом, это связано с тем, что возрастающее потепление приводит к более высоким скоростям удаления диоксида углерода и последующему охлаждению при уменьшении содержания этого газа в атмосфере.

Другим важным экологическим параметром, определяющим состояние ранней Земли, был поток УФ радиации. В настоящее время УФ радиация с длиной волны 200-300 нм адсорбируется в стратосферном озоновом слое, защищающем биоту. В ранней атмосфере озон отсутствовал, и УФ радиация могла достигать поверхности Земли, что препятствовало формированию больших комплексных молекул и возникновению жизни.

Одна из гипотез, объясняющих снижение УФ радиации, основана на фотохимии серы, которая в виде сероводорода и двуокиси серы могла попасть в атмосферу при вулканических извержениях. Под воздействием интенсивной солнечной радиации эти газы могли быть фотохимически трансформированы в различные химические вещества.

Большая часть попавшей в атмосферу серы должна быть окислена до сульфатов в реакциях с атомарным кислородом и гидроксил-радикалом, или растворена в океанической воде в виде SO_2 . Однако существенная часть вулканической газообразной серы могла быть конвертируема в пары элементарной серы, состоящей из S_8 наряду с другими газообразными молекулами серы S_n ($2 \leq n \leq 12$). S_8 представляет собой кольцевую молекулу, способную поглощать коротковолновый УФ в равной или даже большей степени по сравнению с озоном.

Концентрация паров серы в примитивной атмосфере могла быть ограничена только давлением ее насыщенного пара, строго зависящим от температуры. При температуре того периода (около 85°C) пары серы в значительном количестве должны быть представлены в атмосфере и защищать земную поверхность от УФ радиации.

Присутствие газообразной серы могло предотвращать фотолиз аммиака, который рассматривается как важный компонент в моделях предбиотического синтеза органических молекул.

В течение раннего архея (более 3,0 млрд.л.н.) состав атмосферы, вероятно, был нейтральным или со слабым проявлением восстанови-

тельных процессов. Динамика состава атмосферы определялась активностью вулканов и фотохимическим окислением. С развитием метаногенных археобактерий в атмосфере в значительных количествах мог накапливаться метан. Это усилило парниковый эффект и воздействие климата на взаимовлияние биосферы и атмосферы.

Около 3,5 млрд.л.н. начал развиваться анаэробный фотосинтез. Протекание химических реакций и состав предбиотической атмосферы были коренным образом изменены за счет продуцирования микроорганизмами кислорода (формирование гидроксил-радикалов, возникновение озона). Озоновый слой защитил биоту на поверхности Земли и благоприятствовал дальнейшему развитию биосферы. Оксигенация атмосферы привела к возникновению новых биогеохимических циклов элементов. Примитивные бескислородные циклы были существенно реорганизованы, что привело к полному окислению различных восстановленных соединений (оксид и сульфид железа II).

Активность микробов также оказывала воздействие на содержание в атмосфере таких газов, как CO , NO и H_2 .

Эволюция гидросферы

Возраст Земли оценивается в 4,6 млрд.лет. Первоначально поверхность планеты не имела воды и была покрыта региолитом (как, например, поверхность Луны). Согласно А.П.Лисицыну (1978), в период от 4 до 3,8 млрд.л.н. появилась вода, которая пропитала региолит, а затем стала заполнять пониженные участки планеты (с океанической корой). Для возникновения океана необходимо:

- наличие большого объема жидкости;
- изобилие элементов, способных заполнить океан;
- вещество должно быть преимущественно в жидком состоянии при стандартных температуре и давлении (СТД);
- наличие понижений рельефа;
- гравитация планеты должна быть достаточной для удержания массы океана.

Наиболее распространенные элементы (за исключением инертных гелия и неона) – водород, кислород, углерод и азот. Водород плавится при $-259,2^\circ\text{C}$ и закипает при $-252,8^\circ\text{C}$ (1 атм); таких условий не было на поверхности Земли 4,5 млрд.л.н. Обратимся к другим соединениям водорода и преобладающих элементов – H_2O , NH_3 , CH_4 .

Стандартные величины температуры для различных физических состояний химических соединений водорода при 1 атм, °С

Соединения	Физическое состояние		
	Твердое	Жидкое	Газ
H ₂ O	0	100	>100
NH ₃	-77	-44	-33
CH ₄	-187	-174	-164

Таким образом, вода представляется единственным кандидатом для заполнения океана на земной поверхности, которое, согласно современным изотопным данным, произошло более 3,3 млрд.л.н.

Первоначально вода появилась у полюсов, где температура была ниже 100°С. Объем океана и его глубина составляли в то время не более 1/5 от современных величин. В это же время появились и первые осадочные породы.

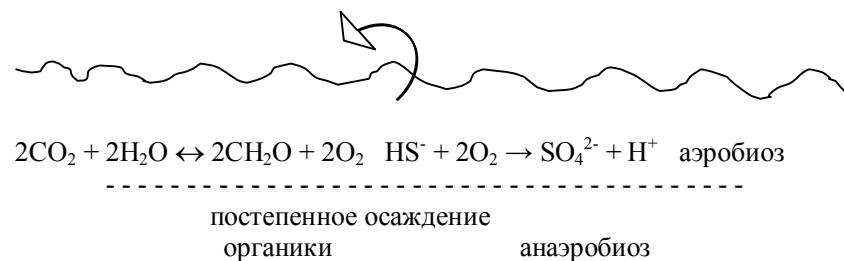
Прото-океан напоминал современный: доминировали ионы натрия и хлора, ионы калия, магния, кальция и гидрокарбонат-ионы присутствовали в меньших количествах. Сульфаты отсутствовали, поскольку не было окислительной атмосферы. В тот период кислая реакция воды могла соответствовать высокому давлению атмосферного CO₂. Близка к этой точке зрения и разработанная для объяснения древней абиотической химии воды концепция содового океана, которая предполагает, что карбонат натрия мог быть основным химическим соединением в первичном океане.

В ходе эволюции химического состава воды произошло постепенное удаление карбоната натрия из океана вследствие причин:

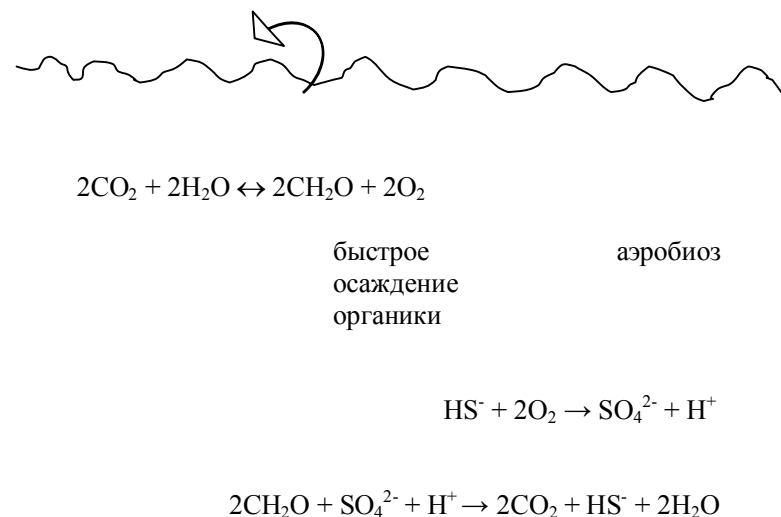
- 1) накопления вод в порах донных отложений;
- 2) миграции морской воды в глубь коры;
- 3) биогенного восстановления до органического углерода с последующим захоронением в донных отложениях.

После многих регрессий и трансгрессий Мирового океана в течение геологической истории, щелочноземельные металлы стали частью континентальной коры с отложением карбонатов. Около 1 млрд.л.н. примитивный содовый океан был превращен в современные соленые морские воды. Изменения рН и, возможно, Eh, повлекли за собой существенные изменения морской среды.

Сульфатная система появилась и развилась после возникновения анаэробного и затем аэробного фотосинтеза. В протерозойском океане происходило медленное накопление органической массы вследствие замедления процесса сульфат-редукции в преимущественно анаэробной водной толще. Увеличение содержания кислорода привело к развитию зоопланктона и быстрому накоплению продуктов его жизнедеятельности в донных отложениях, что способствовало оксигенации воды и уменьшению анаэробного разложения органической массы.



Протерозойский океан: кислород удерживается в поверхностных водах



Фанерозойский океан: кислород выделяется из поверхностных вод

Последующее изменение содержания атмосферного кислорода и, соответственно, эволюция химического состава океана продолжались в период приблизительно от 2,4 до 1,7 млрд.л.н. В течение этого времени атмосфера, по-видимому, становилась окисленной, но в глубоких водах океана еще преобладали восстановительные процессы. Подтверждением этому служит формирование связанных железистых отложений, что свидетельствует о наличии в глубоком океане растворимой закиси железа.

Как только глубокие океанические воды освободились от закисного железа, содержание атмосферного кислорода могло быстро приблизиться к современному уровню. Углеродный цикл в то время функционировал примерно так же, как и сейчас.

Происхождение жизни и эволюция биогеохимических циклов

Происхождение жизни и эволюция биогеохимических циклов органично связаны и взаимозависимы. Для понимания эволюции биогеохимических циклов необходимо понять, когда и как происходило зарождение жизни на Земле.

Возникновение жизни на Земле

В настоящее время существует множество теорий возникновения жизни.

Современные изотопные данные, полученные для метаморфических пород Гренландии, свидетельствуют о возникновении жизни около 3,8 млрд.л.н. Затем, в течение очень короткого с геологической точки зрения периода (не более 600 млн. лет) жизнь возникла, дифференцировалась и начала развиваться.

Идея панспермии (впервые выдвинута Аррениусом около 100 лет назад), предполагает, что жизнь возникла во Вселенной и была занесена на Землю. Такая возможность подтверждается обнаружением микрофосильных включений в составе

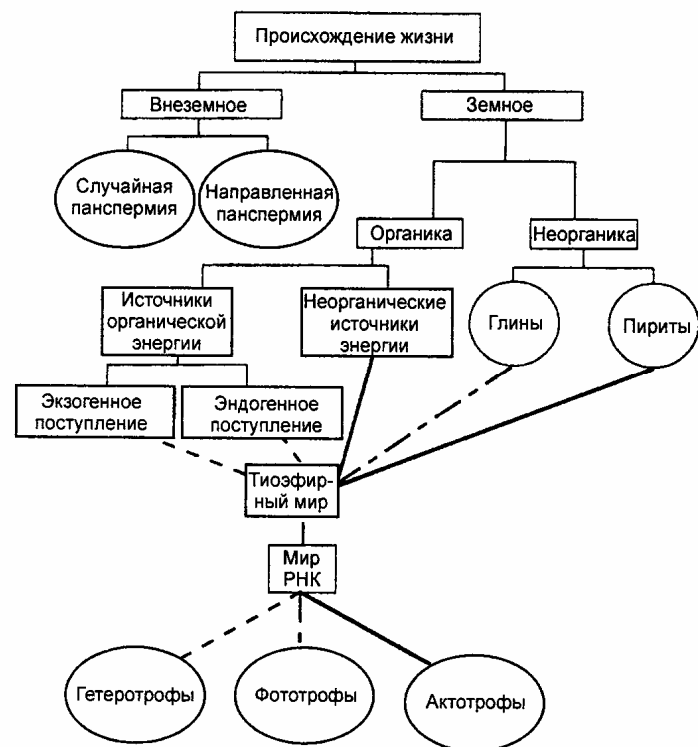


Рис.1 Взаимосвязи между различными теоретическими и концептуальными моделями возникновения жизни

метеоритов. Сторонники этой концепции указывают, что период в 3,5 млрд. и менее лет является слишком коротким для возникновения жизни.

«Первичный бульон». В конце 1920-х гг. знаменитый русский биохимик А.И.Опарин выдвинул первую обоснованную модель о химическом синтезе необходимых биологических молекул. Предполагалось, что в прото-атмосфере с высоким восстановительным потенциалом могли быть синтезированы низкомолекулярные простые органические молекулы типа аминокислот или сахаров. Накопление и взаимодействие этих продуктов в океане приводило к формированию полимеров в так называемом «первичном океаническом бульоне» (рис. 2).

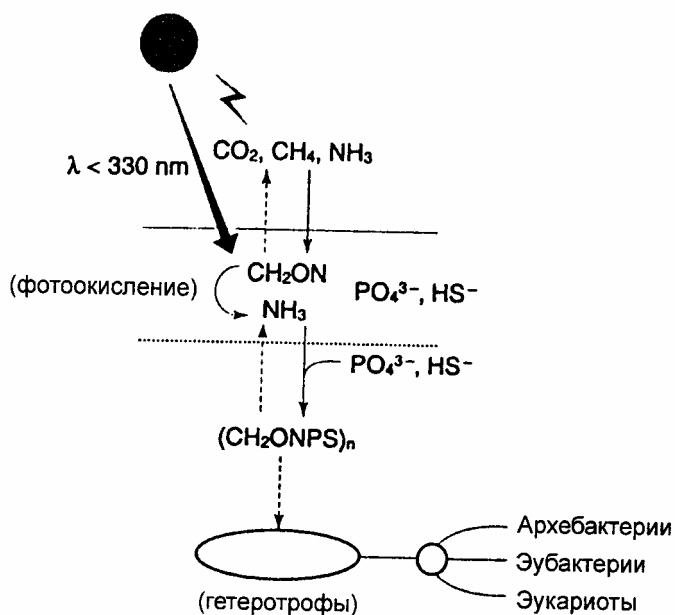


Рис.2. Упрощенное представление концептуальной модели А.И.Опарина о возникновении жизни на Земле

Под воздействием УФ излучения или каких-либо других источников энергии произошел синтез органической материи из химических веществ, находящихся в атмосфере с высоким восстановительным потенциалом. Некоторые фотоокислительные реакции могли происходить в первичном океане с включением фосфатов и серы, последующая полимеризация могла иметь место в нижних слоях воды. Эта эволюция вела к происхождению гетеротрофов при наличии неопределенности относительно дальнейшего филогенетического развития.

В течение нескольких десятилетий рассматриваемая модель оставалась практически неизменной. Были проведены экспериментальные работы, показывающие возможность синтеза в моделируемой первичной атмосфере под воздействием электрических разрядов, ионизирующих частиц и/или УФ излучения аминокислот, низкомолекулярных пептидов, сахаров, гетероциклических соединений и других биохимических молекул.

Однако эта гипотеза не была способна объяснить филогенетические и биохимические представления о дифференциации архейных, бактериальных и эукариотных организмов и предполагаемые термофильные характеристики их более ранних предшественников. Не поддавалось объяснению и происхождение оптической изомерии (хиральности).

Классификация живых организмов. В соответствии с физиологическими и биохимическими характеристиками, морфологией и местами обитания (т.е. фенотипическими признаками) все живые организмы подразделяются на большие таксономические группы. Филогения определяется с использованием современных генных анализов и фиксируется генетическое сходство.

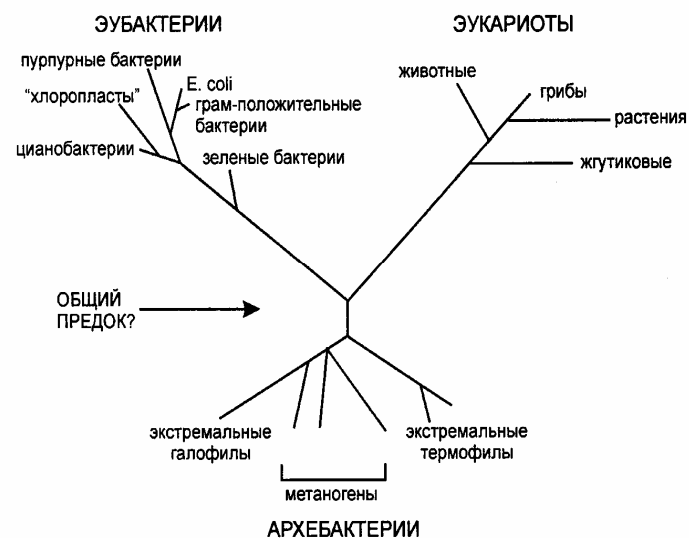


Рис. 3. Филогенетические взаимоотношения в трех царствах организмов, полученные путем расшифровки последовательностей нуклеиновых кислот

Простейшие клеточные организмы, *прокариоты*, представляют два из трех царств – эубактерии и архебактерии. Прокариоты – очень мелкие объекты в диаметре 1 мкм или менее. Они существуют в одноклеточном виде или в простых колониях. Эти микробы имеют

неразвитую субклеточную структуру с минимальной организованностью. *Эукариоты* – большие по размеру в основном многоклеточные организмы с клетками до 10 мкмоль в диаметре. Эукариоты содержат клеточные ядра и дискретные внутриклеточные органеллы, такие как митохондрии и хлоропласты.

Архебактерии – третье основное царство организмов. Они преимущественно развиваются в экстремальных условиях и представляют собой таксономическую группу с отличающимися биохимическими процессами. Следы их жизнедеятельности практически не сохранились и наблюдаются лишь нечеткие аномалии по изотопному составу углерода в некоторых архейских и ранних протерозойских отложениях.

Модель происхождения жизни на глинистой матрице. В начале 1980-х гг. А. Дж. Кайрнс-Смит (а ранее – Б. Б. Полюнов) высказал предположение, что глины, образованные в процессе выветривания коренных пород, могли ускорить биохимическую эволюцию. Рис. 4. Простой органический синтез имел место на поверхностях глин под воздействием фотовозбуждающей системы. Глины служили своеобразной «генетической» матрицей, позволяющей протекание реакции полимеризации органических веществ. Синтез рибозы, а затем нуклеиновых кислот мог привести к возникновению рибонуклеинового мира, переходу к ДНК как генетическому материалу и возможно к образованию фототрофов.

Модель основана на предположении о формировании глинистых минералов или «кристаллических генов» с возобновляемыми нарушениями в их кристаллических структурах. В ходе неорганической эволюции накапливались те «кристаллические гены», которые обладали способностью ускорять множественный синтез и размножать полученные продукты путем формирования «комплексных жизненных ступок». Под воздействием атмосферных электрических разрядов происходил синтез простых органических соединений, ведущих в конечном итоге к многоступенчатому сложному синтезу.

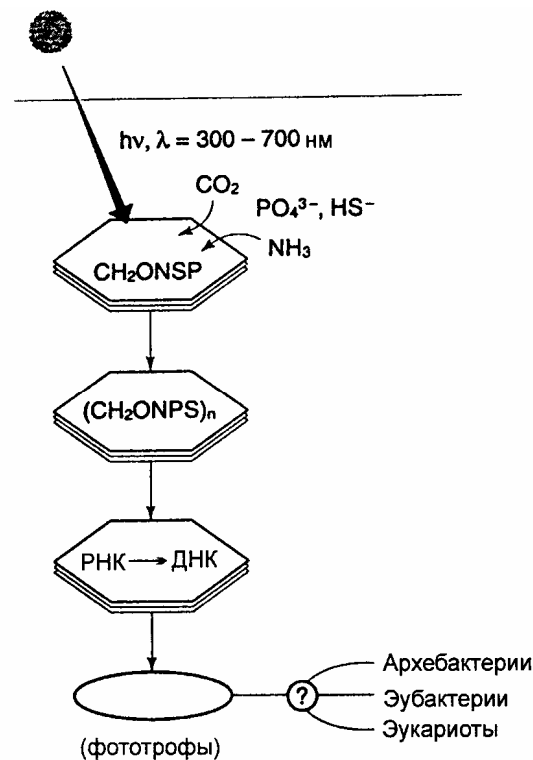


Рис. 4. Упрощенное представление модели происхождения жизни на глинистой матрице Кайрнса-Смита

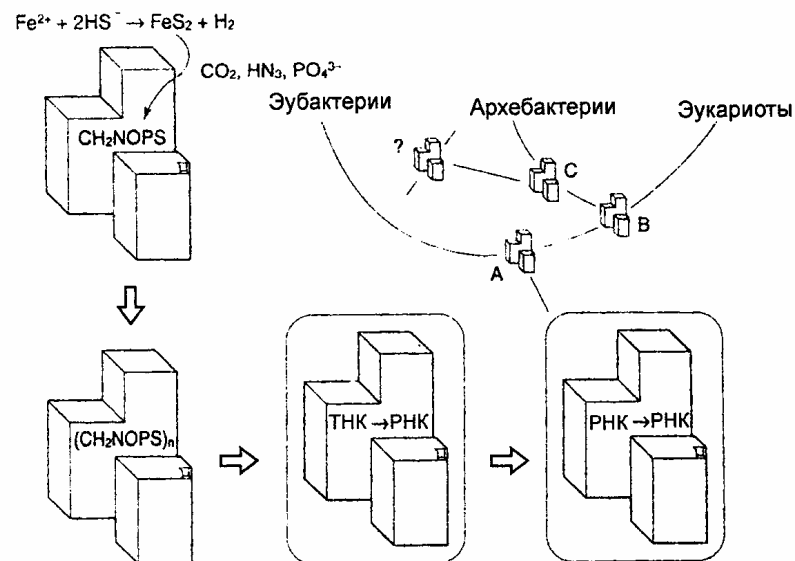
На предбиотической Земле было реальным существование различных глинистых минералов и источников энергии. Быстрое поглощение УФ радиации глинами донных отложений мелководных лагун или высыхающими грязевыми выходами минимизировало фотохимическое окисление органической материи. Свойство глин концентрировать катионы и фосфаты облегчало включение металлических катализаторов в состав ферментов и фосфора в процессы метаболизма биосинтеза и энергии, а также способствовало эволюции ферментативной активности

Оптическая изомерия возникла, по-видимому, на этом этапе, исходя из оптической изомерии самих глинистых минералов.

Слабые места теории: неопределенно объяснение размножения «генетических» участков глин при поступлении световой энергии. Нет информации о глинах, существовавших на Земле ранее 3,5 млрд.л.н. В то время как именно их свойства могли сыграть критическую роль в органическом синтезе, поскольку не все глины имеют структуру, пригодную для формирования кристаллических генов. Теория не способна объяснить микробную филогению, например, возникновение термофилии, серного метаболизма и дифференциации бактерий и археобактерий.

Пиритовая модель возникновения жизни. В конце 1980-х гг. Г.Вёхтершойзер предложил наиболее детальную биохимическую модель возникновения жизни. Синтез органического вещества вполне возможен на основе синтеза пирита. Поверхность пирита служила для стабилизации и защиты реакционных продуктов, приводя одновременно к комплексной полимеризации и возникновению клеточной организации за счет вкрапления зерен пирита. Развитие тририбонуклеиновой (ТНК) предшествовала возникновению системы, основанной на ДНК.

Синтез пирита снабжал энергией, соответствующей реакции образования органического вещества, и формирующаяся поверхность пиритовых кристаллов служила первоначальной «средой» для роста и дальнейшей трансформации органических молекул. Предполагается, что сульфид железа, двуокись углерода, аммиак и фосфат также могли участвовать в этих взаимодействиях.



Тиозфирная теория возникновения жизни. Эту теорию предложил в начале 1990-х гг. С.де Дув. Она основана на эволюции соединений серы. Тиозфиры представляют собой органические сульфиды. В данной теории тиозфирный мир рассматривается как предшественник рибонуклеинового.

Эта теория являлась попыткой устранения неопределенности в предбиотических механизмах, возникающих при объяснении возникновения РНК из «первичного бульона». Она основана на предположении, что каталитические полипептиды (короткие последовательности аминокислот) могли спонтанно возникнуть из тиозфирных производных. Сами аминокислоты могли сформироваться или путем предбиотического синтеза в атмосфере и океане, или поступать с метеоритами.

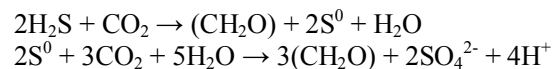
Эволюция биогеохимических циклов

Начало развития жизни, и, соответственно, начало эволюции биогеохимических циклов можно соотнести с возрастом самых ранних осадочных пород, образованных в водной среде. Считается, что первые осадочные породы сохранились в районах Лимпопо (Южная Африка), Исуа (Гренландия), Варавуна (Австралия) и Алдан (Азия).

В течение геологической истории Земли океанические циркуляции, тектонические деформации и климатические явления в очень сильной степени влияли на пространственное и временное распределение органической массы и ее осаднение. Т.к. двуокись углерода, присутствующая в системе «океан – атмосфера», предопределяет поверхностную температуру, то вполне вероятно, что глобальные изменения климата и цикла углерода в истории Земли были взаимозависимы. Биогеохимические циклы возникли на ранних стадиях эволюции жизни и, несомненно, были отражением различных стадий этой эволюции.

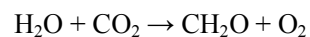
Эволюция биогеохимического цикла кислорода. Анализ геологических данных показывает, что фотосинтез мог начать функционировать с отметки 2,7 млрд.л.н. В настоящее время невозможно сделать точное заключение, был ли древний фотосинтетический процесс основан на сульфиде водорода (бескислородный), воде (кислородный) или каких-либо других субстратах как донорах электронов. Более вероятно предположить первый тип фотосинтеза.

Анаэробные фотосинтетические бактерии, подобные современным зеленым и пурпурным серобактериям, могли быть первыми фотосинтетическими организмами. Они могли бы продуцировать кислород за счет анаэробного окисления восстановленных соединений серы – H_2S и S :



Кислород не образуется при данном типе фотосинтеза, в отличие от кислородного фотосинтеза, осуществляемого другими организмами, включая цианобактерии, высшие водоросли и растения. Доказательством существования фотосинтеза ранее 3,5-3,0 млрд.д.н. с участием анаэробных бактерий было открытие сульфатных минералов в отложениях того времени.

Кислородный фотосинтез продуцирует кислород. Этот процесс может осуществляться цианобактериями, но они способны утилизировать и воду вместо сероводорода с выделением кислорода. Этот тип фотосинтеза характерен для всех цианобактерий, водорослей и высших растений:



Обратная реакция ($CH_2O + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2$) описывает процесс дыхания.

Для развития живых организмов на суше и в поверхностных водах требовалась близкая к современной концентрация кислорода в атмосфере (15-20%). Кислородная атмосфера Земли была сформирована в течение фанерозоя и затем существенно не менялась. При достижении этой концентрации эукариоты широко распространились по земной поверхности, и их биогеохимия стала играть важную роль в цикле углерода.

Кислородный фотосинтез имеет возраст около 2 млрд.лет. До этого времени масса кислорода в атмосфере была незначительна, т.к. кислород, образованный в процессе фотосинтеза, целиком расходовался на окисление органического и неорганического вещества. Поступление этого вещества происходило из глубин Земли за счет вулканической деятельности или за счет выветривания геологических пород. После снижения вулканической деятельности начался быстрый рост массы атмосферного кислорода, которая в позднем протерозое достигла уровня, составляющего 15-20% массы кислорода в современной атмосфере.

Роль кислорода в эволюции биогеохимических циклов на Земле чрезвычайно высока вследствие его химизма, проявляющегося в окислительно-восстановительных реакциях, на которых основано большинство этих циклов.

В настоящее время кислород является одним из наиболее распространенных элементов на земной поверхности. Он существует в виде оксидов, среди которых преобладают оксиды железа, алюминия и кремния. Основные запасы связанного кислорода находятся в океане (около $1,2 \cdot 10^{12}$ млн.т). Атмосфера содержит молекулярный кислород (около $1,2 \cdot 10^9$ млн.т).

Эволюция биогеохимического цикла азота

В бескислородной атмосфере цикл азота можно представить следующими термодинамически возможными реакциями:

- трансформацией иона аммония до молекулярного азота в реакциях с диоксидом углерода, сульфата или окисного железа;
- фиксацией молекулярного азота различными органическими и неорганическими восстановительными агентами;
- окислением иона аммония до нитритов и нитратов с выделением молекулярного азота;

- денитрификацией;
- нитритным или нитратным дыханием;
- окислением иона аммония до нитритов или нитратов оксидом железа (III);
- ассимиляцией нитратов;
- ассимиляцией и диссимиляцией иона аммония.

В настоящее время 3 первые реакции считаются филогенетически древними и они известны для ряда сохранившихся до настоящего времени организмов. Остальные о-в трансформации термодинамически возможны, но их протекание в анаэробных условиях того времени еще не подтверждено экспериментально.

Известно, что современный природный замкнутый цикл азота базируется на микробной денитрификации и двух обязательных аэробных процессах, связанных с окислением нитритов и аммония. Эта замкнутость могла быть достигнута только тогда, когда началось возращение содержания кислорода в атмосфере. Рост содержания кислорода способствовал замкнутости азотного цикла и ускорял эволюцию микробов, окисляющих аммоний и нитриты. Денитрификаторы развивались с эволюцией дыхания, а нитрификаторы – с окислительным звеном азотного цикла и образованием пула нитратов океана, которые могли формироваться только за счет фотохимических реакций.

Эволюция биогеохимического цикла углерода. Ранняя химическая эволюция была почти полностью привязана к эре докембрия, датированной с момента возникновения твердой Земли (~ 4,5 млрд.л.н.).

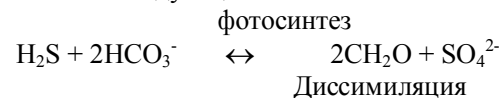
Согласно представлениям М.И.Будыко с соавторами, геохимический баланс углерода резко менялся в течение девона и карбона. В эти геологические периоды происходила основная эволюция высших наземных растений, включая развитие корневой системы, морфологического состава стеблей, листового и репродуктивного аппарата, что приводило к заселению новых экологических ниш. В условиях влажного климата, благоприятного для фотосинтеза, это заселение и накопление биомассы сопровождалось отложением и захоронением больших количеств органического углерода. Наземное происхождение этого углерода подтверждается изотопным составом как серы, так и самого углерода.

Распространение CO₂-фиксаторов в наземных экосистемах оказало громадное влияние на цикл углерода, поскольку вследствие его биофильности происходило формирование второго пула для стока атмо-

сферного CO₂ и включение углерода в состав биомассы растений. В осадочных породах в больших количествах присутствуют как карбонаты (известняки, доломиты и др.), так и биогенный углерод (восстановленные формы). Органический углерод в древних отложениях представлен в виде остатков биологических веществ.

Карбонаты формировались путем осаждения из водных растворов равновесной гетерогенной системы CO_{2(газ)} ↔ HCO_{3⁻(вода)} ↔ CO_{3²⁻(осадок)}. Наземный органический углерод начал формироваться за счет фотосинтеза.

Эволюция биогеохимического цикла серы. Возникновение диссимиляторной сульфат-редукции в бактериальном фотосинтезе было важным шагом в ранней эволюции биогеохимического цикла серы. Поскольку основанный на H₂S бактериальный фотосинтез предшествовал современному фотосинтезу, основанному на расщеплении воды, сульфат-ион должен был возникнуть задолго до свободного кислорода. В свою очередь, наличие соединений окисленной серы было необходимо для увеличения скорости процесса диссимиляторной сульфат-редукции, энергетически богатого обратимого процесса в первичной фотосинтетической реакции, соединяющей восстановление сульфатов до сульфида водорода с окислением органических веществ. Упрощенное представление этих процессов, управляемых солнечным светом, может быть следующим:



Поскольку сульфат служит окислителем вместо кислорода для органических соединений типа CH₂O в этой обратимой реакции, диссимиляторный процесс может рассматриваться как анаэробное или сульфатное дыхание. В течение ранней истории Земли эта реакция, возможно, играла ключевую роль, поскольку могла быть ответственной за крупномасштабную трансформацию сульфидов в сульфаты в биологически управляемом цикле серы.

Начало биогенной продукции сульфидов соотносится со временем около 2,5 млрд.л.н.

3.6 Методические указания к выполнению практических работ

№ п/п	часы	Тема занятия Основные вопросы	Л-ра
1	4	Понятие о биогеохимии как науке. Химический состав земной коры как фактор биосферы 1. Исторические и методологические предпосылки возникновения биогеохимии как науки. 2. Связь биогеохимии с другими науками. 3. Задачи биогеохимии. 4. Практическое значение биогеохимии. 5. Относительное содержание химических элементов в земной коре. 6. Формы нахождения химических элементов в земной коре. 7. Особенности распределения химических элементов в земной коре.	1,2,3,6,8
2	4	Живое вещество. Биогеохимические функции живого вещества 1. Состав живого вещества. 2. Биологический круговорот химических элементов. 3. Природные вариации концентраций химических элементов в организмах. 4. Понятие о биогеохимических функциях и биогеохимических принципах живого вещества. 5. Основные группы биогеохимических функций живого вещества: газовые, концентрационные, окислительно-восстановительные, биохимические. 6. Биогеохимические функции человека. 7. Организмы-концентраторы	1,2,3,6
3	4	Биогеохимия газовой оболочки Земли, гидросферы и педосферы 1. Биогеохимическая эволюция состава атмосферы и жизнедеятельности организмов в	1,2,3,5,6 8,9

		массообмене газов. 2. Геохимия и биогеохимия аэрозолей. 3. Значение атмосферного переноса водорастворимых форм химических элементов. 4. Состав Мирового океана – результат биогеохимической деятельности организмов. 5. Особенности геохимии поверхностных вод суши. 6. Трансформация геохимического состава природных растворов при переходе речных вод в океанические. 7. Педосфера – регулятор углерод-кислородного массообмена в биосфере. Органическое вещество педосферы. 8. Биогеохимическая трансформация минерального вещества педосферы. 9. Распределение рассеянных элементов в педосфере. 10. Педосфера – регулятор биогеохимических циклов тяжелых металлов	
4	4	Миграция веществ 1. Типы миграции: механическая, физико-химическая, биогенная. 2. Интенсивность биологического поглощения.	1,2,9,10, 12
5	4	Геохимические барьеры 1. Геохимические барьеры. 2. Факторы, влияющие на химический состав растений. 3. Безбарьерные и барьерные организмы. 4. Дефицитные и избыточные элементы. 5. Биогеохимические провинции. 6. Роль химических элементов в проявлении эндемий	1,2,7,10, 12
6	4	Биогеохимические циклы важнейших химических элементов 1. Общие закономерности биогеохимического круговорота веществ. 2. Циклы элементов, поступивших в биосферу в результате дегазации.	1,2,6,7, 11,14

		3.Биогеохимический цикл углерода. 4.Влияние живого вещества на геохимию кислорода и водорода в биосфере. 5.Биогеохимический цикл серы. 6.Биогеохимический цикл азота.	
7	4	Биогеохимические циклы важнейших химических элементов 1.Циклы элементов, поступивших в биосферу в результате мобилизации из земной коры: Биогеохимические циклы кальция и магния Биогеохимические циклы калия и натрия 2.Биогеохимический цикл фосфора. 3.Биогеохимические циклы железа, алюминия и марганца. 4.Общие черты циклов и распределения масс тяжелых металлов в биосфере. 5.Биогеохимические циклы ртути, свинца, цинка, кадмия, меди.	1,2,6,7, 11,14
8	2	Экологические проблемы современности и биогеохимия 1.Деформация природных биогеохимических циклов хозяйственной деятельностью человеческого общества. 2.Локальные (импактные) антропогенные биогеохимические аномалии тяжелых металлов	1,2,3,4, 11,13

3.7 Глоссарий

Абсорбция – объемное поглощение газа или пара жидкостью, приводящее к образованию раствора.

Биогеохимия – комплексная научная дисциплина на стыке биологии и геохимии, изучающая химический состав живых организмов и их участие в геохимических процессах, происходящих в биосфере Земли.

Биогеоценология - наука о единой взаимообусловленности природного комплекса.

Биосфера Земли – открытая, сложная, многокомпонентная, саморегулирующаяся, связанная с космосом система живого вещества и минеральных соединений, образующая внешнюю оболочку планеты.

Биогеоценоз – взаимообусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом вещества и энергии.

Биогенное вещество - органо-минеральные и органические продукты, созданные живым веществом (каменные угли, битум, горючие газы, нефть, торф, сапропель, лесная подстилка, гумус).

Биокосное вещество – минеральные вещества, образующиеся в результате взаимодействия живых организмов с неживой природой.

Биогеохимическая активность вида - способность вида накапливать определенное количество химического элемента, выраженная в суммарных кларках концентрации.

Биогеохимическая провинция - область на поверхности Земли, отличающаяся содержанием химических элементов в почвах, водах и других средах.

Геохимические барьеры – участки земной коры, в которых на коротких расстояниях происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как результат, их накопление.

Геохимия ландшафтов – изучает химический состав горных пород, слагающих ландшафт и типы миграций химических элементов в ассоциациях ландшафта.

Живое вещество – совокупность организмов планеты или какой-нибудь ее части, выраженная в единицах массы, энергии, информации.

Коэффициент биологического поглощения - эмпирический биогеохимический показатель, характеризующий интенсивность биологического поглощения элементов.

Ноосфера – особый этап развития планеты, особая ее оболочка, в которой проявляется деятельность человеческого общества.

Организованность биосферы – единство, равноценность и связь ее частей.

Техногенез – геохимическая деятельность человечества.

Экология – исследует структуру, организацию, функциональные связи и взаимовлияние компонентов биогеоценоза, а также потоки энергии в экосистеме.

3.8 Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Безуглова, О.С. Биогеохимия: учебное пособие для вузов/О.С.Безуглова, Д.С.Орлов; - Ростов-на-Дону:Феникс, 2000. - 320с.
2. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии: учебник/В.В.Добровольский.-М.:Академия, 2003. - 400с.
3. Панов В.П. Теоретические основы защиты окружающей среды: учебное пособие/ В.П.Панов, Ю.А.Нифентов, А.В. Панин; под ред. В.П.Панова.-М.: «Академия», 2008.-320с.
4. Хотунцев Ю.Л.Экология и экологическая безопасность: учебное пособие- 2-изд,перераб.-М.: «Академия», 2004- 480с.

Дополнительная литература

5. Вернадский, В.И. Биосфера и ноосфера: научное издание / Предисловие Р.К.Баландина - М.: Айрис-пресс, 2004. - 576с.
6. Башкин, В.Н. Биогеохимия: учебник/ В.Н.Башкин, Н.С.Касимов – М.: Научный мир, 2004. – 648 с.
7. Перельман А.И. Геохимия: учебник / А.И.Перельман - М.: Высшая школа, 1989. 527 с.
8. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения: научное издание/В.И.Вернадский - М.: Наука, 1987. 358 с.
9. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние: учебник/В.В.Добровольский – М.: Мысль, 1983. 269с.
10. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: учебное пособие./В.А.Алексеен – М.: Логос, 2000. – 626 с.
11. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях: научное издание/А.Кабата-Пендиас, Х. Пендиас – М.: Мир, 1989. 439 с.
12. Алексеенко В.А. Геохимические методы поиска полезных ископаемых: учебник/В.А.Алексеенко – М.: Логос. 2000. – 354 с.
13. Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учебник/ И.Н.Лозановская, Д.С.Орлов, Л.К.Садовникова - М.: Высш. шк. 1998. - 287 с.
14. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае: научное издание/М.А.Мальгин - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1978. - 272 с.

IV. Методические указания по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов по курсу биогеохимии призвана не только закреплять и углублять знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

При выполнении плана самостоятельной работы студенту необходимо прочитать теоретический материал не только в учебниках и учебных пособиях, указанных в библиографическом списке, но и познакомиться с публикациями в периодических изданиях.

Студенту необходимо творчески переработать изученный самостоятельно материал и предоставить его для отчета в форме реферата или конспекта.

Проверка выполнения плана самостоятельной работы проводится на семинарских занятиях, во время защиты практической работы, индивидуальных занятиях.

Темы	К-во час	Формы отчетности	Сроки
1. Биогеохимия как наука. Эволюционная биогеохимия.	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия
2. Химический состав земной коры как фактор биосферы	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия
3. Живое вещество. Биогеохимические функции живого вещества	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия
4. Биогеохимия оболочек Земли.	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия
5. Миграция веществ. Типы миграции. Геохимические барьеры.	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия
6. Биогеохимические циклы важнейших химических элементов	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия
7. Экологические проблемы современности и биогеохимия	2	Написание сообщений и рефератов	До семинарского занятия

V. Темы рефератов

1. Исторические предпосылки возникновения биогеохимии как науки
2. Жизнь и научная деятельность В.И.Вернадского
3. Происхождение элементов и эволюция минеральных циклов
4. Происхождение жизни и эволюция биогеохимических циклов
5. Биогеохимический круговорот элементов в различных средах биосферы
6. Биогеохимический цикл углерода
7. Биогеохимический цикл азота
8. Биогеохимический цикл фосфора
9. Биогеохимический цикл серы
10. Биогеохимический цикл кремния
11. Биогеохимический цикл кальция и магния
12. Биогеохимический цикл натрия и калия
13. Биогеохимический цикл меди
14. Биогеохимический цикл цинка
15. Биогеохимический цикл селена
16. Биогеохимический цикл бора
17. Взаимодействия биогеохимических циклов
18. Биогеохимические методы поиска полезных ископаемых
19. Биогеохимические провинции

Содержание и объем введения: актуальность проблемы, обоснование темы. Постановка цели и задач. Объем 2-3 стр.

Основная часть должна включать основные вопросы, подлежащие освещению. Самостоятельной работой студента является подбор и составление полного списка литературы (кроме указанного преподавателем) для освещения и обобщения новейших достижений науки по теме реферата. Выявление дискуссионных, выдвигающих спорные вопросы и проблемы ученых. Объем: 20-25 стр.

Заключение должно включать обобщение анализа литературы и выводы. Объем: 2-3 стр.

Список использованной литературы: не менее 10-15 источников.

Примечание: Тематический план примерный. Студент имеет право на выбор темы по своим интересам.

VI. Контрольные вопросы, выносимые на экзамен

1. Исторические и методологические предпосылки возникновения биогеохимии как науки. Краткая история науки.
2. Первичный синтез элементов.
3. Эволюция литосферы.
4. Эволюция атмосферы.
5. Эволюция гидросферы.
6. Предбиотическая Земля и минеральные циклы.
7. Возникновение жизни на Земле.
8. Эволюция биогеохимического цикла кислорода.
9. Эволюция биогеохимического цикла азота.
10. Эволюция биогеохимического цикла углерода.
11. Эволюция биогеохимического цикла серы.
12. Общие черты циклов и распределение масс дегазированных элементов.
13. Основные понятия и задачи биогеохимии.
14. Биогеохимический цикл углерода
15. Связь биогеохимии с другими науками. Практическое значение биогеохимии.
16. Биогеохимический цикл кислорода.
17. Относительное содержание и формы химических элементов в земной коре.
18. Биогеохимический цикл водорода.
19. Особенности распределения химических элементов в земной коре.
20. Биогеохимический цикл азота.
21. Живое вещество. Химический состав. Микроэлементы.
22. Биогеохимический цикл серы.
23. Биологический круговорот химических элементов.
24. Биогеохимический цикл фосфора.
25. Биогеохимия газовой оболочки Земли.
26. Биогеохимический цикл кремнезема.
27. Биогеохимия гидросферы.
28. Биогеохимический цикл железа.
29. Педосфера – регулятор углерод-кислородного массообмена в биосфере.
30. Биогеохимический цикл алюминия.
31. Органическое вещество педосферы.
32. Биогеохимический цикл марганца.

33. Биогеохимическая трансформация минерального вещества педосферы.
34. Биогеохимический цикл кальция.
35. Типы и виды миграции элементов в земной коре.
36. Биогеохимический цикл магния.
37. Геохимические барьеры.
38. Биогеохимический цикл натрия.
39. Понятие о биогеохимических функциях и биогеохимических принципах живого вещества.
40. Биогеохимический цикл калия.
41. Основные группы биогеохимических функций живого вещества.
42. Общие черты циклов и распределения масс тяжелых металлов в биосфере.
43. Факторы, влияющие на химический состав растений.
44. Биогеохимический цикл ртути.
45. Распределение химических элементов по органам растений.
46. Биогеохимический цикл свинца.
47. Биогеохимические провинции.
48. Биогеохимический цикл цинка.
49. Роль химических элементов в проявлении эндемий.
50. Биогеохимический цикл меди.
51. Воздействие человеческого общества на биогеохимические процессы на протяжении истории человечества.
52. Биогеохимический цикл кадмия.
53. Деформация глобальных, региональных и локальных биогеохимических циклов в результате производственной деятельности человеческого общества.
54. Роль продуктов метаболизма живых организмов и их остатков в миграции тяжелых металлов в поверхностных водах суши.
55. Главные формы нахождения химических элементов в речных водах.
56. Основные звенья глобального цикла азота.
57. Закономерности перераспределения тяжелых металлов при биогеохимической трансформации минерального вещества почвы.
58. Последствия техногенной эмиссии двуокиси серы.
59. Деформация биогеохимических циклов массообмена под воздействием сельскохозяйственного производства на примере цикла фосфора.
60. Интенсивность биологического поглощения.

VII. Контрольно-измерительные материалы для проверки остаточных знаний

Контрольная работа по вариантам

1. В чем заключается сущность и научное новаторство идей В.И.Вернадского о живом веществе?
2. Дайте определение понятия «биосфера».
3. Каковы соотношения биогеохимии с геохимией, биологией и почвоведением?
4. Охарактеризуйте основные этапы развития научных взглядов на цикличность миграции вещества под воздействием проявлений жизни.
5. В каких отраслях народного хозяйства используются результаты биогеохимических исследований?
6. Для решения каких актуальных общемировых проблем приоритетны принципы биогеохимии?
7. Каковы принципиальные различия главных и рассеянных элементов в земной коре?
8. Изложите представления В.И.Вернадского о рассеянии химических элементов и формах их нахождения.
9. Перечислите распространенные формы нахождения элементов в земной коре.
10. Приведите примеры геохимической неоднородности земной коры как главного компонента состава окружающей среды.
11. Укажите главные особенности состава живого вещества Земли. Какие группы организмов определяют основные черты состава живого вещества планеты?
12. Дайте определение понятия «микроэлементы», рассмотрите их биологическое значение.
13. Раскройте понятие «биологический круговорот»; сопоставьте отличительные черты биологического круговорота в океане и на суше.
14. Кем предложен и как определяется биологический параметр, характеризующий интенсивность биологического поглощения элементов?
15. Какие зольные элементы наиболее активно вовлекаются в биологический круговорот и какие являются наиболее инертными? Рассмотрите классификацию элементов по интенсивности их вовлечения в биологический круговорот.
16. Приведите примеры биогеохимического эндемизма.
17. В какой группе современных организмов связана большая часть углерода углекислого газа ($C_{орг}$), фиксированного при фотосинтезе?
18. В остатках каких организмов связана большая часть $C_{орг}$, фиксированного в фотосинтезе за всю геологическую историю?

19. Какие группы организмов в настоящее время выделяют большую часть кислорода?
20. К каких формам находится кислород, выделенный фотосинтезирующими организмами за всю геологическую историю?
21. Охарактеризуйте глобальные газовые функции микроорганизмов.
22. Каковы биогеохимические факторы, влияющие на «парниковый эффект»?
23. Что собой представляют процессы биометаллизации и каково их глобальное значение?
24. Благодаря каким биогеохимическим процессам в аэрозолях аккумулируются тяжелые металлы?
25. Как изменялся состав Мирового океана под влиянием биогеохимической деятельности организмов на протяжении геологической истории?
26. Какие биогеохимические факторы влияют на состав речных вод?
27. Перечислите главные формы нахождения химических элементов в речных водах.
28. Какова роль продуктов метаболизма живых организмов и их остатков в миграции тяжелых металлов в поверхностных водах суши?
29. Дайте оценку педосфере как глобальному биогеохимическому фильтру газов, выделяемых в атмосферу.
30. Рассмотрите внутрипочвенные биогеохимические циклы газов, осуществляющиеся бактериальными системами.
31. В каких почвах продуцируется наибольшее количество углекислого газа? В каких почвах, связанных системой геохимического сопряжения, углекислотное дыхание почвы подавляется?
32. Какие две противоположно направленные функции выполняет гумус почвы по отношению к рассеянным металлам?
33. Изложите представления о минералого-геохимических провинциях педосферы. Приведите примеры провинций, назовите их отличительные особенности.
34. Каков механизм фиксации избыточных масс тяжелых металлов и близких им поливалентных элементов в почвах?
35. Рассмотрите роль бактерий в аккумуляции тяжелых металлов.
36. Каковы источники поступления масс химических элементов, вовлекаемых в глобальные миграционные циклы в биосфере?
37. Чем обусловлено неодинаковое время оборота масс углерода, связанные в живом веществе суши и океана?
38. Какие биогеохимические процессы обуславливают структуру глобального цикла серы?
39. Назовите основные звенья глобального цикла азота

40. Каковы общие черты циклов и распределения масс дегазированных химических элементов в биосфере?
41. В чем заключается проблем распределения масс кальция в биосфере?
42. Какой элемент из группы щелочных и щелочно-земельных металлов в наибольшем количестве переносится из океана на сушу?
43. Каковы роль и особенности тяжелых металлов в биосфере?
44. Перечислите основные процессы миграции тяжелых металлов в окружающей среде. Какова роль в этих процессах живых организмов?
45. Какими причинами можно объяснить повышенную концентрацию металлов в аэрозолях по сравнению с развеиваемыми ветром горными породами?
46. Какое значение для массообмена металлов в биосфере имеют процессы биометилизации?
47. Перечислите общие черты глобальных циклов и распределения масс тяжелых металлов в биосфере.
48. Перечислите типы миграции веществ
49. Дайте понятие геохимического барьера. Какие барьеры вам известны?
50. Каковы основные группы биогеохимических функций живого вещества?
51. Что представляют из себя организмы-концентраторы?
52. Какие факторы влияют на химический состав растений?
53. Как распределяются химические элементы по органам растений?
54. Какую роль играют химические элементы в проявлении эндемий?
55. Проанализируйте развитие воздействия человеческого общества на биогеохимические процессы на протяжении истории человечества.
56. Рассмотрите деформацию глобальных, региональных и локальных биогеохимических циклов в результате производственной деятельности человеческого общества.
57. Какие глобальные проблемы возникают в результате включения в природный цикл углерода масс углекислого газа индустриального происхождения?
58. Каковы последствия техногенной эмиссии двуокиси серы? Какие территории подвержены «кислотным дождям» и где это явление отсутствует?
59. Рассмотрите деформацию биогеохимических циклов массообмена под воздействием сельскохозяйственного производства на примере циклов азота, фосфора и калия.
60. Какова проблема городских и индустриальных агломераций и будущего человечества?