**Биогенная миграция**

Биогенная миграция - одна из наиболее сложных форм миграции, обусловленная совокупной жизнедеятельностью живых организмов.

Роль живых организмов в процессах биосферы хорошо характеризует *закон биогенной миграции атомов* В.И. Вернадского (по А.И. Перельману): «Миграция химических элементов в биосфере осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем, которое действовало в биосфере в течение геологической истории».

Живое вещество активно влияет на геохимическую среду, дифференциацию, отток и задержание химических элементов через пищевые цепи, метаболиты, постмортальные остатки. Растительные и животные организмы удерживают в своих тканях миллиарды тонн минеральных веществ. чем больше биогенное значение химических элементов, тем лучше они защищены от прямого выноса грунтовыми и речными водами. Поэтому элементы с высокой степенью биогенности (C, Ca, K, S, P, N) обладают меньшей миграционной способностью, чем элементы, не играющие существенной роли в химическом составе живого вещества (Cl, Mg). Химические элементы малой биогенности легко отбрасываются или мало захватываются, выносятся далеко за пределы ареала своего образования, участвуют в процессах соленакопления (карбонаты, бикарбонаты, сульфаты и хлориды натрия и магния).

По Вернадскому, работа живого вещества в биосфере может проявляться в двух основных формах:

а) химической (биохимической) – I род геологической деятельности;

б) механической – II род такой деятельности.

*Геологическая деятельность I рода* – построение тела организмов и переваривание пищи – конечно, является более значительной. Классическим стало функциональное определение жизни, данное Ф. Энгельсом: «жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь».

Сейчас появилась возможность вычислить скорость этого обмена. Так, по данным Л.Н. Тюрюканова, в пшенице, например, полная смена атомов происходит для фосфора за 15 суток, а для кальция – в 10 раз быстрее. По подсчетам биолога П.Б. Гофмана-Кадошникова, в течение жизни человека через его тело проходит 75 т воды, 17 т углеродов, 2,5 т белков, 1,3 т жиров. Между тем по геохимическому эффекту своей физиологической деятельности человек далеко не самый важный вид разнородного живого вещества биосферы. Геохимический эффект физиологической деятельности организмов обратно пропорционален их размерам, и наиболее значимой оказывается деятельность прокариотов – бактерий и цианобактерий.

Большое значение имеет также количество пропускаемого через организм вещества. В этом отношении максимальный геохимический эффект на суше имеют грунтоеды, а в океане – илоеды и фильтраторы. Еще Ч. Дарвин подсчитал, что слой экскрементов, выделяемых дождевыми червями на плодородных почвах Англии, составляет около 5 мм в год. Таким образом, почвенный пласт мощностью в 1 м дождевые черви полностью пропускают через свой кишечник за 200 лет. В океане с дождевыми червями по «пропускной способности» могут конкурировать их близкие родственники, представители того же типа кольчатых червей – полихеты, а также ракообразные. Достаточно 40 экземпляров полихет на 1 м2, чтобы поверхностный слой донных осадков мощностью в 20 – 30 см ежегодно проходил через их кишечник. Субстрат при этом существенно обогащается кальцием, железом, магнием, калием и фосфором по сравнению с исходными илами.

Копролиты (ископаемые остатки экскрементов) известны в геологических отложениях, однако, большинство их при геологических описаниях не учитывается. Происходит это из-за слабой изученности вопроса и из-за отсутствия диагностических признаков для определения копролитов. Между тем в донных отложениях современных водоемов фекальные комочки беспозвоночных распространены очень широко и нередко являются основной частью осадка. В южной Атлантике, например, илы почти нацело слагаются фекалиями планктонных ракообразных, а по берегам Северного моря донные осадки, образованные фекалиями мидий, имеют мощность до 8 м.

*Биогенная миграция атомов II рода* – механическая – отчетливо проявляется в наземных экосистемах с хорошо развитым почвенным покровом, позволяющим животным создавать глубокие укрытия (гнездовые камеры термитов, например, расположены на глубине 2 – 4 м от поверхности). Благодаря выбросам землероев, в верхние слои почвы попадают первичные невыветрившиеся минералы, которые, разлагаясь, вовлекаются в биологический круговорот. Недаром известный геолог Г.Ф. Мирчинк (1889 – 1942) называл сурка-тарбагана «лучшим геологом Забайкалья» – его норы окружены «коллекциями» горных пород, добытых с глубины нескольких метров.

Биогенная миграция атомов II рода распространена не только в наземных, но и в морских экосистемах, и здесь ее роль, может быть, еще более значительна. И на дне моря организмы строят себе укрытия, причем не только в мягком, но и в скальном грунте. Олигохеты и полихеты углубляются в грунт на 40 см и более. Двустворчатые моллюски зарываются обычно неглубоко, но некоторые из них – солениды – роют норы, достигающие глубины нескольких метров.

В зоне прибоя и на перемываемом волнами песке сверлильщики осуществляют механическую работу по перемещению химических элементов, источая скальные породы.

К биогенной миграции II рода можно отнести и перемещение самого живого вещества. Сюда относятся сезонные перелеты птиц, перемещения животных в поисках корма, массовые миграции животных. Естественно, что все эти разнообразные формы движения живого вызывают и транспортировку абиогенного вещества.

Одним из главных процессов – миграции атомов при участии живого вещества является биотический круговорот вещества и/или биогеохимические циклы отдельных химических элементов. Термин «*биогеохимические циклы*» был впервые введен В.И. Вернадским в начале 20 века.

*Биогеохимический цикл – круговорот химических элементов (или веществ) из неорганической среды через растительные и животные организмы обратно в неорганическую среду с использованием солнечной энергии или энергии химических реакций.*

В биогеохимический круговорот вовлечены все вещества и все химические элементы на планете.

Выдвигают два основных круговорота: большой (геологический) и малый (биотический).

*Большой* круговорот заключается в том, что горные породы подвергают­ся разрушению, выветриванию, а продукты выветривания, в том числе и растворенные в воде вещества, сносятся потоками воды в Мировой океан. Здесь они образуют осадки, морские напластования. Крупные медленные геотектонические изменения, опускание материков и поднятие морского дна, перемещение морей и океанов в течение длительного времени приводят к тому, что накопленные на дне морей и океанов вещества снова воз­вращаются на сушу (литосферу). Он происходит в течение сотен тысяч или миллионов лет.

В основе *малого* круговорота лежат процессы синтеза и разрушения органических соединений. *Малый* круговорот, являясь частью большого, состоит в том, что пита­тельные вещества аккумулируются в веществе расте­ний, расходуются на построение тканей растений, входят в состав органи­ческих веществ, обеспечивают жизнедеятельность самих растений, а также организмов-консументов. Продукты распада веществ (после гибели расте­ний, животных, продукты их жизнедеятельности) попадают в распоряжение почвенной и водной микрофлоры и вновь вовлека­ются в поток вещества (и энергии).

Биотический круговорот (БИК) характеризуется емкостью и скоростью круговорота.

*Емкость БИК* – максимальное количество химических элементов ландшафта, находящихся в составе живого вещества (его общая масса).

*Скорость БИК* – максимальное количество химических элементов ландшафта в составе живого вещества, образующегося и разлагающегося в единицу времени.

Обязательными параметрами для изучения биогеохи­мических циклов в природе являются следующие пока­затели:

1. Биомасса и ее фактический прирост (фито-, зоо-, мик­робная масса отдельно).

2. Органический опад (количество, состав).

3. Органическое вещество почвы (гумус, неразложив­шиеся органические остатки).

4. Элементный вещественный состав почв, вод, возду­ха, осадков, фракций биомассы.

5. Наземные и подземные запасы биогенной энергии.

6. Прижизненные метаболиты.

7. Число видов, численность, состав.

8. Продолжительность жизни видов, динамика и рит­мика жизни популяций и почв.

9. Эколого-метеорологическая обстановка среды: фон и оценка вмешательства человека.

10. Охват точками наблюдений водораздела, склонов, террас, долин рек, озер.

11. Количество загрязнителей, их химические, физи­ческие, биологические свойства (особенно СО, СО2, SO2, Р, NO3, NH3, Hg, Pb, Cd, H2S, углеводороды).

Полный цикл биологического круговорота (по Л. Родину и Н. Базилевич, 1965):

1. Поглощение поверхностью растений из атмосферы углерода, а корневой системой из почвы – азот, воду, минеральные вещества, закрепление их в телах растений, освобождение и поступление в почву с отмершими растениями, разложением опада.
2. Отчуждение частей растений растительноядными животными, превращение в их телах в органические соединения, закрепление части орг. соединений в их телах, поступление в почву с экскрементами, трупами, разложение.
3. Газообмен между поверхностью растений и атмосферой, между корневой системой и почвенным воздухом.
4. Прижизненные выделения надземными органами растений и в особенности корневыми системами части элементов в почву.

2. *Индекс биогеохимического круговорота:*

Индекс БГХК **= **

где Sб – сумма элементов (или количество одного элемента) в годовом приросте биомассы;

Sx - сумма этих же элементов (или одного элемента), выносимых водами рек данного бассейна (или части бассейна).

3. *Интенсив­ность (индекс интенсивности кругооборота)* (Н. И. Базилевич, Л. Е. Родин,1964) - характеризует разложение опада и длительность сохранения под­стилки в условиях данного биогеоценоза:



4. *Средняя продолжительность общего цикла синтеза* (В. А. Ковда, 1966) - отношение учтенной фитобиомассы к годичному фотосинтетическому приросту фитомассы.

5. *Коэффициент био­логического поглощения (КБП):*



***Круговорот углерода***

*Общая характеристика*

Углерод (лат. Carboneum), символ – *С -* химический элемент IV группы, атомный номер – 6, атомная масса 12С = 12,0000 (по определению), атомная масса смеси природных изотопов – 12,011.

Основная масса углерода биосферы аккумулирована в карбонатных отложениях дна океана (известняки и кораллы): 1,3\*1016 т, кристаллических породах - 1,0\* 1016 т, каменном угле и нефти - 3,4\*1015 т. Именно этот углерод принимает участие в медленном геологическом круговороте. Жизнь на Земле и газовый баланс атмосферы поддерживается количеством углерода, содержащегося в растительных (5\*1011 т) и животных (5\*109 т) тканях.

*История*

По распространению в Космосе углерод уступает только Н, Не и О. Он присутствует в звездах и межзвездном веществе, в кометах, в атмосфере планет, в метеоритах. Вероятно, при формировании состава протокоры Земли большую роль играли углистые метеориты, содержащие значительное количество углерода. При разогревании вещества протокоры Земли углерод взаимодействовал с водой или водородом в результате чего образовались метан и оксиды углерода. Последние, дости­гая поверхности Земли, формировали состав ранней атмосферы. Значительно позднее, с появлением свободного кислорода в атмосфере, метан с помо­щью метанокисляющих микроорганизмов стал превращаться в СО2. В настоящее вре­мя практически единственной формой углерода в атмосфере стал СО2.

Менее реакционноспособный углерод (типа вещества каменных метеоритов, из кото­рых, вероятно, образовалась мантия Земли) не принимал участия в газообразных со­единениях, а поступал на поверхность в составе изверженных пород. Только при вы­ветривании горных пород в окислительных условиях этот углерод также превращается в СО2.

Оценить запасы углерода в биоте (биомассе живых организмов), атмосфере, гидросфе­ре, почве и других подсистемах (своеобразных «резервуарах» углерода) биосферы мож­но лишь весьма приближенно. Две основные причины не позволяют сделать такую оценку принципиально более точной:

1) недостаток знаний и наблюдательных данных;

2) нарастающее антропогенное влияние на все элементы баланса углерода в био­сфере от прямых выбросов СО2 в атмосферу, до влияния загрязнителей на био­химические процессы субклеточного уровня.

*Процессы и механизмы круговорота углерода*

СО2 поступает в атмосферу в результате клеточного дыхания и процессов сгорания.

СО2 в атмосфере (23,5\*1011 т) или в растворенном состоянии в воде, служит сырьем для фотосинтеза растений и переработки углерода в органическое вещество (углеводы). Эти вещества служат углеводным питанием животным и наземным растениям.

При дыхании организмов СО2 возвращается в атмосферу. Когда наступает смерть, то бактерии разлагают и минерализуют трупы, в результате «почвенного дыхания» углерод остатков окисляется до углекислого газа и поступает в атмосферу. Микроорганизмы, обитающие в почве, превращают накопившиеся в ней остатки в органический материал гумус. Естественными источниками СО2 также являются извержения вулканов и лесные пожары. Из-за недостатка воздуха или высокой кислотности часть углерода покидает цикл, переходит в ископаемое состояние в виде торфа, залежей каменного угля, нефти (*каустобиолиты*).

*Каустобиолиты (*от греч. кaustos - горючий, bios - жизнь, lithos - камень*) – твердые горючие ископаемые органического происхождения, представляющие собой продукты преобразования остатков растительных и животных организмов под воздействием физико-химических, биологических и геологических факторов.* Термин «каустобиолиты» предложен Г. Потонье в 1888 г.

Поглощение СО2 происходит Мировым океаном, откуда часть СО2 покидает цикл в виде отложений известняка. Благодаря этому океан способен к дальнейшему поглощению СО2. При повышении температуры СО2 вновь способен выделяться из океана в атмосферу.

Однако в настоящее время человек интенсивно замыкает на себя кругово­рот веществ, в том числе и углерода:

1. Суммарная биомасса всех домашних животных уже превышает биомассу всех диких наземных животных.

2. Пло­щади культурных растений приближаются к площади естественных био­геоценозов, многие культурные растения экосистемы по своей продук­тивности значительно превосходят природные.

3. Поступление диоксида углерода в атмосферу в ре­зультате сжигания энергоносителей ведет к глобальному нарушению теплового баланса, «парниковому эффекту». За последнее столетие содержа­ние СО2 увеличилось на 10%, за 33 года содержание СО2 возросло на 25% от первоначальной величины. По прогнозам, к середине XXI века содержание СО2 в атмосфере удво­ится.

***Круговорот азота***

Для круговорота азота в элементарной наземной экосистеме характерны три основные «экологические проблемы»:

1) огромные запасы атмосферного азота (N2) непосредственно не могут использоваться высшими растениями - высшие растения усваивают азот в нитратной (NО) или аммо­нийной (NH) форме;

2) неорганические соединения азота обладают высокой растворимостью, слабо удержи­ваются почвой и легко вымываются за пределы почвенного профиля;

3) материнские (почвообразующие) породы практически не содержат азота.

*Процессы и механизмы круговорота азота*

Основу круговорота азота в экосистеме составляют четыре типа процессов: *азотфиксация, аммонификация, нитрификация и денитрификация*.

1. *Азотфиксация*

Молекулярный азот атмосферного воздуха (N2) может быть «зафиксирован», связан с другими химическими элементами и поступать в экосистему уже в доступной форме путем так называемой азотфиксации. Различают абиотическую и биотическую (биоло­гическую) азотфиксацию.

*Азотфиксация биологическая* - *усвоение молекулярного азота воздуха (N2) азотфиксирующими бактериями с образованием соединений азота, доступных для использования другими организмами.*

Азотфиксация осуществляется как свободноживущими азотфиксирующими бактериями - азотобактером, цианобактериями и др. *(несимбиотическая азотфиксация),* так и *симбиотическимы азотфиксаторами,* живу­щими в симбиозе с высшими растениями (например, клубеньковыми бактериями). Происходит с участием фермента нитрогеназы, которая катализирует восстановление N2 до NH3 в присутствии АТФ (источника энергии) и восстановителя.

Один из характерных путей попадания связанного азота в экосистему - так называемая *абиотическая азотфиксация: п*ри грозах воздух под действием электрических разрядов локально разогревается до огромной температуры (до 2000 °С), что приводит к расщеплению части молекул азота и кислорода на ионизированные атомы, которые могут реагировать друг с другом, об­разуя оксиды азота NOX. Взаимодействуя с водой, оксиды азота образуют соответст­вующие кислоты. Например NO2 образует азотную кислоту по схеме:



Таким путем связанный в форме нитратов азот (вместе с атмосфер­ными осадками) попадает в экосистему. Диссоциируя в воде, азотная кислота подкис­ляет атмосферные осадки, а нитратный ион из почвенных растворов и водоемов легко усваивается растениями при любой реакции среды.

2. *Аммонификация*

Поглощенный из почвы (в нитратной и аммонийной форме) или полученный от симбиотрофов (в основном в аммонийной форме) мине­ральный азот, растения используют для синтеза аминокислот (белков), нуклеиновых кислот и других органических азотсодержащих соединений. Таким образом, азот из ми­неральной формы нахождения переходит в органическую. В составе органических со­единений азот пребывает в фитомассе растений до ее отмирания и/или поедания жи­вотными-фитофагами, а также передается по пастбищной пищевой цепи экосистемы. В конечном итоге, все азотсодержащие органические соединения попадают в детритную пищевую цепь, где и происходит их разложение до минеральных форм, начинающееся с процессов так называемой *аммонификации.*

*Аммонификация -**разложение микроорганизмами азотсодержащих органических со­единений (белков, мочевины, нуклеиновых кислот и др.) с образованием свободного аммиака*:



3. *Нитрификация*

*Нитрификация* **-** *процесс биологического превращения восстановленных соединений азота в окисленные неорганические по схеме*:



4. *Денитрификация*

*Денитрификация* **-** *микробиологический процесс восстановления окисленных соеди­нений азота (нитратов, нитритов) до газообразных азотистых продуктов* (обычно до N2):



Денитрификация происходит в результате жизнедеятельности бактерий, факультативных анаэробов, ис­пользующих в отсутствие кислорода нитраты и нитриты в качестве окислителей *(ана­эробное дыхание).* Процесс сопряжен с окислением органических веществ и катализиру­ется особыми ферментами. В ходе денитрификации азот удаляется из почвы и воды в виде газообразного N2, поступающего в атмосферу.

Процесс *денитрификации* активно протекает во влажных, плохо аэрируемых или зато­пляемых почвах, эвтрофных водоемах, при рН 7-8, достаточном количестве нитратов и легкодоступного органического вещества. Денитрификацию считают главной причи­ной потерь азота в земледелии - удобрения могут утрачивать в результате денитрифи­кации до 50% связанного азота. Хотя процессы денитрификации осуществляются мик­роорганизмами не с целью получения азота, но именно они «замыкают» круговорот азота в экосистеме, возвращая газообразный N2 в атмосферу.

Круговорот азота в настоящее время подвергается сильному воздейст­вию со стороны человека. К значительным изменениям в цикле азота приводят процессы:

- массовое производство азот­ных удобрений и их использование приводит к избыточному накоплению нитратов;

- подав­ление деятельности микроорганизмов в результате загрязнения почвы от­ходами промышленности приводит к снижению скорости превращения аммиака в нитраты;

- азот, поступающий на поля в виде удобрений, теряется из-за от­чуждения урожая, выщелачивания и денитрификации, происходит накопление аммонийных удобрений в почве;

- в результате промышленной фиксации молекулярного азота из атмосферы с целью производства азотных удобрений резко нарушается природное азотное равновесие.

Однако эти процессы носят локальный характер. Гораздо большее значение имеет поступление оксидов азота в атмосферу при сжигании топлива на ТЭЦ, транспорте, заводах, особенно в промышленных районах. Под воздействием излучения в атмосфере происходят реакции угле­водородов с оксидами азота с образованием высокотоксичных и канцеро­генных соединений.