

Биогеохимия тропического пояса

Основы биогеохимии

Д.Ю. Шишкина

Тема 16

Особенности тропического пояса

Площадь тропических ландшафтов – около 40 млн км². Тропические экогеосистемы в наибольшей степени обеспечены солнечной энергией. Пояс, расположенный между 30° с.ш. и 30° ю.ш., получает более половины всей энергии Солнца, поступающей на Землю.

При условии достаточного количества влаги биогеохимические процессы здесь протекают наиболее активно. Однако обеспеченность осадками в тропическом поясе изменяется от экстрааридных условий до супергумидных; соответственно, и биологические круговороты различаются параметрами емкости, интенсивности, скорости.

Специфика биогеохимических процессов в тропиках определяется не только современными природными условиями, но и всем ходом развития этой территории. Глубокие изменения палеогеографических условий, охватившие на протяжении последних 1,5-2 млн лет внетропическую часть Земли, не затронули тропическую сушу.

Распространение тропических ландшафтов

Биоклиматические условия тропиков весьма разнообразны.

Постоянно влажные тропические леса – при количестве осадков более 1800 мм/год.

При наличии сезона, на протяжении которого испаряемость превышает количество осадков – разреженные светлые высокотравные леса, которые при продолжительном сухом сезоне сбрасывают листву.

Для более засушливых условий типичны редкостойные группы деревьев, чередующиеся с открытыми пространствами, покрытыми травянистой растительностью.

С усилением аридности деревья заменяются зарослями колючих кустарников, а пышный покров высоких злаков – низкотравной растительностью с невысокой степенью покрытия почвы.

Тропические леса – 20 448 тыс. км² (13,3% Мировой суши);

Саванновая зона – 14 259 тыс. км² (9,6%);

Тропические пустыни – 4 506 тыс. км² (3%).

Соотношение площадей разной степени влагообеспеченности (экваториальная полоса Африки, между 6°с.ш. и 6°ю.ш.)

Годовое количество осадков, мм	Преобладающие растительные сообщества	Площадь, % от всей территории
> 1800	Влажные леса	22
1000-1800	Светлые леса и высокотравные саванны	48
600-1000	Первичные саванны	12
200-600	Плотно-кустовые саванны	16
< 200	Плотно-кустовые саванны, полупустыни и пустыни	2

Биологический круговорот во влажных тропических лесах (1)

Распространены на всех материках, кроме Европы, особенно широко в Южной Америке и Юго-Восточной Азии. Еще шире были распространены в прошлые геологические эпохи, начиная с девона.

Коэффициенты увлажнения 7-8 месяцев в году составляют 1,5-2, а в остальное время не опускаются ниже 0,6. Температура почвы большую часть года превышает 20°C и в самые холодные месяцы не опускается ниже 8-10°C.

Самая мощная растительная формация. Обилие тепла и влаги обуславливает самую большую биомассу среди биоценозов Мировой суши – 50 000 т/км² в среднем, а иногда до 170 000 т/км².

Фактор, лимитирующий рост биомассы, - необходимая для фотосинтеза световая энергия. С целью ее максимального использования под покровом деревьев высотой 30-40 м расположено еще несколько ярусов деревьев, приспособленных к рассеянному свету. В лесах Амазонки – 10-12 ярусов: несколько ярусов древесных пород, кустарники, низкие и высокие травы, эпифиты, мхи, водоросли, лишайники, грибы и т.д. На деревьях и земле – множество стелющихся, ползучих и вьющихся растений.

Во влажных тропических лесах вегетация продолжается весь год. Продукция – 2500 т/км².

Биологический круговорот во влажных тропических лесах (2)

Микробная масса тропических лесов отличается наибольшим биоразнообразием – более 97% известных на Земле видов. Зоомасса (гл. обр., термиты, муравьи и др. беспозвоночные) – около 1% от биомассы.

Характерно обилие растительных видов: если во всей Европе произрастает около 250 видов деревьев, то на о. Ява – более 1500, в африканской Гвинее – 3000, в Амазонии – 4000.

Огромное биологической информации (количества видов) связано не только с благоприятными климатическими условиями, но и с историческими причинами – эти ландшафты приурочены к областям древней суши, где эволюция продолжается миллионы лет, начиная с мезозоя.

Биогеохимический круговорот в экосистемах тропических дождевых лесов (1)

Растения стремятся максимально использовать имеющееся пространство для поглощения питательных элементов: исключительная густота леса, многочисленные эпифиты; специфический состав флоры, в котором углеводов накапливается больше, чем в умеренном поясе, а белков меньше.

Значительная часть отмирающих и опадающих листьев высоких деревьев перехватывается многочисленными **эпифитами** (автотрофные растения, не имеющие связи с почвой, поселяющиеся на стволах и ветвях деревьев, орхидеи). Поэтому химические элементы, содержащиеся в листьях, вновь захватываются в БИК, не достигая почвы.

Биогеохимическая специфика влажных тропических лесов заключается в том, что почти все количество химических элементов, необходимое для питания огромной массы растительности, содержится в самих растениях. Биогеохимический цикл массообмена сильно замкнут. Если вырубить дождевой тропический лес, то вместе с гибелью деревьев нарушится вся тысячелетиями создаваемая система БИК, и под сведенным лесом останутся бесплодные земли.

Биогеохимический круговорот в экосистемах тропических дождевых лесов (2)

Характерная черта тропических экосистем - высокая интенсивность почвенно-биологических процессов. Разложение органических веществ протекает быстро, нет сплошной лесной подстилки, тонкий слой мертвых листьев перемежается с участками оголенной земли. Отношение массы подстилки к массе опада очень мало – менее 0,1 (в заболоченной тайге и тундре более 50). Поступающие с опадом элементы захватываются сложной корневой системой многоярусного дождевого леса и вновь вовлекаются в БИК.

Минеральный субстрат современных почв в основном состоит из сильно выщелоченных продуктов древнего выветривания, содержащих ограниченное количество необходимых растениям элементов. Основным их источником являются растительные остатки. В связи с необходимостью захватывать элементы минерального питания из продуктов разрушения опада корневая система деревьев расположена в приповерхностной части почвы (до 50-70 см, а местами и на глубине 10-20 см).

Биогеохимический круговорот в экосистемах тропических дождевых лесов (3)

В отличие от лесов умеренного пояса при разложении растительных остатков K, Ca и Si быстро выносятся, а накапливаются Fe и Mn. Важнейшие водные мигранты биогеохимического цикла – кремний и кальций. В листьях тропических деревьев среди водных мигрантов первое место принадлежит кремнию (у бамбуков до 90 % SiO_2 в золе), поэтому влажные тропические леса имеют кремниевый тип химизма биогеохимического круговорота.

Важная особенность круговорота – вымывание дождевыми водами из листьев N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, S.

Основная черта биогеохимического круговорота – практически полная его замкнутость, при которой большинство питательных веществ рециклируется в пределах экосистемы.

Звенья БИК: биомасса – опад – минерализация и гумификация опада – перехват корневыми системами растений необходимых элементов – их вертикальная транспортировка их в биомассу растительности.

Растения приспособились к низкому содержанию катионов, в частности, кальция, стали «кальциефобами» (чай) и избегают почв, богатых известью. Большинство культурных растений тропиков испытывают дефицит P, N, K, Ca, R, Mg, B, S, Zn, I.

Почвообразование в тропических лесах (1)

1. Вынос всех растворимых компонентов различного происхождения за пределы почвы и коры выветривания. Выщелачивание не только щелочных и щелочноземельных катионов, но и коллоидов, главной составляющей которых является кремнезем, растворов органических веществ, в т.ч. и гумусовых кислот. Формируются почвы с низким плодородием. Содержание гумуса 2-3%.
 2. Полнейшее преобразование минеральной массы почвы и коры выветривания по **ферралитному** типу. Происходит разрушение всех алюмосиликатов и силикатов и накопление минеральной массы, состоящей только из различных окислов Fe и Al и вторичного алюмосиликатного минерала каолинита, устойчивого в гипергенных процессах.
- Ферралитизация придаёт почвам красный цвет (обезвоженные окислы железа) или желтый (гидратированные минералы окислов железа). Состав исходных пород не оказывает влияния на почвообразование. Конечный результат – ферралитные коры выветривания – повсеместно близки по составу и свойствам, различаются только по содержанию Fe_2O_3 , Al_2O_3 , каолина и кварца.

Почвообразование в тропических лесах (2)

3. Типична гумификация с образованием только фульвокислот, которые или быстро минерализуются, или попадают в грунтовые воды, а затем в речные системы. Воды многих тропических рек имеют желтоватый и даже коричневатый (Рио-Негру) цвет. Гумусовые темноокрашенные горизонты не образуются. Исключение – почвы относительно прохладных горных систем (особые гумус-ферралитные почвы).
4. Латеритный процесс – явление, типичное для сезонно-влажных листопадных лесов. Из-за присутствия глинозема (Al_2O_3) и гидроокислов железа почва в сухом состоянии напоминает по твердости обожженный красный кирпич («латер» - лат. «кирпич»). Латериты верхней части коры выветривания отличаются большой прочностью и бронируют подстилающие элювиальные образования. Поэтому их часто называют панцирями или кирасами (фр. «кирасо» - панцирь).
5. Формирование 2-х типов почв: красные и желтые ферралитные почвы постоянно влажных дождевых лесов и красные ферралитно-латеритные почвы сезонно-влажных листопадных лесов.

Саванны и светлые (ксерофитные) леса

Саванны – обширные травянистые и лесопарково-травянистые равнины, расположенные на высоте до 200 м над уровнем моря в субтропических и тропических широтах Африки, Южной Америки, Юго-Восточной Азии, Австралии. Биогеохимическая ситуация в светлых лесах и саваннах близка к таковой в лиственных лесах умеренного климата, но периоды подавления БГХ процессов обусловлены не понижением температуры, а отсутствием дождей и сезонным дефицитом влаги.

Биомасса сухих саванн – 200-600 т/км², масса годового опада примерно 1/3-1/4 этого количества. Биомасса листопадных тропических лесов и высокогорных парковых саванн занимает промежуточное положение между постоянно влажными лесами и сухими саваннами.

В светлых тропических лесах и парковых саваннах, в условиях короткого сухого сезона, образуются периодически промываемые дождями почвы с нейтральной реакцией. Пышный травяной покров способствует формированию дернового и гумусового горизонтов. Почвы - аналоги черноземов: нейтральная или слабощелочная реакция, карбонатность.

Тропические сухие леса и саванны

Термин «саванна» имеет довольно неопределенный характер. Им обозначают многочисленные варианты растительности тропического пояса, состоящей из самых разнообразных сочетаний деревьев, кустарников и трав. К саваннам относят небольшие светлые леса, чередующиеся с открытыми пространствами, покрытыми травянистой растительностью. Такие ландшафты существуют в условиях смены периода хорошего атмосферного увлажнения и сухого периода, не превышающего 4 месяца.

Вместе с тем к саваннам относят сильно засушливые территории с сухим периодом, продолжающимся 7-10 месяцев. В таких условиях не только деревья, но и многие травы не могут существовать; растительность представлена преимущественно зарослями колючих кустарников, находящихся большую часть года без листьев для уменьшения транспирации. Термином «**саванна**» обозначают тропические и субтропические лесостепи, существующие в широком интервале атмосферного увлажнения – от 200-300 до 1000 мм/год и более.

Типичные древесные формы: пальмы и акации; специфические для разных континентов: баобаб, эвкалипт, индийский баньян (род фикусов). Характерны бутылочные деревья, мимозы, молочаи, кактусы.

Биогеохимия засушливой саванны на западе Индии

Область известна под названием пустыни Тар и представляет собой низменную аллювиальную равнину, образованную р. Инд. Осадков – 200-600 мм/год. Растительность представлена редкостоящими лесами, кустарниками и злаковыми травами. На песчаных отложениях деревья отсутствуют, и ландшафт приобретает облик пустыни. Опустыненность территории является результатом влияния человека. В 326 г. до н.э., когда армия Александра Македонского подошла к Инду, здесь существовали леса, от которых в настоящее время не осталось и следа.

Биомассу растительности саванны, равную 2680 т/км^2 , составляют преимущественно деревья. Деревьям принадлежит 60% всей корневой массы и 98% надземной массы растительного сообщества. В то же время основную часть ежегодной продукции (683 т/км^2) обеспечивают травы. В общей массе продукции на долю трав приходится 76% прироста зеленых органов растений и 83% прироста корней.

Таким образом, травянистая растительность играет решающую роль в вовлечении химических элементов в биогеохимический круговорот.

Почвы засушливых саванн

В условиях длительного сухого сезона и небольшого количества осадков полное промывание почвы не обеспечивается, микробиологическая деятельность в засушливые сезоны подавляется, степень покрытия поверхности растительностью менее 50%. В почвах засушливых саванн и зарослей кустарников содержание гумуса незначительно, почвы имеют щелочную реакцию pH 7-8.

Одной из особенностей тропиков являются ландшафты **сезонных болот**. Избыток воды в дождливые сезоны, возникающий в депрессиях рельефа и обширных понижениях, затрудняет существование деревьев, но благоприятствует развитию высокотравных злаков. Ландшафты злаковников в Африке – **грэссленды**. В злаках этих сообществ активно накапливаются Mn, Cu, Zn, Sr, Mo.

На участках сезонного заболачивания формируются **вертисоли** – серые и черные слитые тропические почвы. В экосистемах сезонных болот аккумулируются химические элементы, мигрирующие с окружающей более высокой территории, поэтому в почвах и растениях повышаются концентрации химических элементов (до образования аномалий).

Вторичные (антропогенные, послелесные) саванны

Расположены во влажном тропическом климате, на месте влажных лесов, уничтоженных человеком. Их почвы наследуют свойства кислых почв тропических лесов. На террасах и склонах при ухудшении естественной дренированности почвы антропогенных саванн имеют латеритный марганцево-железистый конкреционный горизонт. Подобные почвы (руброземы) широко распространены в Юж. Бразилии. Почва выщелочена, имеет кислую реакцию среды по всему профилю.

Здесь традиционно распространены выжигания саванн. Вторичная травянистая растительность не способна при регулярном сжигании биомассы создать такой же БИК, который был под пологом тропического леса. Опад – 360 т/км^2 в месяц, в то время как тропические леса ежемесячно образуют $1600\text{-}2500 \text{ т/км}^2$ опада.

В почвах усиливается выщелоченность, кислотность, снижается поглотительная способность. Повторяющиеся выжигания саванн, пересыхание почв на склонах и плоскостная эрозия способствуют отверждению ожелезненных латеритных горизонтов. В итоге почвы послелесных саванн за считанные годы настолько сильно снижают свое плодородие, что возделывание с/х культур становится нерентабельным. Можно получить 2-3 удовлетворительных урожая.

Мангровые экосистемы

Мангровые заросли – характерный тип растительности побережий тропической суши. Располагаясь на участках затопления во время приливов, мангровые заросли образуют переход от подводных морских экосистем к наземным сообществам.

Они расположены между 32° северной и 44° южной широты, их распространение определяется температурой. Мангровая растительность индифферентна к колебаниям количества атмосферных осадков, но очень чувствительна к низким температурам. Мангровые экосистемы (экосистемы приморских солоноватоводных лесных болот) распространены в дельтах рек, прибрежных лагунах, вдоль низменных побережий Южной Америки, Африки, Индостана, Индокитая, Индонезии и Австралии.

Мангровые заросли располагаются либо на карбонатных песках, алевроитовых и глинистых илах в лагунах и мелководных заливах, либо на поверхности плотных кавернозных рифовых известняков. Реже отдельные деревья и их небольшие группы растут на кварцевых песках у берегов, сложенных выветренными кристаллическими породами. Среди мангровой растительности выделяют красные мангры (разные виды *Rhizophora*), черные и белые. На атоллах Индийского океана к указанным деревьям добавляются кустарники пемфиса, приуроченные к выступам плотных рифовых известняков на границе приливной полосы.

Биогеохимия мангров (1)

Мангры – один из наиболее продуктивных биогеоценозов. Биомасса превышает $10\,000\text{ т/км}^2$, при ежегодном приросте от $1\,000$ до $3\,000\text{ т/км}^2$, включая листовую продукцию в размере $800\text{--}1500\text{ т/км}^2$. По сравнению с составом листьев деревьев, образующих тропические леса, в листьях мангровых деревьев много больше Mg, S, Cl, Al и значительно меньше K, Si, являющихся главными зольными элементами опада тропического леса. Общая биогеохимическая особенность мангров – пониженное содержание тяжелых металлов и повышенное – талассофильных элементов, в частности, стронция.

В мангровых экосистемах питательные вещества аккумулируются в листьях и вместе с опадом или с отмирающими листьями попадают на поверхность почвы. Дальнейшая биогеохимическая трансформация этих химических соединений зависит от типа поверхности почв и подстилающих пород. Если мангровые заросли развиваются на уплотненных рифовых известняках, подстилка не образуется. В случае формирования почв на карбонатных или карбонатно-глинистых илах на поверхности почвы образуется слабовыраженный гумусовый горизонт мощностью до 10 см . В условиях неглубокого расположения морской воды ($10\text{--}15\text{ см}$) и отсутствия ежедневных приливов на поверхности почвы образуется маломощный торфянистый горизонт.

Биогеохимия мангров (2)

Содержание гумуса редко превышает 1% и лишь в торфянистом горизонте составляет 5%. Преобладают легкорастворимые фульвокислоты над гуминовыми. В почвах на известняках фульвокислоты быстро нейтрализуются, что сопровождается ростом рН – от 7,2-7,7 в гумусовом горизонте до 8 на глубине 10 см. Дисперсная масса неразложившихся растительных остатков (мелкий органический детрит) сорбирует металлы. Часть металлов при дальнейшем разложении органического вещества связывается с фульвокислотами и выносятся из гумусового горизонта до глубины 15–20 см. Дальнейшая миграция затормаживается при нейтрализации этих кислот с образованием нерастворимых в воде фульватов кальция.

Мангровые экосистемы выполняют функцию биогеохимического барьера, уменьшающего сток химических элементов с суши в море. Этим обусловлены их особенности – высокая продуктивность и скорость биологического круговорота, вовлечение в круговорот больших масс тяжелых металлов и Sr.