**Круговорот химических элементов в биосфере**

Вертьянов С. Ю.

**Природные ресурсы**

Каждое животное или растение является звеном в цепях питания своей экосистемы, обменивается веществами с неживой природой, а следовательно — включено в круговорот веществ биосферы. Химические элементы в составе различных соединений циркулируют между живыми организмами, атмосферой и почвой, гидросферой и литосферой. Начавшись в одних экосистемах, круговорот заканчивается в других. Вся биомасса планеты участвует в круговороте веществ, это придает биосфере целостность и устойчивость. Живые организмы существенно влияют на перемещение и превращение многих соединений. В биологическом круговороте задействованы прежде всего элементы, входящие в состав органических веществ: С, N, S, Р, О, Н, а также ряд металлов (Fe, Ca, Mg и др.).

Циркуляция соединений осуществляется в основном за счет энергии Солнца. Зеленые растения, аккумулируя его энергию и потребляя из почвы минеральные соединения, синтезируют органические вещества. Органика распространяется в биосфере по цепям питания. Редуценты разрушают растительную и животную органику до минеральных соединений, замыкая биологический цикл.

В верхних слоях океана и на поверхности суши преобладает образование органического вещества, а в почве и глубинах моря — его минерализация. Миграция птиц, рыб, насекомых способствует и переносу накопленных ими элементов. Существенно на круговорот элементов влияет деятельность человека.

Круговорот воды. Нагреваемые солнцем воды планеты испаряются. Выпадающая живительным дождем влага возвращается обратно в океан в качестве речных вод или очищенных фильтрацией грунтовых вод, перенося огромное количество неорганических и органических соединений. Живые организмы активно участвуют в круговороте воды, являющейся необходимым компонентом процессов метаболизма (о биологической роли воды см. § 1). На суше большая часть вод испаряется растениями, уменьшая водосток и препятствуя эрозии почвы. Поэтому при вырубке лесов поверхностный сток увеличивается сразу в несколько раз и вызывает интенсивный размыв почвенного покрова. Лес замедляет таяние снега, и талая вода, постепенно стекая, хорошо увлажняет поля. Уровень грунтовых вод повышается, а весенние наводнения редко бывают разрушительными.

Влажные тропические леса смягчают жаркий экваториальный климат, задерживая и постепенно испаряя воду (это явление называют транспирацией). Вырубка тропических лесов вызывает в близлежащих районах катастрофические засухи. Хищническое уничтожение лесов способно превратить в пустыни целые страны, как это уже случилось в северной Африке. Круговорот воды, регулируемый растительностью, — важнейшее условие поддержания жизни на Земле.

Круговорот углерода. В процессе фотосинтеза растения поглощают углерод в составе углекислого газа. Продуцируемые ими органические вещества содержат значительное количество углерода, распространяющегося в экосистеме по цепям питания. В процессе дыхания организмы выделяют углекислый газ. Органические остатки в море и на суше минерализуются редуцентами. Один из продуктов минерализации — углекислый газ — возвращается в атмосферу, замыкая цикл.

В течение 6-8 лет живые существа пропускают через себя весь углерод атмосферы. Ежегодно в процесс фотосинтеза вовлекается до 50 млрд. т углерода. Часть его накапливается в почве и на дне океанов — в скелетах водорослей и моллюсков, коралловых рифах. Существенный запас углерода содержится в составе осадочных пород. На основе ископаемых растений и планктонных организмов сформированы месторождения каменного угля, органогенного известняка и торфа, природного газа и, возможно, нефти (некоторые ученые предполагают абиогенное происхождение нефти). Природное топливо при сгорании пополняет количество атмосферного углерода. Ежегодно содержание углерода в атмосфере увеличивается на 3 млрд. т и может нарушить устойчивость биосферы. Если темп прироста сохранится, то интенсивное таяние полярных льдов, вызванное парниковым эффектом углекислого газа, приведет к затоплению обширных прибрежных территорий по всему миру.

Круговорот азота. Значение азота для живых организмов определяется в основном его содержанием в белках и нуклеиновых кислотах. Азот, как и углерод, входит в состав органических соединений, круговороты этих элементов тесно связаны. Главный источник азота — атмосферный воздух. Благодаря фиксации живыми организмами азот поступает из воздуха в почву и воду. Ежегодно синезеленые связывают около 25 кг/га азота. Эффективно фиксируют азот и клубеньковые бактерии.

Растения поглощают соединения азота из почвы и синтезируют органические вещества. Органика распространяется по цепям питания вплоть до редуцентов, разлагающих белки с выделением аммиака, преобразующегося далее другими бактериями до нитритов и нитратов. Аналогичная циркуляция азота происходит между организмами бентоса и планктона. Денитрифицирующие бактерии восстанавливают азот до свободных молекул, возвращающихся в атмосферу. Небольшое количество азота фиксируется в виде оксидов молниевыми разрядами и попадает в почву с атмосферными осадками, а также поступает от вулканической деятельности, компенсируя убыль в глубоководные отложения. Азот поступает в почву также в виде удобрений после промышленной фиксации из воздуха атмосферы.

Круговорот азота — более замкнутый цикл, нежели круговорот углерода. Лишь незначительное его количество вымывается реками или уходит в атмосферу, покидая границы экосистем.

Круговорот серы. Сера входит в состав ряда аминокислот и белков. Соединения серы поступают в круговорот в основном в виде сульфидов из продуктов выветривания пород суши и морского дна. Ряд микроорганизмов (например, хемосинтезирующие бактерии) способны переводить сульфиды в доступную для растений форму — сульфаты. Растения и животные отмирают, минерализация их остатков редуцентами возвращает соединения серы в почву. Так, серобактерии окисляют до сульфатов образующийся при разложении белков сероводород. Сульфаты способствуют переводу труднорастворимых соединений фосфора в растворимые. Количество минеральных соединений, доступных растениям, возрастает, улучшаются условия для их питания.

Ресурсы серосодержащих полезных ископаемых весьма значительны, а избыток этого элемента в атмосфере, приводящий к кислотным дождям и нарушающий процессы фотосинтеза вблизи промышленных предприятий, уже беспокоит ученых. Количество серы в атмосфере существенно увеличивается при сжигании природного топлива.

Круговорот фосфора. Этот элемент содержится в ряде жизненно важных молекул. Его круговорот начинается вымыванием фосфорсодержащих соединений из горных пород и поступлением их в почву. Часть фосфора уносится в реки и моря, другая — усваивается растениями. Биогенный круговорот фосфора происходит по общей схеме: редуценты.→консументы→продуценты

Значительные количества фосфора вносятся на поля с удобрениями. Около 60 тыс. т фосфора ежегодно возвращается на материк с выловом рыбы. В белковом рационе человека рыба составляет от 20% до 80%, некоторые малоценные сорта рыб перерабатываются на удобрения, богатые полезными элементами, в т. ч. фосфором.

Ежегодная добыча фосфорсодержащих пород составляет 1-2 млн. т. Ресурсы фосфорсодержащих пород пока велики, но в будущем человечеству, вероятно, придется решать проблему возвращения фосфора в биогенный круговорот.

Природные ресурсы. Возможность нашей жизни, ее условия находятся в зависимости от природных ресурсов. Биологические и особенно пищевые ресурсы служат материальной основой жизни. Минеральные и энергетические ресурсы, включаясь в производство, служат основой стабильного уровня жизни.

Ресурсы принято делить на неисчерпаемые и исчерпаемые. Энергия Солнца и ветра, атмосферный воздух и вода практически неисчерпаемы. Однако при современном неэкологичном промышленном производстве воду и воздух можно лишь условно считать неисчерпаемыми ресурсами. Во многих районах в связи с загрязнением возник дефицит чистой воды и воздуха. Для того, чтобы эти ресурсы оставались неисчерпаемыми, необходимо бережное отношение к природе.

Исчерпаемые ресурсы делят на невозобновляемые и возобновляемые. К невозобновляемым относятся утраченные виды животных и растений, большинство полезных ископаемых. Возобновляемыми ресурсами являются древесина, промысловые животные и рыбы, растения, а также некоторые полезные ископаемые, например, торф.

Интенсивно потребляя природные ресурсы, человеку необходимо соблюдать природное равновесие. Сбалансированность ресурсов в круговороте веществ определяет устойчивость биосферы.

**Хозяйственная деятельность человека и глобальные экологические проблемы**

Около 10-15% поверхности суши распахано, 25% представляют собой полностью или частично окультуренные пастбища. Если к этому добавить 3-5% поверхности, занятой транспортной сетью, промышленностью, зданиями и сооружениями, и около 1-2% территории Земли, поврежденной разработками полезных ископаемых, то окажется, что почти половина поверхности суши видоизменена деятельностью человека.

С развитием цивилизации ее негативный вклад в биосферные круговороты увеличивается. На каждую тонну промышленной продукции приходится 20-50 т отходов. На каждого человека в крупных городах приходится более 1 т пищевого и бытового мусора в год. Дисгармония в биосфере отражается как на растительном и животном мире, так и на здоровье людей. Множество загрязняющих веществ, попадая в почву, атмосферу и водоемы, накапливаются в тканях растений и животных и через пищевые цепи заражают организм человека. Токсичные соединения способны заметно увеличивать количество мутаций, приводящих к врожденным и наследственным отклонениям. Сопоставление данных по различным регионам планеты привело ученых к выводу, что не менее 80% раковых заболеваний вызваны химическим загрязнением среды.

Загрязнение атмосферы в основном происходит от сжигания природного топлива транспортом, коммунальным хозяйством, промышленностью. В городах на долю транспорта приходится более 60% загрязняющих веществ, на предприятия теплоэнергетики — около 15%, и 25% выбросов приходятся на промышленные и строительные предприятия. Основные загрязнители воздуха — оксиды серы, азота, метан и угарный газ. У растений загрязнение атмосферы ведет к серьезным нарушениям метаболизма и различным заболеваниям. От сернистого газа разрушается хлорофилл и затрудняется развитие пыльцевых зерен, высыхают и опадают листья и хвоя. Не менее пагубно воздействие и других загрязняющих веществ.

Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 100 млн. т оксидов серы, более 70 млн. т оксидов азота, 180 млн. т угарного газа.

Кислотные осадки. Высокая концентрация загрязняющих веществ приводит к образованию кислотных дождей и смога. Кислотные осадки (дождь, снег, туман) образуются при растворении в воде диоксидов серы и азота (SО2, NО2). Кислые осадки вымывают из листьев растений белки, аминокислоты, сахар, калий, повреждают верхний защитный слой. Растворы кислот вносят в почву кислую среду, вызывают вымывание гумуса, снижая количество жизненно важных солей кальция, калия, магния. Кислотные почвы бедны микроорганизмами, в них замедляется скорость деструкции опада, сокращение численности редуцентов нарушает сбалансированность экосистем.

Кислотные дожди уничтожают громадные экосистемы, вызывают гибель растений и лесов, превращают озера и реки в безжизненные водоемы. В США за последние 100 лет кислотные дожди стали в 40 раз более кислыми, около 200 озер остались без рыбы, в Швеции 20% озер находятся в катастрофическом состоянии. Более 70% шведских кислых дождей вызвано выбросами других стран. Около 20% кислых дождей в Европе — следствие выбросов окислов серы в Северной Америке.

Смог. В нижних слоях атмосферы под действием солнечного света загрязняющие вещества образуют крайне вредные для живых организмов соединения, наблюдаемые как туман. В больших городах количество солнечного света из-за смога уменьшается на 10-15%, ультрафиолетовых лучей — на 30%.

Озоновые дыры. В атмосфере на высоте 20-25 км расположено большое количество молекул озона (О3), поглощающего жесткую часть солнечного спектра, губительную для живых организмов. В 1982 г. ученые обнаружили дыру в озоновом слое над Антарктидой, в 1987 г. — над Северным полюсом. Ученые опасаются, не возникнут ли дыры и над обитаемой частью земного шара. Это может привести к всплеску заболеваний раком кожи, катарактой, к нарушениям лесных и морских экосистем.

По каким же причинам возникают озоновые дыры? Ученые предполагают, что главной из них является накопление фреонов (хлорфторуглеродов СFСl3, СF2Сl2), используемых при изготовлении аэрозолей и в холодильной промышленности. Эти газы сохраняются в атмосфере десятилетиями. Попадая в стратосферу, они разлагаются солнечной радиацией с образованием атомов хлора, катализирующих превращение озона в кислород.

Парниковый эффект. Некоторые атмосферные газы хорошо пропускают видимый свет и поглощают тепловое излучение планеты, вызывая общее потепление. Парниковый эффект на 50% обусловлен присутствием углекислого газа, 18% вносит метан и 14% фреоны. Увеличение количества СО2 в атмосфере вызвано в основном сжиганием топлива и сведением лесов под распашку, а также интенсивной минерализацией гумуса обширных пахотных земель.

Метан поступает в атмосферу из болотистых районов, от переувлажненных почв рисовых плантаций, от многочисленных скотоводческих хозяйств, при вскрытии угольных месторождений. Метан — один из основных продуктов метаболизма жвачных, придающий характерный острый запах их выделениям. В ХХ в. количество СО2 в атмосфере выросло на 25%, а метана — на 100%, что повысило среднюю температуру на 0,5°С. При такой тенденции в ближайшие 50 лет температура может подняться на 3-5°С. Расчеты показывают, что таяние полярных льдов приведет к повышению уровня мирового океана на 0,5-1,5 м. В Египте окажутся затопленными 20-30% плодородных земель дельты Нила, под угрозой окажутся прибрежные селения и крупные города Китая, Индии и США. Общее количество осадков увеличится, но в центральных частях материков климат может стать более засушливым и пагубным для урожая, прежде всего зерновых и риса (для 60% населения Азии рис — основной продукт).

Таким образом, даже небольшие изменения в газовом составе атмосферы опасны для природных экосистем.

Нарушения в гидросфере. Крупномасштабные ошибки в сельскохозяйственной деятельности привели к разрушению многих природных экосистем. Отвод стоков Амударьи и Сырдарьи под орошение хлопковых плантаций стал причиной катастрофического падения уровня Аральского моря. Пыльные бури в его высыхающем ложе вызвали засоление почв на огромных территориях. Деградация природных экосистем Приаралья — результат недостатка воды и опустынивания.

Хищнический забор воды на орошение, на нужды промышленного производства (на выплавку 1 т никеля уходит 4000 м3 воды, на производство 1 т бумаги — 100 м3, 1 т синтетического волокна — до 5000 м3), уничтожение водоохранных лесов и осушение болот привели к массовому исчезновению рек. Если в 1785 г. в районе Калуги было более 1 млн. речек, то в 1990 г. их осталось всего 200!

Экосистемы рек очень чувствительны и уязвимы. Огромное количество удобрений, смываемых с полей, отходов животноводства и канализационных вод вызывает рост концентрации в водоемах соединений азота и фосфора. В водных экосистемах начинается бурное развитие синезеленых водорослей, вытесняющих необходимые зоопланктону диатомовые водоросли. Рыбы гибнут от голода. Синезеленые накапливаются на дне и гниют (разлагаются бактериями), отравляя воду и истощая запасы кислорода. Живописные водоемы превращаются в дурно пахнущие, покрытые тиной и пеной сточные канавы. Если вода не отравлена, то на каждом квадратном метре насчитывается до 15 моллюсков, каждый из которых за сутки тщательно фильтрует до 50 л воды. Эти существа гибнут с поступлением в водоемы посторонних химических веществ. Самыми устойчивыми к загрязнению воды являются пиявки, асцидии и личинки стрекоз.

Составные части биосферы взаимосвязаны круговоротом веществ и пищевыми цепями, нарушение одной экосистемы вызывает смещение экологического равновесия в других. Когда в северном полушарии насекомых стали травить ДДТ, вскоре значительные количества этого яда обнаружили в организмах антарктических пингвинов, получивших его с рыбой. Многие ядохимикаты очень устойчивы и способны длительное время накапливаться в тканях организмов, многократно умножаясь на каждом следующем пищевом уровне.

Вследствие неразумной хозяйственной деятельности человека природные водоемы оказались отравленными солями тяжелых металлов — ртути, свинца, а также меди и цинка. Эти соединения накапливаются в иле, в тканях рыб, а через пищевые цепи попадают в организм человека, вызывая тяжелейшие отравления. Содержание свинца в тканях организмов жителей индустриальных районов США за последние 100 лет выросло в 50-1000 раз. Даже в ледниках Памиро-Алтая содержание ртути увеличилось в пять раз. Ничтожнейшие количества многих химикатов нарушают поведение рыб, омаров и других водных видов. На этих признаках основана регистрация минимальных концентраций меди, ртути, кадмия, фенолов. Один из самых распространенных пестицидов — токсафен — при содержании 1:108 (1 часть на 100 млн.) вызывает гибель некоторых рыб (например, гамбузий), необратимые изменения в печени и жабрах сомов и форели.

Утечка нефти при добыче и транспортировке приводит к образованию на поверхности рек и морей нефтяной пленки (более 40% всей нефти добывается на шельфе). По наблюдениям со спутников, загрязнено около 10-15% поверхности мирового океана. Нефть с поверхности постепенно испаряется и разлагается бактериями, но это происходит медленно. Гибнет множество водных птиц, уничтожается планктон, а вслед за ним и его основные потребители — обитатели морских глубин. "Бентическая пустыня" в Балтийском море охватывает более 20% поверхности дна. Нефть препятствует обогащению вод кислородом. В результате нарушается газовый баланс гидросферы с атмосферой и смещается экологическое равновесие.

Массовую гибель рыб вызвало строительство плотин электростанций. Горбуша, например, всегда нерестится только в той речке, где она родилась. Рыба проплывает для этого в океане тысячи километров, находит родную речку, а она оказывается перегороженной. Рыба мечется, выбрасывается на берег и погибает. Перегораживаются реки — исчезает рыба. Когда Волга текла свободно, она проходила путь от верховья до устья за 50 дней, теперь — за 2 года. Вода заиливается, загнивает, в ней быстро размножаются паразиты, уничтожающие ослабленную рыбу. Не менее пагубным по своим последствиям может стать поворот северных рек.

Интенсивная добыча рыбы и моллюсков истощила многие шельфовые экосистемы.

Разрушение почв. Обширная распашка степей в нашей стране и США стала причиной пыльных бурь, унесших миллионы гектаров плодороднейших земель. Для воссоздания сантиметрового слоя почвы природе требуется 100-300 лет! В настоящее время около 1/3 обрабатываемых угодий утратили 50% плодородного слоя из-за различных видов эрозии. Ежегодно из-за эрозии теряется около 3 млн. га, по причине опустынивания — 2 млн. га, вследствие отравления химическими веществами — 2 млн. га.

Почвы многих сельскохозяйственных районов оказались засоленными. В Приаралье это произошло в результате пыльных соляных бурь, в других районах — от неправильной организации стока оросительных вод. Избыток воды вызывает подъем к поверхности богатых солями грунтовых вод. Интенсивное испарение производит засоление верхних горизонтов почвы, и через несколько лет на таких землях становится невозможным выращивать сельскохозяйственные культуры. Засоление почвы еще 4000 лет назад привело к упадку сельского хозяйства в Месопотамии. Ирригационные воды сначала обеспечивали там хорошие урожаи, но вследствие интенсивного испарения вызвали химическую деградацию почвы.

Большая проблема связана и с физической деградацией обрабатываемых земель — сильным уплотнением тяжелыми сельскохозяйственными машинами.

Утрата природного разнообразия видов. Значительная часть животных и растений обитает в лесных биоценозах. Если 1500 лет назад леса занимали 7 млрд. га планеты, то сегодня — не более 4 млрд. га. Особенно варварски идет вырубка тропических лесов, в которых сосредоточено около 80% всех видов растений планеты. Тропические леса расположены в основном в слаборазвитых странах, для которых продажа древесины — один из основных источников дохода. Леса в тропиках сократились до 7% территории суши, и если темпы их уничтожения сохранятся, то к 2030 г. от них останется лишь четверть.

В Центральной России практически уничтожены хвойные леса, интенсивно вырубаются самые ценные и наиболее доступные для техники лесные массивы Сибири и Дальнего Востока. С уничтожением лесов нарушается климат, деградируют почвы, умирают реки, исчезают животные и растения.

Уникальный лес в бассейне Амазонки вырубают на 2% в год. В Гаити еще 20 лет назад леса занимали 80% территории, сегодня — только 9%. Из-за хищнической вырубки каждый год безвозвратно исчезают тысячи видов растений, на грани исчезновения находятся около 20 тыс. видов цветковых, 300 видов млекопитающих, 350 видов птиц. С исчезновением каждого вида растений вымирает от 5 до 35 видов животных (в основном, беспозвоночных), экологически с ним связанных.

Ежегодно в Европе уничтожается около 300 млн. мигрирующих и зимующих птиц, 55 млн. особей болотной, полевой и лесной дичи, в США — 2,5 млн. траурных голубей, в Греции — 3 млн. скворцов, на о. Майорка — 3,5 млн. дроздов.

С развитием сельского хозяйства почти полностью исчезли степи в Евразии. Варварски разрушаются экосистемы тундры. Во многих районах океана находятся под угрозой исчезновения коралловые рифы.

Видовое разнообразие — это не только красота, но и необходимый фактор устойчивости биосферы. Экосистемы способны противостоять внешним биотическим, климатическим, токсическим воздействиям, если населены достаточно большим количеством разнообразных видов. В одном из исследований ученые вносили в экосистемы ядовитое вещество фенол. Нейтрализуют фенол только бактерии, но оказалось, что нейтрализация эффективнее совершается в экосистеме с большим разнообразием организмов. Исчезновение видов — это невосполнимая потеря для биосферы и реальная опасность для выживания человечества.

Разнообразие растительности расширяет возможности для поддержания здоровья. Огромное количество лекарств сегодня производится из дикорастущих растений. Мы еще не знаем всех полезных качеств растений, не можем предположить, какие из них нам понадобятся. В 1960 г. выживали только 20% детей, больных лейкемией, сегодня — 80%, т.к. в одном из лесных тропических растений Мадагаскара ученым удалось найти активные вещества для борьбы с этой болезнью. Теряя видовое разнообразие, мы теряем свое будущее.

В настоящее время существует международная программа по сохранению редких и исчезающих видов флоры и фауны.

Радиоактивное заражение атмосферы. Радиоактивные частицы в атмосферных потоках быстро распространяются на большие расстояния, заражая почву и водоемы, растения и животных. Через четыре месяца после каждого ядерного взрыва на атоллах Тихого океана радиоактивный стронций обнаруживался в молоке европейских женщин.

Радиоактивные изотопы особенно опасны тем, что способны замещать в организмах другие элементы. Стронций-90 по свойствам близок к кальцию и накапливается в костях, цезий-137 сходен с калием и концентрируется в мышцах. Особенно много радиоактивных элементов накапливается в организмах консументов, потреблявших зараженные растения и животных. Так, в организмах эскимосов Аляски, питавшихся мясом оленей, было обнаружено чрезвычайно много цезия-137. Олени питаются лишайниками, накапливающими за свою продолжительную жизнь значительные количества радиоактивных изотопов. Их содержание в лишайниках в тысячи раз превышает почвенное. В тканях оленей это количество возрастает еще втрое, а в организмах эскимосов радиоактивного цезия оказывается вдвое больше, чем у оленей. Смертность населения некоторых арктических районов от злокачественных образований заметно выше средней.

Особенно долго сохраняется радиация после аварий на АЭС. Во время чернобыльской катастрофы радиоактивные частицы поднялись на высоту 6 км. Атмосферными потоками они в первый же день распространились над Украиной и Белоруссией. Затем облако разделилось, одна его часть на второй-четвертый день оказалась над Польшей и Швецией, к концу недели пересекла Европу и на 10-й день достигла Турции, Ливана и Сирии. Другая часть облака за неделю пересекла Сибирь, на 12-й день оказалась над Японией, и на 18-й день после аварии радиоактивное облако посетило Северную Америку.

Изучение биосферных процессов помогает понять важность каждой частички сотворенного мира и осознать болезненное состояние разума современного человека. На Западе, а теперь и в России преобладает стремление к комфортному американскому образу жизни как наивысшему благу. Что же такое Америка глазами эколога? Это 5,5% населения планеты, 40% потребления природных ресурсов и 70% вредных выбросов! Такова цена роскошной жизни за счет других народов и будущего планеты.

Пришло время трезво отнестись к желаниям все больших материальных благ и понять, что стратегия индустриально-потребительского общества ведет нас к катастрофе. Если в ближайшие десятилетия мы не перейдем к правильным духовным ориентирам, то нашим потомкам достанется проблема выживания. Мы должны вспомнить о бережном отношении друг к другу и к нашей родной планете — бесценному богатству, вверенному нам Творцом.