

Тема:Кругообіг вуглецю в природі

Вуглець – найважливіший елемент нашої планети, хоча його Землі в 49 разів менше, ніж кисню, й у 26 разів менше, ніж кремнію. У таблиці поширеності елементів він посідає 15 місце

(У відсотках від маси земної кори). Значення вуглецю в природі, однак, залежить не так від кількості його атомів, що знаходяться в різних геосферах, як від властивостей самого атома елемента та його участі в геохімічних реакціях.

На малюнку (див. с. 2) зображені найголовніші цикли перетворення вуглецю в природі, що відбуваються в атмо-, біо-, гідро-і літосфері. У малюнку знаходить свій відбиток і факт активного втручання у цей процес людини з його могутньою технікою. Стрілками, спрямованими у різні боки, умовно зазначені шляхи надходження вуглецю в атмосферу та зворотні шляхи його поглинання з атмосфери. Розглянемо ці шляхи.

Вуглець – найважливіша складова частина живих організмів. З його перетворенням пов'язаний такий важливий життєвий процес, як асиміляція – поглинання рослиною з атмосфери оксиду вуглецю (CO_2) та подальше утворення вуглеводів, білків та інших органічних речовин. Цей процес здійснюється за рахунок енергії [сонячних променів](#) (за допомогою хлорофілу зелених рослин) і веде до її накопичення у рослинах у вигляді енергії хімічних зв'язків.

В даний період розвитку життя на Землі зелені рослини пов'язують щорічно величезну кількість вуглецю - близько 1,5 10 11 т. Деякі вчені вважають, що до появи рослинного життя на Землі в земній атмосфері було набагато більше вуглекислого газу, ніж тепер, а вільного кисню навіть був, т.к. він весь йшов на окислювальні процеси.

Процес фотосинтезу – це єдиний шлях утворення органічних речовин Землі. Внаслідок цього процесу рослини Землі з вуглекислого газу, води, мінералізованих сполук азоту, сірки та інших елементів утворюють величезну кількість органічних речовин – близько 450 млрд т на рік. Розрахунки показують, що на одного жителя Землі це близько 180 т на рік.

Зі сказаного неважко зрозуміти, що фотосинтез - це першоджерело харчових продуктів для людини і тварин. Тому виникає необхідність постійної турботи про всемірне розширення площ для найбільш цінних харчових та кормових рослин та збільшення їх урожайності. Наші вчені розраховували, що за рахунок можливого розширення посівних площ під культури сільськогосподарських

рослин та збільшення їх урожайності продукти фотосинтезу (а отже, і харчові ресурси) можуть бути збільшені приблизно у 20–30 разів.

Рослинами живляться тварини, у результаті вуглець йде побудова тіла тварин. Окисляючись при диханні тварин та рослин, вуглець знову виділяється в атмосферу. Горіння, тління тварин та рослинних залишків також веде до повернення вуглецю у вигляді CO_2 в атмосферу. Такого ж результату призводять і процеси бродіння.

Вміст вуглекислого газу в атмосфері відносно невеликий, всього 0,03% (за обсягом). Загальний вміст його в атмосфері сягає $6,4 \cdot 10^{11}$ т. Проте кількість вуглекислого газу, що поглинається рослинами, у десятки разів перевищує його кількість у земній атмосфері.

В.І.Вернадському вуглець, зазнаючи різних перетворень, багато разів протягом одного року поглинається живою речовиною і знову виділяється з нього.

Але повернення вуглекислого газу атмосфері є неповним. Значна частина вуглецю, поглиненого живою речовиною з атмосфери, не повертається до неї або повертається лише через довгі геологічні періоди, іноді через сотні мільйонів років. Головні шляхи втрати вуглецю для даного циклу – це утворення органічних мінералів і карбонатів лужних і лужноземельних металів – Na_2CO_3 , K_2CO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 та ін. вигляді кам'яного вугілля, горючих сланців, нафти, викопних смол, вапняків, доломітів, мергелів та інших мінералів та гірських порід.

Втручання людини частково повертає в атмосферу цей «викопний вуглець»: при спалюванні вугілля, горючих сланців, нафти тощо на фабриках, заводах, парових двигунах і двигунах внутрішнього згоряння він знову повертається в атмосферу, головним чином у вигляді CO_2 і рідше як CO.

Великі скупчення вуглецю, що виходить із життєвого циклу, утворилися в колишні геологічні епохи та утворюються в даний час за наявності відповідних умов у водному середовищі. Тут осідають продукти, з яких утворюються вугілля, нафти, бітуми, сапропелити. До останніх відносяться породи, що утворилися з сапропелю – гнильного мулу з мікроскопічних рослин, трупів та відходів водних тварин (горючі сланці, богхед та деякі інші сорти вугілля). При життєдіяльності найпростіших коралів, молюсків та інших тварин дуже багато вуглецю зв'язується шляхом утворення карбонатів. Протягом геологічного часу ці процеси призвели до осадження величезної кількості карбонатів, що містять вуглець у кілька сотень разів більше, ніж вся його кількість в атмосфері, океані, живій речовині, кам'яному кулі та нафті (в запасях, технічно доступних людині).

Втручання людини і тут призводить до утворення вільного вуглекислого газу: з карбонатів при отриманні вапна та виробництві цементів, при

технологічних процесах, заснованих на бродінні, наприклад, при хлібопеченні, виноробстві, пивоваренні тощо.

Безсумнівно, що з розвитком техніки кількість CO_2 , що повертається в атмосферу, прогресивно збільшується та приймає такі розміри, що їх уже не можна не враховувати щодо геохімічних процесів. За Кларком, ще з 1919 р., при спалюванні лише одного кам'яного вугілля людина повертає в атмосферу понад 1 млрд т CO_2 , що становить близько 0,05% всієї маси цього газу в атмосфері (2200 млрд т). Таким чином, людина з її потужною сучасною технікою стала новим значним геохімічним фактором.

Чи призводить ця діяльність людини до збільшення кількості CO_2 в атмосфері, а внаслідок цього і зміни клімату Землі у бік його потепління? Питання це ще не з'ясовано. Справа в тому, що культурна діяльність людини веде і до зворотного процесу - збільшення площі, зайнятої під посіви культурних рослин, що призводить до додаткового поглинання вуглекислого газу з атмосфери. Академік В.І.Вернадський говорив, що, можливо, тут «витримується середня динамічна рівновага, настільки характерне для явищ у біосфері».

У величезних кількостях вуглець міститься у газах (у вигляді CO_2 , CO та CH_4), що виділяються з вулканів під час вивержень. Обчислено, що тільки один вулкан Котопахи, що діє, в Еквадорі протягом року виділяє понад 10 млн т CO_2 . У попередні геологічні періоди, коли вулканічна діяльність була активнішою, в атмосферу виділялася дуже велика кількість вуглекислого газу. Гази деяких вулканів майже повністю (до 97%) складаються із CO_2 . Якщо у складі газів [діючих вулканів](#) знаходиться оксид вуглецю(II) разом з іншими горючими газами (H_2 , CH_4 , S_2 та ін), то при з'єднанні з киснем ці гази спалахують, і з кратера починає викидатися справжнє полум'я. При цій реакції запалення з оксиду вуглецю (II) та кисню утворюється CO_2 .

В [велику кількість](#) виділяється вуглекислий газ із землі в областях загасаючої вулканічної діяльності (вуглекислі джерела, терми, земні тріщини тощо). Поблизу Неаполя в Італії серед місцевих мешканців та мандрівників користується популярністю так звана «Собача печера». Людина, яка потрапляє до неї, відчувається нормально, а собака задихається. У чому тут загадка? Виявляється, що у печері із землі виділяється вуглекислий газ. За відсутності вентиляції він, будучи важчим за повітря, накопичується шаром товщиною близько півметра біля поверхні землі, досягаючи концентрації 14%. Таке насичення повітря вуглекислим газом смертельно всім тварин. Задохнувся б у такій атмосфері і людина, якби вона надумала відпочити, лежачи на землі.

Таких місць землі дуже багато. Найбільшою популярністю користується глибока темна долина, що утворилася з кратера згаслого вулкана, – «Долина смерті» на острові Ява, в якій навіть такі великі тварини, як кабани та тигри,

гинуть від ядухи. "Паща смерті" в Західній Америці - інший зразок такої пастки.

У кам'яновугільних копальні та нафтових родовищах вуглець виділяється головним чином у вигляді метану CH_4 (рудничний газ), будучи іноді причиною жахливих катастроф. Багато метану виділяється з боліт (болотний газ), де утворюється при гниття рослин. Якщо розгальмувати палицею тину на дні болота, метан виділятиметься у вигляді бульбашок. При замерзанні боліт скупчення метану іноді утворюються під льодом. Якщо пробити отвір у льоду над таким міхуром і піднести до нього сірник, газ горітиме у вигляді факела. Такий «досвід» чудово описаний у книзі А.Н.Толстого «Дітинство Микити».

«...Микита і Мишка Коряшонок пішли на село через сад і ставок короткою дорогою. На ставку, де вітром здуло сніг із льоду, Мишко на хвилинку затримався, вийняв складаний ніжик і коробку сірників, присів і, шморгаючи носом, почав довбати синій лід у тому місці, де в ньому був усередині білий міхур. Ця штука називалася "кішкою" - з дна ставка піднімалися болотяні гази і вмерзали в лід бульбашками. Продовживши лід, Мишко запалив сірник і підніс до свердловини - "кішка" спалахнула, і над льодом піднявся жовтий безшумний язик полум'я.

- Дивись, нікому про це не говори, - сказав Мишко, - ми того тижня на нижній ставок підемо кішки підпалювати, я там одну знаю - величезна, цілий день горітиме».

Всі описані вище процеси повинні були в кінцевому підсумку призвести до значного накопичення в атмосфері вуглецю у вигляді вуглекислого газу (т.к. CO та CH_4 поступово окислюються в CO_2). Але у природі є потужний регулятор кількості CO_2 у атмосфері – маса води морів та океанів. Вода виділяє вуглекислий газ у повітря, коли пружність вуглекислого газу, що знаходиться в повітрі, зменшується, і поглинає його назад, якщо пружність парів збільшується.

Така закономірність має велике значення у хімії земної кори. Роль цього фактора стане ще зрозумілішою, якщо взяти до уваги, що [Загальна площа](#) океанів, морів та прісноводних басейнів майже в 10 разів перевищує площу, зайняту рослинністю суші.

Вуглекислий газ надходить у водойми разом із дощем або безпосередньо розчиняється у поверхневих водах. Води океану завжди містять розчинні бікарбонати та газоподібний вуглекислий газ. Варто зауважити, що морська вода є слабо лужною – факт, що має велике значення для життя водних організмів.

У результаті можна назвати такі шляхи надходження вуглецю в атмосферу: при вулканічних виділеннях; із вуглекислих джерел; у вигляді природних

газів у кам'яновугільних шахтах, нафтових родовищах тощо; з вод океанів, морів та прісноводних басейнів; при диханні тварин та рослин, при хімічних процесах, що проходять після їх смерті; при процесах бродіння; при горінні, випаленні карбонатів.

Поглинання вуглецю з атмосфери відбувається: при процесах асиміляції та утворенні сполук вуглецю, стійких у межах тіла організмів за їх життя; при процесах перетворення продуктів життєдіяльності тварин на мінерали, що містять вуглець; при поглинанні вуглекислого газу водою океанів, морів, річок тощо.

Переліченим далеко ще не вичерпуються шляхи переміщення (міграції) вуглецю. Одним із джерел вуглекислого газу в атмосфері є, наприклад, космічний вуглець: при згорянні вугільних метеоритів безперервно збільшується кількість CO_2 в земній атмосфері. Вуглекислий газ може також синтезуватися в глибинних просторах Землі (так званий ювенільний CO_2). Якщо, наприклад, поверхневі води, що містять кислоти, проникають до карбонатних порід, то в результаті їхньої взаємодії виділятиметься вуглекислий газ. Термічне розкладання карбонатів (вапняків, крейди, мармуру) у надрах Землі також веде до утворення вуглекислого газу. Зв'язування вуглецю відбувається при вивітрюванні мінералів, що містять кремній та алюміній (силікатів та алюмосилікатів): при цьому процесі вуглець замінює в мінералах кремній.

Усе це призводить до висновку, що природу слід розглядати не як випадкове накопичення предметів і явищ, відірваних друг від друга, бо як єдине ціле, де предмети і явища органічно пов'язані друг з одним, залежать друг від друга і обумовлюють друг друга.

Кругообіг речовин у біосфері – це «подорож» певних хімічних елементів. [харчового ланцюга](#) живих організмів завдяки енергії Сонця. У процесі «подорожі» деякі елементи, [різних причин](#) випадають і залишаються як правило в землі. Їхнє місце займають такі ж, які зазвичай потрапляють з атмосфери. Це максимально спрощене опис те, що є гарантією життя планети Земля. Якщо така подорож чомусь перерветься, то існування всього живого припиниться.

Щоб описати коротко кругообіг речовин у біосфері необхідно поставити кілька відправних точок. По-перше, з більш ніж дев'яноста хімічних елементів, відомих і які зустрічаються в природі, для живих організмів необхідно близько сорока. По-друге, кількість цих речовин обмежена. По-третє, йдеться тільки про біосферу, тобто про життя, що містить оболонку землі, а отже, про взаємодії між живими організмами. По-четверте, енергією, що сприяє кругообігу, є енергія, що надходить від Сонця. Енергія, що народжується в надрах Землі внаслідок різних реакцій, у аналізованому процесі участі не бере. І останнє. Необхідно випередити точку відліку цієї

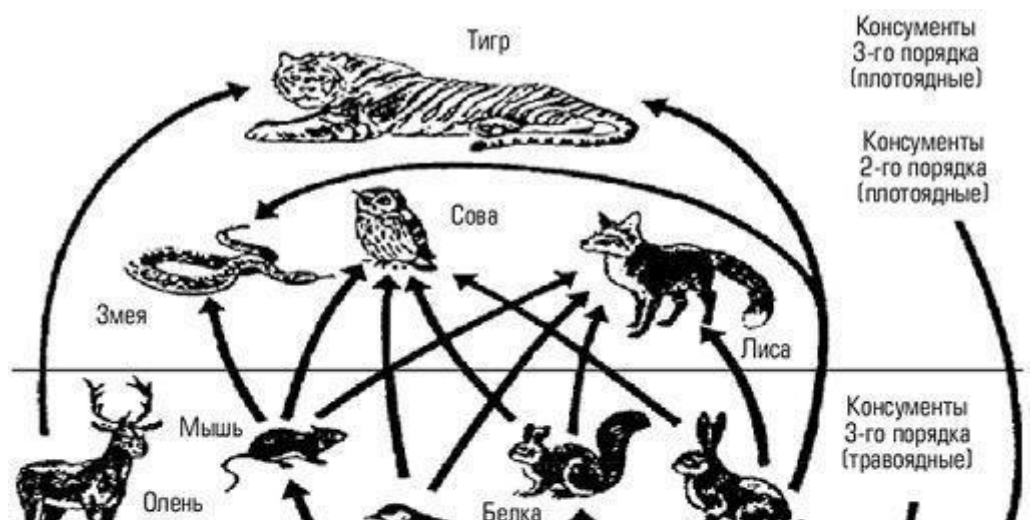
«подорожі». Вона умовна, тому що не може бути кінця і початку у кола, але це необхідно для того, щоб почати описувати процес. Почнемо з найнижчої ланки трофічного ланцюга – з редуцентів чи могильників.



Ракоподібні, черв'яки, личинки, мікроорганізми, бактерії та інші могильники, споживаючи кисень та використовуючи енергію, переробляють неорганічні хімічні елементи в органічну субстанцію, придатну для живлення живими організмами та подальшого її руху харчовим ланцюгом. Далі ці, вже органічні речовини, їдять консументи чи споживачі, яких ставляться як тварини, птахи, риби тощо, а й рослини. Останні є продуцентами чи виробниками. Вони, використовуючи ці поживні речовини та енергію, виробляють кисень, який є основним елементом, придатним для дихання всього живого на планеті. Консументи, продуценти і навіть редуценти гинуть. Їхні останки, разом із органічними речовинами, що знаходяться в них, «падають» у розпорядження могильників.

І все повторюється знову. Наприклад, весь кисень, що існує в біосфері, робить свій оборот за 2000 років, а вуглекислий газ за 300. Такий кругообіг прийнято називати біогеохімічним циклом.

Деякі органічні речовини у процесі «подорожі» вступають у реакції та взаємодії з



іншими речовинами. В результаті утворюються суміші, які у тому вигляді, в якому вони є, не можуть бути перероблені редуцентами. Такі суміші залишаються «зберігатися» у землі. Не всі органічні речовини, які потрапляють на «стіл» могильників, що неспроможні ними переробитися. Не всі можуть перегнити за допомогою мікробів. Такі залишки, що не перегнили, потрапляють на зберігання. Все, що залишається на зберіганні або в резерві, вибуває з процесу і кругообіг речовин в біосфері не входять.

Таким чином, в біосфері кругообіг речовин, [рушійною силою](#) якого є діяльність живих організмів, можна поділити на дві складові. Одна – резервний фонд – це частина речовини, яка пов'язані з діяльністю живих організмів і до часу обороті не бере участі. І друга – це оборотний фонд. Він є лише невеликою частиною речовини, яка активно використовується живими організмами.

Атоми яких основних хімічних елементів настільки необхідні життя Землі? Це: кисень, вуглець, азот, фосфор та деякі інші. Зі з'єднань, основним у кругообігу, можна назвати воду.