Дарія Біда

ЧОМУ ЗМІНЮЄТЬСЯ

ЧАСТИНА 1

Навіщо нам енергія?

Наша планета втримує атмосферу, частинки якої практично не покидають Землю, а з іншого боку, ніякі космічні тіла не падають на поверхню Землі (маса метеоритів є мізерною у порівнянні з масою нашої планети). Отже, можна вважати, що *Земля не обмінюється масою* з космічним простором.

Усе набагато складніше, якщо говорити про обмін енергією, яку Земля безперервно отримує від Сонця. Що відбувається з цією енергією далі? На що вона витрачається? Переконана, кожен з вас може назвати багатьох споживачів сонячної енергії. Але якщо узагальнити окремі приклади, то можна сказати, що *сонячна енергія є причиною установленого на Землі кругообігу матерії.* Вітри і морські течії, випаровування та конденсація води, ріст і розвиток рослин, тварин та людей – все це відбувається завдяки сонячній енергії, яка надходить на Землю.

Сонячна стала

Впродовж багатьох років потік сонячної енергії на Землю практично не змінюється. І це чудово, бо якби Сонце гралося з нами в ігри „тепло-холодно", то Земля могла б вкритися кригою або перетворитися на випалену пустелю. Сонячне випромінювання для нас життєво важливе, тому його характеризують особливою величиною, яку називають сонячною сталою.

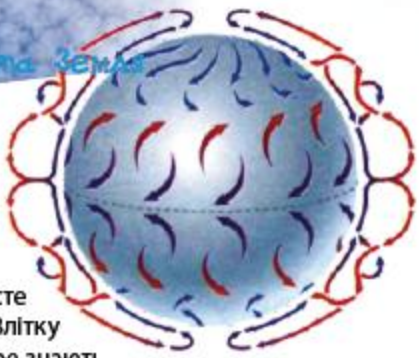
Сонячна стала – це сумарний потік енергії, що проходить за одиницю часу через одиничну площу, орієнтовану перпендикулярно до потоку за межами земної атмосфери. За даними позаатмосферних вимірювань сонячна стала становить 1367 Вт/м^2. Щоб отримати кількість енергії (у джоулях), треба це число помножити на 365 днів х 24 години х 60 хвилин х 60 секунд. Пам'ятайте, що результат множення – це енергія, яка припадає впродовж

року лише на 1 м². Таку ж
кількість енергії Земля витрачає,
адже якби це було не так, то температура на Землі
зростала б (якщо витрачається не вся енергія) або зменшувалася б
(у випадку, якщо Земля витрачає більше енергії, ніж отримує від Сонця).

Стала – не стала?

Сонячна стала не зовсім постійна, вона змінюється. Перший фактор, який впливає на її величину – відстань від Землі до Сонця. Як відомо, орбіта Землі є еліптичною, а тому сонячна стала змінюється впродовж року від 1412 Вт/м² на початку січня до 1321 Вт/м² на початку липня. Другий чинник, що впливає на сонячну сталу – активність Сонця, яка визначається кількістю плям на поверхні нашого світила та їхньою сумарною площею. Сонячна активність кожних 11 років досягає максимуму. Такі роки ми називаємо „рік сонячної активності". Останній пік активності Сонця припадає на 2012–2013 роки.

Зміна відстані до Сонця та сонячна активність регулярно (хоч і не значно) впливають на енергію, яка потрапляє на Землю. Тому сонячна стала окрім щорічних змін, зазнає також зміни з періодом в 11 років. Ці зміни можна прослідкувати впродовж життя людини. А є ще й такі зміни, які астрономи прогнозують відповідно до сучасних моделей розвитку Сонця. Виявляється, енергія його випромінювання зросте приблизно на 1 % впродовж 110 мільйонів років. Вам здається, що це дрібниця? А от і ні! Такі зміни відчутно впливають на клімат. Розрахунки учених показують, що зміна сонячної постійної на 1 % призведе до зміни температури Землі на 1–2 °C.

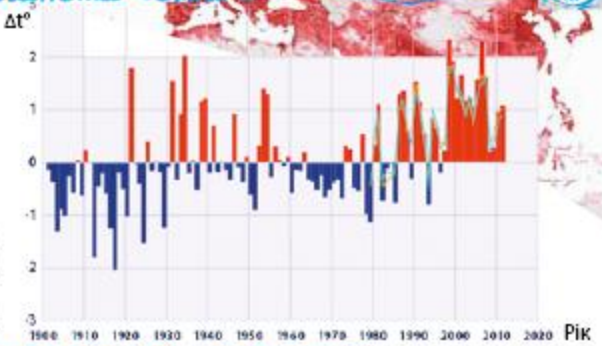


Температура на Землі

Але де саме на Землі температура зросте на 1–2 °С? На полюсі чи екваторі? І коли? Влітку чи взимку? Запитання доречне, бо всі добре знають, що впродовж дня температура найвища пополудні і найнижча – вранці; поблизу екватора температури впродовж року завжди високі, а поблизу полюсів – низькі; влітку в наших широтах завжди тепліше, ніж узимку. Це тому, що сонячні промені нагрівають Землю нерівномірно: що вище Сонце над горизонтом, то вища температура повітря. Отже, температура повітря залежить від кута падіння сонячних променів. А кут падіння – від широти місцевості та від часу доби. Між екватором і тропіками кут падіння променів найменший (до 0°), поблизу полюсів – найбільший. У Північній півкулі кут падіння сонячних променів опівдні найменший 22 червня (у Києві він становить 27° 00'), найбільший – 22 грудня (у Києві – 73° 54'). Тому влітку у цій півкулі завжди тепліше, а взимку – холодніше.

Складаючи прогнози погоди, метеорологи вимірюють температуру кожних три години, а в прогнозах нам називають лише одну цифру – середньодобову температуру (або межі, в яких змінюється температура впродовж дня). Але коли ми говоримо про можливу зміну температури на Землі, йдеться про середньорічну температуру на планеті, яка й визначає клімат Землі. Інститут космічних досліджень НАСА повідомляє, що температура поверхні нашої планети невпинно росте (мал. 1). У минулому році вона зросла на 0,51 °С більше, ніж за період з 1951 по 1980 роки[1]. Дослідники припускають, що це явище є наслідком збільшення парникових газів в атмосфері, особливо вуглекислого газу. Саме ці гази поглинають теплове випромінювання Сонця і затримують його в атмосфері. З'ясуємо, які гази називають парниковими та що таке парниковий (тепловий) ефект.

[1] *Цей період традиційно беруть за основу як такий, що передував глобальному потеплінню.*



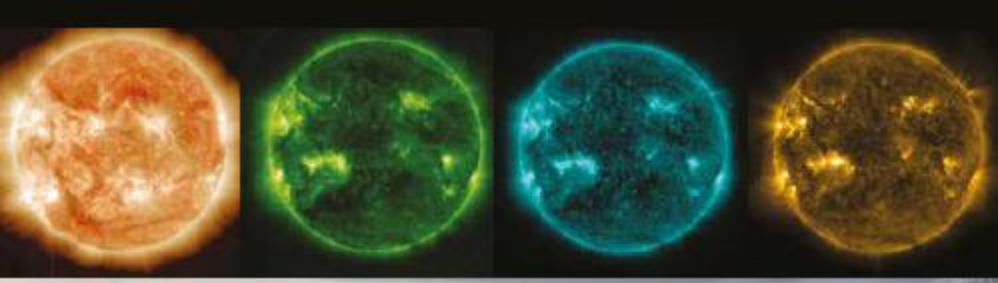
Мал. 1. Зростання середньої температури на поверхні Землі

Парниковий ефект

Ви напевне чули або читали, що парниковий ефект відповідальний за низку негативних змін на нашій планеті. Це неправда. Ну, по-перше, природні ефекти і явища не можна в чомусь звинувачувати. А по-друге, цей ефект для людей рятівний: якби не він, життя на нашій планеті не було б. Щоб зрозуміти це, давайте докладно з'ясуємо, як саме на Землі витрачається гігантська кількість енергії, яку дає нам Сонце. (Сподіваюсь, ви виконали операцію множення і отримане число вас вразило).

Відразу зауважу, що розрахована вами енергія потрапляє на Землю *за межами атмосфери*. І ще одне: Земля отримує енергію у вигляді одного випромінювання, а ось витрачається вона в формі іншого. Саме час з'ясувати, що відбувається з сонячним випромінюванням в атмосфері.

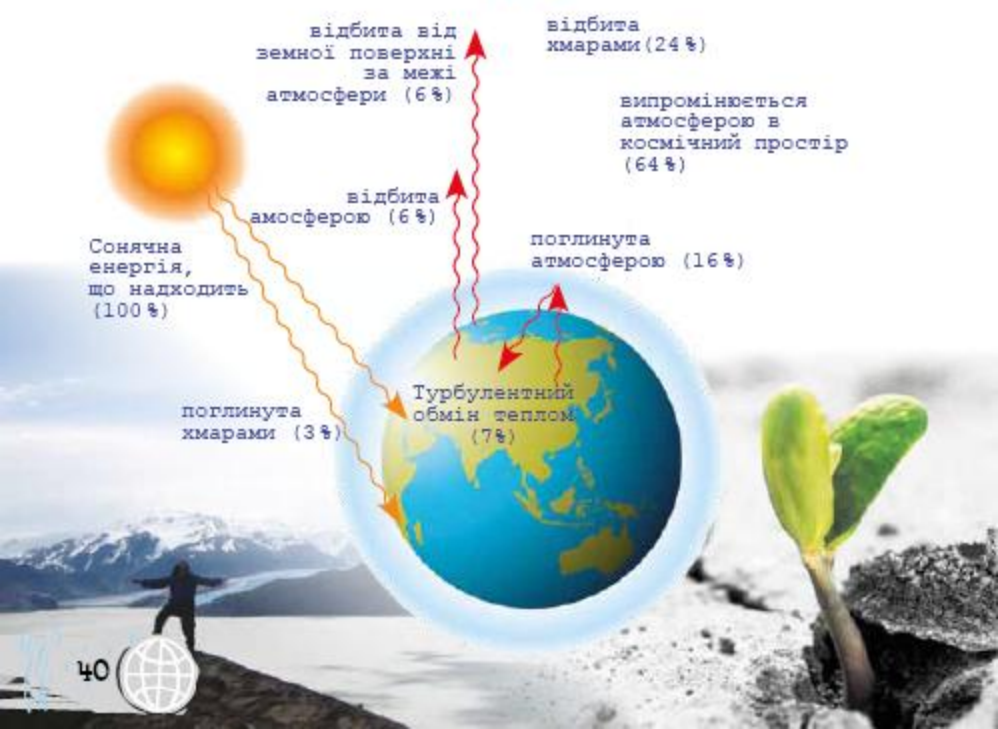
На мал. 2 схематично зображений баланс енергії для системи „космос-Земля-атмосфера". Сонячне світло проникає крізь атмосферу Землі, частково поглинається поверхнею, а частково відбивається від неї. Відбиті промені знову легко проникають крізь атмосферу і покидають Землю. Поглинуті промені нагрівають Землю, і її поверхня випромінює невидимі теплові промені. А це випромінювання вже не проникає крізь атмосферу, бо його поглинають так звані *парникові гази: водяна пара, вуглекислий газ, метан, окис азоту і фреони*. Нагрівшись, ці гази віддають енергію іншим частинкам повітря. Цей процес триває безперервно, в кожний момент часу і є причиною прогрівання нашої атмосфери. Нагріта атмосфера теж випромінює, частина цього випромінювання покидає Землю, а частина – знову поглинається парниковими газами. А далі все повторюється: парникові гази віддають енергію частинкам повітря, які знову випромінюють і т. д.

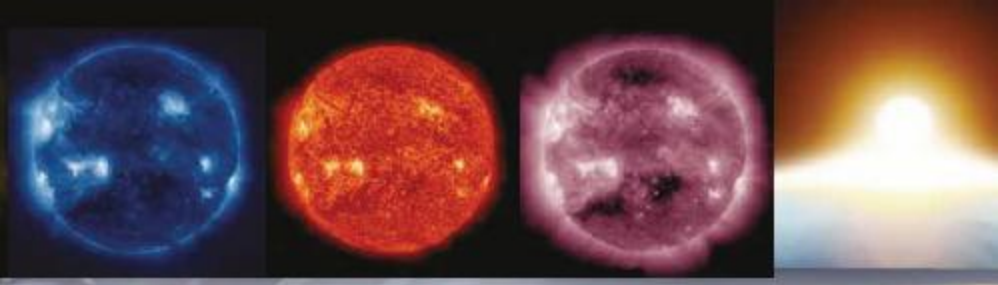


Такий процес відбувається у теплицях: видиме сонячне світло проникає у теплицю крізь скло, поглинається ґрунтом, який випромінює невидиме теплове випромінювання. Останнє не проникає крізь скло, відбивається від нього і прогріває повітря у теплиці.

Отже, сонячна енергія, яка потрапляє на Землю, складається з двох потоків енергії: одразу відбитої від поверхні Землі і теплової енергії, трансформованої у космічний простір системою „Земля-атмосфера" (мал. 2). Не залежно від способу, яким це станеться, енергія випромінювання Сонця врешті покине Землю, а Земля, постійно приймаючи і віддаючи енергію, залишається „при своїй температурі": середня температура її є постійною впродовж багатьох років і становить 15 °С. За такої температури на усій поверхні нашої планети можливі різні форми життя.

Мал. 2. Парниковий ефект в атмосфері Землі





Чудесна пара, або без води ніяк

Парниковий ефект розпочався на Землі відтоді, як у неї з'явилася атмосфера. Були періоди в історії нашої планети, коли він відбувався інтенсивніше, ніж зараз, і середня температура планети була вищою; були часи, коли він відбувався повільніше, і на Землі було холодніше, ніж зараз.

Ми з'ясували, що парникові гази сповільнюють віддачу сонячної енергії, „підігріваючи" атмосферу, і підтримують її температуру сталою. Якби вони не входили до складу атмосфери, на Землі було б набагато холодніше. Цікаво, що найважливішим парниковим газом у цьому сенсі є водяна пара. Не сподівалися? А нічого дивного, адже саме вода відіграє на Землі роль терморегулятора. І коли ми кажемо „атмосфера зберігає тепло Землі", то давайте уточнимо: вона має цю здатність у значній мірі саме завдяки водяній парі.

Водяна пара завжди присутня в атмосфері. Вода випаровується з вільної поверхні водойм, з вологого ґрунту і внаслідок транспірації[2] рослин. У різних місцях Землі і в різний час кількість водяної пари різна. Повітряні течії переносять її, із зниженням температури вона конденсується, утворюючи хмари. Хмари випаровуються, або у вигляді дощу чи кристалів льоду падають на Землю, змінюючи вміст водяної пари в атмосфері. Осади, які випадають з хмар, є важливим елементом погоди і клімату. На випаровування води з поверхні землі витрачається багато тепла, а під час конденсації водяної пари в атмосфері це тепло віддається повітрю. Хмари, які виникають внаслідок конденсації, відбивають і поглинають сонячне випромінювання на його шляху до Землі. З водяною парою у повітрі та її переходом з одного стану в інший пов'язані найважливіші процеси у природі і особливості клімату Землі. Ми відчуваємо себе комфортно за певного вмісту водяної пари у повітрі[3].

[2]Транспірація (від лат. „trans" – через, „spiro" – дихання) – випаровування води з поверхні рослин. Основним органом транспірації є листя.

[3]За температури 20–25 °С найсприятливішим для життя людини є повітря з відносною вологістю 40–60 %.

Парниковий газ	Величина парникового ефекту, °С	Температура на Землі без усіх попередніх парникових газів, °С
Середня температура на Землі 15 °С		
Водяна пара з хмарами	20,6	-5,6
Вуглекислий газ (CO_2)	7,2	-12,8
Озон (O_3)	2,4	-15,2
Окис азоту (NO_2)	1,4	-16,6
Метан (CH_4)	0,8	-17,4
Фреони(CFC_8)	< 0,8	-18,2
Разом	< 33,2	

Кількість водяної пари у повітрі змінюється з висотою. На висоті 5 км концентрація водяної пари у 10 разів менше, ніж поблизу поверхні, на висоті 8 км – у 100 разів менше, а вище 10-15 км її у повітрі мізерна кількість.

Щоб ода водяній парі була повною, уважно розгляньте таблицю і оцініть внесок кожного газу у парниковий ефект. У таблиці вказана величина парникового ефекту, який спричиняє кожний газ зокрема, а саме, на скільки градусів зменшилася б температура повітря за відсутності цього газу.

Внесок водяної пари у парниковий ефект найвагоміший. Якби до складу повітря не входила водяна пара, температура на Землі була б більш ніж на 20 °С менша і становила б -5,6 °С. Цей факт часто упускають медіа, коли розповідають про парникові гази і лякають парниковим ефектом. Однак це зовсім не підступний обман, просто ми не маємо жодного впливу на кількість водяної пари у атмосфері Землі. Її вміст залежить від температури, висоти, наявності поблизу великих водойм, вітрів, але не від діяльності чи бездіяльності людини.

В останній стрічці таблиці підсумовано: за відсутності в атмосфері усіх парникових газів середня температура на поверхні Землі була б -18,2 °С. Життя на такій планеті існувало б лише поблизу екватора, а решту поверхні планети вкривав би товстий шар вічного льоду. Почуєте, що хтось нарікає на парниковий ефект – поясніть йому, як він глибоко помиляється…

Далі буде.

Дарія Біда

ЧОМУ ЗМІНЮЄТЬСЯ КЛІМАТ

ЧАСТИНА 2

Модель молекули вуглекислого газу, яка складається з двох атомів Оксигену і одного атому Карбону

Супутник Aqua космічного агентства NASA

КЛІМАТ ЗЕМЛІ?

Ми вже з'ясували, що парниковий ефект – для нашої планети явище дуже корисне,[1] адже парникові гази суттєво збільшують температуру повітря і найбільше – водяна пара. Якби атмосфера не містила водяної пари, температура на Землі була б лише –5,6 °С. Оскільки на вміст водяної пари в атмосфері ми вплинути не можемо, то ключовим запитанням є, як діяльність людства впливає на вміст вуглекислого газу, другого за ефективністю парникового газу. Саме тому вчені, які вивчають атмосферу, ретельно досліджують кругообіг Карбону.

Кругообіг Карбону на Землі

Карбон є основою молекул життя – білків, ліпідів, вуглеводів, тому його називають елементом життя. Основні запаси Карбону на Землі зосереджені у вуглекислому газі, більшість якого входить до складу атмосфери і розчинена у водах Світового океану. Атоми Карбону мігрують з однієї частини біосфери[2] в іншу. Учені ретельно вивчають кругообіг Карбону і з'ясовують, як саме він потрапляє в атмосферу, та досліджують його стоки – механізми, якими Карбон виводиться з атмосфери.

[1] *Читай журнал „КОЛОСОК", №4/2013.*
[2] *Невелика приповерхнева частина оболонки Землі, де існує життя.*

Вуглекислий газ в атмосфері. Рослини поглинають вуглекислий газ у процесі фотосинтезу. Під впливом світла з води та вуглекислого газу в рослинах утворюється кисень, а неїстівні елементи ґрунту перетворюються у поживні речовини – білки та вуглеводи. Таким шляхом „елемент життя" потрапляє в структуру рослин. Далі Карбон може розіграти декілька „партій".

- Карбон затримується в рослинах, доки вони не загинуть, а потім стає „кормом" для редуцентів (організмів, які живляться мертвою органікою і переробляють її до простих, неорганічних сполук). Врешті Карбон знову повертається в атмосферу в складі вуглекислого газу.
- Рослину з'їдає травоїдна тварина. Карбон повернеться в атмосферу під час дихання тварини (або внаслідок її розкладання після смерті), або травоїдну тварину з'їдає хижак, а далі – той самий шлях повернення в атмосферу.

● Рослина гине і під Землею перетворюється у викопне паливо, наприклад, вугілля. У цьому випадку Карбон похований під землею.

Вуглекислий газ у Світовому океані. Для вуглекислого газу, розчиненого у водах Світового океану, природа теж передбачила декілька сценаріїв.

● Між атмосферою і Світовим океаном безперервно відбувається газообмін. Розчинений у воді вуглекислий газ за рахунок дифузії повертається в атмосферу.

● Карбон потрапляє у тканини морських рослин або тварин і накопичується у вигляді покладів вапняку на дні океану або, навпаки, з покладів переходить у воду.

Якщо Карбон увійшов до складу осадових порід або викопного палива, він випадає з кругообігу (і з атмосфери). Причому, в лісах він накопичується десятиліттями, а в болотах – тисячоліттями. Нафта і газ, які добувають сьогодні у Західному Сибіру, – це Карбон, захоронений мільйони років тому. Такі процеси призводять до зменшення вуглекислого газу в атмосфері. Але внаслідок вулканічних вивержень та інших геотермальних процесів атмосфера впродовж існування Землі поповнювалася вуглекислим газом, і його концентрація в атмосфері не змінювалася. Зараз до цих природних джерел поповнення вуглекислого газу додаються викиди CO_2 під час спалювання викопного палива. Учені намагаються з'ясувати, яка ж кількість CO_2 є у тканинах рослин (наприклад, у щойно посадженій лісосмузі), бо такі засадження є стоками Карбону. Однак вони сумніваються, що теперішнє пришвидшене зростання вмісту вуглекислого газу в атмосфері можна зупинити лише шляхом насаджування лісів.

Хмари над вулканом Манам Папуа-Нової Гвінеї внаслідок виверження водяної пари з вулкану. Фото супутника EO-1 (NASA)

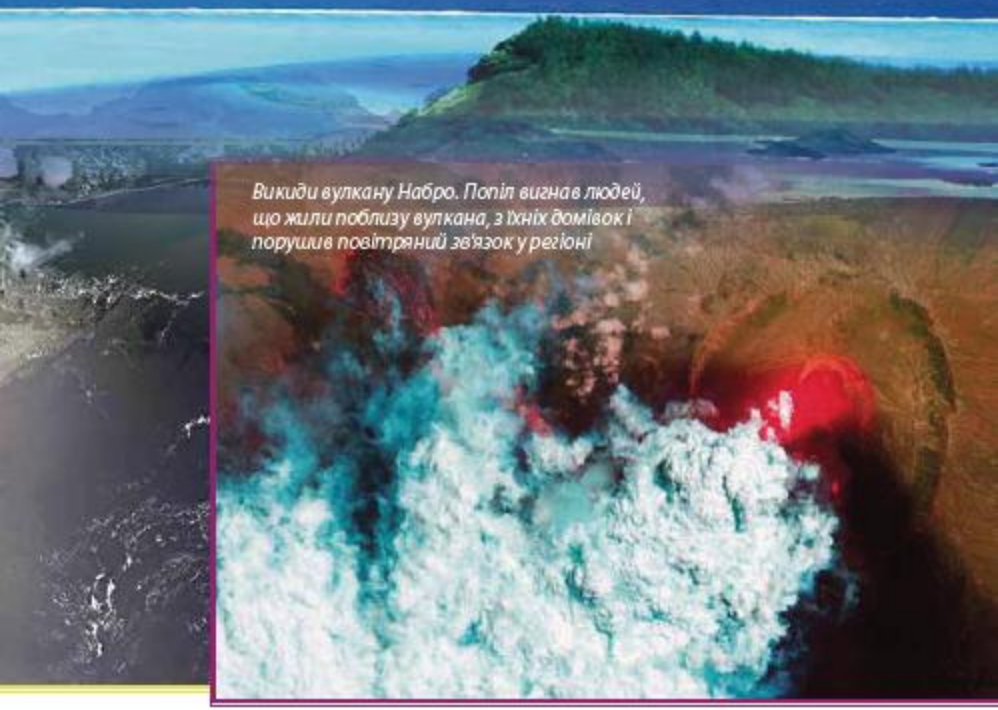
Витік нафти в Мексиканській затоці. Камери супутника Aqua (NASA) зафіксували відбите в космос від поверхні нафтових плям світло

У погоні за енергією

У природний кругообіг Карбону втрутилася людина. Вона виробляє їжу, формує середовище проживання, але найперше – видобуває і спалює викопне паливо. Переробка і спалювання горючих корисних копалин та органічних відходів забезпечує понад 95 % сучасного виробництва енергії. Спочатку люди інтенсивно спалювали деревину, потім – кам'яне вугілля, а тепер нафту і природний газ. Впродовж року ми спалюємо таку кількість палива, яке природа створювала мільйон років! Побічним ефектом хижацького знищення лісів є збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері.

Якби на нашій планеті не було лісів та океану, вміст вуглекислого газу в атмосфері був би значно вищий, ніж він є сьогодні. Приблизно половина всього антропогенного вуглекислого газу (викидів, джерелом яких є промисловість, транспорт, енергетика, сільське господарство та інша діяльність людини) з року в рік поглинається морями і біосферою суші. Причому на суходолі цю роль в першу чергу виконують природні ліси, які ми називаємо зеленими легенями планети.

Супутник *Aqua* космічного агентства *NASA* впродовж останніх семи років щодня вимірював рівень CO_2 в тропосфері Землі. Картина невтішна: рівень вуглекислого газу збільшується пришвидшеними темпами, причому най-



Викиди вулкану Набро. Попіл вигнав людей, що жили поблизу вулкана, з їхніх домівок і порушив повітряний зв'язок у регіоні

більше викидів вуглецю в атмосферу дають країни Північної півкулі, де розташована більша частина суші і промислово розвинених країн.

Учені прогнозують, що до середини XXI ст. вміст вуглекислого газу в атмосфері подвоїться, внаслідок чого температура підвищиться на 1,5–2 °С. Однак на думку деяких дослідників такі зміни можуть викликати прискорений фотосинтез і зіграти у розвитку цивілізації позитивну роль.

Звідки такий оптимізм? Оптимісти міркують так. Для фотосинтезу рослинам потрібний вуглекислий газ, тому збільшення його вмісту в атмосфері сприятиме росту дерев, адже він для них своєрідне добриво. Якщо вміст CO_2 в атмосфері зростатиме, це призведе до розростання лісів, які в свою чергу поглинатимуть ще більше CO_2. Хіба не чудо? Природа дає собі раду!

На жаль, це ілюзія благополуччя. Без сумніву, підживлення вуглекислим газом впливає на вегетацію[3]. Супутники передають фото регіонів, де буяють ліси, які поглинають все більше і більше вуглекислого газу. Однак цей ефект – недовговічний. Учені застерігають: оптимісти не враховують важливий процес, який суттєво знижує або й зводить нанівець функцію біосфери поглинати вуглекислий газ.

[3]Вегетація – активний період життєдіяльності рослинних організмів.

Дерево, не поспішай!

Посилений ріст дерев призводить до їхнього передчасного старіння: у дерев, які ростуть в атмосфері, перенасиченій вуглекислим газом, знижується якість деревини. Відповідно, вони гірше протистоять хворобам, шкідникам, екстремальним погодним явищам і раніше вмирають, а накопичений ними вуглекислий газ швидше повертається в атмосферу. Щоб перевірити таку модель, довелося б експериментувати декілька століть. Але, можливо, варто перестрахуватися? Тим паче, що екологи вже довели: у штучних лісових насадженнях швидкий ріст дерев означає й їхню швидку смерть. Не треба сподіватися на додаткове поглинання, коли мова йде про квоту викидів парникових газів у міжнародних зобов'язаннях щодо зниження рівня цих викидів. А це значить, що у цій справі є і політична складова…

Кіотський протокол

У 1997 р. в м. Кіото (Японія) відбулася Міжнародна конференція з глобальних змін клімату. Вона одноголосно прийняла протокол, згідно з яким вперше в історії для індустріально розвинених країн встановлені обов'язкові до виконання кількісні показники скорочення об'єму викидів парникових газів.

Відповідно до Кіотського протоколу у 2008–2012 роках для кожної держави були встановлені обмеження. Європейський Союз зобов'язався скоротити емісію парникових газів на 8%, США – на 7%, Японія, Канада, Угорщина і Польща – на 6%. Для країн, що розвиваються, встановили свій норматив: Ісландії – на 10%, Австралії – на 8% і Норвегії – на 1%. Росія, Україна і Нова Зеландія до 2012 року зобов'язалися зберегти рівень викидів, не зважаючи на ріст промислового будівництва. Термін дії договору завершився 2012 року. У грудні 2012 року на конференції ООН у південноафриканському місті Дурбан делегати з понад 190 країн прийняли рішення продовжити Кіотський протокол і в рамках другої фази з 2013 по 2020 роки зменшити об'єми викидів парникових газів на 25–40%. Однак цього разу США, Росія, Канада, Японія та Нова Зеландія відмовилися брати участь у Кіотському протоколі.

Знайти рівновагу

Для Природи кругообіг речовин – це постійний процес, звична, рутинна робота. Втручання людини може порушити рівноважний кругообіг Карбону, якщо викидів вуглекислого газу в атмосферу буде більше, ніж його стоків у лісах та болотах. Чи були такі зміни у складі атмосфери в минулому? Без сумніву, адже глобальні похолодання і потепління мають циклічний характер і повторюються приблизно кожних 100 тисяч років: 90–100 тисячоліть триває зледеніння, після чого на 15–20 тисячоліть настає міжльодовикове потепління. Такі повторення зміни клімату (цикли Міланковича) пов'язані з положеннями Землі у космічному просторі та активністю Сонця. За останній мільйон років льодовиковий період наставав і завершувався щонайменше 10 разів, але „перепочинок" тривав тисячі років, і жива природа пристосувалася до змін. Зараз наслідки змін клімату можуть відбутися в терміни, порівняні з тривалістю життя одного покоління. А тому поживемо – побачимо…

Зима в посушливих канадських Скелястих Горах. Температура була нижче –30 °С, але через відсутність снігу поверхня озера була прозорою, і можна було бачити замерзлі бульбашки в товщі льоду