

НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЕНЕРГІЇ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ У БІОГЕОЦЕНОЗІ

Інститут шовківництва УААН

НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОТЕНЦІЙНОЇ ЕНЕРГІЇ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ У БІОГЕОЦЕНОЗІ

Розглянуто проблему накопичення та використання різними видами організмів біогеоценозу потенційної енергії в гравітаційному полі Землі. Розрахунки показали, що, незважаючи на значно меншу її величину порівняно з енергією органічних сполук організмів, потенційна енергія є важливою складовою їх загальної енергії, яка забезпечує функціонування біогеоценозу.

Ключові слова: потенційна енергія, гравітаційне поле, біогеоценоз.

V. M. Litvin

Institute of Sericulture, Ukrainian Academy of Agrarian Sciences

ACCUMULATION AND USE OF POTENTIAL ENERGY OF THE GRAVITATIONAL FIELD OF THE EARTH IN BIOGEOCENOSIS

It is considered a problem of accumulation and use of potential energy in a gravitational field of the Earth by various kinds of organism's biogeocenosis. Calculations have shown that despite of the fact that it's much smaller in comparison with energy of organic connections, potential energy is the important general energy making them, which provides functioning of biogeocenosis.

Key words: potential energy, gravitational field, biogeocenosis.

Проблема руху потоків енергії і речовини залишається актуальною у дослідженні енергетики біосфери (Одум, 1986). Її можливо вирішити лише після детального вивчення цих потоків на рівні косної та живої речовини (Вернадський, 1976).

Основним видом енергії, яким живляться абіотичні і біотичні процеси на Землі, є енергія сонячного випромінювання.

Потенційний характер гравітаційного поля Землі дозволяє накопичувати відповідну енергію, зумовлену взаємним тяжінням Землі і тіла (Хайкін, 1966). Ця енергія потрібна для здійснення багатьох кліматичних, геофізичних та інших процесів.

Так, значна потенційна енергія накопичується у дощових хмарах, яка при падінні крапель поступово перетворюється в кінетичну енергію. Потоки води здатні нести значні маси речовини та енергії. Потенційна енергія води, яка накопичується в гірських районах завдяки дощам, при таненні снігу та льоду, неконтрольованому звільненні здатна причинити людині величезних втрат. Ця енергія, накопичена у вигляді снігу в гірських районах з обривистими схилами, часто трансформується у кінетичну енергію снігових лавин, які нерідко забирають життя людей та знищують їх майно. З іншого боку, людина давно використовує енергію води, збираючи її у водосховищах для виробництва електроенергії (Одум, 1986).

В умовах міста на дахах висотних будинків створюються умови для виникнення запасу потенційної енергії, яка прихована у масі льодяних бурульок. Чим більше висота споруди та маса бурульки, тим більшої шкоди може спричинити вивільнення енергії через її падіння.

Під час великих снігопадів та утворення заледеніння значна потенційна енергія збирається у вигляді снігу та льоду на дахах будівель, дротах електромережі, деревах та іншому і часто призводить до пошкодження цих об'єктів.

Для своїх потреб людина створює різні будови над землею (будинки, мости й інші споруди) і під землею (підвальні приміщення, шахти, метро тощо). Для їх будівництва витрачається енергія, частка якої зберігається у потенційній енергії споруди і може вивільнитися під дією якогось фактора, наприклад землетрусу. Особливістю підземних споруд є те, що всі вони являють собою гравітаційні пастки в першу чергу для води, що знаходиться на земній поверхні чи на глибині меншій, ніж ці споруди.

Гравітаційне поле Землі визначає динаміку багатьох процесів не тільки на нашій планеті, але і в ближньому космосі. Це поле утримує на навколосемній орбіті свій природний

спутник – Місяць, гравітація якого, в свою чергу, викликає припливні процеси на водній та твердій поверхні Землі (Чечкин, 1990).

Дія гравітаційного поля Землі розповсюджується на далеку відстань. Через це Землю можна розглядати як велику гравітаційну пастку, в яку можуть потрапити об'єкти різного походження, такі як космічний пил, метеорити, астероїди, комети тощо. Останні два види небесних тіл мають велику масу і тому велику потенційну та кінетичну енергію, здатну не тільки зруйнувати біоценоз, а й призвести до катастрофи на рівні біосфери. Подібні явища у минулому траплялись. Приблизно 65 мільйонів років тому на півострів Юкатан упав величезний астероїд. З цієї події пов'язують великі зміни у біосфері. Досі вивчаються наслідки впливу на фітогеоценоз падіння тунгуського тіла у 1908 році (Войцеховский, 2001).

Таким чином, існує багато прикладів накопичення потенційної енергії в умовах Землі. Природні та штучні неоднорідності рельєфу земної поверхні створюють для цього умови. Величина накопиченої таким способом енергії має різні значення: від енергії краплі води, що падає, до енергії величезного водосховища, стримуваного греблею. Звільнення цієї енергії може бути як корисним, так і руйнівним для біогеоценозу. Крім того, потенційна енергія великих космічних тіл (метеоритів, астероїдів, комет) становить загрозу існуванню біосфери.

Розуміння процесів накопичення потенційної енергії та шляхів і напрямків її звільнення у космному середовищі може дати поштовх до розуміння аналогічних процесів у живому середовищі.

За мету цієї статті ставили завдання вивчити накопичення та використання потенційної енергії представниками деяких біогеоценозів.

Аналіз літературних джерел показує, що в наш час існують лише розрізнені відомості, які можна трактувати як способи ефективного використання накопиченої потенційної енергії різними видами рослин та тварин у своєму житті. Однак всебічного розгляду це питання ще не знайшло.

Спробуємо розглянути накопичення та використання потенційної енергії на прикладі відомих фактів, щоб зрозуміти більш докладно шляхи руху енергії та речовини на рівні біогеоценозу.

Відомо, що сонячна енергія світлового діапазону накопичується вищими рослинами у вигляді потенційної енергії органічних сполук, які містяться у стовбурі, гілках, листі, насінні, плодах. Рух цієї енергії в біогеоценозі докладно вивчено. Але у рослин є частка потенційної енергії також сонячного походження, рух якої у біогеоценозі ще не досліджено. Вона зумовлена взаємним тяжінням Землі і маси всієї рослини, тобто всіх її наземних органів. Ця енергія рослини поступово збільшується під час її росту і часом нагадує про себе людині, коли вона безконтрольно звільнюється. Наприклад, вивільнена під час буревію потенційна енергія великих дерев, що зламуються чи видаються з корінням, є додатковим руйнівним фактором. При лісорозробках порушення правил техніки безпеки може призвести до трагічних наслідків – загибелі людей.

Не можна переоцінити роль цієї накопиченої потенційної енергії у розвитку фітоценозу. Адже завдяки їй функціонує коло кругообігу зворотного руху елементів живлення у ґрунт. Так, по закінченні вегетації листя, накопичивши потенційну енергію у гравітаційному полі, завдяки їй пересуваються вниз, де енергія їх хімічних сполук та речовина використовуються редуцентами та детритофагами для своєї життєдіяльності. Аналогічно за цією ж схемою повертаються у ґрунт елементи живлення з інших частин рослини (гілок, стовбура тощо).

Еволюція рослин безпосередньо пов'язана з розв'язанням такої проблеми: завдяки якій енергії протидіяти вивільненню накопиченої потенційної енергії в пилку та насінні при розселенні генетичного матеріалу по поверхні землі. Ця проблема була розв'язана за допомогою пристосування до енергії потоку повітря (вітру), води, а також тварин. Так, мала маса пилку та специфічні пристосування у видів рослин, наприклад повітряні мішечки хвойних, сприяли переносу його вітром. Завдяки яскравому кольору та запаху пилок інших рослин став привабливим для комах. А такі специфічні властивості поверхні пилку, як липкість, маслянистість та скульптурованість, сприяли переносу його комахами і навіть птахами.

В умовах горизонтального рельєфу розселення насіння та плодів у барохорів з місця їх визрівання до місця проростання чи споживання редуцентами та детритофагами також відбувається за рахунок накопиченої у них потенційної енергії під час розвитку рослин. Потік вивільненої кінетичної енергії насіння, яка трансформувалась з потенційної, направлений вертикально вниз до ґрунту, стабілізує кордони популяції від безмежного їх збільшення під дією горизонтального потоку енергії вітру. Очевидно, що стабілізація підвищується при збільшенні маси насіння і при зменшенні ефективності спеціалізованих морфологічних пристосувань для розселення. При різко вираженому гірському рельєфі гідрохори переносяться кінетичною енергією поталих вод та опадів на великі відстані від материнського дерева (Царик и др., 1995).

Багатий урожай, наприклад яблук, має значну потенційну енергію, яка здатна ще до вистигання плодів обламати скелетні гілки і частково знищити урожай. Щоб цього не трапилось, заздалегідь ставлять підпори проти передчасного вивільнення цієї енергії.

Унаслідок бурі незібраний урожай плодів, особливо з великою масою, може опинитись на ґрунті. За своїми наслідками в масштабі наземних тварин, що опинились під рослинами і своєчасно не сховались, це явище певною мірою аналогічне великому граду і навіть метеоритному дощу.

Якщо не було б гравітації, то важко було б уявити пасивний фактор, що переміщує насіння з рослини у ґрунт. Гіпотетично цю функцію могли б виконувати тварини, що здатні подолати повітряний простір, наприклад птахи. У космічному кораблі на фазі пасивного польоту в умовах невагомості потрібна якась інша активна сила для виконання цієї роботи. Її може виконати космонавт-дослідник, додаючи певні зусилля, щоб покласти насіння в ґрунт.

Наші дослідження впливу гравітаційного поля Землі на техноценоз (Литвін, Лютенко, 2001; Litvin, 1998) дають змогу виявити роль потенційної енергії, яку накопичують зрілі гусениці шовковичного шовкопряду, піднявшись на коконник. Місце на коконнику порівняно з підстилкою має певні переваги умов завивки кокону: жорсткий каркас, менша вологість та кращий обмін повітря тощо. До того ж, піднявшись на коконник, гусениця перед завивкою кокону спорожнює кишечник, і частка потенційної енергії, накопиченої під час підйому, витрачається на пересування цих екскрементів та навіть загиблих гусениць униз на підстилку. Таке розмежування у просторі місця завивки і підстилки з високою вологістю та інфекційною забрудненістю зменшує можливість передачі інфекції до здорових гусениць.

Додаткові аргументи для обґрунтування використання потенційної енергії в біоценозі надає етологія деяких комах, наприклад шкідників саду.

Метелики яблуневої плодожерки (*Laspeyresia pomonella*), що зимували у ґрунті, виходять із коконів і завдяки крилам можуть подолати енергетичний бар'єр між ґрунтом та рослиною, витрачаючи на це запаси своєї енергії. Самка, відклавши яйця на плоди та листя, надає їм порівняно невелику потенційну енергію. Проте цієї енергії буде достатньо, щоб яйця опинились на ґрунті, якщо їх не приклеїти до місця відкладки. Зростання потенційної енергії гусениці відносно поверхні землі починається ще у період ембріонального розвитку, коли її маса росте за рахунок запасних речовин яйця. Після виходу з яйця збільшення потенційної енергії гусениці відбувається до закінчення живлення внаслідок росту її маси. Але ця енергія під час живлення може збільшуватись або зменшуватись відповідно до пересування гусениці вгору або вниз по рослині відносно поверхні землі. Під час живлення гусениці потрібно утримуватись на листку, щоб передчасно не втратити потенційну енергію, упавши на землю.

Шкідники, накопичуючи потенційну енергію, можуть використовувати її для пересування до ґрунту шляхом падіння. При цьому буде заощаджуватись енергія, що запасена в органічних сполуках їх організму.

Так, зокрема личинка вишневого довгоносика (*Rhynchites auratus L.*), живлячись у середині кісточки, накопичує потенційну енергію, яку використовує після виходу із плоду, для пересування з місця її живлення до ґрунту, де відбувається її лялькування, укриття від хижаків та несприятливих умов зимівлі. Приблизний час падіння личинки з середньої висоти дерева (приблизно 3 м) становить 0,55 секунди, якщо не враховувати гальмування

швидкості з боку опору повітря. Зрозуміло, що цей шлях до ґрунту коротший та за часом швидший порівняно із шляхом по гілках та стовбурі.

Використовують потенційну енергію яблуневої плодової пильщик (*Haplocampa testudinea* Klug.), чорний сливовий пильщик (*Haplocampa minuta* Christ.), сливова товстонижка (*Eurytoma amygdali* End.) та ін. На відміну від вишневого довгоносики всі вони використовують для пересування потенційну енергію плодів: личинки, знаходячись усередині, разом із плодом падають з дерев. Унаслідок того що маса плода значно більше, ніж маса личинки, на падіння майже не впливає сила опору повітря, і личинка значно швидше, порівняно з самостійним падінням, досягає поверхні землі. Отже, їх захищений від хижаків час ще зменшується.

Такий шкідник, як букарка (*Coenrrhinus pauxillus* Perm.), живиться спочатку в черешку, готуючи його до падіння, а потім робить міні у м'якуші листка і падає разом з пошкодженим листком.

Деякі види гусениць, такі як американський білий метелик (*Hyphantria cunea* Drury), спроможні дозволити повільний спуск, використовуючи павутину, тому що мають захист від хижаків у вигляді захисних волосків.

Існує ще один аспект використання потенційної енергії продуцентами. Його суть полягає в тому, що завдяки потенційному характеру гравітаційного поля Землі наземна ніша хижаків відокремлена від ніші жертв у кроні дерев енергетичним бар'єром, який у процесі еволюції змогли подолати не всі їх хижаки.

Взаємодія комах і рослин в гравітаційному полі Землі, наприклад яблуневої плодожерки і яблуні, дає перевагу обом видам. З одного боку, рослина надає комахам живлення, захист від сонячних променів, енергетичний бар'єр для захисту від хижаків та ін. З іншого боку, рослини також отримують від комах певні переваги. Комахи перетворюють листя у поживні речовини, які потрапляють під рослину у вигляді екскрементів та залишків комах. Таким чином, у даному випадку маємо справу з протокооперацією.

Цікавий спосіб лову своїх жертв – мурах використовує мураховий лев (*Myrmeleon formicarius*). Личинка мурахового лева риє у сипучому ґрунті із піску чи пилу пастку-яму у вигляді воронки діаметром приблизно 10 см та глибиною 5 см, на дні якої ховається у ґрунті, залишивши у воронці лише широко розкриті щелепи. Цей спосіб ґрунтується на тому, що потенційна енергія його жертв на поверхні ґрунту має більшу величину, ніж на дні пастки. Завдяки цієї енергії мураха починає зісковзувати униз разом з піщинами, що обсіпаються, нерідко прямо у щелепи мисливця. Якщо жертва одразу не зісковзнула вниз і утримується на краю пастки, то піщини, що обсіпаються, досягають голови личинки і викликають металевий рефлекс – мураховий лев підкидає піщини високо у повітря. Лавина піску, схожа, по суті, на гірську, збиває жертву і тягне її вниз (Матиас Фройде, 1986).

Зрозуміло, що в умовах стану невагомості така пастка не буде діяти: жертва не буде зісковзувати на дно пастки, а підкинуті піщини не упадуть назад і не зіб'ють жертву.

Принцип гравітаційних пасток для ловлі здобичі був відомий ще первісній людині, яка робила замасковані ями. У наш час цей принцип використовується в пастках Барбера для лову комах. Усі ці способи поєднує те, що жертви, потрапивши на дно пастки, не мають можливості подолати енергетичний бар'єр між дном пастки і поверхнею землі за різних причин.

У процесі еволюції комахи та птахи досягли здатності частково подолати дію гравітації, використовуючи повітря. Це дало їм змогу, подолавши енергетичний бар'єр між нішею проживання на поверхні землі і нішею проживання на високих рослинах, відокремитись від багатьох наземних хижаків. Крім того, птахи одержали можливість добиратись до своєї їжі – комах, насіння.

Деякі хижі птахи у пристосуванні до гравітації пішли ще далі. Орли (*Aquila*), шуліки (*Milvus*) та деякі інші птахи під час полювання підіймаються високо у небо. Це дає їм огляд місцевості і накопичення великої потенційної енергії, щоб використати її потім для швидкого подолання відстані до жертви завдяки майже вільному падінню.

У гірській місцевості беркут (*Aquila chrysaetos*) може використовувати потенційну енергію гірських козлів, зіштовхуючи їх з обриву, щоб потім вживати тварин, що розбилися, в їжу.

Іноді цей прийом для розбивання беззубок (*Anodonta*), крабів (*Brachyura*) та іншої твердої здобичі використовують ворони (*Corvus corone*) та чайки (*Laridae*). Але при цьому вони самостійно надають жертві потенційну енергію, злітаючи з нею у повітря, а потім кидають здобич на землю, повторюючи це декілька разів, поки раковина чи панцир не розколеться.

Стерв'ятник (*Neophron percnopterus L.*) з цією метою підіймає в повітря черепах і кидає їх на поверхню землі. При цьому розбивається твердий панцир і здобич стає придатною до їжі. У випадку, коли здобич не можна підняти у повітря, наприклад яйце страуса, цей птах підіймає каміння і влучно кидає його униз, розбиваючи яйце (Ильичев и др., 1982).

Пташеня зозулі звичайної (*Cuculidae*) розбиває усі інші яйця, виштовхуючи їх із гнізда, щоб залишитися одному в прийомних батьків.

Порівнюючи процеси накопичення та звільнення потенційної енергії у косній та живій речовині, можна зробити висновок, що є певна аналогія у їх протіканні, а саме: обидва види речовини повільно накопичують, а потім швидко трансформують потенційну енергію в кінетичну енергію. Проте суттєвою відмінністю є те, що косна речовина накопичує потенційну енергію пасивно, а жива – активно. При цьому різні види використовують накопичену потенційну енергію не тільки свого чи чужого організму, але й косної речовини (енергію водосховищ тощо).

У таблиці наведено оцінку потенційної енергії та загальної калорійності, що накопичилися деякими видами організмів. Розрахунки проводились за даними, наведеними в літературі (Помология ..., 1992; Справочник ..., 1972; Хайкін, 1966; Смоленский, Абрамова, 1993). Потенційну енергію біооб'єктів E розраховували за формулою

$$E = mgh,$$

де m – маса біооб'єкта; $g = 9,8 \text{ м/сек}^2$ – прискорення вільного падіння, h – висота центру тяжіння біооб'єкта над поверхнею землі.

Загальну калорійність біооб'єкта розраховували шляхом множення маси біооб'єкта на його калорійність.

Як приклад було взято яблуню з округлою кроною загальною висотою 7 м, із штаббом висотою 1 м та діаметром стовбура 0,2 м. Загальна маса такої яблуні становить близько 90 кг. Центр тяжіння у цієї яблуні знаходиться приблизно на відстані 3,5 м від поверхні землі. Калорійність деревини складає 5922 КДж/кг сирової маси.

Розрахована таким чином потенціальна енергія яблуні становить 3,1 КДж (таблиця), у той час як енергія хімічних сполук – 532 980 КДж, тобто майже в 171 929 рази більше.

Оцінка загальної калорійності об'єктів і їх накопиченої потенційної енергії у гравітаційному полі Землі

Калорійність, КДж/кг сирової маси	Загальна калорійність, КДж	Сира маса, кг	Висота до центру тяжіння, м	Потенційна енергія, КДж
Стовбур та гілки яблуні				
5922	532980	90	3,5	3,1
Урожай яблук				
2016	141120	70	3,5	2,4
Беркут				
10500	52500	5	500	24,5

Потенційна енергія урожаю цієї яблуні масою 70 кг дорівнює приблизно 2,4 КДж, а його енергія хімічних сполук – 141 120 КДж (калорійність яблук – 2016 КДж/кг сирової маси), що майже в 58800 разів більше потенційної.

Якщо беркут масою 5 кг під час полювання злітає у небо на висоту 500 м, то він запасає потенційну енергію величиною 24,5 КДж, а його загальна калорійність становить 52 500 КДж, що у 2143 рази більше.

Видно, що у всіх організмів їх енергія хімічних сполук значно більше, ніж можливо накопичена потенційна енергія. Мабуть, цим можна пояснити те, що досі в дослідженнях енергетики біогеоценозу її не враховували.

ВИСНОВКИ

Еволюція біогеоценозів проходила на фоні гравітаційного поля Землі, тому їх представники пристосувались до властивостей цього поля, виробивши відповідні поведінкові навички. Цьому сприяв потенційний характер гравітаційного поля. Він дозволив продуцентам і консументам виробити здатність накопичувати потенційну енергію відносно поверхні землі. Це стало особливо важливим для продуцентів, які не мають активних органів для пересування свого опадку, насіння та плодів до ґрунту.

Розрахунки показали, що величина енергії органічних сполук окремих організмів значно більша, ніж їх потенційна енергія. Незважаючи на таке співвідношення величин цих енергій, масштаби діяльності потенційної енергії у біогеоценозі значні. Якщо енергія органічних сполук витрачається на активне пересування та дихання, то потенційна – лише на пасивне пересування шляхом падіння.

Еволюція організмів йшла одночасно у трьох напрямках – удосконаленні накопичення потенційної енергії, створенні механізмів протидії її вивільнення та використання.

Отже, гравітаційне поле Землі з його потенційною здатністю є необхідним абіотичним фактором для функціонування біогеоценозу. Накопичена потенційна енергія у гравітаційному полі Землі є важливою складовою загальної енергії, що використовується представниками біогеоценозів для своєї життєдіяльності. Подальший розвиток піднятих у статті питань дозволить уточнити деякі аспекти руху енергії та речовини в масштабі біосфери.

* * *

Автор висловлює щирі подяки професору Є. М. Білецькому, доктору сільськогосподарських наук Б. Ф. Пилипенку, кандидату біологічних наук С. В. Суханову, кандидату сільськогосподарських наук О. В. Прилуцькому за цінні поради, зроблені при підготовці цієї роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Вернадский В. И. Биосфера. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.
- Войцеховский А. И. Тунгусский метеорит и загадка кометы Галлея. – М.: Вече, 2001. – 428 с.
- Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1973. – 364 с.
- Ильичев В. Д., Карташев Н. Н., Шилов И. А. Общая орнитология: Учебник для студ. биол. спец. ун-тов. – М.: Высш. шк., 1982. – 464 с.
- Литвин В. М., Лютенко В. С. Проявление адаптации тутового шелкопряда к гравитационному полю Земли // Зоологічні дослідження в Україні на межі тисячоліть: Матеріали Всеукр. зоол. конф. – Кривий Ріг: ІВІ, 2001. – С. 65-66.
- Матиас Фройде Животные строят: Пер. с нем. / Предисл. А. А. Захарова. – М.: Мир, 1986. – 216 с.
- Одум Ю. Экология: В 2 т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
- Помология: В 5 т. Т. 1: Яблоня / М. В. Андриенко, Н. М. Артеменко, В. В. Даник и др.; Науч. ред. В. П. Копань. – К.: Урожай, 1992. – 352 с.
- Смоленский Б. Л., Абрамова Ж. Н. Справочник по лечебному питанию. – СПб.: Гиппократ, 1993. – 303 с.
- Справочник лесозаготовителя / А. М. Бедерсон, П. Г. Реутов, Л. И. Айплатов и др. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1972. – 352 с.
- Хайкін С. Е. Фізичні основи механіки. – К.: Рад. шк., 1966. – 744 с.
- Царик И. В., Жилиев Г. Г., Малиновский К. А. Некоторые аспекты пространственной организации сообществ и популяций растений // Экологія та ноосферологія. – 1995. – Т. 1, № 1-2. – С. 91-108.
- Чечкин С. А. Основы геофизики. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. – 287 с.
- Litvin V. M. Orientation of cocooning in the silkworm *Bombyx mori* L. in the gravitational field // *Sericologia*. – 1998. – Vol. 38, № 2. – P. 377-381.

Надійшла до редколегії 09.01.04