

## Методи досліджень

УДК 641.417.2(282.247.31)

О.Л. Орлов

### **НОВІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТВОРНОЇ ЗДАТНОСТІ ГУМУСОВИХ РЕЧОВИН**

*Орлов О.Л. Новые методы определения теплотворной способности гумусовых веществ // Науч. зап. Гос. природоведч. музея. – Львов, 2008. – Вып. 24. – С. 233-238.*

Предложены новые методы для определения энергетических характеристик органического вещества почв. Расчет теплотворной способности гумуса может производиться на основе его группового состава. В случае отсутствия данных качественного состава гумуса, энергоёмкость почв может быть определена по формуле на основе содержания гумуса в почве.

*Orlov O. New methods of definition of calorific capacity of organic matter // Proc. of the State Nat. Hist. Museum. – Lviv, 2008. – 24. – P. 233-238.*

New methods for definition of energetical characteristics of organic matter soils are offered. Calculation of calorific abilities humus is available on the basis of its group structure. In case of absence of the data of humus qualitative structure, soils energetical consumption can be determined by the formula on the basis of the humus contents in soil.

Гумус є найбільш інтегрованим продуктом ґрунтоутворення. Природа гумусу і його склад відображають весь комплекс впливів умов едафотопу і тих відхилень, які відбуваються в ньому внаслідок зміни визначальних чинників педогенезу. І це не випадково, оскільки формування гумусу має системний характер. У гумусі акумулюється азот та адсорбуються елементи зольного живлення рослин. Він значною мірою впливає на величину вбирної здатності, на стан структури та її водостійкості, тобто визначає фізичні та фізико-хімічні властивості едафотопів [8]. Крім того, гумус є основним геохімічним акумулятором та головним ресурсом асимільованої сонячної енергії [4]. Все це надає значний поштовх до вивчення природи, властивостей та енергоємності органічної речовини едафотопів.

Під час дослідження едафотопів користуються великою кількістю характеристик органічних речовин. Визначають вміст та запаси гумусу, груповий та фракційний склад, вміст азоту, оптичні властивості тощо. Для узагальнюючої характеристики органічної речовини едафотопів, для систематизації даних і уніфікації діагностичних критеріїв доцільно використовувати енергетичні показники ґрунтів. Енергетичні властивості органічної речовини ґрунту є важливими чинниками інтенсивності кругообігу речовини та трансформації енергії, крім того, ці показники свідчать про потенційну родючість ґрунтів, оскільки продуктивність ґрунтів тим вища, чим більше в них енергії, зв'язаної з ґрунтовим гумусом [2;3].

Енергоємність ґрунтів залежить від вмісту гумусу та його теплотворної здатності і багато в чому визначає продуктивність біогеоценозу. Теплотворна здатність органічної речовини формується через фракційно-групову структуру гумусових речовин і є свідченням якості енергетичних зв'язків та біотичної активності ґрунту. Фракційно-груповий розподіл енергії дозволяє визначити участь кожної фракції гумусових речовин у формуванні енергоємності ґрунту та більш

глибоко дослідити перерозподіл енергетичних ресурсів органічної речовини під впливом антропопресії.

З метою визначення енергоємності гумусу нами проаналізовано та критично переглянуто методи визначення енергетичних характеристик ґрунтів, що використовуються на даному етапі та запропоновано нові формули для їх розрахунку.

### Результати та обговорення

І.В. Тюрін [7], очевидно, першим вказав на доцільність використання енергетичних критеріїв для характеристики гумусу. Зіставивши теплоту згорання різних органічних сполук з кількістю кисню, необхідного для їх повного окислення, дійшов висновку, що ці результати можуть бути використані для визначення окислювальної здатності гумусу при розрахунках запасу енергії в органічних речовинах. Порівняння молекулярної теплоти згорання різноманітних органічних сполук з кількістю кисню, необхідного для їх повного окислення, привело І.В. Тюріна до висновку, що на 1 г-атом спожитого  $O_2$  припадає в середньому 53-54 кал. Результати визначення окислювальної здатності можуть бути використані для характеристики гумусу у відношенні запасу енергії, оскільки 1  $cm^3$  0,2-нормального розчину окислювача відповідає 5,3-5,4 кал/г. Формула для визначення запасів енергії в гумусі за Тюріном має такий вигляд:

$$Q = \frac{(a - b) \cdot 2,675 \cdot K \cdot 10}{n}, \text{ де} \quad [1]$$

$Q$  – запаси енергії в гумусі ( $10^6$  ккал/га);  
 $(a-b)$  - кількість розчину  $K_2CrO_3$  у  $H_2SO_4$ , витраченого на окислення гумусу (мг);  
 2,675 - кількість кал/г, що відповідає 1  $cm^3$  0,1н розчину  $K_2CrO_3$  у  $H_2SO_4$ ;  
 10 – коефіцієнт переводу в  $10^6$  ккал/га;  
 $K$  – шар ґрунту (м);  
 $n$  - наважка ґрунту (г).

Д.С. Орлов і Л.А. Грішина [6] провівши ряд операцій та підстановок в рівняння І.В. Тюріна, значно спростили і розширили можливості його використання. В кінцевому підсумку формула розрахунку запасів енергії має такий вигляд:

$$Q = 517,2 \cdot \Gamma \cdot H \cdot d, \text{ де} \quad [2]$$

$Q$  – запаси енергії, акумульовані гумусом ґрунту;  
 517,2 – коефіцієнт переводу в млн. ккал/га;  
 $\Gamma$  – вміст гумусу (%);  
 $H$  – шар ґрунту (м);  
 $d$  – щільність будови ґрунту ( $g/cm^2$ ).

В.К. Козін [5] дещо модернізував цю формулу, замінивши щільність будови ґрунту – рівноважною щільністю та ввівши в якості поправочного коефіцієнту якісний показник гумусу (Сгк/Сфк).

Усі ці методи є достатньо простими, проте їх точність досить низька (табл.1.). Теплота згорання гумусу для усіх ґрунтів приймається на рівні 5,17 ккал/г. Хоча як показують прямі калориметричні дослідження цей показник становить 3,1-4,9 ккал/г.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика даних енергоємності гумусу ґрунтів, отриманих калориметричним методом та розрахованих за окисленням**

Ґрунти	Енергоємність гумусу, Дж/г ґрунту		Статистичні показники			
	визначено калориметрично	розраховано за окисленням	ó	v	m	P
Бурі гірсько-лісові	2209,22	3254,05	738,81	27,05	522,42	19,12
Дерново-підзолисті	642,97	862,00	154,88	20,58	109,52	14,55
Підзолисто-дернові	772,67	1055,95	200,31	21,91	141,64	15,49
Сірі опідзолені	684,10	905,10	156,27	19,67	110,50	13,91
Лучні	1149,70	1443,85	208,00	16,04	147,08	11,34

З метою визначення біоенергетичних показників гумусу, С.А. Алієвим [2] було розроблено калориметричний метод визначення теплоти згорання гумусових кислот (спирто-бензолна фракція, гумінові кислоти, фульвокислоти та гуміни) виділених з різних типів ґрунтів. Ним встановлено [1;2], що теплота згорання 1 г гумінових кислот в гірсько-лучному ґрунті становить 4640 кал, в гірському чорноземі знижується до 4510 кал, тоді як в каштановому ґрунті і особливо в сіроземі зростає до максимальних величин – 5100-5290 кал. Теплота згорання гуміну дещо нижча, ніж гумінових кислот. Найнижчою теплоотою згорання характеризуються фульвокислоти (в середньому 2200 кал).

Л. Ришковські та Я. Зелінські [9] калориметрично визначили теплотворну здатність гумусу цілого ряду ґрунтів Польщі. Калорійність 1 г гумусу цих ґрунтів коливається в значних межах від 3632 кал до 4986 кал.

Калориметричні методи дозволяють з великою точністю визначити питому енергоємність гумусових речовин, проте є доволі складними та трудомісткими. В зв'язку з цим стає зрозумілим прагнення сучасних дослідників використовувати менш чутливі, але більш прості розрахункові методи визначення питомої енергоємності гумусу та запасів енергії акумульованої в його масі.

Поряд з калориметричним методом, С.А. Алієв запропонував проводити розрахунки за елементарним складом гумусу за формулою:

$$Q = 90 \cdot C + 34,4 \cdot H - 50 \cdot (0,87 \cdot O - 4 \cdot N), \text{ де} \quad [3]$$

Q – теплота згорання гумусових кислот, кал/г;

C, H, O, N – вміст (%) вуглецю, водню, кисню та азоту.

Отримані дані показали досить добрий співпадіння з результатами лабораторних калориметричних вимірів [2]. Проте, даний метод як і попередній є складним та довготривалим.

Отже, в наш час не існує простого та водночас відносно точного методу визначення енергетичних параметрів органічної речовини ґрунту, що перешкоджає розвитку досліджень в цій галузі. Проаналізувавши, отримані нами, калориметричні матеріали (табл. 2.) та дані С.А. Алієва, які описують теплотворну здатність гумусових речовин широкого спектру ґрунтів [1;2], ми дійшли висновку, що ці показники коливаються в незначних межах. Це дає нам підстави вважати, що теплота згорання гумусових кислот у середньому дорівнює 20 кДж/г, фульвокислот – 10 кДж/г, а нерозчинного залишку (гуміну) – 17 кДж/г.

Таблиця 2

### Теплотворна здатність гумусових речовин ґрунтів басейну верхнього Дністра

Ґрунти	Групи гумусових речовин, кДж/г		
	Гумінові кислоти	Фульвокислоти	Гумін
Бурі гірсько-лісові	19,44±1,66	9,86±1,69	17,11±1,12
Дерново-підзолисті	19,92±1,39	10,02±0,54	16,89±0,50
Підзолисто-дернові	19,67±0,56	9,90±0,42	17,21±0,91
Сірі опідзолені	20,29±1,25	9,54±1,79	17,05±0,65
Лучні	20,76±1,72	10,27±1,21	17,36±1,81

Оскільки органічна речовина у різних ґрунтах характеризується різним фракційно-груповим складом, а гумусові речовини ґрунту – доволі різною теплотворною здатністю, ми вважаємо за потрібне проводити розрахунок енергетичного потенціалу гумусу з врахуванням вмісту та теплоємності всіх його компонентів за формулою:

$$Q = \frac{20 \cdot G_{гк} + 10 \cdot G_{фк} + 17 \cdot G_{гм}}{100}, \text{ де} \quad [4]$$

$Q$  – теплотворна здатність гумусу (кДж/г гумусу);

20 – теплота згорання гумінових кислот (кДж/г);

10 – теплота згорання фульвокислот (кДж/г);

17 – теплота згорання гуміну (кДж/г);

$G_{гк}$  – вміст гумінових кислот (%);

$G_{фк}$  – вміст фульвокислот (%);

$G_{гм}$  – вміст гуміну (%).

Такий метод дозволяє зі значною точністю (табл. 3) розрахувати енергетичні параметри ґрунтового гумусу на основі фракційно-групового аналізу органічної речовини. Він не потребує використання додаткових приладів чи матеріалів і є доволі простим та зручним у розрахунках.

Запропонований метод дозволяє досить точно та оперативно розрахувати не тільки запаси енергії в гумусі, а й інші енергетичні параметри органічної речовини

грунтів та характеризувати енергетичну диференціацію ґрунтів, викликану зміною не тільки кількісних, а й якісних параметрів органічної речовини ґрунту.

Таблиця 3

**Порівняльна характеристика даних енергоємності гумусу ґрунтів, отриманих калориметричним методом та розрахованих за формулою [4]**

Ґрунти	Енергоємність гумусу, кал/г ґрунту		ó	v	m	P
	визначено калориметрично	розраховано за формулою				
Бурі гірсько-лісові	2209,22	2269,53	42,65	1,90	30,16	1,35
Дерново-підзолисті	642,97	660,40	12,32	1,89	8,71	1,34
Підзолисто-дернові	772,67	797,72	17,71	2,26	12,53	1,60
Сірі опідзолені	684,10	692,16	5,70	0,83	4,03	0,59
Лучні	1149,70	1120,24	20,83	1,84	14,73	1,30

Проте, доволі часто, виникає потреба в розрахунках енергоємності ґрунтів, а дані про фракційно-гуповий склад гумусу відсутні. Дослідження вмісту гумусу та енергоємності ґрунтів природних та антропогенізованих біогеоценозів басейну верхів'я Дністра, засвідчили існування прямолінійної залежності між цими показниками з рівнем апроксимації  $R^2=0,99$  (рис.).

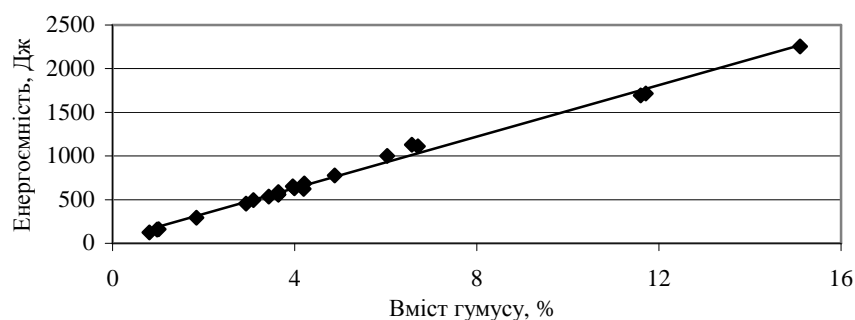


Рис. Взаємозв'язок між вмістом гумусу та енергоємністю ґрунтів

Для визначення вмісту енергії, акумульованої в гумусі можна використовувати прямолінійну залежність:

$$Q = 147,62Г + 40,497, \text{ де} \tag{5}$$

Q – вміст енергії, акумульованої в гумусі (Дж/г ґрунту);

Г – вміст гумусу (%).

Розрахунки, проведені за такою залежністю, є доволі простими, і що найважливіше точними. Показник точності не перевищує 5,44% (табл. 4.).

**Порівняльна характеристика даних енергоємності гумусу ґрунтів, отриманих калориметричним методом та розрахованих за формулою [5]**

Ґрунти	Енергоємність гумусу, кал/г ґрунту		ó	v	m	P
	визначено калориметрично	розраховано за формулою				
Бурі гірсько-лісові	2209,22	2269,56	42,67	1,91	30,17	1,35
Дерново-підзолисті	642,97	625,07	12,66	2,00	8,95	1,41
Підзолисто-дернові	772,67	760,88	8,34	1,09	5,89	0,77
Сірі опідзолені	684,10	661,98	15,64	2,32	11,06	1,64
Лучні	1149,70	1031,03	83,91	7,70	59,34	5,44

Такий метод доцільно застосовувати під час вивчення гумусового стану, проведення загальних біоенергетичних та моніторингових досліджень, бонітетної оцінки тощо.

### Висновки

Запропоновані методи визначення теплотворної здатності гумусу, за його груповим складом, та енергоємності ґрунту, за вмістом гумусу, дозволяють швидко а, головне, з високою точністю визначати енергетичні параметри ґрунтів. Це дасть змогу не лише оцінити запаси енергії, акумульованої в ґрунті, але й наблизить нас до визначення енергетичного балансу екосистеми, охоплюючи всі її компоненти, оскільки характер та інтенсивність основних біотичних процесів пов'язані з запасами та видозміною асимільованої сонячної енергії, яка, акумулюючись у рослинній масі і гумусі ґрунтів, служить основним джерелом для різноманітних біотичних та мінеральних перетворень.

1. Алиев С.А. Биоэнергетика органического вещества почв. – Баку: Из-во ЭЛМ, 1973. – 66 с.
2. Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв. – Баку: ЭЛМ, 1978. – 252 с.
3. Волобуев В.Р. Введение в энергетiku почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 127 с.
4. Ковда В.А. Биохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 262 с.
5. Козин В.К. Запас энергии в гумусе как критерий для бонитировки почв // Почвоведение, 1990. №3. – с.153-155.
6. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
7. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в почвообразовании: учение о почвенном гумусе. – М., Л.: Сельхозгиз, 1937. – 287 с.
8. Чертов О.Г. Об экологических функциях и эволюции почв // Вестник Ленинградского университета. Сер. 3. Вып. 2, 1990. №10. – с.75-81.
9. Ryzkowski L, Zielinski J. Direct measurement of calorific value of soil organic matter. Bulletin De L'Academie Polonaise des sciences. Serie des sciences biologiques. 1974, Cl. II. Vol. XXII, №11. p. 769-773.

Державний природознавчий музей НАН України, м. Львів  
e-mail: orlov\_oleg@mail.ru