

Гнеушев В.О., к.т.н., доцент, Стадник О.С., аспірант,  
Боднарюк Т.С., к.х.н., доцент (Національний університет водного  
господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ОЦІНКА ЗБАГАЧУВАНOSTI ВИСОКОЗОЛЬНОГО ТОРФУ У ВАЖКИХ РІДИНАХ**

Наведені результати розділення високозольного торфу родовищ „Засвіт-  
тя – Ситнелюк” та „Старники” у важких рідинах. Побудовані криві зба-  
гачуваності та фракційні характеристики. Визначенні граничні показ-  
ники збагачення.

**Ключові слова:** збагачення торфу, високозольний торф, збагачуваність.

Приведены результаты разделения високозольного торфа месторожде-  
ний „Засветья – Ситнелиук” и „Старники” в тяжелых жидкостях. Пост-  
роены кривые обогащения и фракционные характеристики. Определе-  
ны граничные показатели обогащения.

**Ключевые слова:** обогащение торфа, високозольный торф, обогатимость.

The results of division the high ash-content peat of peatlands „Zasvittia –  
Sytneliuk” and „Starnyky” in heavy fluids are resulted. The curves of  
washability and fractional testimonials are built. The maximum indexes of  
enrichment are determined.

**Keywords:** enrichment of peat, high ash-content peat, washability.

**В Україні торф є альтернативним паливом** місцевого значення. вико-  
ристання альтернативних палив, зокрема й торфу, стимулюється низкою  
державних програм згальнодержаного та регіонального рівнів. Серед них за-  
кон України „Про альтернативні види палива”, „Енергетична стратегія Укра-  
їни на період до 2030 року”. Психологічне підґрунття для розвитку та впро-  
вадження альтернативних джерел енергії створюють і аварії на атомних ста-  
нціях.

Більшість торфових родовищ України розміщені у заплавах річок, через  
що мають підвищену середню зольність, яка не дозволяє використовувати їх  
сировинний потенціал у якості палива. Авторами проаналізовано середню  
зольність 76,8% балансових запасів торфу в Україні і визначено, що лише  
47,8% з них мають середню зольність, яка відповідає кондиційній для палива  
(менше 23%). Ще 30,4% балансових запасів мають середню зольність 23-35%  
і не можуть використовуватись як паливо без збагачення (зниження зольнос-  
ті). Враховуючи вагомість частки некондиційних запасів торфу у загальній їх  
кількості, на кафедрі Розробки родовищ корисних копалин Національного

університету водного господарства та природокористування проводяться дослідження з оцінки збагачуваності та розробки технології збагачення високозольного фрезерного торфу.

У публікації [1] обґрунтовано можливість використання гравітаційних методів для збагачення високозольного торфу. З урахуванням сучасної технології видобування торфу акцент робиться на сухих методах збагачення. Що ж стосується розділення високозольного торфу у важких рідинах, то його доцільно використати для оцінки граничних показників збагачення.

Розділення нормальнозольного торфу у важких рідинах раніше виконувалося вченими АН БССР з метою виділення однорідних фракцій. Основна частина органічної маси торфу за результатами цих робіт має густину 1300-1400 кг/м<sup>3</sup>. Недоліком такого розділення є екстракція бітумів під впливом органічних розчинників, яка характерна для верхових торфів. Індикатором цього розчинення є зміна забарвлення важкої рідини від прозорого до жовтого та навіть коричневого кольору [2]. У низинних торфах України це розчинення зводиться до мінімуму через невисокий вміст бітумів (до 4%) [3].

За публікацією [4] важка рідина з густиною 2000 кг/м<sup>3</sup> використовувалася для виділення частинок вторинної золи торфу з метою її вивчення. Зниження зольності за рахунок виділення мінеральної частини торфу у цій роботі не розглядалося.

**Основною задачею** даного дослідження є дослідження збагачуваності високозольного торфу у важких рідинах та оцінка граничних показників збагачення.

**Для досліджень були відібрані проби** високозольного фрезерного торфу на родовищах «Засвіття – Ситнелюк» та «Старники», які є сировинними базами двох найпотужніших в Україні торфобрикетних заводів “Сойне” та “Смигаторф”.

Нормативні документи для проведення фракційного аналізу торфу не розроблялися. За базову була взята методика, що відповідає ГОСТ 4790-93 [4], з урахуванням окремих властивостей торфу, відмінних від властивостей палив, що зазначені у стандарті. До таких особливостей торфу належать: його здатність поглинати вологу і руйнуватись при цьому; екстракція бітумів, здатність вступати у реакцію з водними розчинами хлоридів цинку та кальцію.

Фракційний аналіз виконувався у наступній послідовності:

1. Висушування проб торфу до вологості близької 0% та подрібнення матеріалу до класу крупності –1+0 мм, оскільки основна частина мінералів вторинної золи мають крупність меншу 1 мм. Відсіювання частинок класу крупності –0,1+0 мм, оскільки ця фракція не розшаровується чи погано розшаровується навіть у центрифuzі.

2. Розшарування отриманого класу крупності –1+0,1 мм у важких рідинах за ГОСТ 4790-93 [4]. Розділення торфу здійснюється на центрифuzі ОС-6М впродовж 10 хв при швидкості обертання 3000 об/хв. З метою уникнення

руйнування зростків, у рідинах з різними густинами паралельні вихідні проби розділяються. Важкі рідини готуються змішуванням чотирихлористого вуглецю з бензолом або бромформом у об'ємних співвідношеннях, вказаних у табл. 1, відповідно до [5]. Після приготування важких рідин їх густину уточнюється за допомогою пікнометра. При необхідності густини коригуються додаванням бензолу, чотирихлористого вуглецю чи бромформу до відповідного значення.

3. Визначення масового виходу та зольності проміжних фракцій розрахованим шляхом згідно ГОСТ 4790-93 [4] за формулою

$$\gamma_{i-(i+1)} = \gamma_{(i+1)} - \gamma_i, \%, \quad (1)$$

де  $\gamma_{i-(i+1)}$  – масовий вихід проміжної фракції, яка отримана між  $i$ -тою та  $(i+1)$  густинами, %;  $\gamma_i$  – масовий вихід фракцій, що впливають, отриманий при  $i$ -тій густині, %;  $\gamma_{(i+1)}$  – масовий вихід фракцій, що впливають, отриманий при густині  $(i+1)$ . У формулу потрібно підставляти дані, які відповідають зростанню густини.

Таблиця 1

Наближене співвідношення важких рідин для приготування рідини з потрібними густинами

№ з/п	Густина рідини, кг/м <sup>3</sup>	Вміст бензолу (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ), у % за об'ємом	Вміст чотирихлористого вуглецю (CCl <sub>4</sub> ), у % за об'ємом	Вміст бромформу (CHBr <sub>3</sub> ), у % за об'ємом
1	1300	40	60	-
2	1400	26	74	-
3	1500	11	89	-
4	1600	-	98	2
5	1800	-	79	21

Зольність проміжних фракцій розраховується за формулою

$$A_{i-(i+1)} = \frac{A_{(i+1)} \cdot \gamma_{(i+1)} - A_i \cdot \gamma_i}{\gamma_{(i+1)} - \gamma_i}, \%, \quad (2)$$

де  $A_{i-(i+1)}$  – зольність проміжної фракції, яка отримана між  $i$ -тою та  $(i+1)$  густинами, %;  $A_i$  – зольність фракцій, що впливають, отримана при  $i$ -тій густині, %;  $\gamma_{(i+1)}$  – зольність фракцій, що впливають, отримана при густині  $(i+1)$ .

4. Побудова (за отриманими результатами) кривих збагачуваності та фракційних характеристик розділення торфу. Оцінка збагачуваності торфу за методиками, що використовуються для вугілля, та знаходження залежності ефективності за формулою Луйкена – Ханкока від розділової ознаки (густини).

**Масовий вихід класу крупності –0,1+0 мм високозольного торфу родо-вища „Засвіття–Ситнелок” становить 2,98%, а його зольність сягає 19,42%. Зольність вихідної проби дорівнює 27,81%. Зольність проби, яка спрямовувалась на розділення у важких рідинах, становила 28,07%. Масовий вихід класу**

крупності  $-0,1+0$  мм проби з родовища „Старники” дорівнює 9,64%, а його зольність 24,36%. Одержане значення зольності вихідної проби становить 25,42%. Зольність проби, яка направлялася на фракційний аналіз, дорівнює 25,54%.

Результати розділення високозольного торфу торфових родовищ „Засвіття – Ситнелюк” та „Старники” у важких рідинах наведені у табл. 2. За цими ж результатами побудовані криві збагачуваності і фракційні характеристики роділення торфів, зображені на рис. 1-4. На рис. 1 та 3 криві  $\beta$ ,  $\theta$  та  $\lambda$  характеризують кількісно-якісні показники концентрату, хвостів та проміжних фракцій відповідно.

У легких фракціях торфу міститься від 9,35 до 17,13% золи. Це пов'язано з високим вмістом конституційної золи та дрібнодисперсних мінеральних включень. Здебільшого виділена легка фракція відповідає нормальній зольності торфу низинного типу. Звідси можна припустити, що високозольний торф складається з нормально зольного торфу і мінералів вторинної золи. Виділити з високозольного торфу нормальнозольний можна за допомогою розділення у важких рідинах.

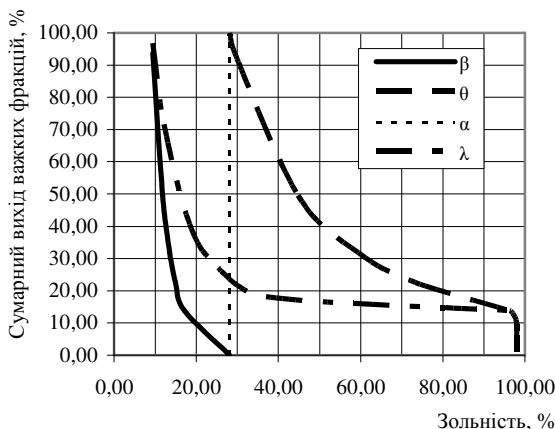
З характеру кривих  $\lambda$  бачимо, що при даній крупності подрібнення ( $-1+0$  мм) торф розділяється у важких рідинах достатньо ефективно.

Таблиця 2

Результати фракційного аналізу високозольного торфу

Фракція густини	Легкі фракції		Важкі фракції		Вихідний торф	
	$\gamma_{л}, \%$	$A_{л}, \%$	$\gamma_{в}, \%$	$A_{в}, \%$	$\gamma, \%$	$A, \%$
Торф родовища „Засвіття – Ситнелюк”						
<1300	6,32	9,35	100,00	28,07	6,32	9,35
1300-1400	50,48	11,76	93,68	29,33	44,16	12,10
1400-1500	68,22	13,48	49,52	44,70	17,74	18,37
1500-1600	77,44	14,89	31,78	59,39	9,22	25,32
1600-1800	86,18	17,13	22,56	73,31	8,74	36,98
>1800	100,00	28,07	13,82	96,29	13,82	96,29
Всього					100,00	28,07
Торф родовища „Старники”						
<1300	3,84	12,83	100,00	25,54	3,84	12,83
1300-1400	17,60	13,55	96,16	26,05	13,76	13,75
1400-1500	53,34	13,88	82,40	28,10	35,74	14,04
1500-1600	80,14	14,24	46,66	38,87	26,80	14,96
1600-1800	87,51	15,59	19,86	71,14	7,37	30,27
>1800	100,00	25,54	12,49	95,25	12,49	95,25
Всього					100,00	25,54

Збагачуваність торфу можна оцінити за різними методиками. Якщо розрахувати параметр  $T$  відповідно до [6], прийнявши густину, при якій у важку фракцію виділяється порода (мінеральна частина)  $1800 \text{ кг/м}^3$  і густини, в діапазоні яких виділяється проміжний продукт  $1500\text{-}1800 \text{ кг/м}^3$ , отримаємо значення  $T$  для обох торфів 22 та 39.



Це свідчить, що дана сировина належить до IV категорії з дуже важкою збагачуваністю. Критерії Фоменка становлять 0,46 та 0,56, що відповідає IV класу за збагачуваністю. Очевидно, що шкала класифікацій цих критеріїв, розроблена для вугілля та антрацитів, не підходить для оцінки збагачуваності торфу.

Рис. 1. Криві збагачуваності високозольного торфу родовища „Засвіття – Ситнелюк”

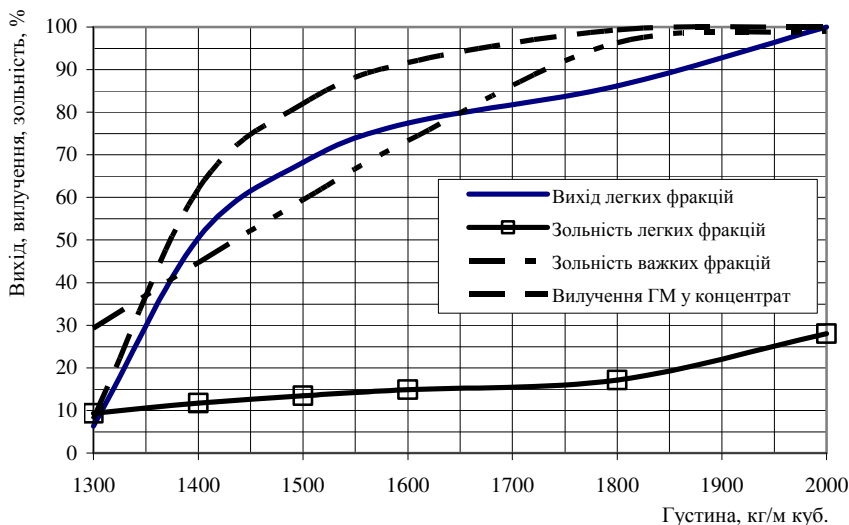


Рис. 2. Фракційні характеристики розділення високозольного торфу родовища „Засвіття – Ситнелюк” (ГМ – горюча маса)

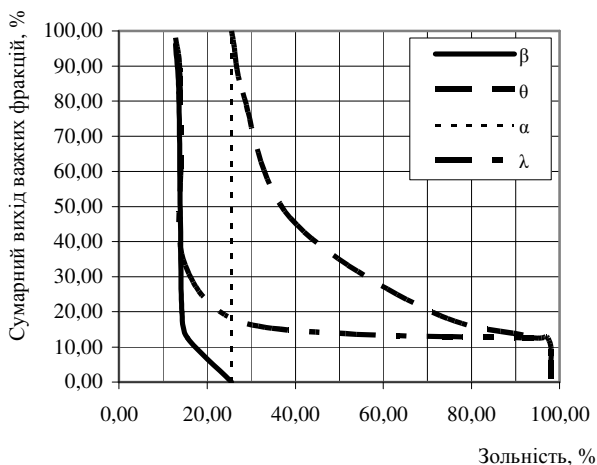


Рис. 3. Криві збагачуваності високозольного торфу родовища „Старники”

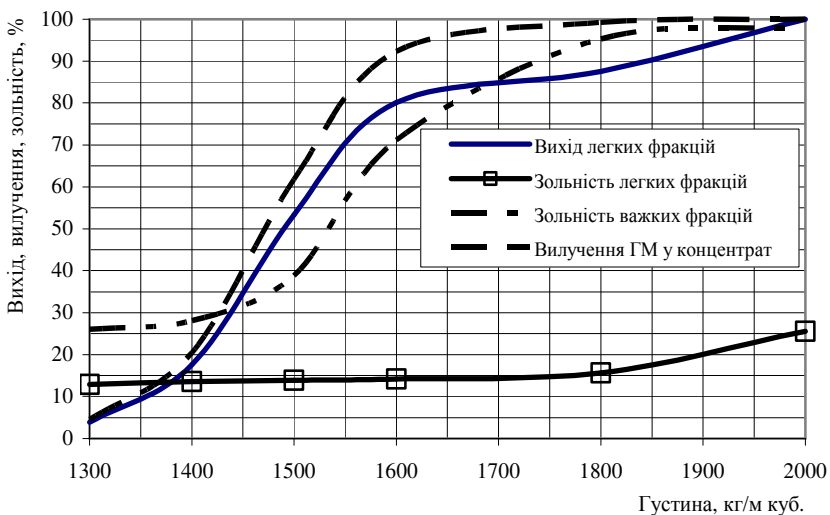


Рис. 4. Фракційні характеристики розділення торфу родовища „Старники” (ГМ – горюча маса)

Ефективність збагачення, яка розраховується за формулою Льюкена – Хенкока, не відображає усі режими розділення, що мають місце при фракційному аналізі. Проте можна визначити залежність ефективності розділення від густини  $\eta(\rho)$ , врахувавши кількісно-якісні показники, отримані при кожній густині розділення. Формула Льюкена – Хенкока має вигляд:

$$\eta = \frac{\varepsilon_k - \gamma_k}{100 - \alpha_{\min}} \cdot 100, \% \quad (3)$$

де  $\varepsilon_k$  – вилучення цінного компоненту у концентрат, %;  $\gamma_k$  – масовий вихід концентрату, %;  $\alpha_{\min}$  – вміст цінного компоненту у мінералах, які вилучаються, %. Якщо оцінювати ефективність вилучення золи з торфу, то замість вилучення цінного компоненту у концентрат потрібно підставляти у формулу (3) вилучення золи у важку фракцію, замість масового виходу концентрату – масовий вихід важкої фракції, а замість  $\alpha_{\min}$  – вміст золи торфу, який міститься у формі мінералів. Останній показник визначити досить складно. Для детальнішого опису цього показника проаналізуємо склад золи торфу.

Зола торфу поділяється на конституційну та вторинну. В ідеальному випадку у формулу потрібно підставляти значення вмісту вторинної золи, але методики її визначення не розроблені. До того ж, межа поділу між цими видами золи не завжди чітка, оскільки частина мінералів утворюються безпосередньо на торфовому родовищі (автогенні та біогенні мінерали). Тому найпростіше визначити умовне значення, яке є наближеним до вмісту вторинної золи. За таке значення можна прийняти різницю між зольністю вихідного торфу та вмістом золи у легкій фракції, яка виділяється при густині  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Саме таку густину має органічна частина торфу [7]. При цій густині у легку фракцію виділяється торф з хімічно-зв'язаною та дрібнодисперсною золюю, розсіяною в органічній речовині торфу, і це значення може бути наближеним до вмісту конституційної золи. При густинах понад  $1500 \text{ кг/м}^3$  у легку фракцію починають виділятися зростки.

Підставивши відповідні значення у формулу (3), отримаємо залежність ефективності розділення від густини (рис. 5). З рисунка бачимо, що торфу родовища „Засвіття – Ситнелюк” відповідає найвища ефективність (по Люйкену – Хенкоку) при густині розділення  $1570 \text{ кг/м}^3$ , а найвищі ефективності відповідають проміжку густин розділення  $1500\text{-}1700 \text{ кг/м}^3$ . При цих значеннях можна отримати граничні значення зольностей концентрату  $14\text{-}16\%$  з його масовим виходом  $68\text{-}82\%$ . Торфу родовища „Старники” відповідає максимальна ефективність розділення при густині  $1650 \text{ кг/м}^3$  і найвищі ефективності відповідають інтервалу густин розділення  $1600\text{-}1750 \text{ кг/м}^3$ . При цих значеннях густин можна отримати граничні значення зольностей концентрату  $14\text{-}15\%$  з його масовим виходом  $80\text{-}85\%$ .

Визначивши оптимальні густини розділення з методики Фоменка з використанням графіка (рис. 1-4), отримаємо їх значення для торфу родовища „Засвіття – Ситнелюк” величиною  $1540 \text{ кг/м}^3$ , що відповідає зольності концентрату  $14\%$  і масовому виходу  $74\%$ , а родовища „Старники” –  $1580 \text{ кг/м}^3$ , що відповідає зольності концентрату  $14\%$  і масовому виходу  $79\%$ .

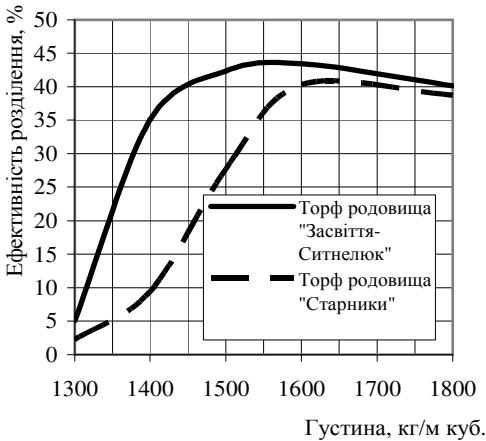


Рис. 5. Залежність ефективності розділення торфу у важких рідинах від його густини

Для торфу родовища „Старники” густина розділення становить 1860 кг/м<sup>3</sup>, вихід концентрату – 90% та вилучення горючої маси у концентрат – 99%.

**Фракційний аналіз торфу** дає можливість оцінити граничні показники збагачення, яких можна досягти іншими методами. Це дозволяє скоротити кількість дослідів з пошуку оптимальних режимів збагачення торфу іншими методами.

Оцінені граничні показники збагачення, що базуються на оптимізації за технологічною ефективністю та за економічною доцільністю процесу.

1. Гнеушев В. О., Стадник О. С. Технологічні властивості високозольного фрезерного торфу та обґрунтування методу його збагачення / В. О. Гнеушев, О. С. Стадник // Вісник КТУ.– Кривий Ріг, 2010. – Вип. 25. – С. 267-271. 2. Голуб В. Е., Раковский В. С. Разделение торфа на фракции различной плотности методом центробежной сепарации в тяжелых жидкостях / В. Е. Голуб, В. С. Раковский // Химия и химическая технология. – Вип. XVI. – М. : Недра, 1967. – С. 103-107. 3. Боднарюк Т. С. Використання торфу та торфових родовищ: навчальний посібник / Т. С. Боднарюк – Рівне: НУВГП, 2007. – Частина 1. – 175 с. 4. Топливо твердое. Определение и представление показателей фракционного анализа. Общие требования к аппаратуре и методике. ГОСТ 4790-93. – Междугосударственный стандарт. – Минск, 1993. – 42 с. 5. Фоменко Т. Г. Исследование углей на обогатимость / Т. Г. Фоменко, Т. С. Бутовецкий, Е. М. Погарцева. – М. : Недра, 1978. – 262 с. 6. Смирнов В. О., Білецький В. С. Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин / В. О. Смирнов, В. С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. – 300 с. 7. Лиштван И. И. Физико-химические основы торфяного производства / И. И. Лиштван, А. А. Терентьев, Е. Т. Базин, А. А. Головач. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.

Рецензент: доктор геологічн. наук, Мельничук В.Г. (НУВГП)