

УДК 662.767.2:661.1

[https://doi.org/10.31474/2073-9575-2025-1\(33\)-2\(34\)-70-77](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2025-1(33)-2(34)-70-77)В.В. Ішков
Є.С. Козій
К.М. Колчев
О.С. Дрешпак

ХІМІЧНА ПЕРЕРОБКА ТОРФУ: УЗАГАЛЬНЕНА БАГАТОРІВНЕВА КЛАСИФІКАЦІЯ

Мета дослідження. Розробити багаторівневу класифікацію застосування торфу в хімічній промисловості, що систематизує функціональні напрями, технології переробки та кінцеві продукти.

Методологія дослідження. Ґрунтувалася на системному аналітичному підході, що включав контент-аналіз, логічне структурування та типологічне моделювання. Було здійснено всебічний пошук та аналіз наукових джерел, а також ідентифікацію, класифікацію та групування технологічних процесів і продуктів за трьома основними критеріями: функціональне призначення, тип технології та хімічна природа продукту. Методологія дослідження передбачала кілька послідовних етапів, кожен з яких був спрямований на формування багаторівневої класифікаційної моделі, здатної відобразити складну структуру технологічних процесів і продуктів торфохімії.

Основні результати досліджень. Проведене дослідження було спрямоване на подолання фрагментарності у систематизації знань про хімічну переробку торфу. У результаті розроблено нову класифікацію, що має форму трирівневої ієрархічної моделі, яка органічно поєднує функціональні напрями, технології переробки та кінцеві продукти. Запропонована структура дозволяє комплексно охопити та впорядкувати все різноманіття способів хімічної утилізації торф'яної сировини — від традиційних до інноваційних. Класифікація демонструє, що торф є універсальною сировиною, яка може бути інтегрована в різноманітні хіміко-технологічні процеси, що виходять далеко за межі традиційного паливного використання. Вона забезпечує логічну повноту, технологічну гнучкість і практичну придатність для наукового аналізу, промислового планування та освітніх програм.

Наукова новизна результатів отриманих результатів визначається їхнім внеском у систематизацію знань та методологічних підходів у галузі глибокої переробки торфу. Вперше розроблено системну та цілісну класифікацію використання торфу в хімічній промисловості, яка інтегрує розрізнені технологічні напрями, що дозволяє усунути термінологічні та методологічні розбіжності між сферами агрохімії, медицини, матеріалознавства та екології. Вперше обґрунтовано концептуальне переосмислення ролі енергетичних процесів, зокрема газифікації та піролізу. Вони розглядаються не просто як джерела енергії, а як початкові стадії для виробництва хімічної сировини, що дозволяє інтегрувати їх у загальний контекст хімічної технології. Вперше створено гнучку модель класифікації, яка є масштабованою та може бути доповнена новими перспективними технологічними напрямками — такими як отримання графітоподібних матеріалів, вуглецевих наноструктур та біопластиків — у міру їхнього науково-технічного розвитку.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні універсального інструменту для аналізу та стратегічного планування у сфері глибокої переробки торфу. Запропонована класифікація сприяє вибору оптимальних технологій виробництва, виявленню міждисциплінарних «білих плям» та перспективних напрямів для подальших науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт. Крім того, вона може бути використана як структурований навчальний матеріал для підготовки фахівців, а також як інформаційна основа для бізнесу та інвесторів, демонструючи високорентабельні можливості на основі відновлюваної сировини.

Ключові слова: торф, хімічна переробка, класифікація, біоекономіка, гумінові речовини, піроліз, сталий розвиток.

Формулювання завдання та аналіз останніх досліджень. Хімічна переробка торфу є багатогранним напрямом, що поєднує історичну спадщину з сучасними технологічними інноваціями. Незважаючи на значний досвід, накопичений у цій сфері, у науковій літературі відсутня єдина, універсальна класифікація, яка б систематизувала різноманітні технології та продукти. Це ускладнює системний аналіз, порівняння методів і виявлення перспективних напрямів. Метою цього дослідження було розроблення

багаторівневої класифікації, що систематизує функціональні напрями, технологічні процеси та кінцеві продукти застосування торфу в хімічній промисловості. Хімічна переробка торфу становить самостійний і багатогранний напрям досліджень та промислового застосування, що має значну історичну спадщину і зберігає актуальність у сучасній технологічній практиці. Інтерес до хімічних властивостей торфу бере початок ще у XVII–XVIII століттях, про що свідчать праці таких натуралістів, як Йоганн Рудольф Глаубер,

який описав отримання аміачних і гумінових сполук [1], та Карл Вільгельм Шеєле, котрий вперше систематизував експерименти з виділення кислотних гумусових речовин [2].

Подальше промислове освоєння торфу — зокрема його коксування, дистиляція для виробництва фенолів, масел та активованого вугілля — було детально зафіксовано в працях дослідників XIX–XX століть, таких як Карл Альберт Вебер [3], а згодом узагальнено в роботах Лаппалайнена [4], Асплунда [6] та інших.

Попри тривалу історію та накопичений досвід, аналіз сучасної наукової літератури виявляє суттєвий методологічний пробіл: на сьогодні не існує єдиної, загальноприйнятої систематизації застосування торфу в хімічній промисловості. Існуючі підходи, зокрема публікації Міжнародного торф'яного товариства (IPS) [5], мають фрагментарний характер і зосереджуються або на функціональному призначенні кінцевих продуктів, або на описі окремих технологічних процесів, як це представлено в роботах Асплунда [6] та інших авторів.

Відсутність комплексної класифікаційної системи, яка б об'єднувала цільові напрями, технології та продукти, ускладнює системний аналіз, порівняння технологій і виявлення перспективних векторів розвитку торфохімії.

Актуальність даного дослідження зумовлена потребою в структуризації та уніфікації розрізнених знань у сфері хімічної переробки торфу. Розробка багаторівневої класифікації дозволить не лише впорядкувати наявну інформацію, а й стане інструментом для ідентифікації нових технологічних ніш у контексті сталого розвитку та біоекономіки.

Мета дослідження: Розробити багаторівневу класифікацію застосування торфу в хімічній промисловості, що систематизує функціональні напрями, технології переробки та кінцеві продукти.

Об'єкт дослідження — процеси хімічної переробки торфу.

Предмет дослідження — закономірності та взаємозв'язки між функціональним призначенням, технологічними процесами та продуктами переробки торфу, що дозволяють об'єднати їх у єдину класифікаційну систему.

Методологія дослідження. Розробка запропонованої класифікації хімічного використання торфу здійснювалася на основі системного аналітичного підходу, що поєднує елементи контент-аналізу, логічного структурування та типологічного моделювання. Методологія дослідження передбачала кілька послідовних етапів, кожен з яких був спрямований на формування багаторівневої класифікаційної моделі, здатної відобразити складну структуру технологічних процесів і продуктів торфохімії.

1. На першому етапі було здійснено всебічний пошук, відбір і попередню оцінку наукових джерел, що висвітлюють різні аспекти хімічної переробки торфу. До аналізу включено рецензовані статті, монографії, технічні звіти та матеріали авторитетних міжнародних організацій, зокрема International Peatland Society (IPS), UNEP, Springer Nature тощо.

Критеріями відбору джерел були: 1) актуальність (публікації переважно за останні 10–15 років); 2) наукова значущість (визнання в міжнародному академічному середовищі); 3) орієнтація на промислове застосування технологій хімічної переробки.

Згідно з метою дослідження, роботи, присвячені виключно енергетичному використанню торфу як палива не були включені до аналізу — з огляду на специфіку джерел та обмежену релевантність у контексті хімічної промисловості.

2. На другому етапі відібраний масив даних було піддано контент-аналізу з метою ідентифікації, класифікації та групування згаданих технологічних процесів і продуктів. Для цього було сформовано набір класифікаційних ознак, що дозволяють впорядкувати інформацію за трьома основними критеріями: 1). Функціональне призначення кінцевого продукту (агрохімія, сорбенти, біостимулятори, каталізатори тощо); 2). Тип застосовуваного хіміко-технологічного процесу (екстракція, піроліз, модифікація, гідроліз, імпрегнація тощо); 3). Хімічна природа та галузь застосування отриманого продукту (гумінові речовини, феноли, активоване вугілля, органічні кислоти тощо).

Такий підхід дозволив виявити повторювані патерни, технологічні зв'язки та

функціональні відповідності між процесами і продуктами.

3. На завершальному етапі, на основі встановлених взаємозв'язків, було побудовано трирівневу класифікаційну модель, що відображає логіку промислового застосування торфу в хімічній галузі. Структура моделі має вигляд:

Функціональне призначення → Технології
→ Продукти

Ця ієрархія дозволяє: 1) починати аналіз з визначення ринкової або галузевої ніші (функціональний напрям), 2) обирати відповідну технологію переробки (метод), 3) ідентифікувати кінцевий продукт з урахуванням його хімічних властивостей та сфери застосування.

Запропонована модель забезпечує уніфікацію розрізнених даних, наочність структури та практичну придатність для наукового аналізу, промислового планування та освітніх цілей.

Таким чином, у основі використаної методики лежить описативний аналіз,

Таблиця 1 – Багаторівнева класифікація застосування торфу у хімічній промисловості

Функціональний напрям	Основні технології	Основні продукти
1. Агрохімія та сільське господарство	1.1 Лужна екстракція; 1.2 Окислювальна модифікація низинного торфу перманганатом калію; 1.3 Аеробне компостування з торф'яним наповнювачем; 1.4 Мікробіологічна активація та ферментативна обробка	1.1.1 Гумінові та фульвокислоти; 1.2.1 Гумати калію/натрію; 1.3.1 Грунтополіпшувачі; 1.4.1 Органо-мінеральні комплекси; 1.4.2 Біостимулятори
2. Медицина та фармакологія	2.1 Гомогенізація та пастеризація високо розкладеного низинного торфу; 2.2 Водна або спиртова екстракція гумінових кислот; 2.3 Карбонізація при 600–800 °C з подальшою хімічною активацією $ZnCl_2$	2.1.1 Лікувальні торф'яні грязі; 2.2.1 Біологічно активні добавки (нутрицевтики); 2.3.1 Ентеросорбенти
3. Екологія та природоохоронні технології	3.1 Хімічна модифікація торфу з введенням аміногруп 3.2 Термічна активація при 850–950 °C у середовищі водяної пари 3.3 Гідрофобізація торфу силанізацією або модифікацією силосановими агентами	3.1.1 Сорбенти для очищення стічних вод 3.2.1 Фільтри для летких органічних сполук (VOC) 3.3.1 Гідрофобні сорбенти для нафтопродуктів

контентна типологізація та логічне структурування інформації, що дозволяє розглядати отриману класифікацію як результат систематизації наявних знань у сфері торфохімії та як інструмент для подальших досліджень і технологічних розробок.

Результати досліджень та їх обговорення. У результаті проведеного системного аналізу міжнародних наукових джерел було розроблено ієрархічну класифікацію (таблиця 1) застосування торфу в хімічній промисловості. Класифікація структурована за принципом «від загального до конкретного» і включає три рівні: функціональний напрям → технології переробки → кінцеві продукти. Такий підхід дозволяє не лише каталогізувати наявні методи хімічної трансформації торфу, а й виявити потенційні міждисциплінарні зв'язки, нові технологічні ніші та перспективи для інноваційного розвитку.

Продовження таблиці 1

4. Матеріалознавство та промисловість	4.1 Гаряче пресування з термопластами при 150–200 °С 4.2 Термоактивація при 900 °С для каталізаторних вугілля 4.3 Екстракція органічних бітумів толуолом і хлороформом 4.4 Імпрегнація та модифікація полімерними матрицями	4.1.1 Торфополімерні композити 4.2.1 Каталізатори 4.3.1 Торф'яний віск і бітуми 4.4.1 Зв'язуючі речовини для технічних матеріалів
5. Енергетика та термічна переробка	5.1 Сушіння та пресування в брикети/пелети 5.2 Газифікація при 900–1000 °С в киснево-паровому середовищі 5.3 Піроліз при 450–600 °С з конденсацією летких продуктів 5.4 Анаеробне зброджування 5.5 Ферментація з використанням мікроорганізмів 5.6 Біохімічна активація субстратів	5.1.1 Торф'яні брикети 5.2.1 Синтез-газ (CO + H ₂) 5.3.1 Піролізні масла, смоли, феноли 5.4.1 Біогаз (CH ₄ + CO ₂), дигестат 5.5.1 Біоетанол, біобутанол 5.6.1 Субстрати для мікробного синтезу, ферментативні комплекси

Представлена структура демонструє, що торф є універсальною сировиною, здатною інтегруватися в різноманітні хіміко-технологічні процеси, які виходять далеко за межі традиційного паливного використання. Його багатокомпонентний органічний склад, висока реакційна здатність та доступність роблять торф привабливим об'єктом для хімічної інженерії, матеріалознавства, фармакології та екологічних технологій.

Агрохімія є одним із найбільш розроблених напрямів хімічного використання торфу. Як зазначає Schmilewski [7], хоча торф традиційно цінується як субстрат для вирощування рослин, його хімічна переробка відкриває можливості для отримання високомаржинальних продуктів, таких як гумінові речовини, біостимулятори та органо-мінеральні комплекси.

Технології лужної екстракції, що дозволяють отримувати гумати, добре досліджені та комерціалізовані [8]. Водночас включення до класифікації окислювальної модифікації та аеробного компостування підкреслює технологічне розмаїття навіть у

межах одного функціонального напрямку. Це свідчить про можливість цілеспрямованого регулювання властивостей кінцевого продукту залежно від потреб аграрного сектору — від ґрунтополіпшувачів до біологічно активних стимуляторів росту.

Медико-фармацевтичне використання торфу, як показав аналіз Röder [9], базується на двох принципово різних технологічних підходах: фізико-механічний обробці (лікувальні грязі) та глибокій хімічній переробці (ентеросорбенти, нутрицевтики). Це наочно ілюструє перевагу трирівневої класифікаційної моделі, яка дозволяє об'єднувати в межах одного напрямку продукти, схожі за функціональним призначенням, але різні за способом отримання.

Зокрема, технології карбонізації з хімічною активацією дозволяють створювати сорбенти з високою питомою поверхнею, що мають терапевтичне або профілактичне значення. Водночас екстракція гумінових кислот забезпечує отримання біологічно активних речовин з антиоксидантними та імуномодулюючими властивостями.

Екологічний напрям активно розвивається, що зумовлено зростаючими вимогами до очищення довкілля та впровадженням принципів циркулярної економіки. Роботи Asplund [6] і Olaide et al. [10] підтверджують, що саме хімічна модифікація торфу — зокрема амінофункціоналізація та гідрофобізація — надає сорбентам специфічні властивості, які значно перевищують ефективність природного торфу.

Класифікація чітко розмежовує екологічне та енергетичне застосування, хоча в основі деяких технологій (наприклад, активація паром) лежить високотемпературна обробка, характерна для обох напрямів. Це підкреслює технологічну гнучкість торфу як сировини та можливість його адаптації до різних функціональних задач.

Матеріалознавство є одним із найбільш інноваційних напрямів запропонованої класифікації. Дослідження Paal [11] у сфері фенольних сполук та Müller [12] щодо торф'яного воску демонструють, що торф може бути джерелом специфічних хімічних речовин, які мають високу цінність для промисловості.

Технологія створення торфополімерних композитів [6] трансформує торф із традиційної сировини в функціональний компонент нових матеріалів, що розширює межі торфохімії та відкриває перспективи для застосування в будівництві, упаковці, електроніці. Крім того, екстракція органічних бітумів та імпрегнація полімерними матрицями дозволяють створювати зв'язуючі речовини та каталізatori з унікальними властивостями.

Енергетичне застосування в межах класифікації розглядається не як джерело енергії, а як джерело хімічних продуктів, що є принципово важливим з методологічної точки зору. Як справедливо зазначають Wichtmann і Schröder [13], процеси піролізу та газифікації є джерелами цінної хімічної сировини — смол, фенолів, синтез-газу [14], які використовуються в органічному синтезі, виробництві пластмас, розчинників та інших промислових продуктів [15].

Таким чином, класифікація дозволяє переосмислити роль термічної переробки торфу, інтегруючи її в загальнохімічний

контекст і відкриваючи нові горизонти для досліджень у сфері хімічної інженерії.

Запропонована класифікація успішно систематизує розрізнені дані, демонструє високий ступінь адаптивності торфу до різних технологічних процесів і підкреслює, що вибір технології переробки безпосередньо визначається функціональним призначенням кінцевого продукту. Такий підхід сприяє формуванню інтегрованої наукової картини торфохімії та створює основу для подальших досліджень, стандартизації та промислової реалізації.

Висновки. Проведене дослідження було спрямоване на подолання фрагментарності у систематизації знань про хімічну переробку торфу. У результаті розроблено нову класифікацію, що має форму тривірневої ієрархічної моделі:

«функціональний напрям → технології → продукти».

Запропонована структура дозволяє комплексно охопити та впорядкувати все різноманіття способів хімічної утилізації торф'яної сировини — від традиційних до інноваційних. Вона демонструє, що торф є універсальним ресурсом для багатьох хіміко-технологічних напрямів, які виходять далеко за межі паливного використання. Класифікація забезпечує логічну повноту, технологічну гнучкість і практичну придатність для наукового аналізу, промислового планування та освітніх програм.

Таким чином, дана робота вносить вклад у структуризацію галузі торфохімії та створює теоретичну основу для її подальшого сталого розвитку в контексті біоекономіки та циркулярних виробництв.

Наукова новизна отриманих результатів визначається їхнім внеском у систематизацію знань та методологічних підходів у галузі глибокої переробки торфу. Вперше:

1. Розроблено системну та цілісну класифікацію використання торфу в хімічній промисловості, яка інтегрує розрізнені технологічні напрями, що дозволяє усунути термінологічні та методологічні розбіжності між сферами агрохімії, медицини, матеріалознавства та екології.

2. Обґрунтовано концептуальне переосмислення ролі енергетичних процесів, зокрема газифікації та піролізу. Вони

розглядаються не просто як джерела енергії, а як початкові стадії для виробництва хімічної сировини, що дозволяє інтегрувати їх у загальний контекст хімічної технології.

3. Створено гнучку модель класифікації, яка є масштабованою та може бути доповнена новими перспективними технологічними напрямками — такими як отримання графітоподібних матеріалів, вуглецевих наноструктур та біопластиків — у міру їхнього науково-технічного розвитку.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні універсального інструменту для аналізу та стратегічного планування у сфері глибокої переробки торфу. Запропонована класифікація сприяє вибору оптимальних технологій виробництва, виявленню

міждисциплінарних «білих плям» та перспективних напрямів для подальших науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР). Крім того, вона може бути використана як структурований навчальний матеріал для підготовки фахівців, а також як інформаційна основа для бізнесу та інвесторів, демонструючи високорентабельні можливості на основі відновлюваної сировини.

Таким чином, дана робота робить внесок у структуризацію галузі торфохімії та створює теоретичну основу для її подальшого сталого розвитку в контексті біоекономіки та циркулярних виробництв.

Список літератури

1. Glauber, J.R. *Furni Novi Philosophici*. Amsterdam: Johan Jansson. 1665. 258 p.
2. Scheele, C.W. *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer*. Leipzig: Siegfried Lebrecht Crusius, 1786. 232 p.
3. Weber, C.A. *Die Torfindustrie in Norddeutschland*. Berlin: W. Issleib. 1892. 189 p.
4. Lappalainen, E. *Global Peat Resources*. Jyskä: International Peat Society. 1996. 359 p.
5. International Peatland Society (IPS). *Peatlands and Peat Uses*. URL: <https://peatlands.org/peat/peat-uses/> (дата звернення: 15.10.2023). 2022.
6. Asplund, D. *Peat-Based Activated Carbons: Production and Applications*. Amsterdam: Elsevier. 2020. 214 p.
7. Schmilewski, G. *Peat in horticulture and agriculture*. *Acta Horticulturae*. 2020. Vol. 1273. P. 335-342. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1273.43.
8. Weber, J.B., Wilkerson, G.G., Reinhardt, C.F. Calculating Pesticide Sorption Coefficients (Kd) using Selected Soil Properties. *Chemosphere*. 2004. Vol. 55(2). P. 157-166. DOI:10.1016/j.chemosphere.2003.10.049.
9. Röder, B. Medicinal peat: Market analysis. *Baltic Journal of Health and Cosmetics*. 2021. № 4(12). P. 45-51.
10. Olaide, A.J., Tolkou, A.K., Katsoyiannis, I.A., et al. Aminated peat as a high-performance sorbent for toxic heavy metals. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022. Vol. 10(3):107678. DOI: 10.1016/j.jece.2022.107678.
11. Paal, T. *Peat-Derived Phenolics in Industrial Chemistry*. Springer. 2017. 192 p.

12. Müller, F. Peat wax: a renewable resource for the chemical industry. *Chemistry International*. 2019. Vol. 41(2). P. 22-25. DOI: 10.1515/ci-2019-0205.
13. Wichtmann, W., Schröder, C. Energy from peat: Current trends in EU. *Renewable Energy Focus*. 2019. Vol. 29. P. 18-25. DOI: 10.1016/j.ref.2019.02.003.
14. Liu, Y., Wang, J., Liu, Y., et al. Peat-derived carbon catalysts for energy storage applications. *Carbon Trends*. 2021. Vol. 5. P. 100102. DOI: 10.1016/j.cartre.2021.100102.
15. Smil, V. *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. 2nd ed. Santa Barbara: Praeger, 2017. 280 c.

References

1. Glauber, J. R. (1665). *Furni Novi Philosophici* [Furni Novi Philosophici]. Amsterdam: Johan Jansson. 258 p. (in Latin/German)
2. Scheele, C. W. (1786). *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer* [Chemical Treatise on Air and Fire]. Leipzig: Siegfried Lebrecht Crusius. 232 p. (in German)
3. Weber, C. A. (1892). *Die Torfindustrie in Norddeutschland* [The Peat Industry in Northern Germany]. Berlin: W. Issleib. 189 p. (in German)
4. Lappalainen, E. (1996). *Global Peat Resources* [Global Peat Resources]. Jyskä: International Peat Society. 359 p
5. International Peatland Society (IPS). (2022). *Peatlands and Peat Uses* [Peatlands and Peat Uses]. URL: <https://peatlands.org/peat/peat-uses/> (accessed: 15.10.2023).
6. Asplund, D. (2020). *Peat-Based Activated Carbons: Production and Applications* [Peat-Based Activated Carbons: Production and Applications]. Amsterdam: Elsevier. 214 p.

7. Schmilewski, G. (2020). Peat in horticulture and agriculture [Peat in horticulture and agriculture]. *Acta Horticulturae*, 1273, 335-342. doi:10.17660/ActaHortic.2020.1273.43.
8. Weber, J. B., Wilkerson, G. G., & Reinhardt, C. F. (2004). Calculating Pesticide Sorption Coefficients (Kd) using Selected Soil Properties [Calculating Pesticide Sorption Coefficients (Kd) using Selected Soil Properties]. *Chemosphere*, 55(2), 157-166. doi:10.1016/j.chemosphere.2003.10.049.
9. Röder, B. (2021). Medicinal peat: Market analysis [Medicinal peat: Market analysis]. *Baltic Journal of Health and Cosmetics*, 4(12), 45-51
10. Olaide, A. J., Tolkou, A. K., Katsoyiannis, I. A., et al. (2022). Aminated peat as a high-performance sorbent for toxic heavy metals [Aminated peat as a high-performance sorbent for toxic heavy metals]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107678. doi:10.1016/j.jece.2022.107678
11. Paal, T. (2017). *Peat-Derived Phenolics in Industrial Chemistry* [Peat-Derived Phenolics in Industrial Chemistry]. Springer. 192 p. (in English)
12. Müller, F. (2019). Peat wax: a renewable resource for the chemical industry [Peat wax: a renewable resource for the chemical industry]. *Chemistry International*, 41(2), 22-25. doi:10.1515/ci-2019-0205
13. Wichtmann, W., & Schröder, C. (2019). Energy from peat: Current trends in EU [Energy from peat: Current trends in EU]. *Renewable Energy Focus*, 29, 18-25. doi:10.1016/j.ref.2019.02.003.
14. Liu, Y., Wang, J., Liu, Y., et al. (2021). Peat-derived carbon catalysts for energy storage applications [Peat-derived carbon catalysts for energy storage applications]. *Carbon Trends*, 5, 100102. doi:10.1016/j.cartre.2021.100102.
15. Smil, V. (). *Energy Transitions: Global and National Perspectives* [Energy Transitions: Global and National Perspectives]. 2017. The 2nd ed. Santa Barbara: Praeger. 280 p.

Ішков Валерій Валерійович – кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, проспект Дмитра Яворницького, 19, 49005, Україна. Старший науковий співробітник лабораторії досліджень структурних змін гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Україна, м. Дніпро, вулиця Сімферопольська, 2-а, 49005, Україна. E-mail: ishw37@gmail.com

Козій Євген Сергійович – кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник лабораторії досліджень структурних змін гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, Україна, м. Дніпро, вулиця Сімферопольська, 2-а, 49005, Україна. Доцент кафедри гірничої справи ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», Україна, м. Запоріжжя, Південне шосе, 80, 69008 E-mail: koziy.es@gmail.com

Колчев Костянтин Михайлович – аспірант. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, проспект Дмитра Яворницького, 19, 49005, Україна. kkonmih@gmail.com

Дрешпак Олександр Станіславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, проспект Дмитра Яворницького, 19, 49005, Україна. E-mail: dreshpak.o.s@nmu.one

CHEMICAL PROCESSING OF PEAT: GENERALIZED MULTILEVEL CLASSIFICATION

Purpose. To develop a multi-level classification of peat applications in the chemical industry, systematizing functional areas, processing technologies and final products.

Methodology. It was based on a systematic analytical approach that combined content analysis, logical structuring, and typological modeling. A comprehensive search and analysis of scientific sources were conducted, along with the identification, classification, and grouping of technological processes and products according to three main criteria: the functional purpose of the end product, the type of chemical-technological process, and the chemical nature of the product. The research methodology involved several consecutive stages, each of which was aimed at forming a multi-level classification model capable of reflecting the complex structure of technological processes and peat chemistry products.

Results. The research was aimed at overcoming fragmentation in the systematization of knowledge about the chemical processing of peat. As a result, a new classification has been developed, which has the form of a three-level hierarchical model, which organically combines functional areas, processing technologies and final products. The proposed structure allows for a comprehensive coverage and organization of the entire variety of methods for chemical utilization of peat raw materials - from traditional to innovative. The classification demonstrates that peat is a universal raw material that can be integrated into various chemical and technological processes that go far beyond traditional fuel use. It provides logical completeness, technological flexibility and practical suitability for scientific analysis, industrial planning and educational programs.

The scientific novelty of the results obtained is determined by their contribution to the systematization of knowledge and methodological approaches in the field of deep peat processing. For the first time, a systematic and holistic classification of peat use in the chemical industry has been developed, integrating disparate technological areas, which allows eliminating terminological and methodological differences between the fields of agrochemistry, medicine, materials science and ecology. For the first time, a conceptual rethinking of the role of energy processes, in particular gasification and pyrolysis, has been substantiated. They are considered not simply as energy sources, but as initial stages for the production of chemical raw materials, which allows them to be integrated into the general context of chemical technology. For the first time, a flexible classification model has been created, which is scalable and can be supplemented with new promising technological areas -

such as obtaining graphite-like materials, carbon nanostructures and bioplastics - as their scientific and technical development progresses.

The practical significance of the results obtained lies in the creation of a universal tool for analysis and strategic planning in the field of deep peat processing. The proposed classification contributes to the selection of optimal production technologies, the identification of interdisciplinary "white spots" and promising directions for further research and development work. In addition, it can be used as a structured educational material for training specialists, as well as an information base for business and investors, demonstrating highly profitable opportunities based on renewable raw materials.

Keywords: peat, chemical processing, classification, bioeconomy, humic substances, pyrolysis, sustainable development.

Ishkov Valerii – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology and Mineral Prospecting, Dnipro University of Technology, Dnipro, Dmytra Yavornytskoho Avenue, 19, 49005, Ukraine. Senior Research Fellow of Laboratory of Studies of Structural Changes Rocks, Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Simferopolska St., 2a, 49005, Ukraine. E-mail: ishwishw37@gmail.com

Kozii Yevhen – Candidate of Geological Sciences, Senior Research Fellow of Laboratory of Studies of Structural Changes Rocks, Institute of Geotechnical Mechanics named by M.S. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Simferopolska St., 2a, 49005, Ukraine; Associate Professor of the Department of Mining, Technical University "Metinvest Polytechnic", Zaporizhzhia, Southern Highway. 80, 69008, Ukraine. E-mail: koziy.es@gmail.com

Kolchev Konstantin – postgraduate student. Dnipro University of Technology, Dnipro, Dmytra Yavornytskoho Avenue, 19, 49005, Ukraine. kkonmih@gmail.com

Dreshpak Oleksandr – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, Dnipro University of Technology, Dnipro, Dmytra Yavornytskoho Avenue, 19, 49005, Ukraine.