

ПВНЗ «ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА Екології та ландшафтного дизайну

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 Екологія
(шифр та назва)

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА ЕКОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ І АУДИТ

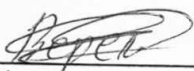
**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА
РОБОТА**

на тему:

Екологічна оцінка впливу торф'яних пожеж на забруднення
навколишнього середовища

(назва затвердженої теми)

Студент(ка)


(підпис студента)

Веремієнко Олександр Едуардович

(прізвище, ім'я по-батькові студента)

Науковий
керівник

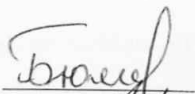

(підпис наукового керівника)

Марченко О.А., к.б.н.

(прізвище, ініціали, наукове звання і ступінь)

Допущено до захисту "16" 05 2025 р.

Завідувач кафедри


(підпис)

Бондар І.О., к.б.н., доцент

(прізвище, ініціали, наукове звання і ступінь)

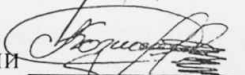
Декан факультету


(підпис)

Амбер А.І.

(прізвище, ініціали)

Завідувач
навчальної частини


(підпис)

Козинець А.О.

(прізвище, ініціали)

Київ - 2025

ПВНЗ «ЄВРОПЕЙСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА Екології та ландшафтного дизайну

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 101 Екологія

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА ЕКОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ І АУДИТ

ЗАВДАННЯ

на випускн у кваліфікаційну бакалаврську роботу студента (ки):

Веремісн ку Олександр у Едуардовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові студента (ки))

1. Тема роботи Екологічна оцінка впливу торф'яних пожеж на забруднення навколишнього середовища

2. Затверджена наказом по університету від “ 08 ” 03 2024 р. № 16

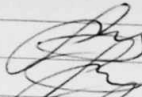
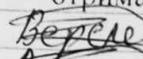
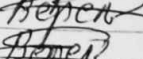
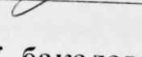
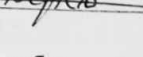
3. Цільова установка на вихідні дані до роботи

Використані джерела: наукова література, наукові статті, дослідження, законодавчі акти, книги, журнали, публікації що стосуються екологічної оцінки.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

Рис.1 Розподіл запасів торфу в Україні, Рис. 2 Розподіл запасів торфу в світі, Таблица 1 Екологічно допустимі масштаби розробки торфових родовищ у північно-західних регіонах України відповідно до стандартів країн Євросоюзу, Рис. 3. Схема застосування торфу в народному господарстві. Суцільні лінії показують основні напрями використання торфу, тоді як пунктирні вказують на шляхи утилізації відходів, що утворюються під час відповідного виробничого процесу, Таблица 2. Вимоги до торфу як вихідного матеріалу для виробництва різноманітної продукції, Рисунок 4. Знищений ліс може відновлюватися роками, що значно впливає на стан екосистеми, створюючи негативні наслідки для навколишнього середовища (mns.gov.ua), Рисунок 5. Викиди небезпечних газів в залежності від глибини горіння торфу, Рисунок 6. Місця після пожежі на торфовищі біля села Рудня-Озерянська, Житомирська область (квітень 2020), Рисунок 7. Тліючі торфовища, Таблица 3. Час подачі води залежно від глибини прогорання торфу.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів, що їх стосуються:

Розділ	Науковий керівник	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання отримав
Розділ 1.	Марченко О.А		
Розділ 2.	Марченко О.А		
Розділ 3.	Марченко О.А		

6. Зміст випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи (перелік питань)

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ

РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ НА ЕКОСИСТЕМУ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ

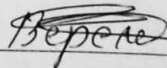
РОЗДІЛ 3. МАСШТАБИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ТОРФ'ЯНИМИ ПОЖЕЖАМИ

7. Календарний план виконання випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи	Термін виконання етапів випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи	
		За планом	Фактично
1.	Обрання теми випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи (ВКБР)	05.08.2024-13.09.2024	13.09.2024
2.	Опрацювання літератури та інших джерел для написання ВКБР	01.10.2024-01.11.2024	01.11.2024
3.	Виконання 1 розділу ВКБР	04.11.2024-13.12.2024	13.12.2024
4.	Виконання 2 розділу ВКБР	16.12.2024-31.01.2025	31.05.2025
5.	Виконання 3 розділу ВКБР, висновки	03.02.2025-28.03.2025	28.03.2025
6.	Передзахист ВКБР	21.04.2025-02.05.2025	02.05.2025
7.	Проведення перевірки на плагіат ВКБР	21.04.2025-02.05.2025	02.05.2025
8.	Відгук керівника, рецензія	12.05.2025-16.05.2025	16.05.2025

8. Дата видачі завдання "11" 03 2025р.

Керівник  (підпис)

Завдання прийняв до виконання  (підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ.....	4
1.1. Об'єми запасів торфу в світі і в Україні.....	4
1.2. Господарське значення торфу.....	9
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ НА ЕКОСИСТЕМУ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ.....	17
2.1. Вплив торф'яних пожеж на екосистеми.....	17
2.2. Забруднення атмосфери в наслідок пожеж.....	21
2.3. Причини виникнення загорання на торфовищах.....	26
РОЗДІЛ 3. МАСШТАБИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ТОРФ'ЯНИМИ ПОЖЕЖАМИ.....	30
3.1. Найвні методи гасіння торф'яних пожеж.....	30
3.2. Методи боротьби з торф'яними пожежами.....	33
3.3. Сучасні методи передбачення торф'яних пожеж.....	44
3.4. Рекомендації щодо зниження ризиків виникнення пожеж на торфовищах.....	48
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

ВСТУП

Торф є важливим природним ресурсом, який протягом тривалого часу використовують для енергетичних і сільськогосподарських потреб у багатьох країнах світу. За даними Міжнародного торф'яного товариства (International Peat Society, IPS), глобальні запаси торфу становлять понад 400 млн га, з яких нині експлуатується понад 305 млн га. На території України проведено дослідження понад 2500 родовищ торфу із середньою глибиною залягання 1,4 м. Близько 81% добутого торфу застосовується як паливо, а решта 19% – у сільському господарстві. Однак щорічно значні обсяги торфу знищуються через пожежі. Статистичні дані щодо торф'яних пожеж у світі демонструють тривожні тенденції, і Україна також не є винятком. Торф'яні пожежі найчастіше виникають у місцях видобування торфу та спричиняються неправильним поводженням, блискавкою або самовільним займанням. Вони зазвичай охоплюють значні площі і є складними для ліквідації, особливо коли процес горіння відбувається у товстих шарах торфу. Вогонь підземного торф'яного горизонту може поширюватися в усіх напрямках незалежно від сили та напрямку вітру, а також горіти навіть за умов помірного дощу чи снігопаду. Проблема торф'яних пожеж має глобальний характері викликає значні економічні та екологічні наслідки. Масштабні пожежі на торфовищах реєструються у країнах Балтії, Польщі, США, Канаді, Великобританії, Фінляндії, Сінгапурі, Таїланді, Малайзії тощо. Щорічна загроза торф'яних пожеж гостро стоїть і в Україні, де вони найчастіше виникають на території Полісся, Передкарпаття та Малого Полісся – у регіонах із високою концентрацією торфових ґрунтів. Зокрема, у заторфованих долинах малих річок навколо Києва (Ірпінь, Здвиг, Тетерів, Остер, Трубіж та їх притоки), а також у заболочених територіях долин Десни й Дніпра потужність торфу подекуди сягає 6–7 метрів. Дослідження торфовищ та пов'язаних із ними пожеж набуває дедалі більшого значення через що річне зростання їх кількості й масштабів. Торфові пожежі не лише сприяють викидам значних обсягів забруднювальних речовин в атмосферу, але й негативно впливають на

екосистеми торфовищ та довкілля загалом. У представленій роботі здійснено аналіз закономірностей розповсюдження пожеж на торфовищах, охарактеризовано їх фізико-хімічні властивості та динаміку поширення вогню у різних шарах торфу. Результати цього дослідження дозволяють розробити більш ефективну стратегію боротьби з торф'яними пожежами. Метою дослідження є визначення ефективних методів локалізації торфових пожеж, встановлення їх причин і оцінка впливу на довкілля. У рамках роботи визначено наступний перелік завдань:- Комплексна оцінка ключових характеристик торфовищ на території України;- Ідентифікація основних причин виникнення торфових пожеж; - Аналіз впливу таких пожеж на природне середовище; - Розроблення рекомендацій щодо зниження ризику виникнення пожеж на торфовищах

Об'єктом дослідження є випадки займання на торфовищах України. Предмет дослідження охоплює характеристику, причини виникнення торфових пожеж та їхній вплив на довкілля. Під час підготовки наукової роботи застосовувалися такі методи дослідження: - Загальнонаукові: індукція й дедукція, аналіз і синтез, порівняння, класифікація, абстрагування, конкретизація, систематизація, узагальнення, формалізація, моделювання.- Конкретно наукові: порівняльно-географічний метод.

екосистеми торфовищ та довкілля загалом. У представленій роботі здійснено аналіз закономірностей розповсюдження пожеж на торфовищах, охарактеризовано їх фізико-хімічні властивості та динаміку поширення вогню у різних шарах торфу. Результати цього дослідження дозволяють розробити більш ефективну стратегію боротьби з торф'яними пожежами. Метою дослідження є визначення ефективних методів локалізації торфових пожеж, встановлення їх причин і оцінка впливу на довкілля. У рамках роботи визначено наступний перелік завдань: - Комплексна оцінка ключових характеристик торфовищ на території України; - Ідентифікація основних причин виникнення торфових пожеж; - Аналіз впливу таких пожеж на природне середовище; - Розроблення рекомендацій щодо зниження ризику виникнення пожеж на торфовищах

Об'єктом дослідження є випадки займання на торфовищах України. Предмет дослідження охоплює характеристику, причини виникнення торфових пожеж та їхній вплив на довкілля. Під час підготовки наукової роботи застосовувалися такі методи дослідження: - Загальнонаукові: індукція й дедукція, аналіз і синтез, порівняння, класифікація, абстрагування, конкретизація, систематизація, узагальнення, формалізація, моделювання.- Конкретно наукові: порівняльно-географічний метод.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ

1.1. Об'єми запасів торфу в світі і в Україні

Серед поширених альтернативних видів палива в Україні особливу увагу привертає торф — органічна порода, що утворюється внаслідок неповного біохімічного розкладу залишків болотних рослин у середовищі з надлишком вологи та обмеженим доступом кисню. Він містить до 50% мінеральних речовин у складі сухої маси. Торф є геологічно наймолодшою ланкою в ланцюгу каустобіолітів (торф – буре вугілля – кам'яне вугілля – антрацит) і характеризується мінімальним рівнем карбонізації, через що має найнижчу теплоту згоряння. Його поверхнєве залягання та невисокі витрати на видобуток роблять цей ресурс перспективним для використання як місцеве паливо. Світові запаси торфу оцінюються приблизно у 500 млрд тонн. Основні поклади зосереджені в Канаді (170 млрд т). Згідно з даними Міжнародного торф'яного товариства, членом якого є й Україна, торф для енергетичних і сільськогосподарських потреб видобувають у 23 країнах світу. Річний обсяг видобутку становить 26 млн тонн, причому Фінляндія є світовим лідером. На глобальному рівні частка торфу у виробництві та споживанні енергії є незначною — близько 0,1% від загального енергоспоживання. Водночас у деяких країнах, таких як Фінляндія, Швеція та Ірландія, частка торфу у забезпеченні енергетики сягає 10–20%. В Україні, заданими державного балансу корисних копалин, площа торфовищ становить близько 1,5 млн гектарів, із загальними балансовими запасами 244,1 млн тонн та небалансовими запасами 57,2 млн тонн. Проте нинішній стан їх використання є критичним. Осушені торфовища, загальна площа яких перевищує 300 тис. гектарів, здебільшого залишаються занедбаними або використовуються малоефективно. Ці території заростають чагарниками та бур'янами, перетворюючись на потенційні осередки масштабних пожеж. Українські поклади торфу мають значний промисловий потенціал. Геологічні запаси оцінюються у 2,04 млрд тонн, що еквівалентно 660 млрд кубометрів природного газу. Річний доступний енергетичний потенціал торфу становить близько 0,3 млн тонн умовного

палива, що дозволяє щороку економити приблизно 0,4 млрд кубометрів природного газу. На території України було виявлено та розвідано 2474 родовища торфу загальною площею 642 тис. гектарів у межах промислових глибин. Розподіл запасів торфу по областях країни можна побачити на відповідній схемі (рис. 1).



Рис.1 Розподіл запасів торфу в Україні

Основні поклади торфу зосереджені переважно в регіонах Полісся. Насьогодні промисловий видобуток цієї сировини можливий у межах 12 областей, серед яких Волинська, Рівненська, Житомирська, Київська, Черкаська, Полтавська, Сумська, Чернігівська, Хмельницька, Тернопільська, Львівська та Івано-Франківська.

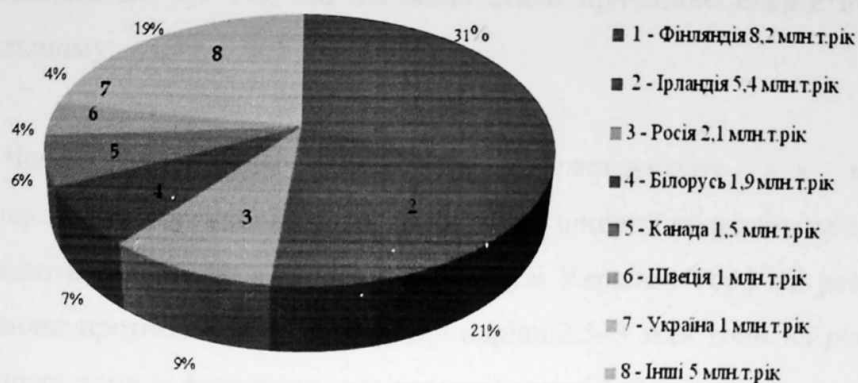


Рис. 2 Розподіл запасів торфу в світі

Найбільші ресурси торфу в Україні, як видно з рисунка 1, зосереджені у Волинській, Рівненській та Чернігівській областях. На цих територіях виявлено та досліджено 836 родовищ, що становить 38% від загальної кількості в країні. Геологічні запаси торфу регіону сягають 1,0 млрд тонн, що відповідає 50% усіх запасів України [2]. Рівень заболоченості Поліських районів Волинської, Рівненської та Житомирської областей сягає 15%. За обсягами видобутку торфу Україна займала третє місце серед країн колишнього СРСР, а за виробництвом торф'яних брикетів — друге. Однак, починаючи з 1930-х років, спостерігалось поступове занепадання галузі, спричинене здешевленням традиційних енергоносіїв. За цей період частка торфу у паливному балансі України стабільно знижувалася (рисунк 3). Зокрема, упродовж 1928–1958 років вона скоротилася з 35% до 5%. Період між 1958 та 1970 роками характеризувався певним пожвавленням торфобрикетної промисловості. У цей час було збудовано та модернізовано близько 18 торфобрикетних заводів, що дозволило збільшити частку торфопалива до 10% від загального паливного балансу країни. Однак, у наслідок широкого впровадження дешевших енергоносіїв, насамперед природного газу, у 1970–2000 роках галузь втратила конкурентоспроможність. Частка торфу у паливному балансі України

зменшилася до 0,9–1%, що частково стало причиною енергетичної кризи в подальшому.

Через недостатньо розвинену інфраструктуру для використання національних енергоносіїв та залежність від цінових коливань на енергоринку, виникають складнощі в енергетичній галузі України. Торф'яні ресурси країни, за умови прогнозованого видобутку на рівні 2,5–3 млн тонн на рік (приблизно 420 тисяч тонн у паливному еквіваленті), здатні забезпечувати потреби в торфі для палива та добрив протягом декількох століть. Така експлуатація може здійснюватися без значних порушень екологічної рівноваги, за умови рекультивації значної частини розроблених торфовищ для їхнього подальшого використання у народному господарстві, а також часткового залишення територій для повторного заболочення та поновлення торфових ресурсів. Однак збільшення обсягів видобутку до рівня, що відповідає максимальним показникам минулих років (5–7 млн тонн на рік, або близько 0,23–0,25% від геологічних запасів), є недоцільним. Такий підхід може спричинити серйозні екологічні наслідки та призвести до небезпечного виснаження торфових ресурсів країни за 40–50 років.

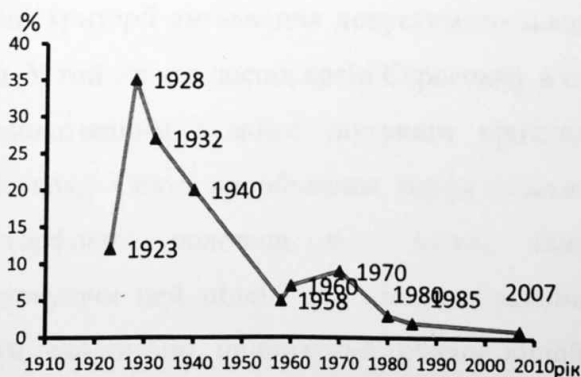


Рис. 3. Частка торфу в паливному балансі України

Аналіз розподілу торф'яних ресурсів свідчить, що українське Полісся є найперспективнішим регіоном для будівництва підприємств із видобутку та переробки торфу. У цьому регіоні зосереджено 38 % розвіданих

родовищ, зокрема: 9 % на резервних площах, 8 % на територіях, перспективних для геологорозвідки, 12% у зонах охорони (що перебувають на землях заповідників і заказників), 23% на осушених ділянках, 4 % на територіях із високим вмістом золи ($A_s > 35\%$), 17% на мілководних покладах (із середньою глибиною менш ніж 1,5 метра). Найбільша кількість резервних і перспективних для розвідки родовищ зосереджена в Рівненській області.

Концерн «Укрторф», який наразі ліквідовано, у своєму розпорядженні мав мережу підприємств у 12 областях, щорічно видобуваючи близько 600 тисяч тонн торфу. Значна частина цього обсягу — паливні брикети. Темпи видобування торфу в Україні залишаються не надто високими. Так, у 2003 році було видобуто 581 тисячу тонн, у 2004 — 573 тисячі тонн, а в 2005 — 539 тисяч тонн. Втрати за відповідні роки склали 106, 51 та 49 тисяч тонн. Таким чином, сумарне зменшення запасів торфу за цей період становить близько 0,5% від його промислових ресурсів у країні, навіть без врахування можливого природного відновлення покладів на неосушених родовищах завдяки торфоутворенню. Практично повністю припинено видобування з малих торфових родовищ площею менше ніж 10 гектарів, які раніше використовувалися для власних потреб сільськогосподарськими підприємствами. В Україні відсутні чіткі й об'єктивні критерії визначення допустимого масштабу експлуатації торфових родовищ. У той же час досвід країн Євросоюзу в питаннях збереження природи є загальновизнаним і може слугувати прикладом у цьому контексті. У Європейському Союзі видобування торфу обмежено максимум 1% загальної площі торфових родовищ у межах їхньої промислової глибини. Використовуючи цей підхід для північно західних регіонів України, можна визначити екологічно прийнятний рівень видобутку торфу, як зазначено в таблиці 1.

Таблиця 1 Екологічно допустимі масштаби розробки торфових родовищ упівнічно-західних регіонах України відповідно до стандартів країн Євросоюзу

Область	Площа торфових родовищ в межах промислової глибини, тис. га	Екологічно допустима площа торфових родовищ під розробку, тис. га	Екологічно допустимий масштаб видобутку торфу, тис. т
Волинська	137,16	1,37	685
Рівненська	134,1	1,34	670
Львівська	49,76	0,50	250
Житомирська	37,65	0,38	190
Хмельницька	18,56	0,19	95
Разом	377,25	3,78	1890

1.2. Господарське значення торфу

Торф є органічною гірською породою, що утворюється внаслідок відмирання та неповного біохімічного розкладу рослин, характерних для болотистих умові з надмірним зволоженням і нестачею кисню. Його склад може включати до 50% мінеральних компонентів у сухій речовині. Заторфовані ділянки площею понад 1 гектарі з шаром торфу товщиною більше 0,7 метра відносяться до торфових родовищ. На території Львівської області налічується 168 таких родовищ із загальною площею промислових покладів 48 123 гектари та геологічними запасами торфу обсягом 158,8 мільйонів тонн. Класифікація торфу базується на двох основних показниках: типі торфу та ступені його розкладання, який визначається за відносним вмістом продуктів розпаду рослинних тканин (безцілісної клітинної структури). Залежно від ступеня розкладання виділяють три групи торфу: слабо розкладений (до 20%), середньо розкладений (20–35%) і сильно розкладений (понад 35%). Під час формування торфових родовищ вплив водно-мінерального живлення, рослинного складу, кліматичних умов і їх змін обумовлює утворення різних типів торфу. Це призводить до значної стратиграфічної різноманітності в цих покладах. Основною одиницею класифікації торфу є його вид. Наразі визначено близько 150 видів торфу, з яких 65 належать до низинних, 41 перехідні торфовища нараховують 44 верхових типи, які комплексно

організовані у шість груп: деревна, деревно-трав'яна, деревно-мохова, трав'яна, трав'яно-мохова і мохова. Ці групи класифікуються на три підтипи – лісовий, лісо-драговинний і трясовинний. У свою чергу, підтипи формують чотири основних типи торфових покладів: низинний, верховий, перехідний і змішаний. Торфовий поклад – це багат шарове скупчення різновидів торфу, наразі відомо 90 таких різновидів. Низинні типи родовищ формуються під впливом ґрунтового живлення, що визначає підвищений вміст мінеральних солей у торфі. Зольність таких покладів може становити від 15–25% до 30–40%. Попри відкриття альтернативних джерел енергії, використання торфу як палива для енергетики та побутових потреб залишається актуальним і продовжує зростати. Це пояснюється потребою вирішувати поточні проблеми паливного забезпечення. Український паливний ринок сформувався таким чином, що виробництво та споживання торфових палив є економічно вигідними через їхню низьку вартість. Зокрема, досвід Фінляндії демонструє, що торфові палива (включаючи фрезерний торф із найменшою щільністю) економічно доцільно транспортувати автомобілями з причепами на відстань не більше 100 км. Однак варто врахувати той факт, що маса торфу, необхідного для одержання такої ж кількості теплової енергії, як від інших видів палива з вищою енергонасиченістю, перевищує їх у 1,4–4,7 разів. Це значно знижує економічну ефективність його застосування.

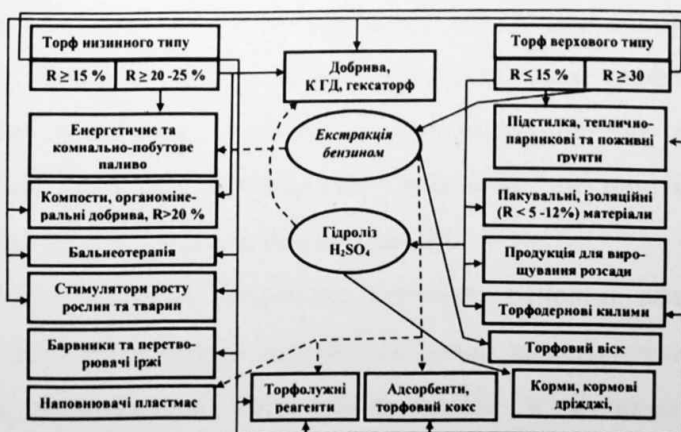


Рис. 3. Схема застосування торфу в народному господарстві. Суцільні лінії показують основні напрями використання торфу, тоді як пунктирні вказують на шляхи утилізації відходів, що утворюються під час відповідного виробничого процесу.

Ефективне використання торфу забезпечує значний потенціал сільському господарстві. Завдяки високій адсорбційній та йонообмінній здатності його компонентів, наявності гумусу, біологічно активних речовин і азоту торф набув неабиякої цінності як сировина. Він активно застосовується для створення теплично-парникових ґрунтів, компостів та органо-мінеральних добрив із різноманітним вмістом поживних елементів. Сфагновий торф, зважаючи на його високу вологопоглинальну, газоадсорбційну та антисептичну здатність, а також значну пористість, ефективно використовується як основа для ґрунтів і продукції для вирощування розсади. Він також слугує підстилкою для птахів і тварин, матеріалом для теплоізоляції, пакувальним елементом для зберігання овочів та фруктів, а також незамінний у транспортуванні й вирощуванні квітів, саджанців винограду та троянд. Особлива увага приділяється розробці інноваційних безвідходних технологій переробки торфу. Завдяки таким підходам відходи одного процесу стають сировиною для іншого, що суттєво знижує собівартість основної продукції. Наприклад, відходи від виробництва кормових дріжджів із торфу, які складають 40–50% від початкової сировини, трансформуються у комплексні органо-мінеральні добрива або активне вугілля. У свою чергу, залишки від виробництва сирого торфового воску – до 90% від початкового обсягу – можуть застосовуватися для виготовлення брикетів, активного вугілля, торфолужних реагентів чи навіть як наповнювачі для пластмас залежно від вимог споживачів.

Високий рівень біологічно активних речовин, антисептичні властивості, низька теплопровідність та інші унікальні характеристики торфу відкривають широкі перспективи його застосування в бальнеотерапії. Використання природних і штучно створених вод та суспензій на основі торфу сприяє ефективному лікуванню численних захворювань завдяки активації

метаболических процесів, покращенню кровообігу й нормалізації гормональної діяльності організму. Торф також демонструє значну практичну цінність як адсорбент для різноманітних потреб. Його широко застосовують для очищення водних поверхонь і ґрунту від забруднення нафтою та її похідними. Гумінові препарати, отримані з торфу, використовуються як йонообмінники для видалення з стічних вод іонів важких металів, радіонуклідів та для дезактивації устаткування. Активоване вугілля, вироблене з торфу, ефективно очищує газ, повітря, лікарські засоби, продукти харчування й багато іншого. Більшість видів торфу, які зустрічаються на території України, придатні для використання у виробництві органічних добрив, зокрема компостів на основі торфу, підстилок для тварин, стимуляторів росту рослин, ґрунтових сумішей, торфових горщиків для розсади та інших продуктів. Вимоги до характеристик торфу для його оптимального застосування в різних сферах детально описані в таблиці 2

Таблиця 2. Вимоги до торфу як вихідного матеріалу для виробництва різноманітної продукції

№ п/п	Вид продукції	Низинний торф	Верховий і перехідний торф
1.	Добриво	R – від 15% A ^c – до 35% CaO – від 10% P ₂ O ₅ – від 1%	R – від 15% A ^c – від 35%
2.	Паливо	R – 10% і вище A ^c – до 35%	R – від 20% A ^c – до 23%
3.	Гірничий віск	Всі типи торфу A ^c – до 10%, R – від 30%, основні критерії - вміст бензинових бітумів – 5%	
4.	Дріжджі	-	R – від 35% A ^c – до 6%
5.	Активоване вугілля	-	R – від 35% A ^c – до 6%
6.	Підстилка	Всі типи торфу R – від 15% - 20%, A ^c – до 15%	
7.	Горщики та пакувальний матеріал	Всі типи торфу R – від 10% до 25%, A ^c – до 15%	

Торф протягом століть застосовувався як паливо завдяки високому вмісту вуглецю, що робило його незамінним для приготування їжі та обігріву ще з давніх часів. Він утворюється шляхом накопичення органічного матеріалу, такого як листя, трава, повалені дерева та коріння, протягом десятиліть або навіть століть. Уразі займання, яке нерідко викликане пожежами або ударами блискавки, торф може тліти довгий час без явних ознак – від місяців до років, а інколи й більше. Торф'яні пожежі є глобальною проблемою, що спричиняє значні економічні та екологічні наслідки. Горіння торфу провокує виникнення надзвичайних ситуацій природного характеру. Згідно з Класифікатором надзвичайних ситуацій України, такі пожежі належать до категорії пожеж у природних екосистемах. У глобальному розрізі, пожежі на торфовищах класифікуються як кліматичні катастрофи природного типу. Ця міжнародна класифікація була розроблена у 2007 році Центром дослідження епідеміології катастроф (CRED – Centre for Research on Epidemiology of Disasters) разом із Мюнхенською перестраховою компанією (Munich Re Group). Дані організації ініціювали створення та впровадження документа під назвою “Класифікація категорій катастроф і термінологія небезпеки для оперативних дій” (“Disaster Category Classification and Peril Terminology for Operational Databases”). Розробка класифікації здійснювалася під час технічних нарад, які об'єднували експертів із CRED, Мюнхенської та Швейцарської перестрахових компаній, Азійського центру зменшення стихійних лих (ADRC – Asian Disaster Reduction Center) та Програми розвитку ООН.

Згідно зі статистичними даними Міжнародного торф'яного товариства (International Peat Society, IPS), глобальні запаси торфу перевищують 400 мільйонів гектарів, з яких понад 305 мільйонів гектарів в даний час активно експлуатуються. Видобування торфу для енергетичних та сільськогосподарських потреб здійснюється протягом тривалого часу в ряді країн світу. Найбільші запаси торфу зосереджені у двох країнах, одна з яких — Канада, що володіє територіями торфовищ площею 170 мільйонів гектарів.

Однак щороку сотні тисяч кубометрів торфовищ підпадають під дію пожеж. Останнім часом статистика торф'яних пожеж у світі викликає значне занепокоєння. До регіонів, найбільш вразливих до таких пожеж, належать Північна Америка, Канада, Велика Британія, Фінляндія, Сінгапур, Таїланд та Малайзія. Наймасштабніші пожежі були зафіксовані у 1997 році на території Індонезії, внаслідок чого в атмосферу потрапило від 0,81 до 2,57 мільйона тонн вуглецю. Сотні торфовищ на Калімантані та Східній Суматрі відтоді продовжують горіти, що щорічно провокує численні лісові та степові пожежі. Двадцять років тому інтенсивне задимлення від згорання тропічних торфовищ викликало паніку серед жителів Індонезії, Малайзії та Сінгапуру. Хоча наближення сезону дощів значною мірою сприяло зупиненню пожеж, у деяких районах вони зберігаються донині. При цьому подібні катастрофи трапляються не лише у тропічних лісах Південно-Східної Азії. Торфові пожежі також фіксуються у Південній Америці, хоча їх наслідки менш масштабні. Причиною цього є суттєва різниця у товщині торф'яників: в Індонезії вона може досягати 40 метрів, тоді як у Німеччині зазвичай не перевищує 2–3 метрів. У випадку пожежі в Європі ситуація була б швидко взята під контроль завдяки наявності водних ресурсів та розвиненої інфраструктури.

У тропічних лісах Суматри й Борнео відсутні природні умови, які могли б зупинити горіння торфу. Через це пожежі тривають, доки не почнуться дощі, інколи продовжуючись місяцями. Однією з наймасштабніших торф'яних пожеж за всю історію стали події 1997–1998 років в Індонезії. Однак є ймовірність, що найближчим часом ці рекорди будуть перевершені. В більшості випадків причиною займання стають підпали, до яких вдаються місцеві селяни, намагаючись незаконно розширити площі для власних плантацій. У Малайзії, особливо на її частині острова Борнео, цивілізація вже залишила свій слід. Торф там не горить, оскільки його просто більше не існує – землі вже повністю освоєні й перетворені на сільськогосподарські угіддя. На відміну від Малайзії, в Індонезії після згорання торфовищ залишаються лише пустирі. В Україні торф'яники займають площу близько 2,2 мільйона гектарів. Їх розташування

зумовлене географічними широтами, рельєфом та геоморфологічною будовою регіону. Наразі виявлено понад 2500 покладів торфу із середньою глибиною залягання 1,4 метра. З них 81% видобувається для використання як паливо, а решта – для сільськогосподарства. Близько 70% усіх торфовищ розташовані на Поліссі. На сьогодні в Україні вже використано понад 45% розвіданих запасів торфу. За даними управління ДСНС у Чернігівській області, станом на 22 жовтня 2018 року торф'яні пожежі охопили 60 га в Сновському і Козелецькому районах. У Сновському районі, зокрема, вигоріло понад 58 га: місцеві жителі повідомляли про густу димову завісу, а глибина прогоряння місцями сягала півметра. До ліквідації займання залучили 111 осіб і 37 одиниць спеціальної та допоміжної техніки. Уже 24 жовтня рятувальникам вдалося приборкати вогонь на площі близько 2,7 га, а наступного дня – на ще 2,4 га в тих самих районах Чернігівщини.

6 травня 2018 року в трьох населених пунктах Львівської області виникли пожежі на торфовищах. Загоряння почалося в селищі Гамаліївка і було також зафіксовано в населеному пункті Смотрив. Найбільшу площу займання, близько 10 гектарів, зафіксували у селищі Бірки Яворівського району. За цей день пожежники ліквідували вогонь лише на 0,5 га, тоді як гасіння решти 9,5 га тривало деякий час. Зрештою, пожежу вдалося повністю загасити. Інша суттєва подія сталася 11 листопада 2016 року поблизу села Обуховичі Іванківського району Київської області, де полум'я охопило поклади торфу на площі 0,4 га. Повідомлення про загорання надійшло вранці, і вже о першій годині дня вдалося локалізувати пожежу. Повна ліквідація займання стала можливою завдяки зусиллям дев'яти пожежників. За даними Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС), лише протягом 2015 року на території Київської області було зареєстровано 153 пожежі на торфовищах загальною площею понад 130 гектарів. Особлива тривога мешканців була пов'язана із загоряннями торфу у зоні відчуження. Наприклад, 29 липня того ж року виникло займання сухої трави та очерету в «Чорнобильській пуші». Локалізувати пожежу вдалося лише до 16 серпня, а станом на 19 серпня ДСНС

повідомляла, що роботи з ліквідації тривають безперервно: «Гасіння здійснюється цілодобово, ситуація під контролем. Окремих осередків відкритого полум'я немає». Ці випадки демонструють, що пожежі на торфовищах та в екосистемах відбуваються майже щорічно, змінюючись за інтенсивністю. Це свідчить про необхідність удосконалення методів боротьби з такими пожежами, враховуючи як природні умови, так і вплив людського фактора.

РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ НА ЕКОСИСТЕМУ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ

2.1. Вплив торф'яних пожеж на екосистеми

Близько 80-90% усіх торф'яних пожеж виникають через людський фактор, зокрема необережне поводження з вогнем. Решта 10-15% можуть спричинятися природними явищами, такими як блискавки, іскри від проїжджаючого транспорту чи само займання торфу через екзотермічні теплові, хімічні або мікробіологічні процеси. На відміну від лісових пожеж, торф'яні поширюються на значно менші площі, однак їхня специфіка полягає в тому, що торф може горіти у всіх напрямках незалежно від сили та напрямку вітру. Ба більше, він здатен тліти навіть під тонким шаром ґрунту, незважаючи на дощ чи снігопад. Наслідки таких пожеж є надзвичайно небезпечними. Основна загроза полягає у виділенні продуктів горіння, що серйозно забруднюють повітря. Під час торф'яних пожеж згорає майже в 10 разів більше біологічної маси, ніж при лісових пожежах, що супроводжується значним викидом диму та токсичних газів. Серед них — парникові гази, такі як діоксид вуглецю (CO_2), оксид азоту (NO), діоксид сірки (SO_2), а також органічні сполуки: аміак (NH_3), формальдегід (H_2CO), бензапірен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), феноли, альдегіди тощо. Усе це створює високий ризик отруєння для мешканців поблизу епіцентрів загоряння та тих, хто перебуває в зоні задимлення.

Торф'яні пожежі є серйозною екологічною проблемою через особливості їхнього протікання та наслідки. Торф горить не відкритим полум'ям, а тліє, що супроводжується виділенням великої кількості диму. Такий дим значно густіший за повітря — у десять разів — і, піднімаючись, затримується на висоті 2-5 метрів, тобто на рівні дихання людини. Це становить небезпеку не лише через шкідливі речовини в повітрі, а й через забруднення ґрунтових вод. Головна складність у боротьбі з торф'яними пожежами полягає у складності їх гасіння. Через важкодоступність районів, віддаленість від джерел води, а також неможливість ефективного використання автотранспорту для доставки води, ліквідація таких пожеж стає надзвичайно складною. До того ж, у багатьох місцях товщина торф'яного шару сягає 3-6 метрів, тому навіть після видимого

згасання тління часто поновлюється. Горіння відбувається без утворення полум'я, розповсюджуючись повільно —лише кілька метрів на добу. Торф'яні пожежі становлять ще більшу загрозу через свою прихованість. Часто вогнища важко визначити, а край займання не завжди помітний. Виявити пожежу можна здебільшого за запахом гарі, димом, що подекуди просочується з-під землі, та гарячою поверхнею ґрунту. Температури всередині тліючого торфу можуть перевищувати 1000°C . Це ускладнює процес гасіння: вода випаровується ще до того, як досягає осередку займання. Своєчасне виявлення є ключовим фактором у боротьбі з такими пожежами. Однак це завдання дуже складне на ранніх етапах розвитку пожежі. Регулярне наземне патрулювання поки залишається найнадійнішим способом моніторингу. У цьому напрямку також активно впроваджуються сучасні технології, такі як дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Використання авіації для патрулювання є ефективним, але вимагає значних фінансових витрат. Саме тому все більшої популярності набувають супутникові системи, які дозволяють оперативно виявляти і контролювати пожежі з мінімізацією витрат.

Одним із ефективних способів запобігання самозайманню та загорянню торфу є застосування розчинів плівкоутворювачів, які обмежують доступ повітря до його поверхні. У цьому контексті особливо корисною є глиниста пульпа, до складу якої додають хлорид кальцію, що діє як інгібітор горіння торфу. Для боротьби з торф'яними пожежами використовують спеціалізоване обладнання, зокрема торф'яні стволи, пожежні автомобілі, насосні станції, поливні магістральні трубопроводи та інші технічні засоби. Під час виконання земляних робіт для ліквідації таких пожеж широко залучаються спеціалізовані машини: екскаватори, канавокопачі, бульдозери, грейдери тощо. Однак сучасне обладнання, призначене для усунення торф'яних загорянь шляхом насичення торфу дисперсними частками (наприклад, цементовози та пересувні бетонні або хімічні установки), наразі використовується недостатньо. Важливо зазначити, що гасіння торф'яних пожеж є складним процесом, і для цього зазвичай застосовують воду, окопування осередків займання канавами шириною

приблизно 1 м та глибиною до рівня мінерального шару або до шару торфу, насиченого водою. Ефективним методом ліквідації пожеж є також використання торф'яних стволів. Для забезпечення повного гасіння необхідно обробити смугу шириною 0,7–0,8 м уздовж краю пожежі. Свердловини для подачі води в такому разі слід розміщувати двома рядами: перший ряд — на відстані 0,1–0,2 м від видимого краю пожежі; другий ряд — на відстані 0,3–0,4 м від першого. У кожному ряду свердловини розташовуються на відстані 0,3–0,4 м одна від одної. Вода із змочувачем подається в торф'яні стволи під тиском 3–4 атм. (30–40 м водяного стовпа), причому витрата води становить приблизно 35–42 л/хв. До ускладнюючих факторів гасіння торф'яних пожеж належать високі температури, що викликають термічний розклад фітомаси з утворенням бітумів і термобітумів — гідрофобних сполук. У разі опадів такі бітумовані частки торфу тимчасово намокають; волога проникає між ними і далі просочується у ґрунтові води. Через ці особливості торф'яні поклади можуть залишатися активними осередками займання протягом багатьох років, допоки не завершиться повне вигорання родовища.

Гасіння торф'яних пожеж за допомогою води має суттєві обмеження, оскільки вода володіє високим поверхневим натягом, що ускладнює її проникнення в пористу структуру торфу. Для ліквідації таких пожеж потрібна значна кількість води — приблизно 1 м³ на кожен м³ торфу. Проте торф поглинає лише від 5 до 8% води, швидко висихає і знову стає вразливим до займання. Для покращення змочувальної здатності води можна використовувати 1–3% розчини карбонатів та бікарбонатів натрію, які підвищують ефективність гасіння і запобігають повторним займанням. Іншим дієвим способом є додавання поверхнево-активних речовин (ПАР), які значно збільшують проникність води в структуру торфу. Проте оптимальний вибір ПАР залежить від якісного і кількісного складу конкретного типу торфу. Наразі широко застосовуються такі ПАР, як сульфанол НП (до 0,3%), а також піноутворювачі ОП-7 та ОП-10. Окрім водних розчинів, ефективним методом боротьби з торф'яними пожежами є застосування диму і вуглекислого газу. У

місцях горіння пробиваються отвори, куди закачуються димові шашки. Дим заповнює пори торф'яної маси та розбавляє концентрацію кисню до рівня менше 5%, що робить горіння неможливим. Потім через спеціальні торф'яні стовпи із вуглекислотних вогнегасників подається вуглекислий газ під високим тиском, який охолоджується до -72°C при виході назовні. Це значно знижує температуру торфу, попереджаючи його самозаймання та локалізуючи епіцентр горіння. Через низьку проникність води в торф її дія часто обмежена невеликим радіусом навколо насадки стовпа, що не дозволяє ефективно усунути пожежу. Застосування вуглекислого газу забезпечує проникнення у глибокі шари торфу, де він охолоджує масу до температур нижче точки самозаймання, забезпечуючи контроль над вогнем і запобігаючи подальшим займанням.

Інноваційні методи боротьби із пожежами, зокрема із застосуванням вуглекислого газу, набувають все більшої уваги в контексті сучасних технологій пожежогасіння. Один із підходів передбачає використання брикетів твердого діоксиду вуглецю ("сухого льоду"), які спрямовано метають за допомогою пневматичної гармати безпосередньо в осередок горіння. Цей метод дає змогу створити локалізовану зону, насичену охолодженням CO_2 , що одночасно усуває доступ повітряного кисню до об'єктів горіння та ефективно знижує їхню температуру. Для ліквідації загорянь торфовищ пропонується інший метод, заснований на оптимальному насиченні торфу негорючими мінеральними наночастинками. Ці наночастинки здатні гальмувати процес окислення вуглецю і поглинати кисень завдяки ендотермічним хімічним реакціям. Через те, що густина наночастинок у 2-3 рази перевищує густина води чи льоду, вони швидко осідають у нижніх шарах торфу, забезпечуючи ефективний контроль над процесом горіння. Ефективність цього підходу визначається фізико-хімічними властивостями наночастинок, серед яких: винятково висока хімічна активність, зумовлена збільшеною питомою площею поверхні; значні адгезійні властивості, що сприяють міцному зв'язуванню з різними поверхнями; здатність до проникнення у мікропори та клітинні структури рослинної тканини. Торф'яні пожежі завдають значних

збитки в економіці, екології та здоров'ю населення, що обумовлює необхідність пріоритетного дослідження цих явищ. Їхні серйозні негативні наслідки вимагають посиленої уваги до питань протипожежного захисту торфових зон, розробки нових методів ліквідації пожеж або вдосконалення існуючих стратегій. Регулярне виникнення таких загорянь свідчить про низьку ефективність сучасних систем пожежогасіння та необхідність пошуку інноваційних рішень у цій сфері.

Однак ліквідація пожежі не завершує процесу відновлення лісу, адже «мертві» деревостани можуть потребувати кількох років для відновлення, що має суттєво негативні наслідки для функціонування екосистеми. Основними причинами загибелі дерев під час низових пожеж є опіки кори та пошкодження камбію – твірної тканини, яка забезпечує потовщення стовбура дерева. Ураження камбію спричиняє некроз тканин, а в разі пошкодження камбію вздовж усього стовбура дерево остаточно гине.



Рисунок 4. Знищений ліс може відновлюватися роками, що значно впливає на стан екосистеми, створюючи негативні наслідки для навколишнього середовища (mns.gov.ua).

2.2. Забруднення атмосфери в наслідок пожеж

У процесі фотосинтезу рослини поглинають з атмосфери важливий парниковий газ – вуглекислий газ (CO_2) – і накопичують його у своїй біомасі у

вигляді органічних речовин, які становлять понад половину маси рослинного організму. Завдяки зволоженню на торфовищах формуються анаеробні умови (тобто дефіцит кисню), за яких розклад мертвої рослинної органіки суттєво сповільнюється. Значна частина органічної маси в такому середовищі залишається консервованою протягом тривалого часу – настільки довгого, наскільки зберігаються сприятливі умови зволоження. Уразі осушення торфовищ рівень ґрунтових вод штучно знижується, що запускає процес розкладання органічної складової торфу за участю кисню. Такий аеробний розклад відбувається у 50 разів швидше, ніж в анаеробних умовах. Унаслідок цього торфовища втрачають здатність слугувати природними сховищами CO₂, трансформуючись на потужні джерела його емісії у глобальному масштабі. На сьогодні в Європі осушено майже 90% торфовищ. В Україні значні масштаби осушувальних робіт припали на період 1966–1985 років. Видобуток торфу з будь-якою метою призводить до втрати приблизно 50 кг вуглецю з кожного кубічного метра торфу або 20–35 тонн вуглецю з одного гектара щороку на сучасних ділянках видобутку. Покинуті після видобутку торфодобувки, які не були повторно зволожені, активно продукують CO₂. Під час горіння торфовищ утворюються додаткові джерела викидів небезпечних речовин, зокрема вуглекислого газу, метану, радону та інших газів. Викиди CO₂, спричинені дренажем, пожежами та господарською експлуатацією торфовищ, становлять приблизно 10% від річної кількості викидів, які утворюються під час спалювання вугілля, нафти та газу. Колись осушення болотистих територій вважалося раціональним способом використання землі та організації господарства. Однак сьогодні науковці дійшли зовсім інших висновків: цей процес розглядають як серйозну помилку у веденні землеробства та серйозну загрозу для екосистем і планети загалом. Торф'яні пожежі, порівняно з лісовими, захоплюють значно менші площі. Проте вони мають унікальні особливості: торф здатен горіти у всіх напрямках, незалежно від сили та напрямку вітру. Більше того, підземне тління може тривати навіть під час дощу чи снігопаду. Наслідки таких пожеж надзвичайно небезпечні, оскільки

продукти горіння насичують повітря токсинами та забруднюють довкілля. Під час горіння торфу виділяється величезна кількість диму, чадного газу та інших шкідливих речовин. Особливу небезпеку становить загроза інтоксикації для людей, що проживають поблизу зон займання чи у районах, куди поширюється задимлення. Тління торфу супроводжується інтенсивним утворенням густого диму. Цей дим часто має щільність, вищу за щільність повітря у 10 разів, тому піднімається лише на висоту 2–5 метрів—саме на рівень людського дихання. Дим від торф'яних пожеж набагато токсичніший за той, що утворюється під час лісових займань. Через дефіцит кисню під час горіння торфу в повітря потрапляє багато чадного газу, який є дуже небезпечним для здоров'я. Крім цього, дим містить продукти неповного згоряння, такі як канцерогенний бензопірен, токсичні оксиди сірки та азоту, важкі метали і дрібнодисперсні частинки золи.

Негативні екологічні наслідки, спричинені горінням торфу, класифікуються на короткотривалі, що проявляються безпосередньо в зоні пожежі, та довготривалі, які стають особливо помітними через певний період після завершення пожежі, значно перевищуючи її часові рамки. Найбільш очевидний негативний вплив зазвичай асоціюється саме з коротко тривалими наслідками. Одним із ключових екологічно небезпечних факторів, які супроводжують горіння торфу, є значне викидання шкідливих хімічних речовин в атмосферу. До складу продуктів горіння входять насичені та ненасичені вуглеводні, бензол, толуол та інші токсичні компоненти, концентрація яких нерідко у тисячі разів перевищує встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК). Варто окремо зазначити, що через тривалість підземних торф'яних пожеж, які можуть тривати місяцями, об'єм шкідливих викидів набуває значних масштабів. Особливу шкоду становить забруднення приземного шару атмосфери, що вважається одним із найнебезпечніших наслідків таких пожеж. Лісові та низинні пожежі, які часто виступають каталізатором загоряння торфу, спричиняють утворення висхідних потоків повітря, що здатні розповсюджувати продукти горіння на десятки кілометрів. Проте за відсутності

подібних потоків спостерігається забруднення лише прилеглого до землі шару атмосфери. Дослідження, проведені Департаментом внутрішніх справ і охорони навколишнього середовища США, показали, що серед продуктів горіння найбільша частка (60%) складається з летючих органічних аерозолів, таких як етаналь, формальдегід, бензол, толуол і хлорметан. Склад твердих часток включає алканові й алкенові кислоти, а також поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ). Горіння торфу також створює значний вплив на колообіг води. Залежно від інтенсивності пожежі воно може змінювати гідрологічний режим річок, впливати на сезонні й річні обсяги стоку води та навіть провокувати виникнення повеней.

Рівень водостоку є важливим елементом для підтримання екосистем, у яких проживають різноманітні дикі тварини, і відіграє ключову роль у збереженні лісової, чагарникової та трав'яної рослинності. Однак після пожеж кількість стічних вод помітно зменшується, що негативно впливає на рослинний покрив, включно з опалим листям, яке вкриває поверхню ґрунту. Пожежі здатні змінювати водовідштовхувальні властивості ґрунтів, знижуючи їх інфільтраційний потенціал через підвищення гідрофобності. Зважаючи на взаємозв'язок між поверхневими та підземними водами, пожежі також впливають на запаси і якість підземних вод. Окрім впливу на гідрологічні процеси, пожежі погіршують стан поверхневих вод. У водоймах, розташованих поблизу зон займання, часто фіксують підвищені концентрації нітратів і фосфатів. Ґрунт, який є ключовим компонентом біогеоценозів, особливо вразливий до наслідків пожеж. Пожежі впливають як безпосередньо через піроліз, так і опосередковано, змінюючи природний баланс екосистеми. У процесі займання відбувається значне нагрівання ґрунту до температур 900–1500°C, що викликає суттєві зміни у його структурі. Ці температурні зміни прямо впливають на рослинний і тваринний світ після пожежі, спричиняючи втрату біорізноманіття, погіршення водопроникності ґрунту та розвиток ерозійних процесів. Згорання лісової підстилки призводить до загибелі корисних трав і мікроорганізмів, сприяючи посиленню вітрової та водної ерозії.

Під час пожеж відбуваються фізичні процеси, пов'язані з передаванням тепла, що змінюють фізичні властивості ґрунту. Високі температури спричиняють ущільнення ґрунту та зменшення його пористості, що негативно впливає на продуктивність і стійкість до ерозії. Крім того, зміни температурного режиму й термічних процесів призводять до втрати гумусу та порушують фізичні, хімічні й біологічні характеристики ґрунту. Такі наслідки стають ключовим бар'єром на шляху до відновлення екосистеми, оскільки зміни у складі й властивостях ґрунту ведуть до трансформації флори і фауни. Після пожежі територію зазвичай заселяють види рослин, які пристосовані до складних умов і мають невибагливий характер.

Люди, які страждають від хронічних захворювань дихальних шляхів, а також курці, зазнають найбільших труднощів. Однак кашель, утруднення дихання, сухість у носі та головний біль можуть виникати у будь-кого, хто не має подібних хвороб. Щоб убезпечити себе від наслідків задимленості в повітрі, жителям міста радять дотримуватися таких рекомендацій: уникати виходу на вулицю, особливо для занять спортом; не провітрювати приміщення; споживати більше води та уникати солодких газованих напоїв; харчуватися здоровою їжею, зокрема вживати зелені овочі; робити вологе прибирання та використовувати очищувач повітря. Ці поради є типовими у випадках погіршення якості повітря.

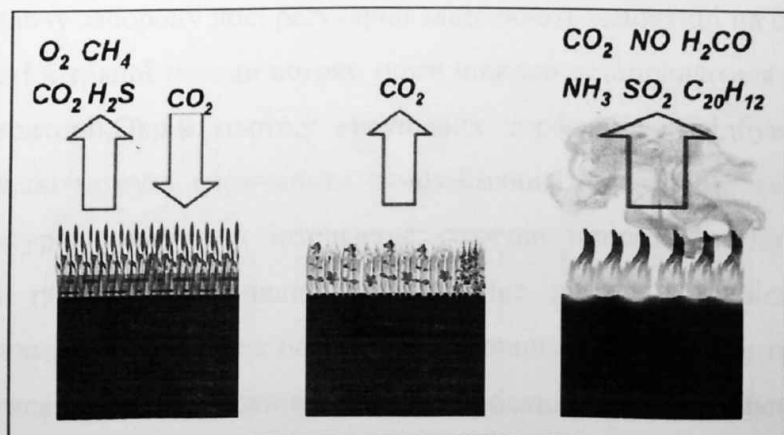


Рисунок 5. Викиди небезпечних газів в залежності від глибини горіння торфу

Надходження значної кількості сполук азоту і фосфору, що виділяються з торфу після його горіння, може спричиняти евтрофікацію водних екосистем і суттєве погіршення якості річкових вод. Тривале тління торфу завдає шкоди довкіллю далеко за межами осередку загорання. Глибоке горіння торфу вивільняє вуглець, що тисячоліттями накопичувався і залишався поза активним вуглецевим циклом. Надмірна кількість цього вуглецю не засвоюється живими організмами та рослинністю. Як показано на рис. 5, природні торфовища діють як накопичувачі вуглецю, тоді як у випадку осушених торфовищ, через процеси літіфікації, вуглекислий газ активно виділяється в атмосферу. Це сприяє посиленню парникового ефекту, що багаторазово загострюється під час їхнього горіння.

2.3. Причини виникнення загорання на торфовищах.

Систематичні пожежі в північних регіонах України, як зазначають екологи, є результатом непередбаченого господарського втручання радянського періоду, зокрема масштабного осушення поліських боліт у 60–80-х роках ХХ століття. У наслідок цього висохлі та деградовані торфовища набули властивостей «бомби сповільненої дії». Торф, будучи природним паливом, легко займається навіть від невеликої іскри чи необережного поводження з вогнем. Особливо ризикованою практика випалювання сухостою, яку попри законодавчу заборону досі регулярно здійснюють мешканці на своїх садибах. За наявності вітряної погоди вогонь може швидко поширюватися на поля, ліси й інші території. Окрім цього, у висушених торфовищах відбуваються хімічні процеси, які можуть спричинити самозаймання. Додають небезпеки підвищені температури повітря та інтенсивне сонячне випромінювання, особливо у періоди посухи, коли опади тривалий час відсутні. Однією з найбільш загрозливих характеристик пожеж на торфовищах є їх тривале тління, яке може зберігатися протягом тижнів або навіть місяців. Навіть сильні, але нетривалі дощі не завжди здатні. У разі недостатньої кількості опадів або малосніжної

зими тління може продовжуватися під сніговим шаром і активізуватися з настанням весни. Екологи наголошують, що такі пожежі надзвичайно складно виявити на ранніх етапах та ще важче ліквідувати. Їх гасіння потребує значних обсягів води, а природні джерела водопостачання іноді відсутні поблизу. Крім того, навіть після zalивання торфовищ можливе збереження локальних осередків тління, які несуть загрозу повторного займання.

Експерти зазначають, що критична вологість торфовищ, при якій можливе їх самозаймання, становить 73%. Однак насправді, торф може висихати до значно нижчих рівнів. Під час тривалого посушливого періоду вологість може знижуватись до 40%, що робить торф майже сухим і легкозаймистим, у якому вогонь поширюється вглиб. Горіння припиняється, коли доходить до рівня ґрунтових вод чи мінерального шару. Приблизно 80–90% усіх торф'яних пожеж викликані людською діяльністю і необережним поводженням з вогнем. Решта 10–15% пожеж можуть виникати від блискавок, проїжджаючого транспорту або через ймовірне самозаймання. Торф володіє здатністю до самозаймання без обов'язкового зовнішнього теплового впливу. Цей процес пов'язаний із діяльністю мікроорганізмів, продукти життєдіяльності яких накопичуються в анаеробних умовах, поступово нагріваючи масу торфу до 60–65°C. Деякі термофільні та термогенні бактерії можуть витримувати нагрів до 70°C, виділяючи значну кількість тепла. При подальшому підвищенні температури торф перетворюється на напівкокс, схильний до спонтанного самозаймання при контакт із киснем. Самонагрівання відбувається зі швидкістю від 0.5 до 4.5°C на добу та поступово прискорюється. Ступінь ендегенної пожежонебезпеки залежить від ботанічного складу та ступеня розкладання торфу. Навіть видобутий торф може бути схильний до займання під час його зберігання.

Експерти зазначають, що критична вологість торфовищ, при якій можливе їх самозаймання, становить 73%. Однак насправді, торф може висихати до значно нижчих рівнів. Під час тривалого посушливого періоду вологість може знижуватись до 40%, що робить торф майже сухим і легкозаймистим, у якому вогонь поширюється вглиб. Горіння припиняється, коли доходить до рівня

грунтових вод чи мінерального шару. Приблизно 80–90% усіх торф'яних пожеж викликані людською діяльністю і необережним поводженням з вогнем. Решта 10–15% пожеж можуть виникати від блискавок, проїжджаючого транспорту або через ймовірне самозаймання. Торф володіє здатністю до самозаймання без обов'язкового зовнішнього теплового впливу. Цей процес пов'язаний із діяльністю мікроорганізмів, продукти життєдіяльності яких накопичуються в анаеробних умовах, поступово нагріваючи масу торфу до 60–65°C. Деякі термофільні та термогенні бактерії можуть витримувати нагрів до 70°C, виділяючи значну кількість тепла. При подальшому підвищенні температури торф перетворюється на напівкокс, схильний до спонтанного самозаймання при контакті з киснем. Самонагрівання відбувається зі швидкістю від 0.5 до 4.5°C на добу та поступово прискорюється. Ступінь ендегенної пожежонебезпеки залежить від ботанічного складу та ступеня розкладання торфу. Навіть видобутий торф може бути схильний до займання під час його зберігання.

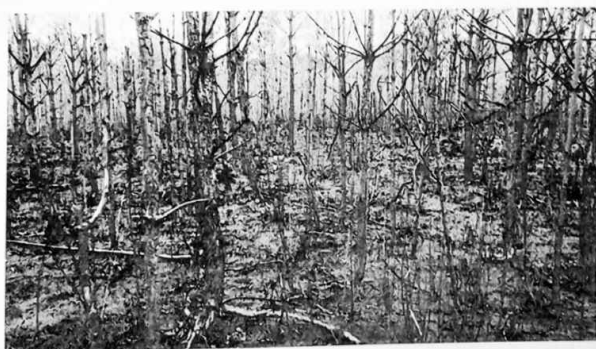


Рисунок 6. Місця після пожежі на торфовищі біля села Рудня-Озерянська, Житомирська область (квітень 2020).

Сьогодні набагато родовищ залишаються занедбаними. Однак внаслідок втручання людини ці раніше осушені території стали значно вразливішими до пожеж. Знижений рівень ґрунтових вод більше не доходить до шарів торфу, який надзвичайно легко займається. Часті підпали опалого листя, сухої трави та необережне поводження з вогнем лише підвищують ризик торф'яних пожеж. У той час як лісові чи степові загоряння порівняно простіші для гасіння, палаючі

торфовища становлять куди більшу проблему. Їхній вплив на природу та людину є значно руйнівнішим.



Рисунок 7. Тліючі торфовища

У 2020 році в Древянському заповіднику, неподалік від Чорнобиля, сталася велика пожежа. Вогонь охопив заповідну зону, ліси та торфовища, зокрема й території з найвищим рівнем радіоактивного забруднення. Ліквідації пожежі значно перешкоджав сильний вітер, що сягав швидкості 30 м/с. Полум'я швидко поширилось на Чорнобильську зону. На сьогодні в Україні нараховується близько 1 мільйона гектарів осушених торфовищ, більшість із яких розташовані на правобережному Поліссі. У заторфованих заплавах малих річок навколо Києва, таких як Ірпінь, Здвиж, Тетерів, Остер, Трубіж та їх притоки, а також у заболочених низинах у заплавах Десни і Дніпра потужність торф'яних покладів подекуди сягає 6–7 метрів. Таким чином, Київ фактично оточений кільцем складних природних торфОВО-болотних систем, які за певних умов не лише приносять користь, але й можуть становити серйозну екологічну небезпеку.

РОЗДІЛ 3. МАСШТАБИ ТА МЕТОДИ БОРОТЬБИ З ТОРФ'ЯНИМИ ПОЖЕЖАМИ

3.1. Наявні методи гасіння торф'яних пожеж

Ліквідація торф'яних пожеж можлива лише за умови їх своєчасного виявлення. Проте виявити такі пожежі на ранніх стадіях розвитку надзвичайно важко. Надійним способом забезпечення раннього виявлення є регулярне наземне патрулювання. Одним із найбільш сучасних методів моніторингу лісів і торфовищ, а також визначення ступеня їх пожежної небезпеки, є застосування технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Використання авіації для патрулювання, хоча і ефективне, вимагає значних фінансових витрат, що стимулює інтерес до залучення супутникових систем для виявлення та спостереження за станом пожеж. Щоб попередити самозаймання та загоряння торфу, можна використовувати розчини плівкоутворювачів, які обмежують доступ повітря до його поверхні. Таку функцію виконує глиниста пульпа з добавками хлориду кальцію, який діє як інгібітор горіння. Для гасіння торф'яних пожеж застосовують спеціалізоване обладнання: торф'яні стовбури, пожежні автомобілі, насосні станції, магістральні поливні трубопроводи та інше оснащення.

Підчас виконання земляних робіт активно застосовуються спеціалізовані механізми, такі як канавокопачі, екскаватори, бульдозери, грейдери та інша техніка, яка придатна для цих завдань. Натомість сучасне обладнання, створене для боротьби з торф'яними пожежами за допомогою насичення торфу дисперсними речовинами (зокрема цементовози, пересувні бетонні та хімічні установки), наразі використовується недостатньо ефективно. Ліквідувати торф'яні пожежі відносно складно. Зазвичай для їх гасіння застосовують воду, а також проводять окопування вогнищ траншеями приблизно одного метра завширшки та досягненням мінерального шару або рівня торфу, насиченого водою. Крім того, одним із засобів для боротьби з такими пожежами є використання торф'яних стволів. У цьому разі для повного припинення загоряння треба обробити смугу шириною 0,7–0,8 м поблизу краю пожежі. Щоб

створити таку смугу, свердловини розташовують у два ряди: перший ряд прокладають на відстані 0,1–0,2 м від видимого краю займання, а другий – на відстані 0,3–0,4 м від першого. У межах кожного ряду свердловини розміщуються з проміжком в 0,3–0,4 м. Під час подачі води в стволи під тиском 3–4 атмосфери (30–40 метрів водяного стовпа) витрата води з додаванням змочувача становить 35–42 літри за хвилину. Ускладнення гасіння торф'яних пожеж спричинене тим, що при високих температурах відбувається термічне розкладання фітомаси з утворенням бітумів і термобітумів — тобто гідрофобних речовин. Після дощу бітумовані частки торфу зволожуються тільки поверхнево; волога проникає між ними та відводиться до ґрунтових вод, через що торф'яні поклади можуть продовжувати горіти роками, доки родовище повністю не вигорить. Використання лише води як основного засобу гасіння недостатньо результативним, оскільки торф має низьку змочуваність через високий поверхневий натяг води.

Для ефективної ліквідації торф'яних пожеж необхідне значне водне навантаження — орієнтовно 1 м³ води на 1 м³ торфу. Водночас торф характеризується низькою гігроскопічністю, поглинаючи лише 5–8% поданої рідини, після чого швидко втрачає вологу, що спричиняє ризик повторного загоряння. Для підвищення змочувальної здатності торфу у 2–3 рази доцільним є застосування 1–3% водних розчинів натрієвих карбонатів та бікарбонатів, які сприяють покращенню проникності води в капілярно-пористу структуру торфу, тим самим підвищуючи ефективність гасіння та профілактики повторних займання.

Одним з найрезультативніших методів збільшення змочуваності торфу є введення до води поверхнево-активних речовин (ПАР). Проте ефективність ПАР залежить від морфологічного і хімічного складу конкретного виду торфу, що зумовлює необхідність індивідуального підбору як типу речовини, так і її концентрації. На практиці застосовуються ПАР у концентрації до 0,3%, зокрема сульфанол НП, а також піноутворювачі типу ОП-7 та ОП-10.

Як альтернативний або допоміжний метод гасіння використовується інертне середовище у вигляді диму та вуглекислого газу. У вогнищах займання створюються ін'єкційні канали, через які подається дим від димових шашок. Цей дим рівномірно проникає в поровий простір торф'яної маси, витісняючи кисень до рівнів нижче 5% від об'єму повітря, що є критичною межею для підтримання процесу горіння.

Після зниження концентрації кисню здійснюється подача вуглекислого газу через спеціалізовані торф'яні стволи з вуглекислотних вогнегасників. При розширенні на виході газ охолоджується до температури близько -72°C , що забезпечує зниження температури торфу нижче межі самозаймання. Таким чином досягається термічна ізоляція осередків горіння та їх локалізація.

Через низьку змочуваність торфу вода має обмежену здатність до інфільтрації, що ускладнює процес гасіння традиційними методами. Натомість застосування охолодженого вуглекислого газу дозволяє ефективно впливати на глибинні шари торфу, нейтралізуючи потенційні осередки тління.

Одним із перспективних методів ліквідації торф'яних пожеж є цілеспрямоване введення в осередок займання діоксиду вуглецю у твердому стані (т. зв. «сухого льоду») за допомогою ствольної пневматичної гармати. Такий підхід дозволяє забезпечити інтенсивне й локалізоване насичення вогнища займання охолодженим вуглекислим газом. У зоні контакту брикетів із торф'яною масою формується середовище з низьким вмістом кисню та пониженою температурою, що одночасно забезпечує припинення доступу окисника до пального середовища та інтенсивне тепловідведення, необхідне для припинення процесів горіння.

З метою запобігання займанням торфовищ та їх повторного загоряння запропоновано також метод насичення торфу негорючими мінеральними наночастинками. Ці наноматеріали характеризуються високою ефективністю завдяки ряду фізико-хімічних властивостей: значною питомою площею поверхні, що зумовлює їх високу хімічну реакційну здатність; здатністю до проникнення в мікропористу структуру торфу; вираженими адгезійними

властивостями, які сприяють фіксації наночастинок на поверхні органічних речовин. Окрім того, наночастинок беруть участь в ендотермічних реакціях окиснення, внаслідок чого частково поглинається молекулярний кисень, що додатково перешкоджає підтриманню горіння. Завдяки більшій щільності (у 2–3 рази вища за щільність льоду та води), наночастинок мають властивість осідати в нижніх шарах торфовища, де локалізуються залишкові осередки тління.

Таким чином, торф'яні пожежі, з огляду на їхню масштабність, тривалість, складність гасіння та значний негативний вплив на довкілля, економіку та здоров'я населення, потребують системного перегляду підходів до протипожежного захисту торфовищ. Стійке щорічне повторення таких надзвичайних ситуацій свідчить про недостатню ефективність нині застосовуваних методів і наголошує на необхідності вдосконалення або впровадження інноваційних технологій для боротьби з цим видом пожеж.

3.2. Методи боротьби з торф'яними пожежами

Торф'яні пожежі зазвичай виникають у районах видобутку торфу та обумовлені антропогенними або природними чинниками, зокрема недотриманням правил пожежної безпеки, електричними розрядами блискавки або явищем самозаймання. Особливістю таких пожеж є повільне, але глибоке прогорання торфу по всій глибині його залягання, що значно ускладнює процес їх ліквідації.

Торф'яні пожежі мають здатність до поширення у різних напрямках, незалежно від метеорологічних умов, зокрема сили та напрямку вітру. Ба більше, процес горіння може відбуватись навіть за умов помірних атмосферних опадів — дощу чи снігопаду — оскільки торф може підтримувати тління під поверхнею ґрунту. Характерним є повільне просування осередку пожежі — кілька метрів на добу — та його прихований характер, що ускладнює візуальне виявлення меж загорання.

Найбільш типовими ознаками підземного горіння є специфічний запах диму, що локально виходить із тріщин або пор у землі, та підвищена

температура поверхні, яка свідчить про наявність активного тління. Температура в зоні горіння може перевищувати 1000 °C, що знижує ефективність водогасіння через миттєве випаровування води ще до досягнення вогнища займання.

Високий рівень небезпеки таких пожеж полягає також у можливості обвалів прогорілого ґрунту, що створює загрозу для життя людей і пошкодження технічних засобів. Окрім того, навіть за значного рівня опадів торф'яники зберігають здатність до підтримання горіння, що є викликом для пожежогасіння в умовах недостатньої вологості нижніх шарів торфу.

Ґрунтові торф'яні пожежі часто стають джерелом ініціації низових лісових пожеж: тління поширюється до кореневої системи дерев, що зумовлює їх повалення та формування завалів, які сприяють подальшому розповсюдженню вогню у лісовій екосистемі.

Однією з ключових проблем, що ускладнюють процес ліквідації торф'яних пожеж, є складна доступність осередків горіння, зумовлена віддаленістю від розгалужених систем водопостачання. Це істотно обмежує можливість оперативного транспортування води автотранспортом, що в окремих випадках є не лише нераціональним, а й технічно неможливим. Тим часом ефективне здійснення протипожежних заходів потребує значних об'ємів води — іноді до кількох тисяч тонн на добу.

До превентивних заходів із запобігання поширенню торф'яних пожеж належить створення протипожежних бар'єрів у вигляді викопаних ровів і каналів, розташованих уздовж лісових масивів. Іншим методом профілактики є гідротехнічне заводнення осушених торфовищ, що дозволяє підтримувати рівень вологості на рівні, несумісному з процесом горіння. Під час гасіння пожеж найбільш ефективним залишається метод ізоляції осередку шляхом обкопування канавами до рівня мінерального ґрунту або до горизонту ґрунтових вод, а також перекопування й інтенсивного зволоження шару палаючого торфу.

Складність гасіння таких пожеж обумовлена їх підповерхневим характером, оскільки тління відбувається на значній глибині й може залишатися невидимим зовні протягом тривалого часу. З цієї причини повна ліквідація займання у короткі терміни зазвичай є технічно неможливою.

У контексті підвищення ефективності систем управління технічними процесами, зокрема у сфері моніторингу та прогнозування поширення пожеж, дедалі ширше застосовуються математичні методи та обчислювальна техніка. Хоча використання математики в інженерних задачах має давню історію, саме в останні десятиліття, у зв'язку з ускладненням задач і розвитком комп'ютерних технологій, вона набула статусу провідного інструменту в прикладних науках.

Цей напрямок досліджень, відомий як математичне моделювання, є невід'ємною складовою процесу математизації технічного знання. Моделювання дозволяє аналітично описувати складні фізичні, хімічні та екологічні процеси, здійснювати їхню імітацію та оптимізацію, що є особливо актуальним у сфері протипожежного захисту та управління ризиками на торфовищах.

Інтеграція математичних методів у сферу пожежної безпеки забезпечує підвищення точності, уніфікації підходів до розв'язання задач, а також впровадження строгих і логічно завершених наукових концепцій. Із розвитком математики, засобів електронно-обчислювальної техніки, а також загальнометодологічних і технічних наук, математичне моделювання набуває дедалі ширших застосувань, видозмінюється, розширюючи свій інструментарій та формати представлення моделей.

Будь-яка математична модель, що описує об'єкт, процес або явище, складається з трьох основних компонентів:

1. Невідомі змінні, або характеристика об'єкта моделювання, що підлягає визначенню — вектор $Y=(y_j)Y=(y_j)Y=(y_j)$;
2. Зовнішні умови, які впливають на об'єкт, але визначаються поза межами моделі — вектор $X=(x_j)X=(x_j)X=(x_j)$;

3. Внутрішні параметри об'єкта — множина ААА, яка описує сталу структуру або фізичні властивості моделі.

У цьому контексті множини ХХХ та ААА розглядаються як екзогенні змінні — ті, що визначаються незалежно від внутрішньої логіки моделі, тоді як компоненти вектора УУУ є ендегенними змінними, тобто такими, що виводяться з моделі на основі заданих умов.

Математичну модель доцільно розглядати як оператор перетворення: вона реалізує трансформацію вхідного вектору умов ХХХ у вихідний вектор характеристик об'єкта УУУ, використовуючи визначений набір внутрішніх параметрів ААА.

Залежно від характеру математичних залежностей між змінними, моделі класифікуються на:

- Структурні моделі, які описують внутрішню будову системи та взаємозв'язки між елементами;

- Функціональні моделі, які встановлюють залежність результатів (виходів) від заданих умов (входів), не деталізуючи внутрішню структуру процесу.

Структурні моделі відображають внутрішню організацію об'єкта моделювання, зокрема його елементи, внутрішні параметри, а також характер взаємозв'язку між вхідними даними (екзогенними змінними) та вихідними результатами (ендогенними змінними). Такі моделі деталізують склад об'єкта та способи його функціонування, що дає змогу не лише аналізувати систему, але й виявляти чинники, які визначають її поведінку в динаміці.

У науковій практиці виділяють три основні типи структурних моделей:

1. Фізичні (матеріальні) моделі — побудовані як матеріальні аналоги реального об'єкта з дотриманням масштабних співвідношень; використовуються для емпіричного вивчення властивостей об'єкта в умовах, максимально наближених до реальних.

2. Іконічні (графічні або геометричні) моделі — це зображення об'єкта у вигляді креслень, схем або графіків, що візуалізують його структурну будову та функціональні зв'язки між складовими частинами.

Абстрактні (формалізовані) моделі — створюються у вигляді математичних описів, які базуються на системах рівнянь, логічних виразах або алгоритмах, що формалізують взаємодію між параметрами та змінними об'єкта.

3.

$$Y_j = f_j(A, X);$$

$$\Psi_i(A, X, Y) = 0;$$

Імітаційні моделі становлять окремий клас математичних моделей, які застосовуються для аналізу складних систем, поведінка яких не може бути повністю описана аналітично визначеними співвідношеннями. У загальному випадку розрізняють три типи моделей за способом визначення невідомих величин:

1. Моделі першого типу характеризуються тим, що всі невідомі змінні виражаються у вигляді явних функцій від зовнішніх умов (вектора XXX) та внутрішніх параметрів об'єкта (вектора AAA). Такі моделі допускають аналітичне розв'язання та є найпростішими з точки зору реалізації. Проте через складність багатьох реальних процесів їхнє застосування обмежене.

2. Моделі другого типу базуються на системі рівнянь, нерівностей чи інших математичних співвідношень, у межах яких невідомі величини визначаються одночасно. Ці задачі, на відміну від моделей першого типу, зазвичай розв'язуються чисельними методами, що дозволяють аналізувати як окремі рішення, так і виявляти загальні закономірності в межах заданих параметрів.

3. Імітаційні моделі (моделі третього типу) відрізняються тим, що форма функціональних співвідношень між змінними не є відомою. У таких моделях невідомі змінні визначаються одночасно з вхідними

параметрами на основі процедури моделювання, яка імітує реальні процеси. Тобто модель не є формально визначеною математичною задачею, а розв'язання здійснюється шляхом спеціальної побудови імітаційного алгоритму, що наближено відтворює поведінку системи.

Імітаційне моделювання зазвичай використовується для дослідження складних об'єктів, таких як стохастичні або динамічні системи, в яких класичні методи аналітичного моделювання є непридатними. Для цього застосовуються сучасні математичні підходи, зокрема:

- теорія випадкових процесів — для опису стохастичної природи змін,

- теорія ігор та статистичних рішень — для моделювання ситуацій із багатьма учасниками або умовами невизначеності,

- теорія автоматів — для аналізу дискретних систем із визначеними правилами переходу між станами.

Таким чином, імітаційні моделі є гнучким і потужним інструментом для вивчення складних систем, де традиційні методи математичного аналізу виявляються недостатніми.

У процесі імітаційного моделювання ключову роль відіграють електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), які забезпечують обробку великої кількості змінних та сценаріїв поведінки системи. Імітаційні моделі, на відміну від структурних, не передбачають чіткого відображення внутрішньої організації об'єкта, а також не обмежуються суто функціональними залежностями між змінними. Через це вони займають проміжне положення між структурними та функціональними моделями.

Імітаційне моделювання може бути ефективно застосоване, зокрема, для оптимізації систем протипожежного захисту торфовищ. З урахуванням таких факторів, як вологість рослинної підстилки й торфу, сила та напрямок вітру, температура навколишнього середовища тощо, можна здійснити математичне моделювання ефективного розміщення та розмірів огорожувальних каналів, що

забезпечить зменшення інтенсивності поширення вогню та підвищить ефективність гасіння.

Основною причиною виникнення пожеж на торфовищах залишається порушення правил пожежної безпеки, зокрема спалювання сухої рослинності, листя або побутових відходів. Вогонь із відкритих джерел легко поширюється на торф'яні ділянки, провокуючи їх загоряння. Подібні випадки недбалості або легковажності можуть спричинити масштабну пожежу, яка несе загрозу як природним екосистемам, так і житловій інфраструктурі, що розташована поблизу. Крім того, інтенсивне задимлення знижує видимість на автошляхах, підвищуючи ризик дорожньо-транспортних пригод.

У разі гасіння торф'яних пожеж керівник гасіння пожежі (КГП) має здійснити низку організаційних і тактичних заходів, зокрема:

- створення оперативного штабу ліквідації пожежі за участі представників органів місцевої влади;

- визначення напрямку та швидкості розповсюдження вогню, товщини шару торфу та його морфологічної однорідності;

- ідентифікація найбільш небезпечних ділянок, зокрема у безпосередній близькості до будівель, газопроводів та інших об'єктів підвищеного ризику;

- аналіз наявних джерел водопостачання, їх ресурсної спроможності, та, за потреби, створення нових водозаборів, підняття рівня води у каналах, або залучення стаціонарних та мобільних зрошувальних систем;

- визначення меж (кордонів), у яких слід зупинити подальше поширення пожежі;

- раціональний розподіл наявної пожежної техніки в межах виявлених пріоритетних зон;

- координація дій залучених підрозділів і місцевого населення відповідно до оперативної обстановки;

· у випадку радіаційної небезпеки — моніторинг радіаційної обстановки і впровадження відповідних заходів захисту особового складу;

· забезпечення матеріально-технічної підтримки, включно з харчуванням, місцями для відпочинку, паливно-мастильними матеріалами тощо;

· створення протипожежних розривів, тимчасових дамб або запруд, а також використання важкої техніки (бульдозерів, тракторів, тягачів) для транспортування засобів пожежогасіння у важкодоступні райони;

· організація захисту населених пунктів, промислових об'єктів і сільськогосподарських угідь у разі їхнього наближення до фронту пожежі;

· цілодобове патрулювання і дозорна служба за участю добровільних формувань та місцевого населення;

· під час евакуації — дії згідно з заздалегідь розробленим планом евакуації населення.

У разі застосування спеціалізованих торф'яних стволів типу ТС-1 та ТС-2 для повної ліквідації осередків торф'яної пожежі, необхідно забезпечити створення захисної змоченої смуги шириною приблизно 0,7–0,8 м вздовж активної кромки займання. Для ефективного оброблення даної смуги свердловини доцільно розмішувати у два ряди.

· Перший ряд формують на відстані 0,1–0,2 м від візуально визначеної межі пожежі.

· Другий ряд прокладають на відстані 0,3–0,4 м від першого.

Відстань між окремими свердловинами в межах кожного ряду має становити 0,3–0,4 м. Така схема розміщення забезпечує рівномірне насичення торф'яної маси водою та сприяє ефективному припиненню тління.

При подачі води під тиском 3–4 атм (відповідає 30–40 м водяного стовпа) витрата рідини, збагаченої змочувальними добавками, становить 35–42 л/хв.

Оптимальна тривалість водонасичення залежить від глибини прогорання торф'яного шару, що визначається на місці пожежі.

Таблиця 3

Час подачі води залежно від глибини прогорання торфу

Глибина прогорання торфу, м	0,2...0,4	0,4...0,7	0,7...1,2	1,2...2,0
Час подавання рідини, с	5...6	7...9	10...12	14...16

Якщо достатнього водного джерела поблизу самого вогнища пожежі немає, то пожежу локалізують за допомогою створення рову.

В деяких випадках коли багато осередкові торф'яних пожеж, які часто виникають на торф'янистих ґрунтах в умовах низової пожежі, гасіння можливе тільки методом локалізації загальної площі, де знаходяться безпосередньо осередки пожежі. Подібну локалізацію треба проводити за безпосередньої допомоги канавокопачів або спеціальних вибухових матеріалів з долученням у прокладений рів води з ближніх водних джерел. При достатній кількості засобів пожежогасіння потрібно одночасно поливати водою саму поверхню палаючого торфу.

Ефективне гасіння торф'яних пожеж значною мірою забезпечується участю спеціалізованих пожежно-рятувальних підрозділів, оснащених пожежними насосними станціями. Зокрема, станція типу ПНС-110(131) (ТУ 22.10987-73) здатна транспортувати воду з відкритих джерел за допомогою магістральних рукавів діаметром 150 мм на значні відстані. Її експлуатаційні характеристики дозволяють забезпечувати водопостачання трьох пожежних автомобілів, обладнаних насосами продуктивністю близько 40 л/с, на дистанції до 4-5 км, а

також здійснювати наповнення штучних водойм чи дренажних каналів, утворених навколо осередків торф'яного займання.

Окрім того, відповідно до чинних процедур, до ліквідації торф'яних пожеж можуть залучатися поливомийні машини, сільськогосподарські насосні установки, інша спеціалізована техніка з відповідним обслуговуючим персоналом, а також трубопровідні підрозділи системи цивільного захисту.

Після завершення гасіння необхідно здійснювати регулярний моніторинг пройденої вогнем території до моменту випадання значних атмосферних опадів. Для підвищення ефективності гасіння пожеж, що розповсюджуються в пористих середовищах (грунт, торф, терикони), було розроблено спеціалізований пожежний ствол. Його конструкція, що має конусоподібну форму, виконана з оцинкованої загартованої сталі із суцільною спіраллю та наконечником, дозволяє здійснювати подачу вогнегасних речовин на глибину понад 2 метри. Така конструкція забезпечує загвинчування ствола в осередок горіння та сприяє глибинному гасінню на рівні до 7 метрів.

Рідина (вода або піноутворювач) подається під тиском (0,4–0,7 МПа) через пожежний рукав діаметром 77 мм безпосередньо з моменту проникнення ствола в горючий шар. Отвори в корпусі ствола орієнтовані таким чином, щоб рідина надходила безпосередньо до зони горіння, а не лише на поверхню. Завдяки шнековому механізму забезпечується глибоке проникнення пристрою та його демонтаж після завершення операції.

Ствол може монтуватися як вручну, так і за допомогою електромеханічного пристрою для закручування гвинтових палів (KRE20Z1), що значно пришвидшує процес встановлення. Для запобігання деформації або розриву рукавної лінії передбачене кутове з'єднання. Конструктивно пристрій складається з: ручки, з'єднувальної головки, фланця, кутового з'єднання, гвинтової палі з отворами.

Гасіння торф'яних пожеж ускладнюється через термічні процеси, що відбуваються в торфових родовищах при високих температурах. Зокрема, у таких умовах відбувається термічний розклад органічної маси з утворенням бітумів і термобітумів — гідрофобних сполук, які запобігають змочуванню торфу водою.

через гідрофобність просочених бітумом частинок вода проникає між ними, не змочуючи їх, та йде в глибші шари ґрунту, що унеможливорює ефективне гасіння і сприяє тривалому горінню торфу, іноді — впродовж років.

Одним з найефективніших методів боротьби з такими пожежами є введення у воду поверхнево-активних речовин (ПАР), що знижують поверхневий натяг і покращують змочувальну здатність водного розчину щодо торфу. При цьому вибір ПАР залежить від хімічного складу торфу та вимагає індивідуального підбору як за якісним, так і кількісним складом. На практиці застосовуються, зокрема, сульфанол НП та піноутворювачі типу Барс S-1 і Барс S-1m в концентраціях до 0,3%. Дослідження свідчать, що використання 1–3% розчинів натрієвих карбонатів і бікарбонатів може збільшити змочувальну здатність торфу у 2–3 рази, що підвищує ефективність гасіння й може застосовуватись з профілактичною метою.

Змочувальні розчини піноутворювачів доцільно застосовувати для гасіння горючих пористих матеріалів органічного походження, зокрема тих, що мають низьку змочуваність водою (вата, торф, вугілля, тканини, тирса). Вони забезпечують як змочування поверхні, так і проникнення активної речовини в пористу структуру матеріалу, що значно підвищує швидкість локалізації й ліквідації займання.

Однією з головних проблем торф'яних пожеж є їх пізнє виявлення. Такі займання можуть поширюватися низовим чином, практично без відкритого полум'я, і залишатися непомітними для наземних та аеророзвідних засобів. Поширення сприяє навіть незначний вітер. Відомі випадки, коли пожежа тривала в зимовий період під шаром снігу і не припинялася до весняної повені.

Додаткові ускладнення створює здатність торф'яників зберігати осередки горіння на значних глибинах (до кількох метрів), навіть під час інтенсивних опадів. У багатьох випадках ліквідація таких пожеж ускладнюється важкодоступністю осередків, відсутністю або віддаленістю джерел водопостачання, а також логістичними труднощами з доставкою води автотранспортом. Тим часом, потреба в воді для ефективного гасіння може досягати кількох тисяч тонн на добу.

3.3. Сучасні методи передбачення торф'яних пожеж

Явище щорічного тління торфовищ не є суто локальним для України й має глобальний характер. Основним чинником, що визначає ефективність протидії таким пожежам, є стратегія, яку обирає країна для управління торф'яними екосистемами. Найбільш поширеним і науково обґрунтованим підходом є відновлення гідрологічного режиму водно-болотних угідь до їхнього стану, що передував осушенню.

Одним із лідерів у впровадженні таких стратегій є Шотландія, де в 2020 році було рекультивовано 50 тис. га торфовищ, переважно в межах лісових масивів і природоохоронних територій. До 2030 року планується відновлення ще 200 тис. га. На реалізацію цих заходів уряд разом із громадськими організаціями вже інвестував близько 65 млн доларів США.

Схожі підходи реалізуються й у Німеччині, де болота визнаються критично важливими для збереження біорізноманіття. Тут розробляються програми повторного зволоження деградованих торфовищ, що призвело до значного зменшення частоти пожеж, незважаючи на інтенсивніше господарське використання торфу порівняно з Україною.

У ряді країн функціонують спеціалізовані установи, які займаються виключно питаннями відновлення торфовищ, а також реалізуються конкурсні програми з наданням грантів для пошуку інноваційних рішень. Наприклад, у 2018 році уряд Індонезії оголосив міжнародний конкурс на найкращу технологію картографування торфовищ із призовим фондом 1 млн доларів США.

Ці приклади ілюструють необхідність комплексного, системного підходу до запобігання пожежам в екосистемах, що має базуватись на інтеграції зусиль органів державної влади, місцевого самоврядування та наукових установ.

Для своєчасного виявлення пожежонебезпечних ділянок на торфовищах необхідно враховувати такі показники:

- географічне положення торфовищ;
- потужність торф'яного покладу;

рівень вологості;

метеорологічні умови та синоптичні прогнози.

Частину цих даних можна отримати завдяки багатозональним супутниковим знімкам різної просторової роздільної здатності. На регіональному рівні доцільним є використання знімків із супутника Terra, оснащеного сенсорами MODIS, що містять теплові канали для фіксації змін температури земної поверхні. Зокрема, продукти типу MOD14A2 дозволяють виявляти як одноразові, так і кумулятивні теплові аномалії ("гарячі точки") за 8-денні періоди.

Для підвищення достовірності просторової локалізації пожеж застосовуються також знімки супутника серії Landsat, зокрема Landsat 8, оснащеного двома тепловими інфрачервоними каналами (TIR) з робочими діапазонами 10.8 і 12.0 мкм. У Центрі аерокосмічного картографування та дистанційного зондування (ЦАКДЗ) активно впроваджуються методики атмосферної корекції та адаптації даних до характеристик підстилаючої поверхні.

Різні типи земного покриву мають відмінні характеристики поглинання, накопичення та випромінювання теплової енергії (емісії), що формує їх унікальні теплові образи на супутникових знімках. Торф, як осадова органічна порода, демонструє істотні варіації у тепловому відгуку залежно від вологості, що особливо чітко проявляється в інфрачервоному (тепловому) діапазоні спектра. Це дозволяє з високою точністю виявляти стан переосушення поверхні торфовищ, які в такому випадку характеризуються підвищеною температурною емісією.

Супутникове виявлення активних осередків загоряння на торфовищах не становить технічної складності. Використання комбінації теплових інфрачервоних каналів (наприклад, TIR каналів 10 або 11), ближнього інфрачервоного каналу (NIR), а також спеціалізованих індексів, таких як нормалізований різницевий водний індекс NDWI (Normalized Difference Water Index), дозволяє ідентифікувати «гарячі» ділянки, що можуть бути пов'язані з осушенням і горінням торфу. NDWI є індикатором водного стресу рослинного покриву, чутливим до змін вологості завдяки диференційованому відбиттю в ближньому (NIR, ~857 нм) та

короткохвильовому інфрачервоному (SWIR, ~1241 нм) діапазонах. Індекс розраховується за формулою:

$$NDWI = \frac{\rho_{857} - \rho_{1241}}{\rho_{857} + \rho_{1241}}; \quad NDWI = \frac{NIR - TIR}{NIR + TIR}.$$

де ρ_{NIR} — коефіцієнт відбиття в ближньому ІЧ-діапазоні, ρ_{SWIR} — у короткохвильовому ІЧ-діапазоні.

Значення NDWI варіюються в межах від -1 до +1: позитивні значення відповідають наявності вологи, тоді як від'ємні можуть свідчити про сухість рослинного покриву або мінералізовані поверхні.

Таким чином, аналіз NDWI у поєднанні з TIR- та NIR-каналами дозволяє не лише виявляти активні осередки загоряння, а й оцінювати передумови до них — зокрема, стан дегідратації торфових екосистем.

Визначення меж поширення торфовищ здійснюється шляхом комплексного аналізу цифрових моделей рельєфу (ЦМР), ретроспективного вивчення картографічних матеріалів та дешифрування багатоспектральних супутникових знімків (КЗ), отриманих у різні пори року та в різні роки. Для виявлення зон торфонакопичення особливо інформативними є знімки, отримані у ранньовесняний та осінній періоди. Побудова поперечних і повздовжніх профілів місцевості дозволяє ідентифікувати топографічно зниженні ділянки, які є сприятливими для застійних гідрологічних процесів та накопичення органічної маси.

У долинах великих річок, таких як Дніпро та Десна, основні зони накопичення торфу зосереджуються в староріччях, прибортових частинах заплав і у нижніх частинах терас. У менших річкових системах потенційно заторфованою може бути вся заплава, особливо за умови незначного ухилу русла, що призводить до уповільнення стоку.

Для уточнення меж розповсюдження торфовищ і торф'яних ґрунтів застосовується дешифрування супутникових зображень середнього та високого просторового розрізнення. Основними індикаторами торфовищ на таких знімках є характерна конфігурація, морфологічна виразність та спектральні характеристики.

Використання інтерактивного дешифрування та спектрального аналізу дозволяє диференціювати елементи заплавного ландшафту, ідентифікувати торф'яні ділянки, а також оцінювати стан водотоків і меліоративної мережі.

У межах детальних досліджень увагу приділяють окремим тестовим ділянкам, які вважаються потенційно екологічно небезпечними. Наприклад, при аналізі знімків Landsat (15.10.2015, композит 11, 6, 1) в долинах річок Ірпінь та Рокач були виділені такі категорії поверхні: 1 — схили і міжріччя; 2 — заторфовані заплави, серед яких: а — перегріті та активні осередки горіння, б — перезволожені зони, в — заплавні луки.

Загальна технологія досліджень торфовищ передбачає наступні етапи:

· визначення місць розташування торфовищ, що мають потенційно пірогенну загрозу, з використанням дешифрування КЗ, аналізу рельєфу за ЦМР та застосуванням нормалізованих індексів (вологості, посушливості, вегетації);

· моніторинг стану торфовищ на основі супутникових знімків середньої та високої роздільності з використанням методик розрахунку абсолютної температури поверхні у тепловому інфрачервоному діапазоні;

· застосування безпілотних літальних апаратів для:

а) виявлення перегрітих ділянок у передпожежному стані,

б) фіксації активних осередків горіння,

в) виявлення залишкових підземних вогнищ після завершення протипожежних заходів;

· використання польових тепловізорів для ідентифікації підповерхневих осередків підвищеної температури, оцінки ефективності гасіння та здійснення регулярного теплового моніторингу пожежонебезпечних територій.

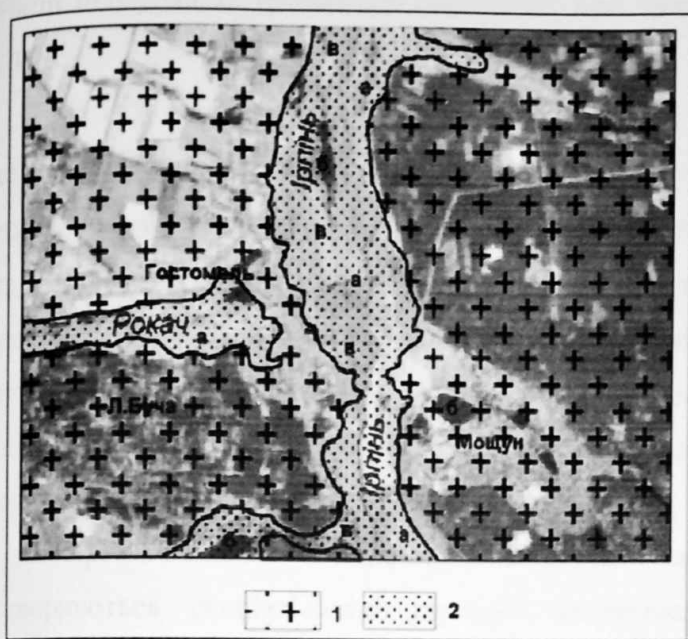


Рисунок 8. Дешифрування долини річок Ірпін' та Рокач за КЗ Landsat

3.4. Рекомендації щодо зниження ризиків виникнення пожеж на торфовищах

У міжнародній практиці природноорієнтовані рішення (ПОР) щодо запобігання пожежам на торфовищах базуються, передусім, на гідрологічній реабілітації таких екосистем. Основним підходом є повернення осушених торфовищ до природного стану шляхом заводнення, що забезпечує стабілізацію рівня ґрунтових вод і зменшення їхньої пожежонебезпеки.

Незважаючи на те, що найбільші у світі площі торфовищ розташовані в Канаді та Індонезії, саме Шотландія стала одним з провідних прикладів реалізації системного підходу до екологічного відновлення. В межах ініціативи на території регіонів Кейтнес і Сазерленд, відомих як *Flow Country*, у 2020 році було відновлено 50 тис. га деградованих боліт, здебільшого в межах державних заповідників та лісових угідь. До 2030 року планується довести цю площу до 250 тис. га. Зокрема, біля м. Терсо виконуються заходи з викорчовування дерев і ліквідації дренажних борозен для відновлення природного гідрологічного режиму.

На ці цілі уряд та громадські організації вже інвестували понад 65 млн доларів США.

В Індонезії агентство BRG (Badan Restorasi Gambut) у 2019 році провело серію експериментів щодо блокування дренажних каналів на тропічних торфовищах. Результати показали, що перекриття каналів дозволяє підняти рівень ґрунтових вод у межах радіуса до 170 метрів, залежно від гідрогеоморфологічних умов. Подібні результати зафіксовано в провінції Західний Калімантан, де торфовища із заблокованими каналами зберігали вологу довше. Висновки підтверджують відновлення гідрологічної функції торфовищ у середньо- та довгостроковій перспективі.

Крім технічних заходів, країни впроваджують інституційні інструменти — створюються спеціалізовані державні агентства, запускаються дослідницькі програми, проводяться конкурси інновацій. Зокрема, Індонезія провела конкурс на найкращу технологію картографування торфовищ із призовим фондом 1 млн доларів.

Інститут інновацій Землі (EII) у 2020 році здійснив незалежне оцінювання ефективності дій BRG. Аналіз виявив значне зменшення густоти пожеж у межах 250-метрової зони навколо інфраструктури зволоження, що підтверджує ефективність комплексного втручання.

У Малайзії розроблено альтернативну інженерну методику — встановлення вертикального глиняного шару (глиняної дамби) у торфовищі для зменшення бічного дренажу та утримання вологи на рівні природного гідробалансу. Додатково використовуються п'єзометри — пристрої для моніторингу рівня ґрунтових вод, які дозволяють оперативно реагувати на зниження вологості й попереджати розвиток пожеж.

У 2017 році в Чернігівській області в межах Програми розвитку ООН (ПРООН) було реалізовано проєкт гідрологічного відновлення деградованих сільськогосподарських торфовищ загальною площею 2800 гектарів. До початку впровадження заходів ці території систематично піддавалися торф'яним пожежам

у пожежонебезпечний період (липень–жовтень). Після реалізації проєкту та проведення заходів із заводнення інциденти займання практично зникли. Загальна вартість проєкту становила 2,6 млн євро, з яких 10 млн гривень було профінансовано з державного бюджету України для розчищення меліоративної інфраструктури. Додаткове фінансування в розмірі 200 тис. доларів США було надано приватною компанією.

Незважаючи на успішність цього прикладу, сучасна державна стратегія протидії природним пожегам в Україні, представлена Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів, передбачає переважно традиційні заходи: моніторинг лісових пожеж, профілактичні рейди, створення мінералізованих смуг, протипожежних розривів і водойм, а також просвітницьку роботу серед населення. Водночас системна реалізація довгострокових природноорієнтованих рішень (ПОР), зокрема у контексті торфовищ, наразі відсутня.

У деяких регіонах, зокрема в межах регіонального ландшафтного парку «Мальованка», здійснюються локальні проєкти з повторного затоплення торфовищ після завершення їх експлуатації. Такі ініціативи, як правило, реалізуються в межах природно-заповідного фонду у співпраці з громадськими організаціями та благодійними фондами. Проте навіть статус природоохоронної території не гарантує захисту від руйнування — часто видобуток торфу здійснюється без належної оцінки впливу на довкілля.

Одним із потенційно ефективних механізмів збереження та відновлення торфовищ є законодавче впровадження в Україні «Смарагдової мережі» (Emerald Network) — системи охоронюваних природних територій, створеної на виконання положень Бернської конвенції для захисту рідкісних видів і оселищ, що перебувають під загрозою зникнення. Передбачається, що після вступу України до Європейського Союзу буде забезпечено належне фінансування заходів зі збереження біорізноманіття в межах цієї мережі.

Проте ухвалення відповідного законодавства блокується опором з боку представників енергетичного та агропромислового секторів. Зокрема, у другому національно визначеному внеску України до Паризької кліматичної угоди,

представленому у липні 2021 року, хоча й зазначається потреба у правовому врегулюванні статусу територій Смарагдової мережі, забороні на новий видобуток торфу та реабілітації водно-болотних угідь, ці положення не включені до фінального варіанта документа.

У жовтні 2020 року було презентовано проєкт «Державної стратегії управління лісами України до 2035 року», серед ключових напрямів якої передбачено відновлення болотних екосистем у межах лісового фонду. У жовтні 2021 року була офіційно затверджена «Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року». Проте станом на листопад 2021 року перший документ ще не набрав чинності, а другий — був ухвалений лише нещодавно. Це свідчить про затримку з реалізацією довгострокових природноорієнтованих рішень (ПОР) та обмежену орієнтацію державної політики на принципи сталого розвитку.

Один з найбільш ефективних методів запобігання торф'яним пожежам полягає у фізичному обмеженні розповсюдження вогню шляхом створення протипожежних бар'єрів у вигляді глибоких ровів або каналів вздовж лісових масивів. Ефективним заходом також є заводнення осушених торфовищ. Найдієвішим способом гасіння осередків торф'яного горіння вважається обкопування палаючих ділянок до мінерального ґрунту з подальшим інтенсивним зрошенням водою. Оптимізація параметрів таких огорожувальних каналів може бути досягнута шляхом комп'ютерного моделювання, з урахуванням вологості ґрунтів, сили вітру та температурного режиму.

Підвищення ефективності гасіння глибинних пожеж можливе завдяки вдосконаленню конструкції пожежного ствола, що дозволяє доставляти вогнегасні речовини на глибину до 7 м у зону горіння. Це забезпечує гасіння по всьому профілю залягання торфу та створює безпечні умови для рятувальників. Крім технічних рішень, перспективним напрямком є вдосконалення хімічного складу змочувальних розчинів з метою підвищення їх вогнегасних та проникних властивостей на глибинах до 7 м.

Проте найефективнішим довгостроковим методом залишається повернення природного рівня ґрунтових вод у районах колишнього видобутку торфу. У рамках ініціативи Clima East, реалізованої Програмою розвитку ООН (ПРООН) та Європейським Союзом у 2012 році, в Чернігівській області було впроваджено комплекс заходів, які дозволили підвищити рівень ґрунтових вод на 1,8 м. Як наслідок, було припинено торф'яні пожежі, відновлено природне зволоження луків та сільськогосподарських угідь.

Проте реалізація таких проєктів потребує значних фінансових ресурсів: бюджет проєкту Clima East становив майже 2 млн доларів США. Проведення аналогічних заходів на всіх родовищах торфу в Україні потребуватиме колосальних інвестицій.

У зв'язку з цим особливої ваги набувають превентивні заходи: раннє виявлення осередків займання, повідомлення про випадки підпалів, підвищення обізнаності населення щодо правил поведінки з вогнем у природних екосистемах. У разі ігнорування цих заходів існує високий ризик, що регулярне задимлення населених пунктів токсичним димом стане хронічною екологічною проблемою для країни.

ВИСНОВКИ

1. Одним із найефективніших заходів запобігання поширенню торф'яних пожеж є створення інженерних протипожежних бар'єрів — зокрема викопаних ровів і дренажних канал уздовж меж торфовищ та лісових масивів. Крім того, заводнення осушених торф'яників дозволяє суттєво знизити ризик займання. Найбільш ефективним методом ліквідації активного займання є формування огорожувальних канал до досягнення мінерального горизонту або рівня ґрунтових вод, з подальшим насиченням горючого шару значними об'ємами води. Використання математичних моделей, що враховують рівень вологості, напрям і швидкість вітру, а також температурні характеристики, дозволяє оптимізувати параметри таких загороджувальних структур.

2. Модернізація пожежного обладнання, зокрема конструкції пожежних стволів, дає змогу ефективніше транспортувати вогнегасні речовини безпосередньо в зону горіння на глибинах до 7 метрів. Це забезпечує повне охоплення вертикального профілю торф'яного покладу та створює умови для безпечної роботи рятувальників під час гасіння глибинних пожеж.

3. Актуальним є вдосконалення складів наявних змочувальних і вогнегасних розчинів, а також розробка нових формул, що мають підвищену ефективність гасіння та проникність у глибокі шари торфу (до 7 м). Це дозволить підвищити швидкість і якість ліквідації пожеж в умовах складної гідрології.

3. Необхідне створення спеціалізованих програм управління ризиками, пов'язаними з торф'яними пожежами. Такі програми мають включати як заходи попередження, так і чітко регламентовані дії на випадок виникнення пожеж, інтегровані в загальну систему реагування на надзвичайні ситуації.

4. Запровадження загороджувальних або буферних смуг дозволяє ізолювати вразливі природні екосистеми від впливу торф'яних пожеж. Такі смуги мають бути ретельно спроектовані відповідно до типу ландшафту, флори, рівня вологості та інших екологічних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кирилів Я. Б., Ковалишин В. В., Сукач Р. Ю. Пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та методи і засоби підвищення ефективності їх гасіння. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси.
2. Енергетична стратегія України до 2030 р. за твердженням розпорядженням Кабінету Міністрів України 15 березня 2006 р. / Національне агентство України з питань ефективного забезпечення. Режим доступу: [http:// www.naer.gov.ua](http://www.naer.gov.ua).
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. НАН України. Інститут відновлюваної енергетики. Київ, 2012 р. – 69 с. 3. Чмель В.М. Брикетування біомаси / В.М. Чмель, І.П. Новикова // Відновлюв. енергетика. – 2007. – № 4. – С. 98–103.
4. Комплексный подход к использованию местных видов топлив: материалы науково-практичного семінару (Житомир, 24 – 25 жовтня). – Житомир, 2003 г. – 54 с.
5. Leinonen A. Fuel Peat Employs up to 16,000 People in the EU / A. Leinonen, T. Paappanen // Peatlands International. – 2006. – №2 – Р. 53 – 57
6. Strategic Research and Innovation Agenda for Climate – Neutral Heating and Cooling in Europe, RHC– ETIP, 2020. <https://www.rhc-platform.org/content/uploads/2020/10/RHC-ETIP-SRIA-2020-WEB.pdf>
7. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. URL : <https://www.dsns.gov.ua>.
8. Балабух В. О. Зміни клімату та пожежна безпека. URL : <https://nubip.edu.ua/node/72448>.
9. Гелетуша Г.Г., Железна Т.А. Глобальні перспективи сектору біоенергетики//Теплофізика та теплоенергетика.-2021, т.43, N 4, С. 75-82.
10. Снежкін Ю.Ф. Розробка енергоефективного палива на торф'яній основі. / Ю.Ф. Снежкін, Д.М. Корінчук., Л.Й. Воробйов., О.О. Хавін. // Пром. тепло техника. – 2006. – Т. 28, № 2. – С. 41–46

11. Правила поведінки під час пожежі в лісах та на торфовищах URL: <https://konotop.city/articles/220259/pravila-povedinki-pid-chas-pozhezhi-v-lisah-tana-torfovischah> (дата звернення: 25.11.2023)
12. Бублик М. І., Коропецька Т. О. Аналіз методів економічної оцінки збитків, завданих лісовому господарству надзвичайними ситуаціями техногенного характеру. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2008. № 611. С. 71–80.
13. Буц Ю. В., Крайнюк О. В., Островерх О. О. Екологічна небезпека забруднення атмосферного повітря в зонах лісових пожеж. Пожежна безпека. 2012. № 21. С. 39-42.
14. Буц Ю. В., Масто Ю. О. Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами в природних екосистемах та їх залежність 32 від метеорологічних показників. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2010. № 2(15). С. 52-57.
15. Валерко Р. А., Дресв Д. В. Аналіз та динаміка виникнення надзвичайних ситуацій на території Житомирської області. "Science, society, education: topical issues and development prospects": мат-ли IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф. 2-4 серпня 2020 р., Харків. С. 270-276.
16. Васютинська К. А., Барбашев С. В., Смик С. Ю. Аналіз впливу урбанізації на динаміку надзвичайних ситуацій та ризиків для населення України. Праці Одеського політехнічного університету. 2018. Вип. 2(55). С. 88-96
17. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Сукач Р.Ю. Зниження пожежної небезпеки торф'яників, торфорозробок та способи і протипожежне обладнання для підвищення ефективності їх гасіння. Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2019. № 35. С. 75–82.
18. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Петровський В.Л., Сорочич М.П. Дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж в екосистемах торф-ліс. Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2020. № 36. С. 108– 114

19. Сукач Р.Ю. Застосування фосфорних добрив при гасінні пожеж на торфополях: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. "Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи", 14 вересня 2018 р., Львів, 2018. С. 78–80.

20. Сукач Р.Ю., Мних М.-М.Р. Нові методи гасіння пожеж торф'яних полів і родовищ: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. "Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій". Черкаси: ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 82–84.

21. Кирилів Я.Б., Ковалишин В.В., Сукач Р.Ю. Пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та методів і засобів підвищення ефективності їх гасіння: матеріали IX Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю: "Надзвичайні ситуації: безпека та захист". Черкаси: ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 59–61.

22. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. Екологічна і пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та способи запобігання і їх ліквідації поблизу об'єктів туристично-рекреаційних комплексів: матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. Львів: ЛДУБЖД, НЛТУ, 2019. С. 129–130.

23. Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж. Розроблено Українським науково-дослідним інститутом пожежної безпеки МНС України. 2007.

24. Rakowska J, Prochaska K, Twardochleb B, Rojewska M, Porycka B, Jaskiewicz A (2014). Selection of surfactants as main components of ecological wetting agent for effective extinguishing of forest and peat-bog fires. Chem Papers 68(6): 823–833. doi: 10.2478/s11696-013-0511-9.

25. Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж : пат. 133683 Україна : МПК А62С 3/02 (2006.01). / Ковалишин В. В., Сукач Р. Ю., Антонов А. В.; заявник та власник ЛДУ БЖД. No u2018 07685; заявл. 09.07.18; опубл. 25.04.19, Бюл. No 8.

26. Sciences of Europe : The journal is registered and published in Czech Republic. Articles in all spheres of sciences are published in the journal – Praha, Czech Republic, 2021. VOL 1, Sciences of Europe 2 No 62(2021) P. 44-48

27. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна безпека регіонів України: порівняльні оцінки. Стратегічні пріоритети. 2013. № 3 (28). С. 157-164.
28. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна та природнотехногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків : монографія. К. : НІСД, 2012. 308 с.
29. Ліхновський Р. В., Білошицький М. В., Боровиков В. О. Жартовський С. В. Загороджувальні смуги як спосіб локалізації пожеж у природних екосистемах. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2016. № 2 (2). С. 55-59.
25. Національний класифікатор України ДК 019:2010 «Класифікатор надзвичайних ситуацій». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609>
30. Одокієнко С. М., Тарандушка Л. А., Жирякова І. А. Аналіз виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру в Україні. Пожежна безпека: теорія і практика. 2013. № 15. С. 115-123.
31. Поляк К. Ю. Статистичний аналіз надзвичайних ситуацій та їх наслідків для господарської діяльності в Україні та світі. Інвестиції: практика та досвід. 2017. № 5. С. 63-70.
32. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у Житомирській області. URL : http://ecology.zt.gov.ua/Standov_reg_dop_menu.html.
33. Садницька Т. Р., Порошко І. Г. Динаміка показників та причини виникнення техногенних надзвичайних ситуацій на території України. Вісник Львівської комерційної академії. Серія економічна. 2016. Вип. 50. С. 99-104.
34. Тютюнник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О., Затхей В. А., Тесленко О. В. Динаміка кластеризації регіонів України за рівнем пожежної небезпеки та шляхи підвищення ефективності функціонування єдиної державної системи цивільного захисту в умовах невизначеності вхідної інформації. Системи обробки інформації. 2019. Вип. 3 (158). С. 117-133.
35. Фірман Т. В., Тимошук С. В., Фірман В. М. Статистичний аналіз пожежної ситуації у Львівській області. Пожежна безпека. 2017. № 30. С. 168-173.
36. Чубань В. С., Горбаченко Ю. М. Еколого-економічні наслідки пожеж у природних екосистемах. Центрально-український науковий вісник. Сер.

Економічні науки. 2019. Вип. 2(35). С. 62-69. DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2019.2\(35\).62-69](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2019.2(35).62-69).

37. Чубань В. С. Пожежі у природних екосистемах як чинник дестабілізації сталого розвитку / Глобальне партнерство в парадигмі сталого розвитку: освіта, технології, інновації : монографія / за заг. ред. О. Ю. Березіної, Ю. В. Ткаченко; Черкаський державний технологічний університет. Черкаси: Видавець Чабаненко Ю. А., 2017. С. 420-429.

38. Environmental impact of fire. Fire Science Reviews. 2016. Vol. 5. <https://doi.org/10.1186/s40038-016-0014-1>.

39. 40. Murphy Shannon M., Vidal Mayra C., Smith Timothy P., Hallagan Claudia J., Broder E. Dale, Rowland Dexter, Cepero Laurel C. Forest Fire Severity Affects Host Plant Quality and Insect Herbivore Damage. Front. Ecol. Evol. 2018. 12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00135>

40. . Вимоги безпеки під час гасіння лісової пожежі. StudFiles. 2016. URL: <https://studfile.net/preview/5797639/page:26/>. 4. Заходи безпеки у разі виникнення пожеж в екосистемах. Українська громада. 2022. URL: <https://ukrainska-gromada.gov.ua/community/zahodybezpeky-u-razi-vynyknennya-pozhezh-v-ekosystemah.html>.

41. Лісові пожежі – гасіння, наслідки та причини виникнення Nrv UA Блог про природу. 2021. URL: https://nrv.org.ua/lisovi-pozhezhi-hasinnya-naslidky-taprychyny-vynyknennya/#article_content.