

УДК [911.52+504.058]:528.854.2

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.045>**Л.Ю.Сорокіна, М.Ф.Петров**

Інститут географії Національної академії наук України, Київ

**ЗМІНИ СТРУКТУРИ ЗЕМНОГО ПОКРИВУ ТА ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕКА ЛАНДШАФТІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ: МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ\***

Метою дослідження є розробка і представлення результатів застосування методів оцінювання та прогнозування рівнів пожежонебезпеки ландшафтів. Дослідження ґрунтується на аналізі пірологічних характеристик рослинного покриття та даних про сучасний стан і тенденції змін ландшафтів. Дослідження виконано для ландшафтів Чорнобильської зони відчуження. Ця територія є пожежонебезпечною, великі площі лісів та перелогів (19 200 га) постраждали тут від пожеж у квітні 2020 р. Методи дослідження: логічне поєднання методів наземних спостережень (польових ландшафтознавчих та ботаніко-географічних досліджень), методів узагальнення та аналізу кількісних пірологічних показників рослинного покриття, дешифрування супутникових знімків та геоінформаційного картографування. В результаті дослідження визначено пірологічні показники рослинного покриття у співставленні з характеристиками ландшафтних умов; проаналізовано сучасну структуру та прогноз просторово-часових змін земного покриття ландшафтів як передумову для визначення їхньої пожежонебезпеки; визначено класи пожежної небезпеки основних видів ландшафтів Чорнобильської зони відчуження; розкрито принципи прогнозування рівнів пожежонебезпеки ландшафтів. Для модельної ділянки у центральній частині зони відчуження виконано аналіз змін структури земного покриття за період з 1992 рік по 2018 рік та розрахунок їх ураження пожежами 2020 р. Проаналізовано також зміни структури земного покриття основних видів ландшафтів цієї території. Новизна дослідження полягає в опрацюванні методів оцінювання і прогнозування пожежної небезпеки ландшафтів на основі визначення пірологічних характеристик фітокомпоненту ландшафтів та аналізу результатів дешифрування їхнього земного покриття. Завдяки застосуванню пропонує методів розширюються напрями ландшафтознавчо-прикладних досліджень геоекологічного змісту.

**Ключові слова:** ландшафти; пожежонебезпека; пірологічна оцінка; земний покрив ландшафтів; дешифрування супутникових знімків; Чорнобильська зона відчуження.

**L. Yu. Sorokina, M. F. Petrov**

Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

**CHANGES IN THE STRUCTURE OF THE LAND COVER AND FIRE SAFETY OF THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE LANDSCAPES: ASSESSMENT METHODS USING SATELLITES**

The aim of the research is to develop and present the results of application of methods for assessing and forecasting the levels of fire danger of landscapes. The study is based on the analysis of pyrological characteristics of vegetation cover and data on the current state and landscapes trends. The study was performed for the landscapes of the Chernobyl Exclusion Zone. This area is fire-hazardous, large areas of forests and fallows (19,200 hectares) were affected by fires in April 2020.

Research methods – logical combination of ground observations methods (field landscape and botanical-geographical researches), methods of generalization and analysis of quantitative pyrological indicators of vegetation cover, recognition of satellite images and geoinformation mapping. Research results are: pyrological indicators of vegetation in comparison with the characteristics of landscape conditions are determined; the modern structure and forecast of spatio-temporal changes of the land cover of landscapes as a precondition for definition of their fire danger are analyzed; classes of fire danger of the main types of landscapes of the Chernobyl Exclusion Zone are determined; the principles of forecasting the levels of fire danger of landscapes are revealed. For the model area in the central part of the Chernobyl Exclusion Zone, the analysis of changes in the structure of the land cover for the period from 1992 to 2018 the calculation of their damage by fires in 2020 was performed.

\*Дослідження виконано у межах завдань науково-дослідних тем відділу ландшафтознавства ІГ НАНУ «Проблеми геоекологічної безпеки Поліського краю (ландшафтознавчий аспект)» та «Оцінювання антропогенних змін ландшафтів України»

Changes in the structure of the land cover of the main types of landscapes of this area are also analyzed. The novelty of the research is the developed methods of assessment and forecasting of fire danger of landscapes on the basis of determination of pyrological characteristics of phytocomponent of landscapes and analysis of results of deciphering of their land cover. Areas of landscape-applied research of geocological content are expanding due to the application of the proposed methods.

**Keywords:** *landscape; fire dange; pyrological assessment; land cover of landscapes; deciphering of satellite images; Chernobyl Exclusion Zone.*

### **Актуальність дослідження**

Пожежі в природних комплексах Чорнобильської зони відчуження (ЗВ) – явище не рідкісне, найбільші за площею відбувалися у 1992, 1995, 1996, 2015 роках. За нормальних умов функціонування ландшафтів пожежі природного походження є одним із можливих етапів сукцесійних змін рослинного покриву. Спричинені людиною загоряння, якими є 95-99 % пожеж у природних екосистемах [1], можуть мати катастрофічні наслідки. Особливо небезпечні руйнівні наслідки таких пожеж для радіоактивно забруднених ландшафтів ЗВ та прилеглих поліських територій. Від пожеж у квітні 2020 року постраждало понад 5% території Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника. Пожежами у ЗВ було уражено в 2020 р. 19,2 тис. га, сумарна площа, що пройдена тут великими пожежами у 2015 та 2020 роках, складає 34,2 тис. га [2].

Інтенсивність поширення вогню від осередку загоряння, незалежно від причин виникнення пожежі, визначається низкою природних чинників, головні серед яких – погодні умови і пожежонебезпечність прилеглих ділянок. Понад 30-річне функціонування ландшафтів ЗВ в умовах майже повної відсутності людини спрямоване на відновлення корінних станів та, відповідно, на підвищення стійкості ландшафтів, зокрема стійкості до пожеж.

Актуальними дослідницькими завданнями є розроблення методів оцінювання пожежонебезпеки сучасних ландшафтів ЗВ [3]. Отримати достовірні результати для значних за площею та різноманітних за ландшафтними умовами територій можна тільки із використанням супутникових знімків, шляхом їхньої обробки й інтерпретації даних наземних спостережень.

### **Стан вивчення питання, основні праці**

Управління пожежами (fire management) [4] – це знання характеристик горіння, прогнозування та оцінювання можливих наслідків від пожеж у лісових та інших природних системах. Пірологічні властивості рослинних угруповань є об'єктом

спеціальних лісівничих досліджень [5-9 та інші]. Значна увага приділяється оцінці небезпеки вносу радіонуклідів за межі ЗВ під час пожеж. Результати експериментальних досліджень утворення радіоактивних аерозолів при пожежах, що проводились в різних ландшафтних умовах ЗВ, викладено в роботах [4, 6-8]. Моделювання поширення радіоактивних аерозолів внаслідок лісових пожеж у ЗВ та оцінювання їхніх наслідків з використанням комплексу моделей, що опрацьовані в Інституті проблем безпеки АЕС НАН України (прогнозу погоди, формування конвективного струменя над площею пожежі, атмосферного перенесення радіонуклідів та їхнього осадження на підстильну поверхню), виконано авторами роботи [10]. Оперативні дані щодо динаміки атмосферного вносу радіонуклідів під час пожеж у квітні 2020 року належать науковцям Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС та НАН України [11].

Методи використання даних дистанційного зондування Землі при вивченні виникнення та поширення пожеж у природних екосистемах висвітлено авторами робіт [2, 12, 13] та інших. Зокрема, у роботі [9] наголошено на значенні ландшафтної індикації при дешифруванні на аерофотознімках типів провідників горіння як закритих лісовим наметом об'єктів. Сучасні зміни ландшафтів ЗВ, у першу чергу їхнього ґрунтового-рослинного покриву, досліджені в Інституті географії НАНУ під керівництвом В.С. Давидчука [14-16]. Прогнозні моделі сукцесійних змін ландшафтів ЗВ та їх подальша верифікація належать автору публікацій [17-19]. При оцінюванні змін наземного покриву (land cover) ландшафтів ЗВ за даними супутникових знімків застосовано методичні прийоми, висвітлені науковцями Інституту географії НАНУ на чолі з Л.Г. Руденком [20].

Метою виконаного дослідження є розроблення і представлення методів оцінювання та прогнозування рівнів пожежонебезпеки ландшафтів на основі пірологічних характеристик фітокомпоненту та даних про сучасний стан і тенденції змін ландшафтних комплексів.

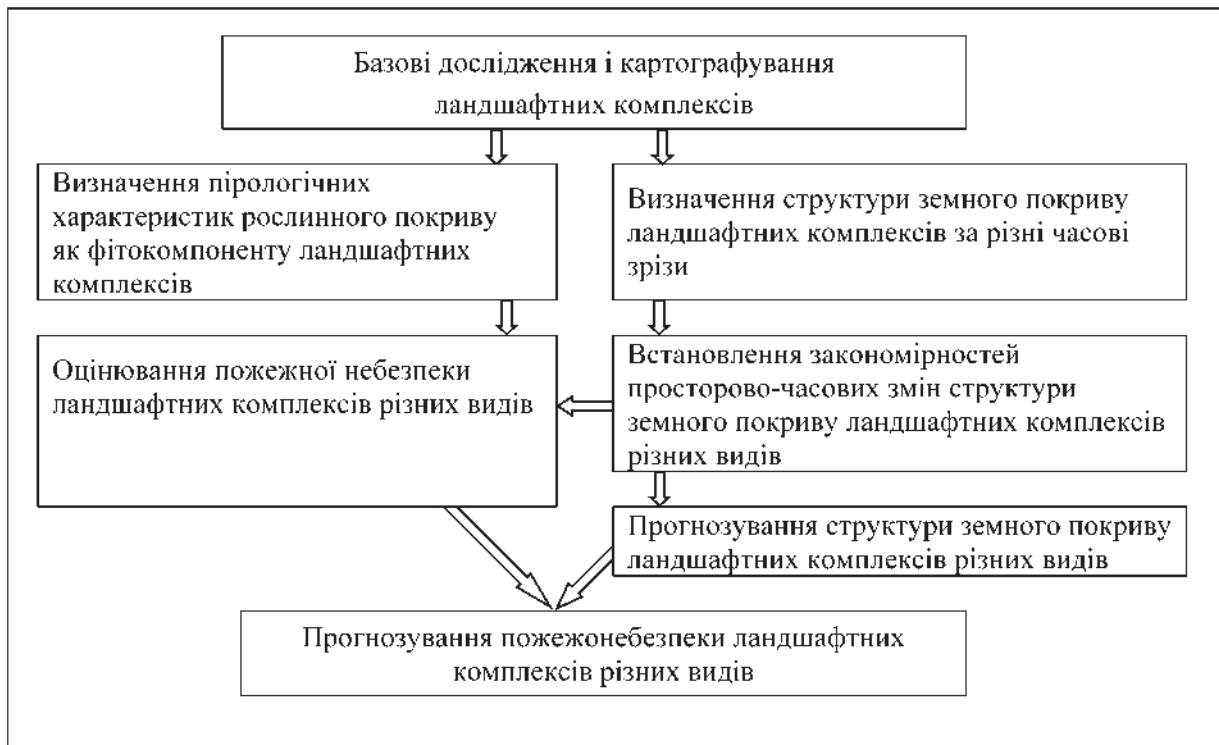


Рис. 1. Алгоритм оцінювання пожежонебезпеки ландшафтних комплексів

### Виклад основного матеріалу Методи і алгоритм дослідження

Застосовані методи – це узагальнення і ландшафтознавчий аналіз пірологічних показників складових рослинного покриття й рослинних угруповань загалом, методи геоінформаційного картографування та дешифрування даних дистанційного зондування Землі, що використані для аналізу змін у структурі земного покриття ландшафтів. Алгоритм дослідження і оцінювання пожежонебезпеки ландшафтів передбачає виконання завдань у двох самостійних напрямках, які на заключному етапі інтегровані для отримання кінцевого результату – оцінювання та прогнозування пожежної небезпеки ландшафтних комплексів різних видів (рис. 1).

Вихідні матеріали дослідження – результати польових ландшафтознавчих і ботаніко-географічних досліджень, виконаних авторами статті в окремі роки у період з 1987 р. до 2012 р., ландшафтна карта Зони відчуження та її різномасштабні опубліковані варіанти [14, 15 та інші], дані щодо пірологічних характеристик рослинних угруповань [3, 5, 8, 9], матеріали лісовпорядкування 1996 та 2006 років, аерофотознімання ЗВ (виконані у серпні 1992 р.), різночасові супутникові знімки Landsat (1992 р.) і Sentinel (2018 р.).

### Принципи визначення пірологічних характеристик рослинного покриття

Контроль і прогнозування розвитку природних пожеж можливі за наявності інформаційної бази про пірологічні характеристики рослинності, їхню динаміку в просторі і в часі. Такими показниками є склад, запас і властивості *рослинних горючих матеріалів* (РГМ), в умовах лісу – *лісових горючих матеріалів* (ЛГМ). Для оцінювання ЛГМ використовують класифікації елементарних частин ЛГМ та шарів горючих матеріалів всередині лісових насаджень.

Класифікація лісових насаджень як складних комплексів горючих матеріалів є інтегруючою, її використано при визначенні пожежонебезпеки ландшафтних комплексів. Головна класифікаційна ознака – роль тих чи інших РГМ у виникненні та розповсюдженні горіння. Розрізняють РГМ, що є *провідниками горіння* (покриття з мохів, лишайників – при низових пожежах, шари лісової підстилки, перегною, торфу, дернини, по яких може поширюватися безполум'яне горіння під час низових пожеж, хвоя у наметі деревостану та не опале в холодний період року відмерле листя дуба, граба – при верхових пожежах), *підтримуючими горіння* (деякі рослини із трав'яно-чагарничкового ярусу, хвойний підріст і підлісок,

сухостій, засмолені стовбури дерев тощо), *затримуючими горіння* (рослини із трав'яно-чагарничкового покриву з високим вмістом вологи у момент пожежі або зі специфічними вогнезатримуючими властивостями – листя деревних порід, у лісовій підстилці – листя осики) а також такі, що *не беруть участі у горінні* – горючі матеріали, які перебувають вище чи нижче зони горіння, або не здатні горіти – сирі стовбури дерев та інші [5].

Найчастіше об'єктами первинного загоряння є лісова підстилка, висушлий трав'яний покрив. Рідше лісові пожежі починаються із загоряння надземних частин лісу. Лісові горючі матеріали здатні загорятися тільки при певній вологості, яка найчастіше складає 6–25%. Висихання РГМ відбувається з моменту сходження снігового покриву до настання стійкої вологої осінньої погоди або утворення снігового покриву (пожежо-небезпечний період). Так, відсутність снігового покриву у зимовий сезон 2019-2020 рр., наступний посушливий весняний сезон створили передумови раннього формування пожежо-небезпечного періоду.

### **Оцінювання пожежної небезпеки ландшафтних комплексів різних видів**

Чинники пожежо-небезпеки територій визначаються характером лісонасаджень та їх станом. В умовах ЗВ важливими також є пірологічні характеристики перелогів, які істотно змінюються в різних ландшафтних умовах. У матеріалах лісовпорядкування для лісонасаджень ЗВ міститься уніфікована інформація по окремих лісогосподарських виділах щодо складу та структури лісонасаджень, їхнього стану, запасів деревини, типу лісу а також про сухостій, загальну захищеність ділянки тощо.

Найбільш пожежо-небезпечними є поширені у ЗВ сосняки, які пропускають багато сонячного проміння, що призводить до швидкого висихання опадів, лісової підстилочки тощо. Лісотипологічна характеристика *«типу умов місцевиростання»* (ТУМ), або *«едафічні умови»*, добре корелюють з *ландшафтними умовами* території, оскільки для визначення цих комплексних характеристик використовується ряд спільних властивостей: ґрунтові умови, ступінь зволоження, характер корінної рослинності (П.С.Погребняк, 1955; О.С.Мігунова, 2010). Це є підставою для взаємоузгодженого аналізу лісотипологічних і ландшафтних умов території, для оцінки пірологічних

характеристик лісових насаджень ЗВ, які відповідають певним типам умов місцезростання і приурочені до тих чи інших ландшафтних комплексів (*таблиця 1, рис.2*). Важливі для оцінки пожежо-небезпеки ЗВ пірологічні характеристики перелогів і лук також є диференційованими відповідно до ландшафтних умов зайнятих ними територій [21].

Відновлення ландшафтів, їхнього фітокомпоненту, що спостерігається на значних територіях ЗВ, – тривалий процес суцесійних змін, швидкість і напрямки яких залежать від багатьох чинників [17, 18]. Специфіка суцесійних процесів у ЗВ зумовлена великим розміром території та, особливо, площ перелогів. Найбільш помітним проявом суцесійних процесів тут є відновлення зональної деревної рослинності на перелогах а також поступовий розпад монокультурних соснових насаджень внаслідок погіршення їхнього стану та масового ураження шкідниками, що безпосередньо впливає на формування високого рівня їхньої пожежо-небезпеки. Аналіз сучасного стану та прогноз змін ландшафтів ЗВ у контексті цієї проблеми розглядається як складова визначення їхньої стійкості до пожеж.

### **Встановлення структури і закономірностей просторово-часових змін земного покриву ландшафтних комплексів**

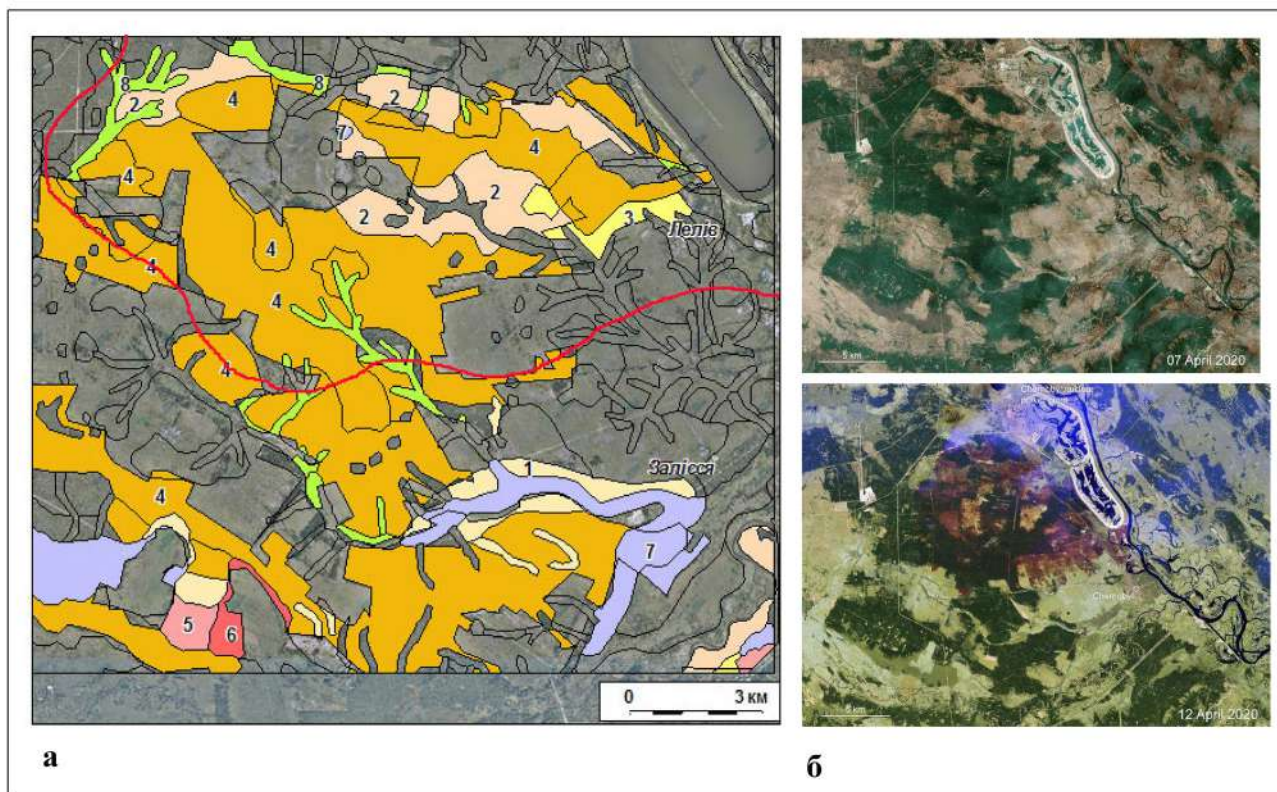
Аналіз змін структури земного покриву ландшафтів дає можливість відстежувати ті процеси їхнього відновлення або деградації, що візуалізовані на супутникових знімках. Поняття *земний покрив (Land Cover)*, що використовується при вивченні та класифікуванні характеристик земної поверхні за даними супутникових знімків, розглядається як «стани земної поверхні «як є» – забудова, заасфальтовані ділянки, водні поверхні, рослинний покрив та інше» [20, с.26].

Для вивчення змін у структурі земного покриву ландшафтів ЗВ головною є можливість автоматизованого розпізнання типів рослинного покриву з урахуванням умов зволоження території та поділу лісів за породним складом – на хвойні, листяні, мішані, лучних угруповань – на суходільні та вологі луки, а також достатню детальність диференціації інших класів земного покриву. У методиці обробки супутникових знімків з використанням програми QGIS ці одиниці мають назву класи та макрокласи типів земного покриву. При формуванні навчальних вибірок (ROI), які є

Таблиця 1. Пірологічні категорії ділянок лісу та їх характеристиками щодо відповідності ландшафтним умовам Зони відчуження

Пірологічна категорія ділянок лісу	Ландшафтні умови *	Місце розташування	Деревостан	Зволоження (режим)	Живий і мертвий надгрунтовий покрив	Тип ОПП влітку – навесні (восени)**
1	Сухі сосняки з лишайниковим покривом	І	Підвищене	Сосна, подекуди з березою	Недостатнє	Лш – Лш
2	Сосняки без домішки темнохвойних із зелено-мошниковим покриттям	ІІ	>>	Сосна, подекуди з березою, осикою	Недостатнє і нормальне	Сх – Сх
3	Сосняки (пройдені низовими пожегами) без мохово-лишайникового покриву	ІІІ	Підвищене	Сосна, подекуди з березою і осикою	Недостатнє і нормальне	Рх – Рх
4	Листяні і мішані насадження з покривом із осок і злаків, з наявністю дернини	ІV	Підвищене	Листяні, подекуди з темнохвойними	Нормальне	Рх – Щл
5	Березняки різноетравні з куртинами осок без опадів влітку	V	Рівне	Березняки, подекуди з темнохвойними	>>	Рх – Бп
6	Березняки з рідким покривом із різноетрав'я без опадів влітку	VI	>>	Березняки з домішкою осики і темнохвойних	>>	Щл – Бп
7	Осичники без опадів влітку	VII	>>	Осичники, подекуди з березою і темнохвойними	>>	Щл – Бп
8	Купинові лощини	VIII	Лощини	Рідколісся, крім сосни	Надлишкове	Тг – Бп
9	Куничникові і осоково-куничникові зруби, молодняки	-	Підвищене і рівне	Зруби, негусті молодняки	Нормальне і недостатнє	Тг – Рх
10	Свіжі згарища і пройдені (переважно низовою) пожежею насадження з трав'яним покривом і недостатнім опадом для формування лісової підстилки	-	Підвищене і рівне	Зріджені пожежею насадження	Нормальне і недостатнє	Тг – Бп

\* Узагальнену характеристику груп ландшафтних комплексів (I-VIII) подано до рис. 2 \*\*Скорочення: ОПП - основні провідники горіння: лишайниковий (Лш), сухомоховий (Сх), вологомоховий (Вл), трав'яно-гілковий (Тг), рихлоопадовий (Рх), шлісноопадовий (Щл), безпривідниковий (Бп)



**Рис.2.** Зона відчуження (фрагмент)

а – пірологічні категорії ділянок лісу. Виконано на основі методики [5] з урахуванням типів лісонасаджень та ландшафтних умов території [14-16]. Стан лісонасаджень – 2006 р.; на північ від червоної лінії – ділянка, що була пройдена пожежею у квітні 2020 р. б – стан дослідженої ділянки до і після проходження пожежі (відповідно 7 та 12 квітня 2020 р., за даними [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Mapping\\_](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Mapping_)

Цифри на карті – пірологічні категорії ділянок лісу (див. стовпчик 1 у таблиці 1)

Узагальнена характеристика ландшафтних умов (що подані у табл.1) [14]:

*I - тераси та дюни з піщаними дерново-підзолистими ґрунтами, сухо-борові*

*II - рівнини воднольодовикові, хвилясті, складені пілуватими пісками, з дерново-підзолистими пілувато-піщаними ґрунтами, свіжо-суборові та заплави високі, сегментно-гривисті, складені пісками із алювіальними дерновими слабозвиненими піщаними ґрунтами, свіжо- та волого-суборові*

*III - заплави дуже високі, що знаходяться над рівнем затоплення, сегментно-гривисті, складені пілуватими пісками, з алювіальними дерновими глеюватими ґрунтами у комплексі з болотними ґрунтами*

*IV - рівнини моренно-воднольодовикові та високі надзаплавні тераси, складені пілуватими пісками з прошарками глинистих пісків з дерново-підзолистими пілувато-піщаними ґрунтами, свіжо-суборові; урочища ерозійної мережі у їх межах*

*V - заплави дуже високі, що знаходяться над рівнем затоплення, сегментно-гривисті, складені пілуватими пісками, із алювіальними дерновими у комплексі з болотними ґрунтами на молодотужних низинних торфах*

*VI - заплави низькі, плоскі, складені низинними торфами, з алювіальними болотними ґрунтами, мокро-дібровні (ольс-ліг)*

*VII - надзаплавні тераси і заплави низькі, плоскі, заболочені, складені низинними торфами, з болотними ґрунтами, мокро-дібровні (ольс-ліг) і западини з дерновими глейовими піщанисто-легкосуглинистими ґрунтами, сиро-дібровні*

*VIII - лоцини і балки в пісках та опіщаних суглинках, з дерново-підзолистими і дерновими оглеєними ґрунтами, свіжо-судібровні та сиро-дібровні*

базовими полігонами для розпізнання аналогічних об'єктів на знімку, проаналізовано аерофото-знімки ЗВ і карту антропогенних змін ландшафтів та сучасного рослинного покриву [15]. На цій карті зафіксовано стан території на початку 1990-х

років, і найбільш коректним є її використання для формування ROI на основі супутникових знімків відповідного періоду, а саме знімків Landsat, час знімання – серпень 1992 р.

Достатньою є достовірність сформованих

навчальних вибірок і для дешифрування використаних у нашому дослідженні знімків Sentinel (час знімання – серпень 2018 р.), оскільки земний покрив, зокрема лісові масиви, істотно не змінилися за породним складом. Основні зміни стосуються їхньої вікової структури, розподілу, стану. Співвідношення класифікаційних одиниць земного покриву, якими можна оперувати при використанні програми QGIS, і характеристик виділів рослинного покриву у легенді карти [15] ілюструє зменшення деталізації дешифрувальних ознак при інтерпретації супутникових знімків. Перевагою ж автоматизованого розпізнання одиниць земного покриву є можливість засобами ГІС отримати просторові дані про характеристики та часову динаміку земного покриву ландшафтів у межах значних територій.

Аналіз змін земного покриву ландшафтів для модельного полігону, що розташований у центральній частині ЗВ, виконано на основі дешифрування різночасових супутникових знімків Landsat та Sentinel методами напівавтоматизованого класифікування (Semi-Automatic Classification Plugin) у програмі QGIS. Досліджена територія охоплює частину заплави р. Прип'ять із водоємною-охолоджувачем, її надзаплавні тераси, фрагменти воднольодовикової та моренно-воднольодовикової рівнин. Територія включає промайданчик ЧАЕС, частково – міста Прип'ять та Чорнобиль. Аналіз змін структури земного покриву виконано для модельного полігону в цілому (рис. 3) а також для основних видів ландшафтних комплексів рангу урочищ, що представлені у його межах.

Для оцінювання пожежної небезпеки території вважаємо найдоцільнішим аналізувати динамічні зміни у структурі земного покриву для ландшафтних комплексів рангу урочище (рис. 4). Так, для урочищ кінцево-моренного пасма, складеного легкими суглинками напірної морени, що перекриті пилюватими пісками потужністю до 1 м, з дерново-підзолистими пилювато-піщаними ґрунтами [14, 22], природними є сосново-дубові з домішкою граба різнотравно-широкотравні ліси, які в процесі лісокористування були заміщені культурними сосняками. В умовах сучасних змін земного покриву ландшафтів, відновлення їхніх вихідних природних умов, спостерігається розпад монокультурних соснових насаджень, зменшення їхньої площі з 16% до 12% у межах урочищ кінцево-моренного пасма (рис. 4а). За

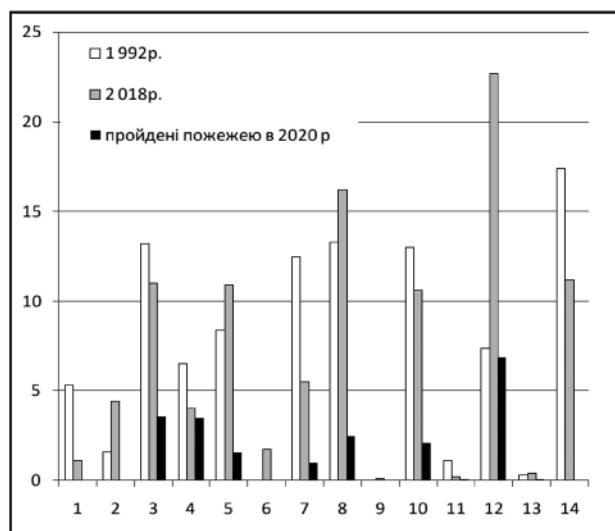
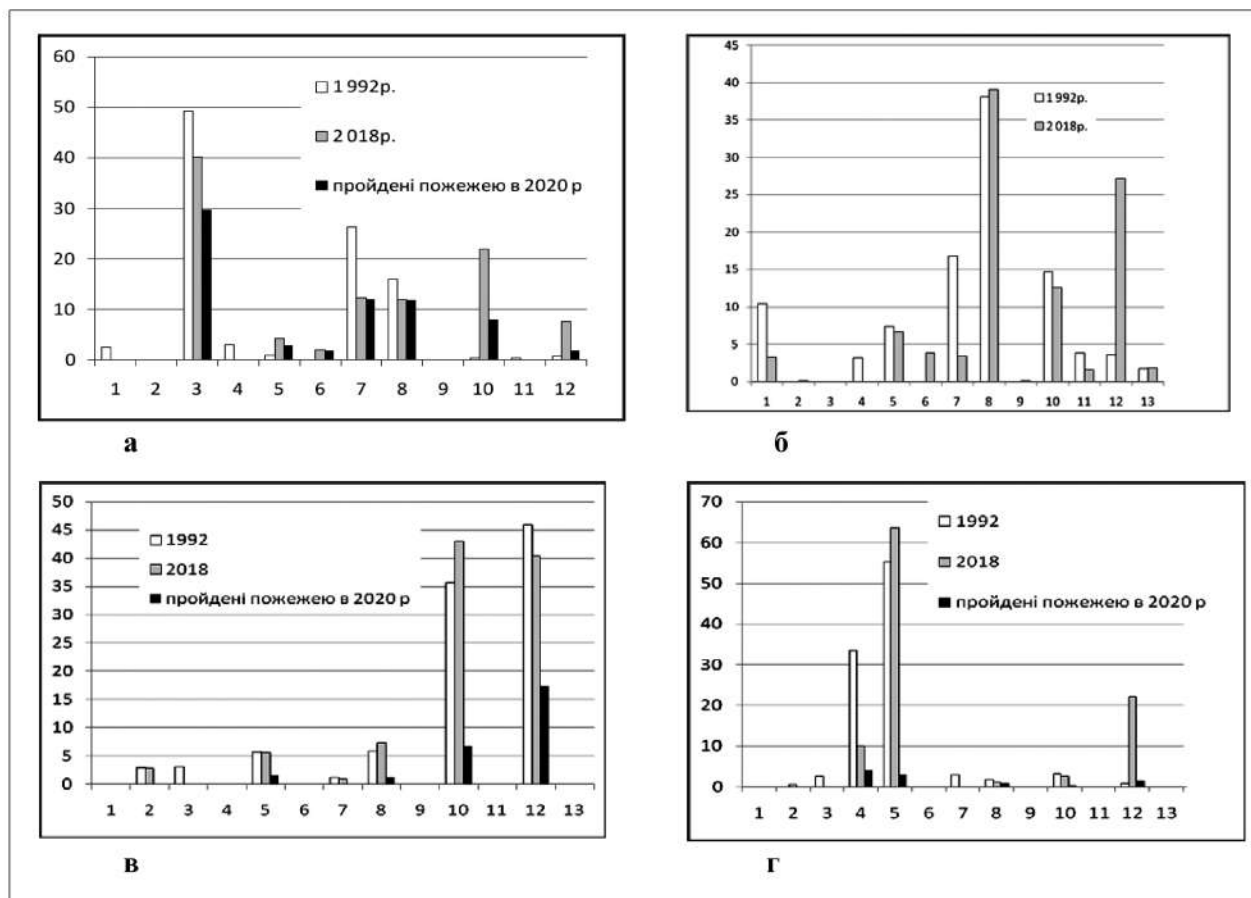


Рис. 3. Зміни структури земного покриву ландшафтів за даними дешифрування різночасових супутникових знімків (1992 та 2018 рр.), % від загальної площі ділянки. Зона відчуження (фрагмент, центральна частина)

Індекси на графіку: 1. Міська забудова та промзони 2. Порушена літооснова, штучні насади, дамби 3. Багаторічні перелogi в умовах природного зволоження 4. Багаторічні перелogi на меліорованих землях 5. Листяні ліси вологі 6. Листяні ліси вологі на місці знесених населених пунктів 7. Мішані ліси в умовах природного помірного зволоження 8. Хвойні ліси в умовах природного помірного зволоження 9. Хвойні ліси в умовах природного помірного зволоження на місці населених пунктів 10. Суходільні та заплавні луки в умовах помірного зволоження 11. Суходільні та заплавні луки в умовах помірного зволоження на місці населених пунктів 12. Вологі луки 13. Вологі луки на місці населених пунктів 14. Водні об'єкти

рахунок зменшення участі сосни у складі мішаних лісів (внаслідок її ураження шкідниками, загибелі тощо) площі таких лісонасаджень також зменшуються (з 26% до 12%), набувають вигляд мозаїчного поєднання лісових та лучних (галявинних) ділянок, що добре простежується на супутникових знімках останніх років. Такі знелісені ділянки при дешифруванні супутникових знімків ідентифіковані як суходільні луки, і їхня площа за аналізований період (1992-2018 рр.) збільшилася у 20 разів (від менше 1% до понад 20%). Спостерігається зменшення частки суходільних перелогів у структурі земного покриву цих урочищ з 49% до 40%, переважно за рахунок самовідновлення хвойних та дрібнолистяних порід.

Для перших надзаплавних піщаних борових терас Зони відчуження (і, зокрема, її центральної



**Рис. 4.** Зміни структури земного покриття досліджуваної частини Зони відчуження за даними дешифрування різночасових супутникових знімків (1992 та 2018 рр.), % від загальної площі урочищ відповідного виду: моренно-воднольодовикових рівнин свіжо-суборових (а), перших надзаплавних піщаних борових терас (б), заплав високих піщаних (в) та низьких з торфовищами (г) (1-13 – класифікаційні одиниці земного покриття – див. підписи до рисунку 3)

частини) характерним є поширення соснових лісів біломохових і зеленомохових, які є природними лісовими угрупованнями для цих ландшафтних умов [14, 22]. Тому площа, що зайнята сосняками, в таких урочищах істотно не змінилася – від 38% до 39% їхньої території (**рис. 4б**). Незначне збільшення участі соснових лісів пов'язане з відновленням сосни на перелогових та лучних ділянках. Площа невластивих для сухих борових терас сосново-широколистяних (мішаних) лісонасаджень зменшилася з 17% до 4% території. Значних змін не спостерігається у поширенні листяних лісів вологих (близько 7%), що займають знижені ділянки западин, лощин тощо. При незначному загальному зменшенні суходільних лук (з 15% до 12%) їх площі зменшуються й у межах знесених населених пунктів (з 4 до 1,5%) за рахунок самосіву листяних і хвойних порід дерев. Для урочищ заплав зміни

земного покриття протягом досліджуваного періоду стосуються, у першу чергу, перерозподілу між лучними ценозами, що характерні для різних умов зволоження (**рис. 4в, 4г**). Також спостерігається заміна перелогів в умовах впливу меліоративних систем вологими луками. Разом з тим, таке явище може визначатися результатами автоматизованого дешифрування супутникових знімків, яке фіксує саме зміну вологості поверхні (а не видовий склад лучних ценозів).

#### **Принципи прогнозування пожежонебезпеки ландшафтних комплексів ЗВ**

Ці принципи базуються на врахуванні ряду чинників, серед яких ландшафтні умови, структура земного покриття, тенденції його змін та, відповідно, змін пірологічних характеристик складових рослинного покриття. Обов'язковою передумовою прогнозування є відомості про заплановані



Таблиця 2.

## Шкала оцінки природної пожежної небезпеки земель лісового фонду [23] з доповненнями щодо відповідності ландшафтним умовам ЗВ [14, 22]

Клас пожеж. небезпеки	Ландшафтні умови	Об'єкт загоряння (характерні типи насаджень і умов місцезростання, категорії невикритих лісовою рослинністю і нелісових земель)	Найбільш імовірні види пожеж, умови і тривалість періоду їх можливого виникнення і розповсюдження
1	<b>1.1</b> Незалежно від ландшафтних умов	Насадження хвойних порід віком 40 і менше років в усіх типах умов місцезростання (ТУМ)	Протягом усього пожежонебезпечного періоду можливі лісові пожежі, а на ділянках з наявністю деревостану – верхові
2	<b>1.2.</b> Тераси та дюни з піщаними дерново-підзолистими ґрунтами, сухоборові <b>2.1.</b> Рівнини воднольодовикові і моренно-воднольодовикові та високі надзаплавні тераси, складені пілуватими пісками, з дерново-підзолистими ґрунтами, свіжо-суборові. Високі заплави, складені пілуватими пісками, з алювіальними дерновими пілувато-піщаними ґрунтами, свіжо-суборові	Насадження хвойних порід старші 40 років з індексами 0 (дуже сухі), 1 (сухі)  Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексом 2 (свіжі)	Низові пожежі можливі протягом усього пожежонебезпечного періоду, верхові – в періоди пожежних максимумів
3	<b>2.2.</b> Тераси та дюни з піщаними дерново-підзолистими ґрунтами, сухоборові <b>3.1.</b> Водозбірні зниження при вершинах ерозійних форм, балки та лощини у межах воднольодовикових і моренно-воднольодовикових рівнин, з дерново-підзолистими оглеєними ґрунтами, волого-складносуборові, волого- та сиро-дібровні. Заплави дуже високі, сегментно-гривисті, складені пілуватими пісками, з алювіальними дерновими оглеєними та болотними ґрунтами, волого-суборові у комплексі з мокрими дібровами (ольс-ліг)	Насадження листяних порід в ТУМ з індексами 0, 1  Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексами 3 (вологі), 4 (сирі)	Низові і верхові пожежі можливі в період літнього пожежного максимуму
4	<b>3.2.</b> Ті самі ландшафтні умови, що <b>2.1</b> <b>3.3.</b> Заплави низькі, плоскі, складені низинними торфами, з алювіальними болотними ґрунтами, мокро-дібровні (ольс-ліг)	Насадження листяних порід в ТУМ з індексом 2 (свіжі)  Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексом 5 (мокрі)	Низові пожежі можливі тільки в періоди пожежних максимумів
5	Ті самі ландшафтні умови, що <b>3.1</b>  Ті самі ландшафтні умови, що <b>3.3</b>	Насадження листяних порід в ТУМ 3 (вологі), 4 (сирі)  Листяні насадження в ТУМ з індексом 5 (мокрі)	Виникнення пожежі можливо тільки при тривалих посухах

напрями поводження з територією, або ж вибір можливого сценарію господарської діяльності у її межах. Режим повного заповідання території, проведення санітарних рубок у лісах та інші види догляду за територією, зокрема, обсяги протипожежних заходів, використання певних об'єктів як туристичних локацій, - зазначені або інші варіанти використання ЗВ істотно впливають на стан ландшафтів та формування пірологічних характеристик їхнього фітокомпоненту, створюють передумови для виникнення пожеж.

Один із варіантів – режим заповідання у ЗВ. За таких умов прогнозування змін структури земного покриву і пов'язаних з ним змін показників пожежної небезпеки ландшафтів можна виконувати на основі аналізу тенденцій розвитку земного покриву, суцесійних змін рослинного покриву [14, 17, 18 ] з використанням шкали оцінки пожежної небезпеки (*табл. 2*).

Наприклад, у розглянутих вище урочищах кінцево-моренних пасом, де спостерігається зменшення соснових насаджень (що віднесені до 1 класу пожежної небезпеки), може бути прогнозоване збільшення у земному покриві широколистяних порід і, відповідно, зниження загальної пожежонебезпеки до 3 класу. Для сухих борових терас підвищення пожежонебезпеки прогнозоване у зв'язку з потенційним збільшенням площ соснових лісів, які характеризуються найвищим, 1 класом пожежної небезпеки.

Конкретні терміни формування і площі, які можна віднести до певного класу пожежної небезпеки, потребують спеціальних досліджень, дешифрування супутникових знімків високого рівня розпізнання і використання спеціального програмного забезпечення, побудови прогнозних моделей.

## Висновки

Ландшафтознавчий підхід до визначення чинників і показників пожежонебезпеки території передбачає комплексний аналіз різноманітних даних щодо оцінки пірологічних характеристик складових рослинних угруповань, лісотипологічних даних про насадження території дослідження, відомостей про ландшафтну структуру, сучасний стан і тенденції відновлення ландшафтів. Територія Зони відчуження забезпечена необхідними вихідними матеріалами для виконання таких досліджень завдяки наявності результатів багаторічних досліджень її ландшафтів та рослинного

покриву, завдяки проведенню систематичних лісотаксаційних досліджень ЗВ а також наявності у відкритому доступі сучасних, регулярно оновлюваних супутникових знімків.

Ландшафти Зони відчуження, як демонструє сумний досвід останніх років, зокрема 2020 р., є вразливими до пожеж не лише через особливості поліських ландшафтів, де поширені пожежонебезпечні соснові насадження, та погодні умови. Переважають антропогенні чинники пожежної небезпеки, прогнозування яких – поза межами компетенції ландшафтознавства та інших природничих наук. Разом з тим, результати оцінювання пірологічних характеристик рослинних угруповань ЗВ та геопросторове представлення у вигляді спеціальних оціночних карт пожежної небезпеки ландшафтних комплексів можуть бути використані для визначення пріоритетних територій, організації та своєчасного виконання протипожежних заходів у Чорнобильській зоні відчуження.

Перспективними напрямами практичного впровадження отриманих результатів є використання запропонованих оцінок пірологічних категорій актуальних типів рослинного покриву в їхньому співставленні з ландшафтними умовами територій, для яких вони характерні, для побудови прогнозних моделей поведінки і поширення природних пожеж. Наприклад, отримані дані актуальні при розробці паливних моделей на основі напівемпіричної моделі Ротермела (R., Rothermel, 1972), яка побудована на врахуванні швидкості вітру, типу рослинності та вмісту вологи у рослинному покриві, характеру рельєфу при прогнозуванні низових пожеж.

Актуальним завданням для використання отриманих результатів при оцінюванні і моделюванні пожежонебезпеки в ландшафтах ЗВ є перехід від якісних характеристик до кількісних, зокрема, таких як кути ухилу елементарних поверхонь в ландшафтах, умови зволоження та відсоток вологості в деревній рослинності та наземному покриві та інших.

Запропоновані у статті методи оцінювання і прогнозування пожежної небезпеки ландшафтів на основі оцінювання пірологічних характеристик фітокомпоненту і аналізу результатів дешифрування їхнього земного покриву є новим напрямом ландшафтознавчо-прикладних досліджень.

**References [Література]**

1. National report on the state of man-made and natural security in Ukraine in 2014. State Service of Ukraine for Emergencies. Ukrainian Research Institute of Civil Defense. URL: <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/nacionalna-dopovid-pro-stan-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bezpeki-v-ukrayini.html> [In Ukrainian].  
[Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році // Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. URL: <https://undicz.dsns.gov.ua/ua/nacionalna-dopovid-pro-stan-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bezpeki-v-ukrayini.html>]
2. Press release of the Regional Eastern European Fire Monitoring Centre for fires near the Chernobyl Exclusion Zone, March 29, 2020 - April 13, 2020. URL: <https://nubip.edu.ua/node/75082> [In Ukrainian].  
[Пресс реліз Регіонального Східноєвропейського центру моніторингу пожеж щодо пожеж біля Чорнобильської зони відчуження 29 березня 2020 - 13 квітня 2020 р. URL: <https://nubip.edu.ua/node/75082>]
3. Azarov S.I. (1996). Assessing the predisposition of landscapes of the Chernobyl exclusion zone to fires. *Problems of Chernobyl Exclusion Zone*, 3, 204-208. [In Russian].  
[Азаров С.И. Оценка предрасположенности ландшафтов Чернобыльской зоны отчуждения к пожарам // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. 1996. Вып. 3. С. 204-208.]
4. FAO. 2006. *Fire management: review of international cooperation*. Fire Management Working Paper 18. Rome (also available at [www.fao.org/forestry/site/firemanagement/en](http://www.fao.org/forestry/site/firemanagement/en)). URL: [http://gfmcc.org/other\\_rep/programmes/un/fao/Review-Int-Coop-Fire-Mgmt-FAO-J9406E00.pdf](http://gfmcc.org/other_rep/programmes/un/fao/Review-Int-Coop-Fire-Mgmt-FAO-J9406E00.pdf)
5. Levchenko V.V., Borsuk O.A., Borsuk A.A. (2015). *Forest combustible materials: a textbook*. Ed. S.V. Zibtsev. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 237 p. [In Ukrainian].  
[Левченко В. В., Борсук О. А., Борсук А. А. Лісові горючі матеріали : навчальний посібник / за ред. С.В. Зібцева. К. : НУБІП України, 2015. 237 с.]
6. Kashparov V.A., Lundin S.M., Kadygrib A.M., Protsak V.P., Levchuk S.E., Yoshchenko V.I., Kashpur V.A., Talerko N.N. (2001). Radioecological and hygienic aspects of forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident *Hygiene and Sanitation*, 1, 30-35. [In Russian].  
[Кашпаров В.А., Лундин С.М., Кадыгриб А.М., Процак В.П., Левчук С.Е., Йошенко В.И., Кашпур В.А., Талерко Н.Н. Радиоэкологические и гигиенические аспекты лесных пожаров на территории, загрязненной в результате чернобыльской аварии // Гигиена и санитария 2001. №1. С.30-35.]
7. Zibtsev S.V. (2006). Analysis of the peculiarities of the forest fire situation and the state of fire protection of forests in areas of radiation pollution. *Scientific reports of the National Agrarian University*, 4 (5). URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2006-4/06zsvcb.pdf> [In Ukrainian].  
[Зібцев С.В., Аналіз особливостей лісопожежної обстановки та стану протипожежної охорони лісу в зонах радіаційного забруднення // Наукові доповіді НАУ. 2006. № 4(5). URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/nd/2006-4/06zsvcb.pdf>]
8. Borsuk O.A. (2011). Natural fire danger of pine forests of the Exclusion Zone and the Zone of unconditional (compulsory) resettlement of the Chernobyl NPP. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. Iss. 164. P. 1, 105-111. [In Ukrainian].  
[Борсук О.А. Природна пожежна небезпека соснових лісів Зони відчуження та Зони безумовного (обов'язкового) відселення ЧАЕС // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2011. Вып. 164. Ч. 1. С. 105-111.]
9. Volokitina A.V., Sofronova T.M. (2014). Mapping of plant combustible materials. *Siberian Forest Journal*, 6, 8- 28. [In Russian].  
[Волокитина А. В., Софронова Т. М. Картографирование растительных горючих материалов // Сибирский лесной журнал. 2014. № 6. С. 8 - 28.]
10. Talerko M. M., Lev T.D., Kireev S.I., Kashpur V.O., Kuzmenko G. G. (2019). Evaluation of radioactive air contamination due to a forest fire within the Exclusion zone on 5–8 June, 2018. *Nuclear energy and the environment*, 2 (14), 47 - 57. [Talerko M. M., Lev T. D., Kireev S. I., Kashpur V. O., Kuzmenko G. G. Evaluation of radioactive air contamination due to a forest fire within the Exclusion zone on 5–8 June, 2018. // Ядерна енергетика та довкілля. №2 (14) 2019. С.47 – 57.]
11. Protsak V.P., Wojciechowicz O.V., Laptev G.V. (2020). Assessment of the dynamics of radionuclide removal outside the exclusion zone by air for the period of fires 02-20.04. 2020 Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv, UkrGMI URL: <https://uhmi.org.ua/msg/fire2020/analytical.pdf> [In Ukrainian].  
[Оцінка динаміки виносу радіонуклідів за межі зони відчуження повітряним шляхом за період пожеж 02-20.04. 2020 р. / Процак В.П., Войцехович О.В., Лаптев Г.В. Український гідрометеорологічний інститут м. Київ, УкрГМІ URL: <https://uhmi.org.ua/msg/fire2020/analytical.pdf>]
12. Zibtsev S.V., Soshenskyi O.M., Myroniuk V.V., Humeniuk V.V. (2019). Monitoring of landscape fires of the cross-border

- Ramsar territory "Olmany-Perebrody" according to remote sensing of the Earth. *Forestry and agroforestry*. Iss. 134. 88-95 [In Ukrainian].
- [Зібцев С. В., Сошенський О. М., Миرونюк В. В., Гуменюк В. В. Моніторинг ландшафтних пожеж транскордонної рамсарської території «Ольмани-Переброди» за даними дистанційного зондування Землі // Лісівництво і агролісомеліорація. 2019. Вип. 134. С.88-95.]
13. The concept of integrated interagency management of natural fires in the exclusion zone (2018). Regional Eastern European Fire Monitoring Center, 34 p. URL:<https://nubip.edu.ua/node/9083/11> [In Ukrainian].  
[Концепція інтегрованого міжвідомчого управління природними пожежами у зоні відчуження. Регіональний Східноєвропейський центр моніторингу пожеж, 2018. 34 с. URL:<https://nubip.edu.ua/node/9083/11>]
14. Davydchuk V.S., Zarudnaya R.F., Mikheli S.V., Petrov M. F., Sorokina L. Yu., Tkachenko A.N. (1994). *Landscapes of the Chernobyl zone and their assessment by the conditions for the migration of radionuclides*. Ed. A.M. Marynich. Kyiv, 112 p. [In Russian].  
[Давидчук В.С., Зарудная Р.Ф., Михели С.В., Петров М.Ф., Сорокіна Л.Ю., Ткаченко А.Н. Ландшафты Чернобыльской зоны и их оценка по условиям миграции радионуклидов / под ред. А.М. Маринича. Киев, 1994. 112 с.]
15. Davydchuk V.S., Sorokina L. Yu., Fomenko Yu. Ya. (1992). Anthropogenic changes in landscapes and modern vegetation of the Chernobyl zone. Map scale 1: 100 000. Kyiv, on 4 sheets. [In Russian].  
[Давидчук В.С., Сорокіна Л.Ю., Фоменко Ю.Я. Антропогенные изменения ландшафтов и современная растительность зоны Чернобыльской АЭС. Карта масштаба 1:100 000. Киев, 1992, на 4 листах.]
16. Davydchuk V.S., Sorokina L. Yu., Zarudna R.F., Petrov M.F., Nazarchuk N.I. (2011). Methods of landscape mapping and their anthropogenic changes for radioecological GIS of the Chornobyl zone. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 3-12. [In Ukrainian].  
[Давидчук В.С., Сорокіна Л.Ю., Зарудна Р.Ф., Петров М.Ф., Назарчук Н.І. Методика картографування ландшафтів та їх антропогенних змін для радіоекологічної ГІС Чорнобильської зони // Укр. геогр. журн. 2011. №4. С.3-12.]
17. Petrov M.F. (2004). Vegetation dynamics in the Exclusion Zone. *Bulletin of the ecological condition of the alienation zone and the zone of unconditional (mandatory) employment*, 2 (24), October, 55-62. [In Ukrainian].  
[Петров М.Ф. Динаміка рослинного покриву в Зоні відчуження // Бюлетень екологічного стану Зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. 2004. № 2(24), жовтень. С. 55-62.]
18. Petrov M.F. (2009). Changes in soil and vegetation cover of the Chornobyl Exclusion Zone deposits. *Physical Geography and Geomorphology*. Iss. 55, 236-246. [In Ukrainian].  
[Петров М.Ф. Зміни ґрунтового-рослинного покриву перелогів Чорнобильської зони відчуження // Фізична географія та геоморфологія. 2009. Вип. 55. С. 236-246.]
19. Petrov M.F. (2016). Botanical and geographical studies of the Chornobyl zone. *Problems of Chernobyl Exclusion Zone* Iss. 15-16, 52-263. [In Ukrainian].  
[Петров М.Ф. Ботаніко-географічні дослідження Чорнобильської зони // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. 2016. Вип.15-16. С.52 -263.]
20. Rudenko L. H., Golubtsov O.G., Chekhnii V. M., Tymuliak L. M., Farion Yu. M. (2019). Changes in the use of lands of the forest-steppe zone of Ukraine during 1991 - 2018: methods, main tendencies. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 24-32. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.024> [In Ukrainian].  
[Руденко Л. Г., Голубцов О. Г., Чехній В. М., Тимуляк Л. М., Фаріон Ю. М. Зміни у використанні земель лісостепової зони України протягом 1991 – 2018 років: методика, основні тенденції // Укр. геогр. журн. 2019. № 1. С.24-32. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.024>]
21. Petrov M.F., Kireev S.I., Paskevich S.A. (2004). Reserves of terrestrial organic matter in ecosystems of meadows and deposits of the Chernobyl exclusion zone as combustible material. *Problems of Forest Radioecology. Forest. Person. Chernobyl*. Collection of scientific papers. Iss. 61, 117-120. [In Russian].  
[Петров М.Ф., Киреев С.И., Паскевич С.А. Запасы наземного органического вещества экосистем лугов и залежей зоны отчуждения ЧАЭС как горючего материала // Проблемы радиоэкологии леса. Лес. Человек. Чернобыль. / Сборник научных трудов. ИЛ НАН Беларуси. 2004. Вып. 61. С. 117-120.]
22. Davydchuk V.S., Sorokina L. Yu. Overview landscape map of the Chornobyl zone. (2003). *Bulletin of the ecological condition of the alienation zone and the zone of unconditional (mandatory) employment*, 1 (21), 47-53. [In Ukrainian].  
[Давидчук В.С., Сорокіна Л.Ю. Оглядова ландшафтна карта Чорнобильської зони // Бюл. екол. стану ЗВЗБ(О)В. 2003. № 1 (21). С. 47-53.]
23. Rules of fire safety in the forests of Ukraine (Order of the State Forestry Committee of Ukraine of 12.2004 №278). URL: <http://www.zakon.rada.gov.ua> [In Ukrainian].  
[Правила пожежної безпеки в лісах України (Наказ держкомлісгоспу України від 12.2004 №278). URL: <http://www.zakon.rada.gov.ua>]

Стаття надійшла до редакції 12.05.2020