

УДК 504.064.3:528.8:[553.97(0492)] (477)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОНІТОРИНГ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТОРФОВИЩ НА ОСНОВІ МАТЕРІАЛІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

*Н.В. Пазинич, канд. геогр. наук, ст. наук. співр., Л.П. Ліщенко, канд. геол. наук, ст. наук. співр., Г.Б. Крилова\*, інж., В.Є. Філіпович, канд. геол. наук, ст. наук. співр., М.С. Лубський, інж. Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України*

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції 13.06.2016  
Пройшла рецензування: 25.07.2016

#### Ключові слова:

тепловий моніторинг, космічне знімання, зображення у тепловому діапазоні, торф'яні пожежі

### АНОТАЦІЯ

В статті розглянуто можливості використання теплових каналів космічних зйомок для визначення температурних показників поверхні торфовищ з метою виявлення перегрітих ділянок і осередків пожеж. Моніторинг перегрітих ділянок торфовищ має виявляти потенційно небезпечні ділянки з осередками підземного тління для запобігання виникнення торфових пожеж

**Постановка проблеми.** Київ оточений заторфованими заплавами річок Ірпінь, Звизж, Трубіж та інших, які формують пожежонебезпечне кільце навколо міста. Особливо пожежна ситуація загострилася в останні роки внаслідок аномальної посухи і високих температур. Звичайно торф'яні пожежі виникають коли вологість торфу не перевищує 40%. Виділяється три головні чинники виникнення торф'яних пожеж. До першого належить самозапалення торфу у посушливі спекотні роки, до другого «людський фактор» – кинуті недопалки, багаття тощо, третім чинником є грозова активність а саме «сухі грози» (блискавки без злив).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливість всебічного дослідження торф'яних пожеж із застосування новітніх наукових досягнень викликана тим, що торф'яні пожежі крім економічних збитків, знищення окремих компонентів ландшафтної системи створюють значну загрозу здоров'ю і навіть життю людей, які піддаються впливу смогу. Під час торф'яних пожеж в атмосферу надходить значний об'єм зважених часток («чорний вуглець»), «парникові» хімічно активні гази (окис вуглецю, окис азоту, діоксид сірки) органічні сполуки (аміак, формальдегід, феноли, бенз(о)пірен, альдегіди, діоксани) та інші сполуки. Медична статистика наслідків пожеж в Росії є досить невтішною. За даними Мінсоцрозвитку в червні 2010 року смертність в Росії у річному обчисленні збільшилась на 8,6%, в Москві смертність в червні зросла на 50,7% [1].

Додаткова небезпека обумовлена тим, що більшість заторфованих долин правобережжя Київщини знаходяться на території підвищеної

радіаційної небезпеки – в зоні забруднення викидами аварії Чорнобильської АЕС. Саме тому особливої уваги варті дослідження по біогеохімії цезію-137 у торфово-болотних системах Українського Полісся [2]. Встановлено, що максимальне накопичення цезію-137, одного з найбільш рухомих радіонуклідів, в усіх типах торфових евтрофних, оліготрофних та мезотрофних боліт, за рахунок біологічного кругообігу, знаходиться на глибині лише 2-6 см від поверхні. Таке відносно неглибоке залягання максимальних значень забруднень є потенціальною загрозою розповсюдження атмосферним шляхом, під час пожеж. Найбільш сприятливі умови для цього існують на торфовищах низинного типу у долинах річок Тетерева, Ірпеню, Здвижу.

На сьогодні в Україні існує близько 1 млн. га осушених торфовищ, основна частина яких знаходиться в правобережному Поліссі. Та незважаючи на важливість для екосистеми ролі торфовищ, проблема їх пірогенної деградації торфовищ є маловивченою. Процеси пірогенезу спричиняють глибокі деструкції у будові профілю і властивостях торфових ґрунтів. Пірогенна мінералізація торфу супроводжується появою великої кількості золи, з якої розчинені речовини вилугуюються атмосферними опадами та потрапляють у річкові води. У поверхневому шарі вохристого попелу пірогенних утворень міститься значна кількість рухомих форм важких металів. Якщо природні торфовища розташовані в зоні несприятливої екологічної ситуації, природно, що вони акумулюватимуть поллютанти, запобігаючи їх міграції в компонентах довкілля. При пірогенній деградації торфовищ усі

\* E-mail: a.krylova@casre.kiev.ua (G. Krylova)

акумульовані елементи, у тому числі й такі токсиканти, як свинець, кадмій, включаються у біогеохімічний кругообіг [3].

**Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Саме після пожеж в Росії у 2010 році, передбачаючи подібні проблеми і на Київщині, у Науковому Центрі аерокосмічних досліджень Землі почалися роботи по дослідженню та моніторингу торфовищ на основі використання матеріалів космічного знімання [4, 5].

Ознаки, що зумовлюють прояв торфовищ на матеріалах дистанційного знімання можна проділити на дві основні групи. До першої слід віднести комплекс природних особливостей – рослинність, ґрунти, рельєф, гідрогеологічні та погодно-кліматичні умови. Результатом їх взаємодії є формування поверхні вкритої специфічною болотною і лучною рослинністю. Саме болотні угруповання трав'янистої рослинності, вологі луки і пригнічені, розрізнені дерева та кущі вирізняють торфовища, що знаходяться у природному стані від оточуючих ландшафтів.

До другої групи, що зумовлює прояв родовищ торфу на матеріалах дистанційного знімання відносимо результати антропогенної діяльності. Першочерговим етапом антропогенного тиску є меліорація спрямована на осушення торфовищ. В результаті меліоративних заходів поверхня торфовищ покривається мережею дренажних каналів, що чітко дешифруються на космічних знімках (КЗ). Наступне сільськогосподарське освоєння територій створює специфічну мозаїку зображення.

**Формулювання цілей досліджень.** Аномально посушливі умови літа та осені 2014 – 2015 років сприяли формуванню пожежонебезпечних умов на торфовищах Київської агломерації. Пожежі були зафіксовані у серпні – жовтні в районі населених пунктів Ірпінь, Гостомель, Буча, Забуччя, Романівна, Демидів (р. Ірпінь), Бородянка, Шибене, Феневичі, (р. Здвиж), Іванків, Горностайпіль (р. Тетерів) (рис. 1). Пожежі поширювались як на правобережжі так і лівобережжі Київщини. Головними потенційно небезпечними об'єктами є заторфовані долини річок Ірпінь, Здвиж, Трубіж та ін. Аналіз матеріалів ДДЗ та обробка їх у програмі ENVI є необхідною складовою інтегрування з екологічними даними при дослідженні стану торфовищ у природному стані і на різних ступенях техногенного освоєння для отримання об'єктивної новітньої інформації. Обробка теплових каналів КЗ

Landsat дозволяє виявити осередки горіння і що ще важливіше, перегріті ділянки торфовищ, що є потенційно пожежонебезпечними.

**Результати досліджень.** Посухи влітку і восени сприяють формуванню пожежонебезпечних умов на торфовищах Київщини, Чернігівщини та інших областей України. Головними потенційно небезпечними об'єктами Київщини є заторфовані долини річок Ірпінь, Здвиж, Тетерів, Трубіж та ін.

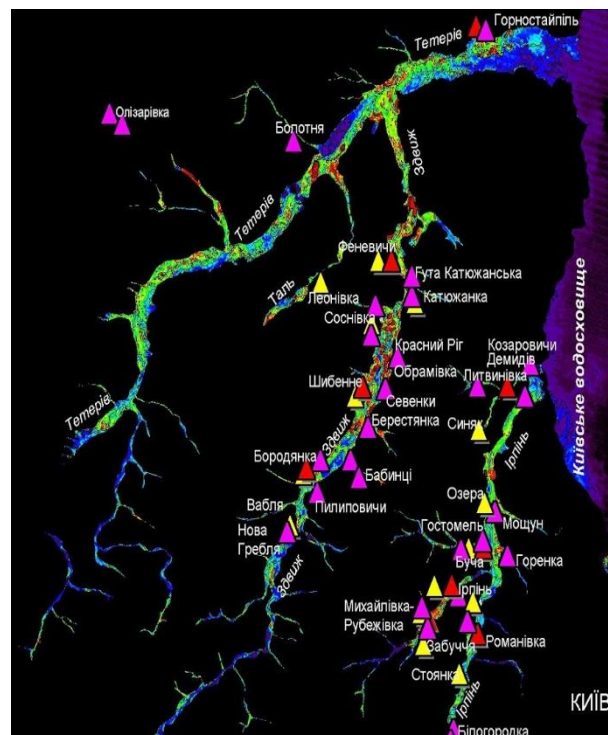


Рисунок 1 – Стан заторфованих заплав річок Ірпінь, Здвиж, Тетерів (західна частина Київської обл.) за даними обробки теплового каналу КЗ Landsat (серпень 2010 року). 1 – пожежі торфовищ 2010 р., 2 – пожежі торфовищ 2013 р., 3 – пожежі торфовищ 2015 р.

Проведений аналіз показав, що окрім природних факторів сприяння займанню торфовищ, головним чином погодних умов, внаслідок чого відбувається пересихання і перегрів торфомас, визначальним фактором є антропогенний чинник. Практично всі пожежі виникають у безпосередній близькості від населених пунктів. З трьох річок показаних на рисунку 1 найбільша кількість пожеж зафіксована від 2010 до 2015 рр. на річці Ірпінь та її притоках – Бучанка, Рокач розташованій найближче до Київської урбанізованої території. Стан пожежної ситуації біля м. Ірпінь, наприкінці жовтня 2014 року, показано на рисунку 2.

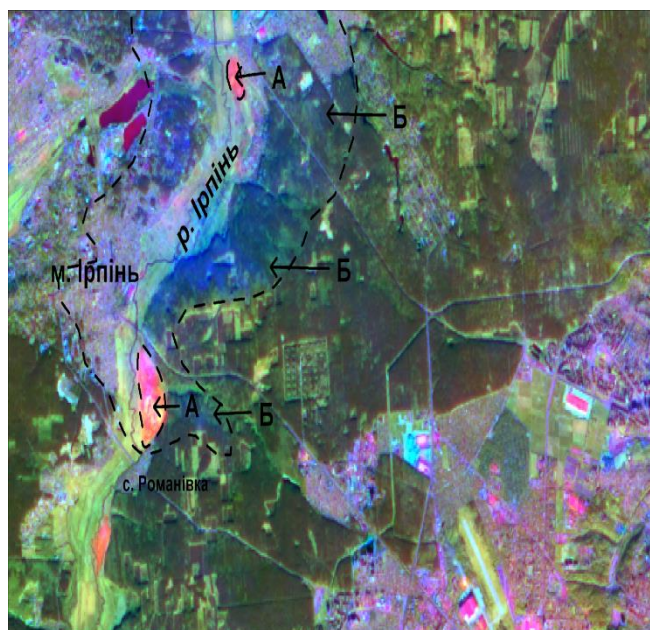


Рисунок 2 – Пожежі торфовищ на заплаві річки Ірпін (за даними обробки багатоспектрального КЗ Landsat 8 (28. 10. 2014 р.). А – ділянки пожеж, Б – ареал задимлення.

Використання синтезованих КЗ Landsat дозволяє визначити місця розташування пожеж та шлейфів диму. Зафіксовані на рисунку 2 ділянки пожеж мають вигляд ізометричних ареалів рожево-вохристого кольору, а ділянки поширення смогу – синього димового шлейфу.

На прикладі теплового поля заплави річок Ірпін, Здвиж та Тетерів (на вододільні ділянки накладена маска) на регіональному рівні виконано порівняння стану торфовищ за КЗ Landsat різних років у один і той же сезон – жовтень 1986, 2011, 2014, 2015 років. Визначено, що прогрівання торфових заплави є нерівномірним і залежить від сумарної кількості опадів та температурних показників. На рисунку 3 термоізогісами показані моделі теплового поля поверхні заплави на регіональному і детальному рівні, де жовтим і червоним кольором виділені аномальні ділянки, що відповідають підвищеним умовам пожежної небезпеки.

Теплове поле розраховується на основі температури поверхні дослідної ділянки. Визначення температури за даними дистанційного знімання виконується за значенням спектральної щільності енергетичної яскравості поверхні у тепловому діапазоні електромагнітного спектру (3-14 мкм, канали 10 та 11 сенсора TIRS супутника Landsat 8). Для цього застосовується обернена формула вираження спектральної щільності енергетичної яскравості Планка:

$$T = \frac{c_2}{\lambda \ln \left( \frac{\varepsilon c_1}{\lambda^5 L(\lambda)} + 1 \right)}, \quad (1)$$

де  $L(\lambda)$  – значення спектральної щільності енергетичної яскравості поверхні у спектральному діапазоні  $\lambda$ ,  $c_1 = 2hc^2 = 1,191 \cdot 10^{-16}$

$\frac{hc}{k} = 1,439 \cdot 10^{-2}$  м·К – перша і друга постійні закону Планка,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постійна Планка,  $c = 2,998 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі,  $k = 1,381 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постійна Больцмана,  $\varepsilon$  – спектральний коефіцієнт теплового випромінювання земної поверхні [6].

Поверхні, вкриті рослинністю, мають порівняно високий коефіцієнт теплового випромінювання, який залежить від відношення проективної площі рослинності до повної площі відкритого ґрунту, яка також оцінюється через значення нормалізованого вегетаційного індексу  $NDVI$  [7]:

$$F \cong \left( \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_\infty - NDVI_0} \right)^2, \quad (2)$$

де  $F$  – проективне покриття рослинності,  $NDVI_0$  – максимальне значення нормалізованого вегетаційного індексу відкритого ґрунту (або іншої поверхні, де повністю відсутня рослинність);  $NDVI_\infty$  – мінімальне значення нормалізованого вегетаційного індексу поверхні, повністю покритою рослинністю.

Для ділянок поверхні покритих рослинністю спектральний коефіцієнт теплового випромінювання описується співвідношенням [8]:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot F + \varepsilon_0(1 - F) + \Delta\varepsilon, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_0$  та  $\varepsilon_1$  – бібліотечні спектральні коефіцієнти теплового випромінювання відкритого ґрунту та рослинності відповідно;  $\Delta\varepsilon$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність відображення шорсткої поверхні (стандартне значення для шорсткої поверхні в дальньому інфрачервоному діапазоні  $\Delta\varepsilon \approx 0,005$ ).

Масові загорання відбувалися саме на осушених торфовищах. Переважало неповне горіння торфу з виділенням великої кількості диму. Відкриті осередки полум'я спостерігалися досить рідко, в місцях з деревною рослинністю. Аналіз теплових зображень середини жовтня 2014 та 2015 років, не зважаючи на відносно низькі температури приземного повітря, показав

перегрів ґрунту на деяких торфовищах до температури 47°C.

(рис.3). На знімках візуально відмічається збільшення площ перегрітого торфу у 2015 р. по відношенню до 2014 р., що може свідчити про підземне тління торфу. Саме такі ділянки

теплових аномалій, виділених в осінній прохолодний період, на основі обробки КЗ є потенційно пожежонебезпечними і вимагають моніторингу.

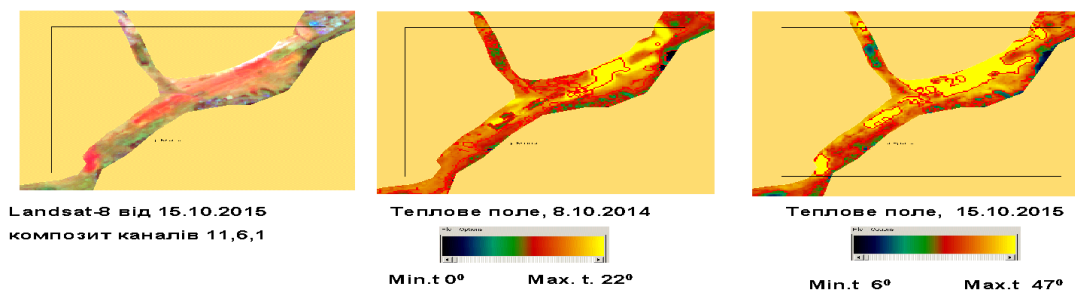


Рисунок 3 – Стан теплового поля на відтинку між селами Красне та Михайлівка-Рубежівка ріки Бучанка (лівий приток р. Ірпінь)

В листопаді 2015 р. співробітниками ЦАКДЗ разом зі спеціалістами компанії Drone.UA та МНС України проводилися польові дослідження по визначенню температури поверхні та виявленню осередків прихованого горіння торфу торфовища Трубіж, що знаходяться на схід від с. Данівка Козелецького району Чернігівської області. На меліорованій території болота Трубіж, внаслідок зниження ґрунтових вод, пересихання і зубожіння торфогрунтів, регулярно виникають пожежі. У вересні 2015 р. горінням було охоплено біля

70 га торфовища. За результатами розрахунку температури поверхні (КЗ Landsat - 8 від 2014 та 2015 років) визначено, що дане торфовище є значним осередком пожежі в даному регіоні і відрізняється великими площами займань. На зображенні помаранчевим і червоним кольором виділяються гарячі поверхні, а світло-жовтим безпосередньо осередки вогню. Серпневий знімок не виявив теплову аномалію на торфовищі Трубіж (рис. 4).

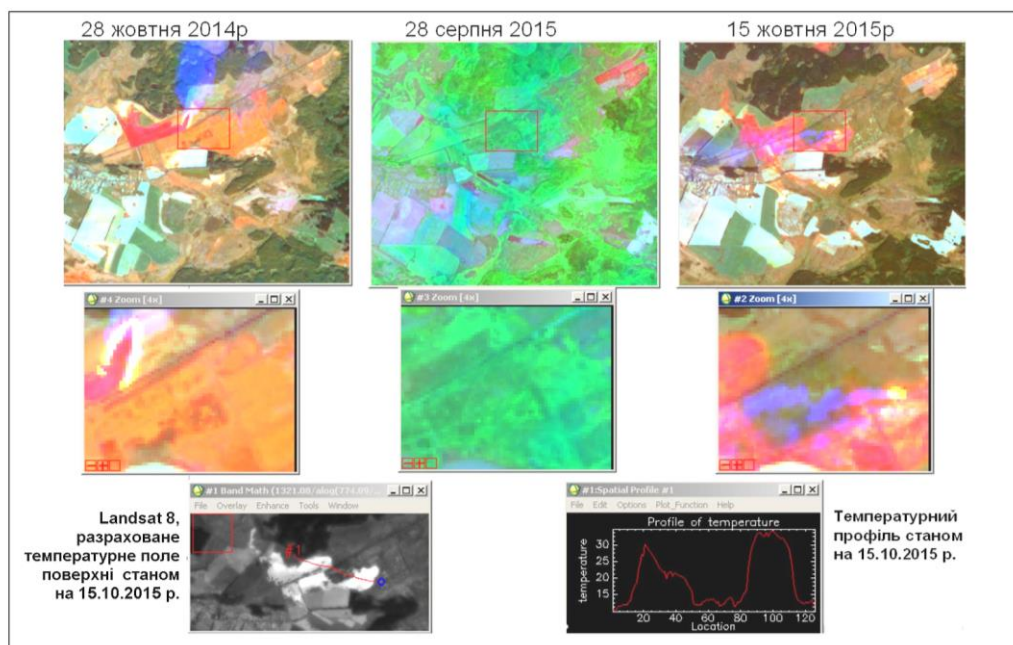


Рисунок 4 – Моніторинг пожежі на торфовищі Трубіж за Landsat-8 з використанням теплового діапазону електромагнітного спектру

В результаті оперативних польових робіт на даній ділянці за допомогою безпілотної апаратури з тепловізійною апаратурою на борту та

польового тепловізора були виявлені підземні залишкові осередки горіння торфовищ вже після вжитих МНС заходів гасіння пожежі (рис.5).



Рисунок 5 – Технологічна схема польових досліджень

Технологічна схема оперативних польових досліджень під час пожежі включає: регіональні дослідження обсягів пожежі за допомогою наявних оперативних даних з багатозональних зображень різного просторового розрізнення; оглядові рекогносциувальні та вимірні

дослідження з безпілотників, що мають на борту необхідне обладнання (GPS, тепловізори, радар); наземні завіркові дослідження за допомогою тепловізора з метою виявлення залишкових підземних осередків горіння торфу (рис. 7).

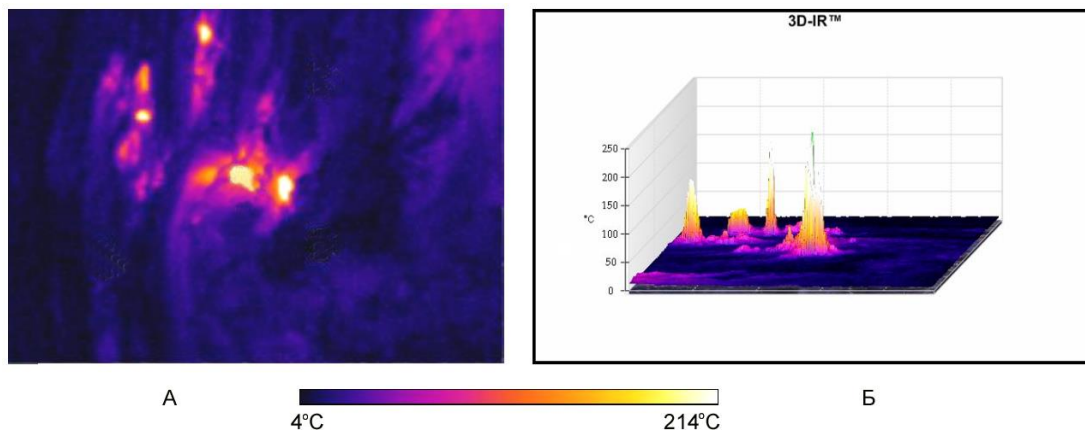


Рисунок 6 – Приховані підземні осередки горіння торфу, на ділянках де гасіння вже проведене

На рисунку 6 показано приклад виявлення прихованого осередку підземного горіння торфу, в деяких місцях температура горіння сягає 214°C. Саме такі залишкові осередки горіння можуть продовжувати тліти досить довгий час і спровокувати нову пожежу. Виявлення та ліквідація таких осередків має запобігати виникненню вторинних пожеж.

**Висновки:** багатозональні зображення дозволяють безпосередньо виділити заболочені та заторфовані ділянки земної поверхні, вирахувати індекси вологості, посушливості та вегетаційні з метою диференціації ландшафтних комплексів;

багаторічні дослідження та застосування часових рядів знімків дають можливість простежувати довготривалі зміни, що відбуваються у торфово-болотних комплексах; обробка теплових каналів зображень дозволяє зафіксувати температуру поверхні, виявити ділянки підвищених температур та перегріву торфовищ у долинах річок та пониззях рельєфу, що являються потенційно небезпечними арعалами поширення пожеж;

за допомогою польової тепловізійної зйомки контролюється якість протипожежних заходів і виявляються приховані підземні осередки

горіння торфу на ділянках де гасіння вже проведено;

використання цілісного комплексу дистанційних досліджень може успішно використовуватись для запобігання пожежних явищ на торфовищах і вести контроль за залишковими, прихованими під землею осередками горіння торфу на вже загашених ділянках.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Заключение Общественной комиссии по расследованию причин и последствий лесных и торфяных пожаров в Европейской части России в 2010 году / [Электронный ресурс] / [Яблоков А. и др.] – 2014. – Режим доступа [www.yabloko.ru/mneniya\\_i\\_publicatsii/2010/09/14](http://www.yabloko.ru/mneniya_i_publicatsii/2010/09/14).
2. Орлов О.О. Біогеохімія Цезію-137 у лісоболотних екосистемах Українського полісся / О. Орлов, В. Долін. К., Наук. Думка. – 2010. – 198 с.
3. Блінкова О.І. Екологічні особливості деградації лісових торфовищ під впливом пожеж / О. Блінкова, Н. Пашкевич, Т. Козинятко. – Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.10, С.105-111.
4. Пазинич Н.В. Використання матеріалів космічного знімання при моніторингу торф'яно-болотних систем (на прикладі Київщини). Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – Київ-Харків-АР Крим. – 2012 р. – ISBN 978-966-8126-89-5 С.167-172.
5. Пазинич Н.В. Дослідження торф'яних боліт Українського Полісся на основі використання матеріалів дистанційного зондування Землі Міжвідомчий науковий збірник «Фізична географія та геоморфологія» – К.: ВГЛ «Обрії», 2013. – Вип. 3 (71). – С.121-127.
6. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники – М.: Советское радио, 1978. – 400 с.
7. Perez Hoyos I.C. Comparison between land surface temperature retrieval using classification based emissivity and NDVI based emissivity // International Journal of Recent Development in Engineering and Technology, 2014. – Vol.2. – No.2. – P.26-30.
8. Valor E., Caselles V. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas / E. Valor, V. Caselles. – Remote Sensing of Environment, 1996. – Vol. 57. – No. 3. – P.167-184.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ПОЖАРООПАСНЫХ ТОРФЯНИКОВ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Н.В. Пазинич, канд. геогр. наук., ст. научн. сотр., Л.П. Лищенко, канд. геол. наук., ст. научн. сотр., А.Б. Крылова, В.Е. Филиппович, канд. геол. наук, ст. научн. сотр., М.С. Лубский*  
*Научный Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины*

---

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

тепловой мониторинг, космическая съемка, изображение в тепловом диапазоне, торфяные пожары

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены возможности использования тепловых каналов космических съемок для определения температурных показателей поверхности торфяников с целью выявления перегретых участков и очагов пожаров. Мониторинг перегретых участков торфяников выявляет потенциально опасные участки с ячейками подземного тления для предотвращения возникновения торфяных пожаров

## PEAT FIRE RESEARCH AND MONITORING BASED ON OF REMOTE SENSING DATA

*N. Pazynych, Cand. of Sc. (Geography), Senior Researcher, L. Lischenko, Cand. of Sc. (Geology), Senior Researcher, G. Krylova, V. Filipovich, Cand. of Sc. (Geology), M. Lubskiy*  
*Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine*

---

### KEYWORDS

thermal monitoring, remote survey, thermal infrared imagery, peat fires

### ANNOTATION

The possibility of thermal satellite imagery application for determination of peat surface temperature with the purpose of detection of overheated areas and fire seats is considered in this article. Monitoring of overheated peat lands is supposed to carry out for detection of potentially hazardous areas having subterranean smoldering and so for prevention of peat fires.