

Olga A. SLINKINA, E. A. PAVLIČENKO, S. I. MIS'KIV, Anatol I. SUCHININ\*

## **ANALIZA PALNOŚCI LASÓW ZABAJKALA W 2003 ROKU WEDŁUG DANYCH Z SATELITY NOAA I LANDSATU ETM<sup>+</sup>**

**ANALYSIS OF FOREST FIRES OF ZABAİKALYE TERRITORY  
DURING 2003 FIRE SEASON ACCORDING TO THE DATA  
OF SATELLITES NOAA AND LANDSAT ETM<sup>+</sup>**

***Abstract.** The objective of this paper was to describe a methodology of wildfire detection and mapping using remote sensing data of NOAA series satellites. Achieved results were implemented for seasonal and annual analysis of biomass burning over Zabaikalye territory (Asian part of Russia). Comparative statistics concerning this region revealed an apparent growing trend of number and total area of forest fires. Also the obtained results for this territory were validated with the help of higher spatial resolution data of Landsat 7.*

***Key words:** remote sensing, GIS, wildfire, seasonal and annual analysis, validation of results.*

---

\* Instytut Lesa im. V. N. Sukačeva Syberyjskiego Otdelenija Rossijskoj Akademii Nauk, Krasnojarsk, Rosyja, 660036

**Badania opisane w niniejszej pracy były częściowo sfinansowane dotacją Nr KY-002-X1 amerykańskiej fundacji U.S. Civilian Research & Development Foundation z funduszy dla niepodległych krajów byłego Związku Radzieckiego**

The research described in this publication was made possible in part by Award No.KY-002-X1 of the U.S.Civilian Research & Development Foundation for the Independent States of the Former Soviet Union (CRDF).

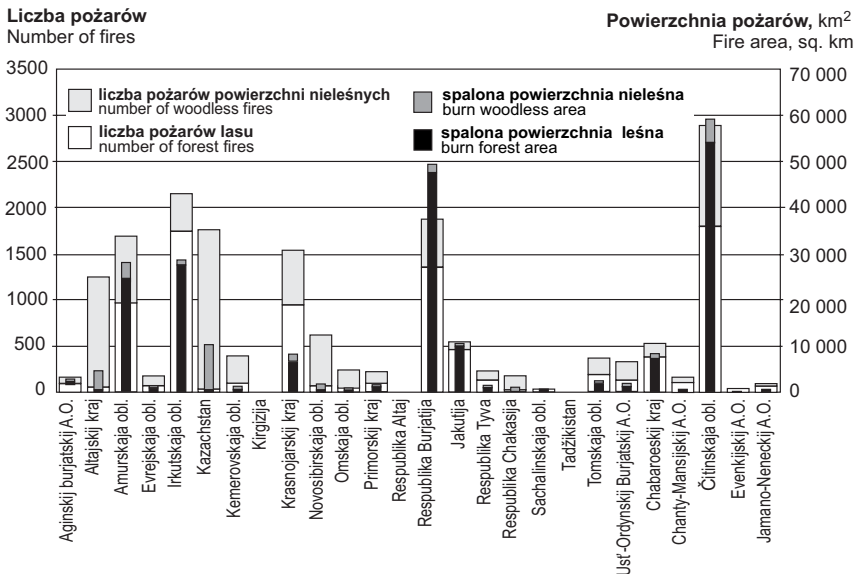
## 1. WSTĘP

W ciągu sezonu pożarowego 2003 r. system satelitarnego monitoringu przeciwpożarowego lasów azjatyckiej części Rosji, utworzony w Krasnojarsku, pracował efektywnie w trybie całodobowym. Krasnojarska stacja odbioru i przetwarzania danych z satelity NOAA, zlokalizowana w Instytucie Leśnym im. V. N. Sukačeva Syberyjskiego Oddziału Rosyjskiej Akademii Nauk, pozwoliła regularnie i sprawnie otrzymywać informacje o zagrożeniu pożarowym na całym terytorium Syberii, Jakucji i Dalekiego Wschodu.

W azjatyckich regionach Rosji, gdzie kompleksy leśne są bardzo rozległe, monitoring pożarów leśnych wykorzystujący informacje kosmiczne ma wiele zalet w stosunku do rozpoznania lotniczego, a mianowicie: bardzo wysoką sprawność (operatywność), szerokie pole widzenia, niższe koszty operacyjne.

## 2. ROZMIESZCZENIE POŻARÓW W 2003 ROKU W REJONIE AZJATYCKIEJ CZĘŚCI ROSJI

W sezonie zagrożenia pożarowego 2003 r. w Laboratorium Monitoringu Lasu Instytutu Leśnego w Krasnojarsku przetwarzana była w trybie operacyjnym informacja z szeregu 300 seansów satelitarnych, do 100 Mbajtów każdy. Wykorzystywano dane uzyskane z polarno-orbitalnej serii satelitów NOAA.



Ryc. 1. Rozkład pożarów lasów i stepów w Federacji Rosyjskiej w 2003 r.

Fig. 1. Distribution of forest and woodless fires over the Russian Federation administrative units in 2003

W celu obróbki uzyskiwanych informacji pracownicy Laboratorium opracowali kompleks programów. Jedną z części tego kompleksu jest program wykrywania pożarów „FireDetector”, wykorzystujący progową metodę wykrywania pożarów w termalnych kanałach satelity NOAA (Romas'ko i in. 2000). Codziennie za pomocą tego programu przeprowadzana jest obróbka informacji satelitarnych, w wyniku czego formułuje się wektorowe pokrycie dla GIS ArcView. Pokrycie tymi danymi przedstawia poligony wykrytych pożarów. Na koniec okresu zagrożenia pożarowego poligony pożarów wykrytych w całym sezonie łączy się w jedną warstwę, co daje możliwość oceny ogólnej powierzchni objętej ogniem w ciągu roku.

Przestrzenny rozkład pożarów jest nierównomierny (ryc. 1). W 2003 r. najwięcej pożarów leśnych, obejmujących najbardziej rozległe powierzchnie, odnotowano na terenie Zabajkala (Obwód Čitinskij, Republika Buriacka), Przybajkala (Obwód Irkucki) i na terytorium Obwodu Amurskiego.

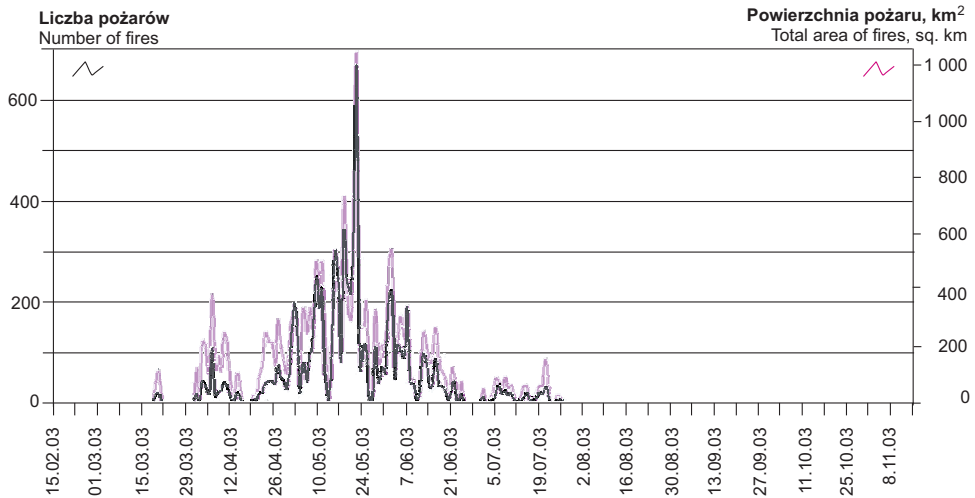
### **3. SEZON ZAGROŻENIA POŻAROWEGO 2003 ROKU NA TERENIE ZABAJKALA**

Terytorium Zabajkala obejmuje dwie strefy szerokości geograficznej: 1 – leśną na północy i w rejonach wysokogórskich, oraz 2 – górskie lasostepy na południu i kotlinach międzygórskich (Sofronov 1970).

W tym regionie przeważają światłozadne lasy iglaste, składające się z sosny i modrzewia syberyjskiego i dahurskiego (*Larix dahurica* TURCZ.), przy czym modrzew przeważa powierzchniowo, a sosna zajmuje około 25% powierzchni leśnej. Spotyka się także drzewostany limby syberyjskiej (*Pinus sibirica* MAYR.) oraz jodły, rosnące na wilgotnych skłonach grzbietów, w dolinach z domieszką świerka (Encyklopedia Zabajkal'ja, 2000, Erdyneeva i Černov 1994).

Wysokie wskaźniki palności na terenie Przybajkala i Zabajkala uwarunkowane były ekstremalnymi warunkami pogodowymi, które wystąpiły w tym regionie w 2003 r. Mało śnieżna zima, bardzo sucha i wietrzna wiosna oraz sucha pierwsza połowa lata doprowadziły do powstania dużej liczby pożarów lasu, obejmujących obszerne terytoria leśne.

Sezonowa dynamika palności na terytorium Zabajkala w roku 2003 charakteryzowała się wyraźnymi maksimumami aktywności pożarów lasu w okresie wiosennym (trzecia dekada kwietnia – pierwsza dekada czerwca), ze szczytem w środku maja (ryc. 2). Taka sytuacja jest typowa dla tego regionu. W pracach odnoszących się jeszcze do lat 60. XX wieku odnotowywano najwięcej pożarów w tym regionie wiosną i podczas pierwszej połowy lata (Galaktionov 1959). Przy tym w roku 2003 zarejestrowano pożary lasu na ekstremalnie dużych powierzchniach (do 1 mln ha) i największą ich liczbę (do 700 sztuk).



Ryc. 2. Dynamika pożarów lasu na terytorium Zabajkala w sezonie zagrożenia pożarowego 2003 r.

Fig. 2. Wildfire activity dynamics during 2003 fire season over Zabaikalye territory

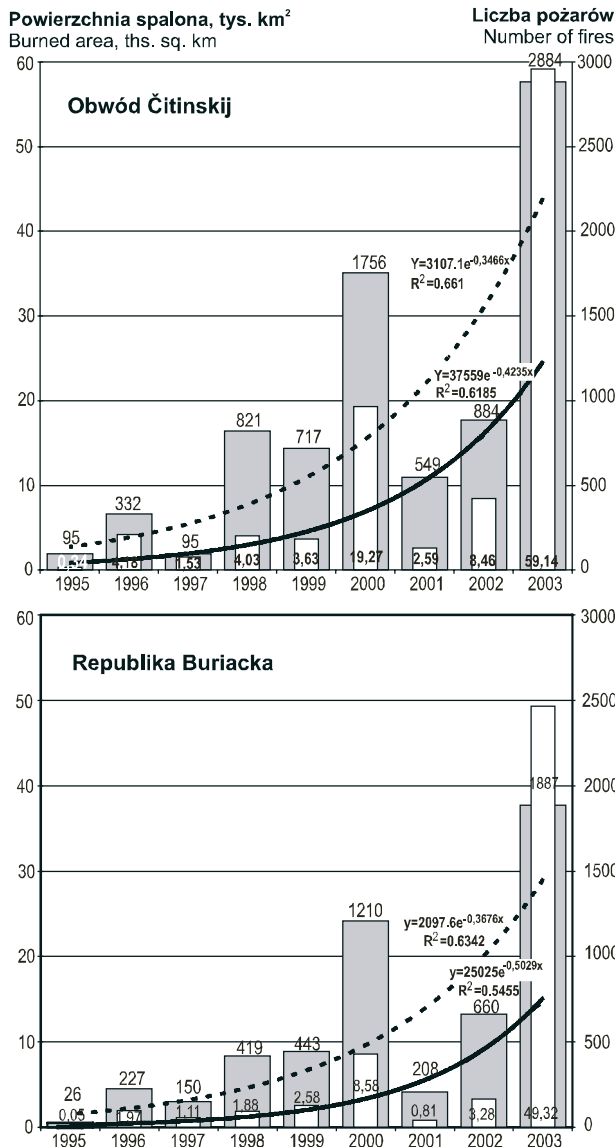
Podstawową przyczyną powstawania pożarów okazuje się czynnik antropogeniczny. Według przeprowadzonych w tym regionie badań Gaasa (1985) struktura przyczyn pożarów leśnych jest następująca: nieugaszone ogniska – 45%, naruszenie zasad bezpieczeństwa pożarowego przy wykonywaniu prac leśnych związanych z pozyskiwaniem – 32%, naruszenie zasad eksploatacji maszyn z silnikami wewnętrznego spalania – 14%, przenoszenie otwartego ognia w miejscach nie wyposażonych w sprzęt przeciwpożarowy – 6%, nieustalonych – 3%. W regionach lasostepów jedną z podstawowych przyczyn pożarów lasu jest pożar stepu w sąsiedztwie, rozprzestrzeniający się bardzo szybko w okresie wiosennych wiatrów. W regionie stepów i lasostepów Zabajkala co roku ulega spaleniui nie mniej niż 60% powierzchni stepów. W ciągu dnia, przy silnym wietrze, pokonują do 30-40 km. Jeśli pożar stepu dosięga brzegów lasu, to przechodzi w pożar lasu (Sofronov 1970).

#### 4. WIELOLETNIA DYNAMIKA SYTUACJI ZAGROŻENIA POŻAROWEGO NA TERENIE ZABAJKALA

Co roku uzupełniany jest bank danych statystycznych o rozmieszczeniu i dynamice pożarów lasu. Materiały zdjęć satelitarnych, zebrane w Laboratorium Monitoringu Lasu w latach 1996-2003 pozwalają prześledzić ogólną dynamikę zmian dotyczących zagrożenia pożarowego lasów w różnych jednostkach administracyjnych Federacji Rosyjskiej. W ostatnich latach liczba pożarów lasu i wielkość

powierzchni uszkodzonej przez ogień nieustannie rosną – liniowo lub nawet powiększają się w sposób wykładniczy.

Największą liczbę pożarów lasu w 2003 r. odnotowano na terenie Zabajkala. W porównaniu z wcześniejszymi latami sezon pożarowy roku 2003 charakteryzował się 2–3-krotnym zwiększeniem liczby pożarów leśnych, a także katastrofalnym wzrostem powierzchni uszkodzonej przez ogień. Wiele wskaźników charakteryzujących wielkość zagrożenia pożarowego było przekroczonych kilkakrotnie, a niekiedy nawet – na przykład w porównaniu z danymi z siedmioletniego okresu badań – wielokrotnie (ryc. 3).



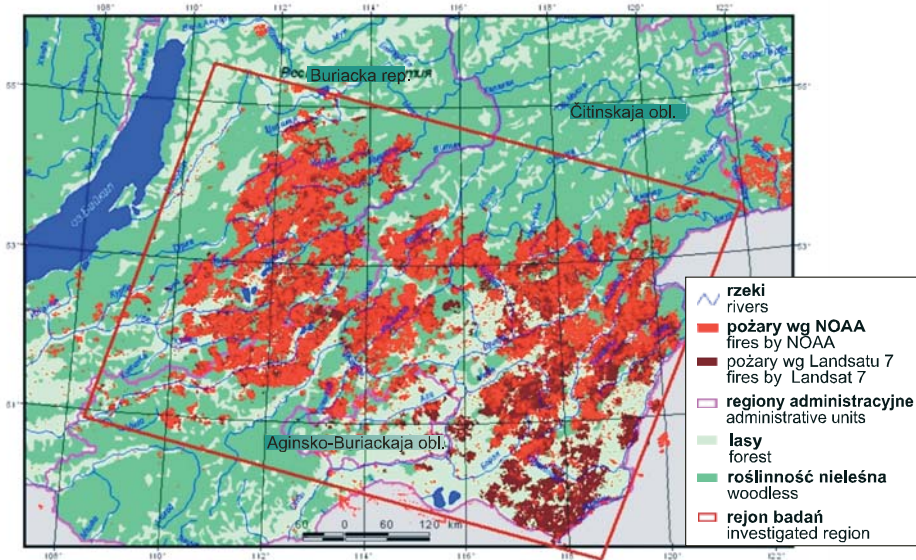
Ryc. 3. Diagram palności w latach 1995-2003 na terytorium Zabajkala

Fig. 3. Diagramm of fires over Zabaikalye territory in 1995-2003

- liczba pożarów  
number of fires
- powierzchnia pożarów  
total area of fires
- trend powierzchni pożarów  
trend of total area
- trend liczby pożarów  
trend of amount

## 5. OCENA DOKŁADNOŚCI DANYCH O PALNOŚCI, UZYSKANYCH NA PODSTAWIE INFORMACJI NOAA DLA TERYTORIUM ZABAJKAŁA

Wszystkie szacunki dotyczące liczby pożarów i powierzchni objętej pożarem wykonano na podstawie informacji uzyskanych za pomocą satelitów serii NOAA. W związku z tym, istotną sprawą jest wiarygodność otrzymanych informacji. Jednym ze sposobów weryfikacji danych otrzymanych z satelitów jest porównanie z danymi z innych satelitów, o większej rozdzielczości przestrzennej (ryc. 4).



Ryc. 4. Pożarzyska 2003 roku na terytorium Zabajkała

Fig. 4. Wildfires over Zabajkalye territory in 2003

Do oceny dokładności detekcji i kartowania pożarów leśnych na podstawie danych z satelitów NOAA wykorzystywane były obrazy Landsatu 7. Do analizy wybrane zostało terytorium, na którym obserwowano najwięcej pożarów lasu w 2003 r., obejmujące Obwód Čitinski i Republikę Buriacką. W obrębie badanego regionu wybrano 18 obrazów z Landsatu 7, wolnych od zachmurzenia i dymu. W związku z tym, że około 70% powierzchni objętej ogniem badanego regionu spaliło się w okresie wiosennym, do analizy wybrano obrazy z drugiej połowy maja 2003 roku.

Na obrazach Landsatu 7 kontury pożarzysk wyodrębniano za pomocą metody tworzenia obwodu, wykonywanego w oprogramowaniu GIS ERDAS (Alekseev i in. 1988, ERDAS Field Guide 1997). W rezultacie odczytania danych otrzymany wybrany fragment składał się z 200 pożarzysk. Sumaryczna powierzchnia po-

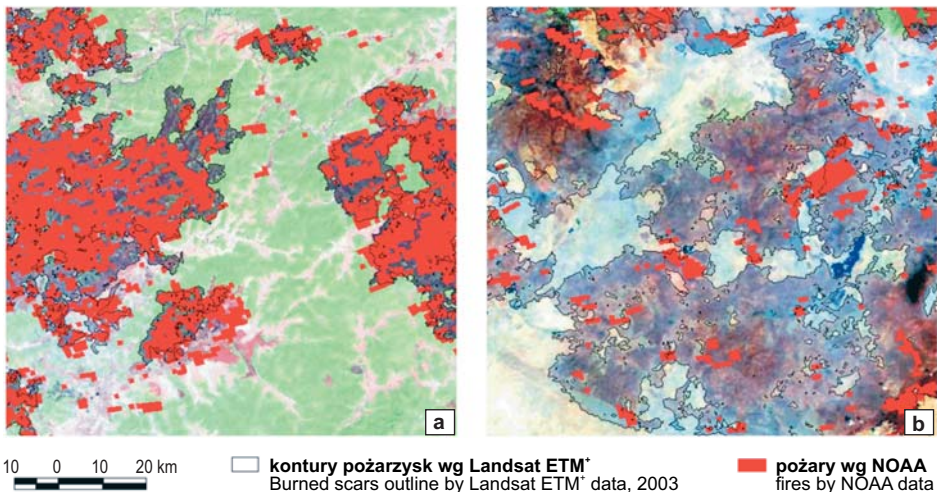
zarzysk stanowiła 10973 104 ha (ryc. 4). Dla otrzymanych wielkości pożarzysk zbudowano histogram rozkładu błędów oceny powierzchni na podstawie danych z NOAA i Landsatu 7. Ten rozkład sprowadzono do normalnego z wykorzystaniem kryteriów Kołomorgova-Smirnova ( $d = 0,068$ ) i Szapiro-Čilki ( $W = 0,97$ ). Otrzymane wartości kryteriów świadczą, że pomiary mają rozkład normalny. Normalność rozkładu była również oceniona metodą graficzną, za pomocą której z próby wykluczono wartości znacznie odbiegające od średniej. Po wyłączeniu także pożarzysk o powierzchni większej od 250 tys. ha rozmiar próby został ograniczony do 157 pożarzysk.

Przeprowadzona następnie analiza regresji wykazała średni stopień korelacji między powierzchnią pożarów ustaloną na podstawie NOAA i ustaloną na podstawie Landsatu 7. Współczynnik determinacji  $R^2$  wynosił 0,46. Równanie regresji ma następującą postać:

$$y = 1,28x + 6812,7, \quad (R^2 = 0,46)$$

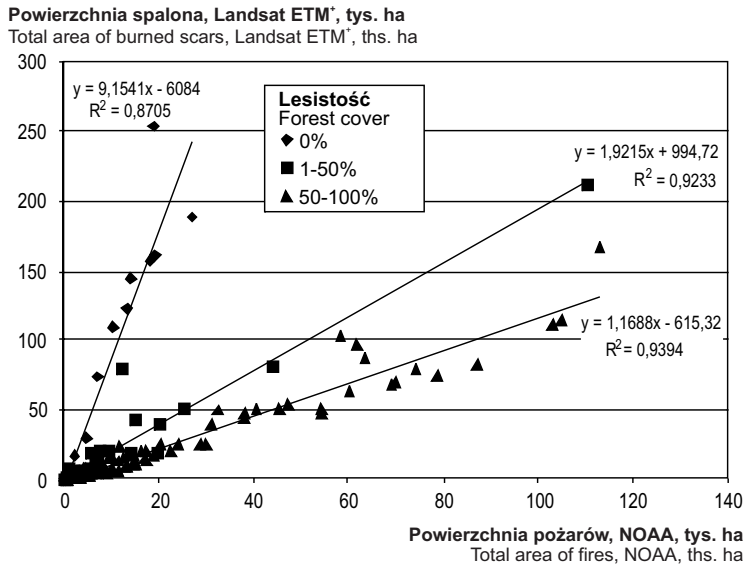
gdzie:  $y$  – powierzchnia pożarzyska, oceniona według danych z Landsatu 7,  
 $x$  – powierzchnia odpowiadająca pożarowi według NOAA.

W trakcie badań zaobserwowano, że pominięcia i braki w danych z NOAA rozłożone są nierównomiernie i zależą od typu pokrycia powierzchni (ryc. 5). Na obszarach leśnych braki danych o pożarzyskach są dużo mniejsze niż na obszarach bezleśnych. Jest to skutek różnej szybkości rozprzestrzeniania się ognia, znacznie większej na stepach niż na obszarach leśnych. Ponadto faza bezpłomieniowa jest dużo dłuższa w przypadku pożaru lasu niż w przypadku pożaru stepu. Ponieważ liczba pożarów wykrywanych za pomocą satelity NOAA wynosi 1–2 w ciągu doby, może się zdarzyć, że wystąpią braki w danych.



Ryc. 5. Fragmenty obrazów Landsatu 7 ETM<sup>+</sup> z odczytanymi konturami pożarzysk: a – tereny leśne, b – stepowe

Fig. 5 Landsat ETM<sup>+</sup> image fragments with outlined burned scars for (a) forest and (b) woodless region



**Ryc. 6. Związek między powierzchnią pożarysk wykrytych na podstawie obrazów NOAA i Landsatu ETM<sup>+</sup>**

Fig. 6. Regression of the areas of fires, revealed by NOAA and Landsat ETM<sup>+</sup>

W związku z tym, wszystkie tereny objęte pożarami podzielono na trzy grupy: 1 – o lesistości >50%, 2 – o lesistości <50%, 3 – bezleśne (pożary stepów); i dla każdej z grup oddzielnie przeprowadzono analizę regresji (ryc. 6).

Próba dla pierwszej grupy składała się z 102 pożarysk, a równanie regresji przyjęło następującą postać:

$$y = 1,17x - 615,3 \quad (R^2 = 0,94)$$

Dla drugiej grupy, składającej się z 33 pożarysk, równanie regresji ma następującą postać:

$$y = 1,92x + 994,7 \quad (R^2 = 0,92)$$

Trzecia grupa obejmowała 22 pożaryska, a równanie regresji dla tej grupy ma postać:

$$y = 9,15x + 6084,0 \quad (R^2 = 0,87)$$

Współczynnik przy  $x$  wynosi tu 9,15, co świadczy o tym, że powierzchnia pożarysk stepów oceniona na podstawie danych z NOAA jest mniejsza od faktycznej powierzchni 9,15 razy.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć wniosek, że powierzchnia pożarów obliczona na podstawie danych z NOAA ma zaniżoną wielkość. Niedoszacowanie powierzchni jest związane z niewykrywaniem części pożarów. Niewykrycie części pożarów można wyjaśnić przyczynami zarówno przyrodniczymi: zasłonięcie pożaru leśnego koronami drzew, zachmurzenie czy dym, jak i technicznymi: niedostateczna zdolność i czułość aparatury rejestrującej



satelity, niedostateczna częstość wykonywania zdjęć, niedoskonałość elementów schematu przekazu i obróbki informacji.

Wraz ze wzrostem lesistości obszaru objętego pożarem zwiększa się dokładność oceny powierzchni pożarzystka na podstawie danych NOAA. A zatem, przy wykorzystywaniu danych NOAA do oceny wielkości powierzchni objętych przez ogień konieczne jest dokładniejsze określenie stopnia lesistości wewnątrz konturu pożarzystka.

## 6. PODSUMOWANIE

Sezon zagrożenia pożarowego 2003 r. miał ekstremalny charakter w wielu regionach Federacji Rosyjskiej. Największa liczba pożarów i maksymalne powierzchnie objęte ogniem odnotowano na terenie Zabajkala (Obwód Čitniskij, Republika Buriacka), Przybajkala (Obwód Irkucki) i na terytorium Obwodu Amurskiego.

Sezonowa analiza palności terytorium Zabajkala na ujawniła sytuację typową dla tego regionu przewagą liczby pożarów w okresie wiosennym. Analiza wieloletniej dynamiki palności przedstawia tendencje wzrostu liczebności pożarów lasu i ich sumarycznej powierzchni spalonej.

Dokładność uzyskanych danych oceniono z wykorzystaniem informacji z satelity Landsat 7, mającego wyższą rozdzielczość przestrzenną. W rezultacie przeprowadzonego badania wyjaśniono, że ocena powierzchni pożarzystka na podstawie danych uzyskanych z NOAA jest dostatecznie wiarygodna. Ponieważ wśród pożarów odnotowanych na terytorium Zabajkala w 2003 r. powyżej 90% stanowiły pożary lasu, można wyciągnąć wniosek, że dane obliczone na podstawie informacji z satelity NOAA odzwierciedlają z wysoką dokładnością liczbę pożarów i sumaryczną powierzchnię spaloną.

Tłum. B. U.

Praca została złożona 13.04.2004 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 25.08.2004 r.

## LITERATURA

- Alekseev A. S., Pjatkin V. P., Demen'tev V.N. i dr. 1988, Avtomatizirovannaja obrabotka izobraženij prirodných kompleksov Sibiri. Nauka, Novosibirsk.  
Enciklopedija Zabajkal'ja, 2000 Čitinskaja oblast'. T. 1, Nauka, Novosibirsk.  
ERDAS Field Guide 1997, ERDAS, Inc. Atlanta (Georgia, USA).  
Erdyneeva M. O., Černov B. A. 1994, Geografija Burjatii. Ylan-Ude.

- Gaas A. A., 1985, Celi, metodi, osobennosti lesopožarnoj propagandy. Metody i sredstva borb'y s lesnymi požarami. VNIILM , Moskva.
- Galaktionov I. I., 1959, Burjatija. Gos. izdatel'stvo geografičeskoj literatury, Moskva.
- Romas'ko V. Ju., Mis'kiv S. I., Pavličenko E. A., Suchinin A. I., Ivanov V. V. 2000, Programmnyj kompleks Krasnojarskoj sistemy priema i obrabotki sputnikovych dannych HRPT/NOAA. Vyčislite'nye tehnologii, t. 5, Novosibirsk.
- Sofronov M. A. 1970, Ob uslovijach vysychanija lesnych gorjučich materialov pod pologom drevostoev. Voprosy lesnoj pirologii, Krasnojarsk.