

Natalja V. TROFIMOVA, Anatol' I. SUCHININ*

OCENA ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA EMISJAMI DYMOWYMI Z POŻARÓW LASU NA PODSTAWIE DANYCH SATELITARNYCH

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL POLLUTION
BY SMOKE EMISSIONS FROM FOREST FIRES
WITH SATELLITE DATA USE

***Abstract.** Quantity of gase thrown into atmosphere was calculated on the area of burned forests and non-forest land, quantity of biomass and burn degree. The burned area was determined using data of TERRA satellite. In 2003, as consequence of large-area forest and non-forest fires, in Zabaykalye 108,3 million tons of gases and aerosols, including 97,7 million tons CO₂ and 9,6 milion ton CO, passed into athmosphere.*

***Key words:** smoke emmissions, forest fires, greenhouse effect, fire smoke, large-area forest fires, Russian Federation, environmental pollutions, toxic gases.*

*Instytut Lasu im. V. N. Sukačeva, Syberyjski Oddział Rosyjskiej Akademii Nauk,
660036 Krasnojarsk, Akademgorodok, trofimova_nv@mail.ru

1. WSTĘP

Zmiany równowagi ekologicznej na Ziemi (globalne ocieplenie, podniesienie poziomu morza, naruszenie warstwy ozonowej, kwaśne deszcze) spowodowały w ostatnich latach wzrost zainteresowania tym problemem. Bada się zależność między procesami zachodzącymi na Ziemi, buduje modele, pozwalające wyjaśnić dzisiejsze zmiany i przewidzieć przyszłe. Modelowanie procesów wymaga regularnego otrzymywania i analizowania obiektywnych danych o różnych komponentach środowiska. Takie dane powinny być zbierane w ciągu długiego okresu oraz pokrywać całą powierzchnię Ziemi. Do zbierania danych o stanie powierzchni Ziemi na całym świecie wykorzystuje się informację otrzymywaną z satelitów.

2. MOŻLIWOŚCI SATELITY TERRA

W maju 2003 r. w Laboratorium Monitoringu Lasu (Instytutu Lasu Syberyjskiego Oddziału Rosyjskiej Akademii Nauk) zainstalowano antenę do odbioru informacji kosmicznych z satelity TERRA. Na pokładzie tego satelity znajduje się spektrometr wysokiej rozdzielczości MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), który pozwala obserwować procesy zachodzące w atmosferze i oceanach oraz na powierzchni Ziemi. Umożliwia on śledzenie temperatury powierzchni Ziemi i oceanu czy kwitnienia glonów w oceanach, a także charakterystykę warstwy chmur i pokrywy śnieżnej, odtwarzanie profili temperaturowych i profili wilgotności. MODIS pozwala na zbieranie w ciągu doby informacji dotyczących całej kuli ziemskiej, z rozdzielczością przestrzenną od 250 m do 1 km. Spektrometr MODIS typu pasywnego ma 490 czujników, o 36 pasmach spektralnych, obejmujących fale widzialne i podczerwone, o długości od 0,4 do 14 μm .

Dane uzyskane spektrometrem MODIS wykorzystuje się do analizy zagrożenia pożarowego i oceny powierzchni spalonych drzewostanów, a także w celu oceny zanieczyszczenia powietrza emisjami toksycznych substancji i gazów szklarniowych, powstających w wyniku pożarów leśnych. Podczas pożaru, w wyniku reakcji chemicznych i procesów fizycznych, następuje bowiem zmiana stanu fizycznego pokrywy roślinnej, wydzielają się różne gazy i cząsteczki substancji pyłowych, które ostatecznie przedostają się do atmosfery.

Poznanie rozmiaru wydzielania się gazów i aerozoli towarzyszących pożarom, a także późniejszego ich osadzania się, jest sprawą niezwykle pilną i ważną ze względu na znaczny udział tych substancji w potęgowaniu efektu szklarniowego. Pierwszoplanowym zadaniem jest obecnie ocena masy gazów i popiołów wyrzucanych do atmosfery podczas pożaru. Ze względu na wpływ aerozoli na najważniejsze cykle biochemiczne, przede wszystkim na globalny bilans węgla, niezwykle ważną jest możliwość zastosowania zdalnych metod pomiaru zmian ilościowych tych substancji.

3. PODSTAWY ZDALNEJ OCENY EMISJI DYMOWYCH

Do oceny jakościowej emisji dymowych do atmosfery z wielkoobszarowych pożarów leśnych wykorzystuje się metodykę określania ilości spalanej biomasy na podstawie zdalnych pomiarów satelitarnych.

Uwolnione podczas spalania biomasy gazy aktywne chemicznie silnie wpływają na procesy zachodzące wewnątrz atmosfery. Regionalne i globalne zmiany w troposferze mogą być związane z powstawaniem kwasów w wyniku spalania biomasy. Pożary leśne są źródłem takich gazów jak: NO, CO₂, CO, O₃, SO₂, CH₄ i inne węglowodory. Spalanie biomasy jest źródłem 38% całkowitej ilości ozonu, 32% tlenku węgla, 20% wodoru i około 39% cząstek węgla organicznego dostających się corocznie do atmosfery (Crutzen i in. 1985; Fishman i in. 1986; Andreae i in. 1988; Browell i in. 1988; Kaufman i in. 1992).

Całkowite i efektywne spalanie substancji organicznej prowadzi do tworzenia się wody i dwutlenku węgla – podstawowych produktów spalania. Na pierwszy rzut oka spalanie biomasy nie wpływa na bilans CO₂ atmosferycznego, ponieważ zwraca ono do atmosfery dwutlenek węgla, związany wcześniej przez rośliny. Jednak w trakcie odnowienia lasu szybkość wiązania węgla uwolnionego wcześniej w wyniku spalania biomasy jest mała i dlatego CO₂ gromadzi się w atmosferze, przyczyniając się do efektu szklarniowego i zmiany klimatu w skali globalnej. Ponieważ udział węgla w suchej masie wynosi aż 45%, określenie ilości spalanej biomasy pośrednio służy do określenia ilości uwolnionego węgla. Biorąc to pod uwagę, obliczono masę gazów wydzielających się wskutek spalania biomasy.

Powierzchnię rozległych pożarów na terytorium Zabajkała w 2003 r. zarejestrowanych za pomocą spektrometri MODIS przedstawiono w tabeli 1. Według danych meteorologicznych, na terytorium objętym badaniami, maksymalne podwyższenie koncentracji produktów spalania w atmosferze utrzymywało się do połowy września (ryc. 1).

4. TECHNIKA ANALIZOWANIA POŻARZYSK NA PODSTAWIE DANYCH TERRA

Do klasyfikacji i analizowania pożarzysk służą pakiety programowe ERDAS IMAGING i ARC MAP. Przy analizie pożarzysk najbardziej przydatny jest obraz dwukanałowy o rozdzielczości 250 m.

W pierwszym etapie opracowywania danych należy zaznaczyć kontury wypalonych powierzchni, z uwzględnieniem pokrywy leśnej i szczegółowych informacji o pożarach, które wystąpiły na danym terytorium. Za powierzchnię pożaru należy przyjąć powierzchnię objętą konturem pożaru w momencie jego

Tabela 1. Powierzchnia wielkich pożarów na terytorium Zabajkale w 2003 roku wg danych spektrometri MODIS

Table 1. Area of large-area fires in Zabajkalye in 2003 after spectroradiometer MODIS data

Jednostki administracyjne Territories and autonomous regions	Powierzchnia pożarzysk, tys. ha Burned area, 000 ha		
	ogółem total	las forest	pow. nieleśna non-forest area
Obwód Irkucki Irkutskiy region	2 872,10	2 753,00	119,10
Ujście Ordyńsko-Buriackie obw. autonomiczny Ust' Ordynskiy Burjatskiy a. o.	174,90	110,80	64,10
Republika Buriacka Respublika Burjatiya	2 488,00	2 302,30	185,70
Agińsko-Buriacki obw. autonomiczny Aginskoy Burjatskiy a. o.	281,30	239,30	42,00
Obwód Czytyński Chitynskiy region	5 914,20	5 402,90	511,30
Obwód Amurski Amurskiy region	2 848,70	2 014,80	833,90
Okręg Chabarowski Chabarovskiy kraj	837,60	732,30	105,30
Ogółem Total	15 416,80	13 555,40	1861,40

zakończenia, to znaczy, gdy następuje likwidacja ognia, na której widoczne są oznaki oddziaływania ognia na roślinność (Suchinin 1991). Obszary robocze wybierane są na podstawie jasności elementów obrazów spektralnych: piksele odwzorowujące obszary wypalone całkowicie lub częściowo uszkodzone przez ogień są z zasady ciemne. Sporządzenie konturów tych ciemnych grup pikseli wykonuje się za pomocą analizy klastrowej (przypisania pikseli do konturów). W następnej kolejności można ocenić geometryczne rozmiary okonturowanych obszarów, tj. obwód i powierzchnię poligonów.

Możliwość popełnienia błędu związana jest z nakładaniem się powierzchni obecnych pożarów na stare pożarzyska, tj. uszkodzeniem pokrywy roślinnej w wyniku pożarów z lat 2000, 2001 i 2002, które są uwzględnione na podstawie analizy danych uzyskanych w tych latach z satelitów serii NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Dysponując informacją o wielkości powierzchni, przez którą przeszedł ogień, można obliczyć ilość spalanej biomasy:

$$M = A \times B \times a \times b$$

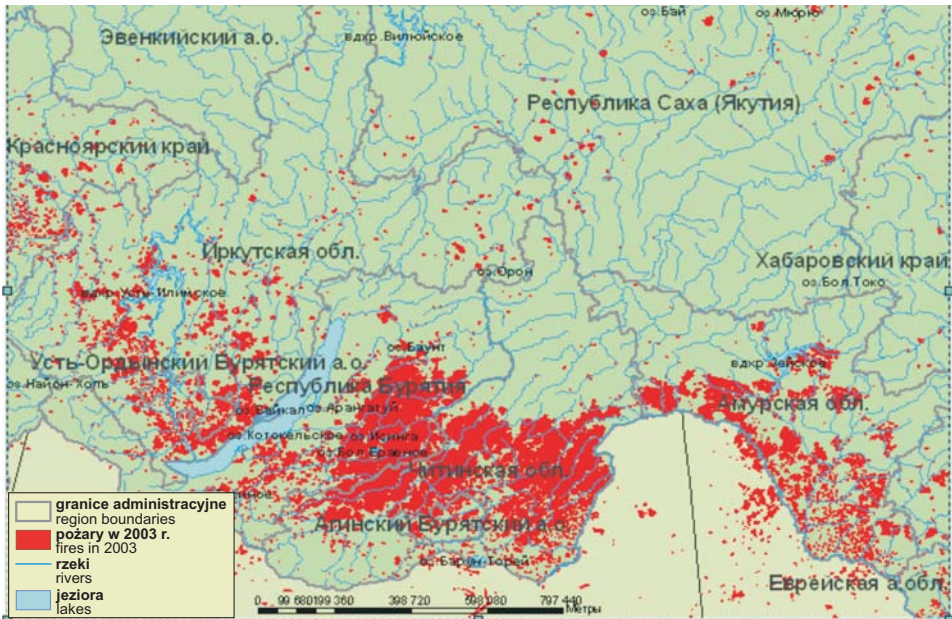
gdzie:

M – ilość biomasy (w gramach suchej masy) spalanej w ekosystemie,

A – wielkość powierzchni, przez którą przeszedł ogień,

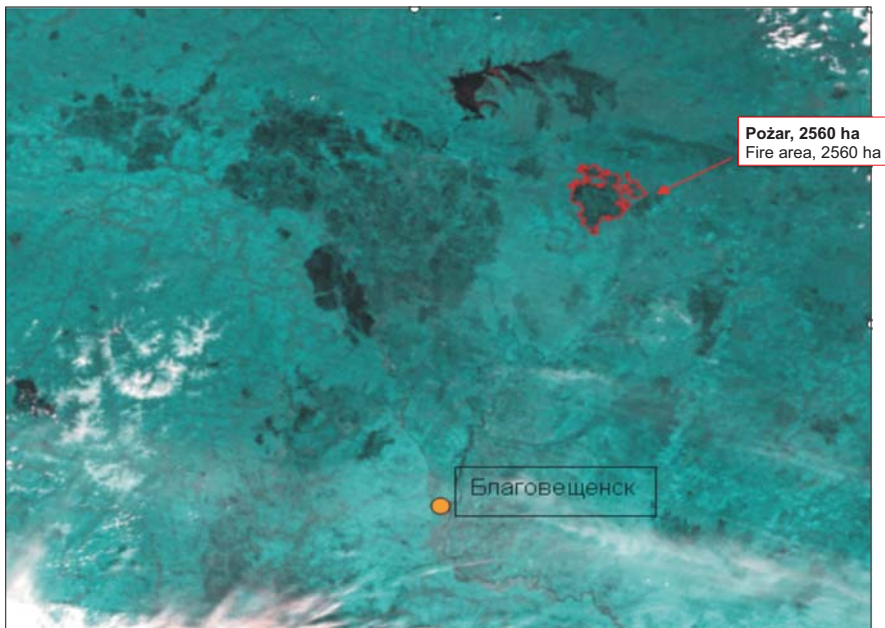
B – średnia ilość substancji organicznej na jednostce powierzchni (tzw. obciążenie ogniowe) w ekosystemie, w g suchej masy/m²,

a – udział leśnych materiałów palnych w ogólnej biomacie,



Ryc. 1. Mapa pożarzysk w jednostkach administracyjnych Federacji Rosyjskiej (fragment)

Fig. 1. Fires map in Russian Federation regions



Ryc. 2. Pożarzysko w obwodzie Amurskim, pow. 2560 ha; zdjęcie MODIS (kanały 1–2) 10.06.2003 r.

Fig. 2. Fire area in amurskiy region (2560 ha) after MODIS photo (canals 1-20), 10.06.2003

b – stopień wypalenia leśnych materiałów palnych.

Stopień wypalenia leśnych materiałów palnych, szybkość rozprzestrzeniania się pożaru, intensywność reakcji spalania zależą od właściwości materiałów palnych, od ich ilości, struktury, wilgotności, składu chemicznego, a także od typu lasu i regionu geograficznego (Kurbatskij 1970, Sofronov 1970). Porównanie ilości materiałów palnych w rejonach badawczych podano w tabeli 2.

Posługując się współczynnikiem wydzielania gazów, według Stock'a^{*}, określono masę substancji wydzielających się wskutek pożaru lasu.

Ogółem podczas spalania na skutek pożarów leśnych na terytorium Zabajkala w 2003 roku do atmosfery wydzielilo się 108,3 milionów ton aerozoli dymowych i gazów toksycznych, w tym 97,7 mln t dwutlenku węgla, 9,6 mln ton tlenku węgla i 0,97 mln ton metanu (tab. 3). Dane te zmuszają do głębokiej refleksji nad szkodami, które corocznie są wyrządzane w środowisku i, bez wątpienia, wpływają na równowagę ekologiczną i nasze zdrowie.

Równowagę ekologiczną środowiska w dużym stopniu określa przenoszenie się mas powietrznych. Wiatry powstające w troposferze sprzyjają procesowi rozpraszania się substancji zanieczyszczających. W układzie horyzontalnym kierunek

Tabela 2. Obciążenie ogniowe obszarów Federacji Rosyjskiej w 2003 r.

Tabela 2. Characteristic of fire risk in Russian Federation in 2003

Jednostki administracyjne Territories and autonomous regions	Ilość substancji organicznej ogółem Organic matter quantity in total t/ha		Leśne materiały palne Forest combustible material t/ha		Stopień wypalenia Share of burnt %	
	lasy forest area	pow. nieleśna non-forest area	lasy forest area	pow. nieleśna non-forest area	lasy forest area	pow. nieleśna non-forest area
Obwód Irkucki Irkutskiy region	200	30	32	30	60	80
Ujście Ordynsko-Buriackie (obw. aut.) Ust' Ordynskiy Burjatskiy a. o.	200	30	30	30	60	80
Republika Buriacka Respublika Burjatiya	180	30	28	30	40	80
Agińsko-Buriacki obw. aut. Aginskiy Burjatskiy a. o.	200	30	30	30	50	80
Obwód Czytyński Chitynskiy region	200	70	25	60	60	80
Obwód Amurski Amurskiy region	180	60	40	50	50	60
Okręg Chabarowski Chabarovskiy kraj	180	55	50	60	40	50

* Współczynniki wydzielania, równe 445 g/kg dla dwutlenku węgla, 45 g/kg dla tlenku węgla, 4,55 g/kg dla metanu.

Tabela 3. Emisje dymowe jako ekwiwalent biomasy na terytorium Zabajkala w 2003 r.

Table 3. Smoke emissions as biomass equivalent in Zabaykalye in 2003

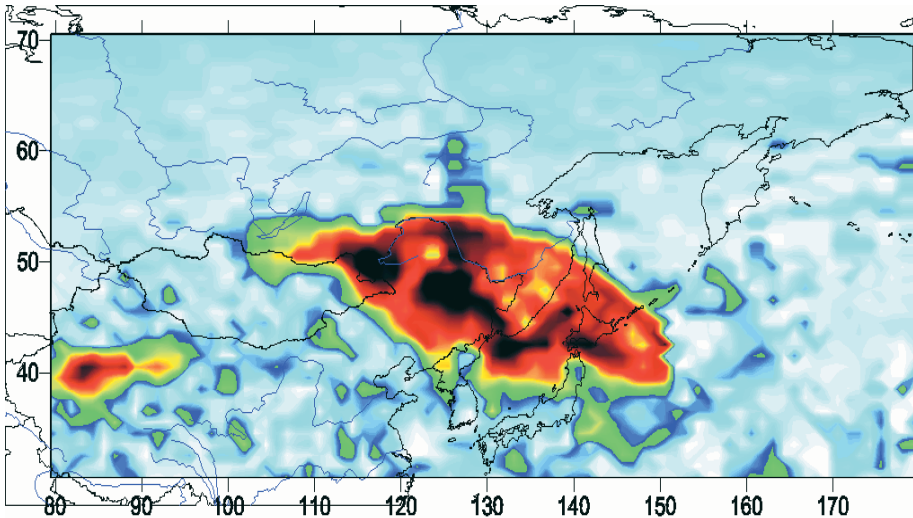
Jednostki administracyjne Territories and autonomous	Gaz Gas	Masa gazu, mln ton Quantity of gases, million tons		
		lasy forest area	pow. nieleśna non-forest area	ogółem total
Obwód Irkucki Irkutskiy region	CO ₂	23,4	1,26	24,66
	CO	2,37	0,12	2,49
	CH ₄	0,24	0,013	0,253
Ujście Ordynsko-Buriackie (obw. aut.) Ust' Ordynskiy Burjatskiy a. o.	CO ₂	0,84	0,66	1,5
	CO	0,085	0,067	0,152
	CH ₄	0,0086	0,0068	0,0154
Republika Buriacka Respublika Burjatiya	CO ₂	11,9	1,98	13,88
	CO	1,19	0,2	1,39
	CH ₄	0,12	0,02	0,14
Agińsko-Buriacki obw. aut. Aginskij Burjatskiy a. o.	CO ₂	2,55	0,45	3
	CO	0,11	0,045	0,155
	CH ₄	0,011	0,0045	0,0155
Obwód Czytyński Chitinskij region	CO ₂	36,4	10,8	47,2
	CO	3,64	1,09	4,73
	CH ₄	0,368	0,11	0,478
Obwód Amurski Amurskiy region	CO ₂	16,1	10,6	26,7
	CO	1,62	1,08	2,7
	CH ₄	0,164	0,1	0,264
Okręg Chabarowski Chabarovskiy kraj	CO ₂	6,31	1,15	7,46
	CO	0,64	0,11	0,75
	CH ₄	0,064	0,011	0,075

przenoszenia szkodliwych domieszek, wydzielających się w rezultacie pożarów powstających w Rosji, określa wiatr wschodni.

Przy ocenie przenoszenia się zanieczyszczonych mas powietrznych, zarówno w rejonie badania, jak i poza jego granicami, uwzględnia się różę wiatrów, czyli rozkład wiatrów z różnych kierunków. Róża wiatrów jest niezbędną charakterystyką warunków klimatycznych danego terytorium i jest brana pod uwagę przy rozwiązywaniu problemów z interpretacją danych dotyczących zanieczyszczeń (Prichod'ko 1986).

Analiza parametrów klimatycznych Zabajkala wykazuje, że panujące tu wiatry sprzyjają procesowi rozpraszania substancji zanieczyszczających. Rozsiewanie i przenoszenie szkodliwych zanieczyszczeń odbywa się przy umiarkowanym wietrze wschodnim o prędkości 3–7 m/s i przy przemieszaniu pionowym o umiarkowanej intensywności.

Przykład rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń dymowych z pożarów na terenie Zabajkala w dniu 15.05.2003, zwizualizowany na podstawie danych z satelity TOMS, jest przedstawiony na rysunku 3. Większa część gazów rozprzestrzeniła się nad terytorium Japonii.



Ryc. 3. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń dymowych z pożarów na terenie Zabajkalia na podstawie danych/ informacji satelity TOMS 15.05.2003 r.

Fig. 3. Dispersing of smoke pollutions from forest fires in Zabaykalye, 15.05.2003, after TOMS satellite data

5. PODSUMOWANIE

Oszacowanie ilości gazów i dymów wyrzucanych do atmosfery w wyniku wielkopowierzchniowych pożarów lasu z wykorzystaniem danych satelitarnych jest jednym z przedsięwzięć podejmowanych w celu przeciwdziałania skutkom zanieczyszczenia powietrza. Z czasem może być elementem stałego monitoringu środowiska.

(tłum. B. U.)

Praca została złożona 10.09.2004 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 18.05.2005 r.

LITERATURA

- Andreae M. O., Browell E. V., Garstang M., Gregory G. L., Harriss R. C., Hill G. F., Jacob D. J., Pereira M. C., Sachse G. W., Setzer A. W., Dias P. L. S., Talbot R. W., Torres A. L., 1988: Biomass-burning emissions and associated haze layers over Amazonia. *J. Geophys. Res.*, 93: 1509-1527.

- Browell E. V., Gregory G. L., Harriss R. C., Kirchhoff V. W. J. H. 1988: Tropospheric ozone and aerosol distributions across the Amazon basin. *J. Geophys. Res.*, Vol. 93, No. D2, February 20: 1431-1451.
- Crutzen, P. J., Delany A. C., Greenberg J., Haagenson P., Heidt L., Lueb R., Pollock W., Seiler W., Wartburg A., Zimmerman P. 1985: Tropospheric chemical composition measurements in Brazil during the dry season. *J. Atmos. Chem.* 2, 233-256.
- Fishman J., Minnis P., Reichle H. 1986: Use of satellite data to study tropospheric ozone on the tropics. *J. Geophys. Res.*, 91(D13): 14, 451-14, 465.
- Kaufman Y., Setzer A., Ward D., Tanre D., Holben B., Menzel P., Pereira M., Rasmussen R. 1992: Biomass Burning Airborne and Spaceborne Experiment in the Amazonas (BASE-A). *J. Geophys. Res.* 97 (D13): 14,581-14,599.
- Kurbatskij N. P. 1970: Issledovanie količestva i svojstv lesnych gorjučich materialov. *Voprosy lesnoj pirologii*. Krasnojarsk, IliD So RAN SSSR: 5-58.
- Prichod'ko M. G. 1986: Spravočnik inženera – synoptika. L. *Gidrometeoizdat*.
- Sofronov M. A. 1970: Ob uslovijach vysychanija lesnych gorjučich materialov pod pologom drevostoev. *Voprosy lesnoj pirologii*. Krasnojarsk, IliD So RAN SSSR: 59-105.
- Suchinin A. J. 1991: Verojatnost' obnaruženija lesnych požarov distancionnymi metodami. *Sb. Lesnye požary i bor'ba s nimi*. Izd. BNIIPOMleschoz, Krasnojarsk: 56-69.