

Evgenij I. Ponomarev¹

Występowanie pożarów lasu w Syberii Środkowej w zależności od szerokości geograficznej i ocena uszkodzenia lasów

Geographic conditionality of wildfires and estimation of damages of forests of Central Siberia

Abstract. The database of forest wildfires that occurred in Central Siberia in the years 2006 and 2007 was created on the basis of satellite image analysis. The database allowed to construct an up-to-date map of fire hazards and depict the geographic distribution of forest and non-forest fires during fire season. The duration of the active burning phase for the majority (88%) of forests in the region was 1 day. The spatial-temporal distribution of forest fires indicates a maximum fire risk at the end of June and the beginning of July and in southern regions - also in spring and autumn. The analysis of images with depicting damage to forestland allows to state that c. 30–40% are the stands with different degree of damage of which less than c. 30% show weak signs of recovery.

Keywords: forest wildfire, fire distribution, forest damage, fire hazard regions.

1. Wstęp

W Syberii Środkowej w ostatnich dziesięcioleciach intensywnie wzrasta powierzchnia terenów zagospodarowanych rolniczo. Jednocześnie zwiększa się antropogeniczne oddziaływanie na środowisko przyrodnicze, szczególnie na las. Stopień zagospodarowania terytorium, a zwłaszcza działalność rolnicza i przemysłowa, wpływa na stan lasów, dynamikę ich rozwoju i odbudowy, a także na palność lasu. Zmiany częstotliwości pożarów lasu i zagrożenia pożarowego aktualizowane są na podstawie wyników badań związanych z rejonizacją Syberii Środkowej pod względem zagrożenia pożarowego, niezbędną do zwiększenia skuteczności pracy służb ochrony przeciwpożarowej lasu.

W pracy wykorzystano dane o pożarach lasu uzyskane w latach 1996–2007 r. dzięki analizie multispektralnych zdjęć satelitarnych, wykonanej w Laboratorium Monitoringu Lasu Instytutu Lasu im. V. N. Sukačeva Sybirskiego Oddziału Rosyjskiej Akademii Nauk (Krasnojarsk). Wykrycie za pomocą aparatury satelitarnej leśnych pożarów małopowierzchniowych – do 100 ha, nie zawsze jest możliwe z powodu niskiej rozdzielczości wykorzystywanych radiometrów (NOAA/AVHRR i TERRA/MODIS). Udaje się to tylko

w przypadku pożarów o wysokiej intensywności i w warunkach wyjątkowo korzystnych do wykonania zdjęcia. Informację o pożarach małopowierzchniowych uzupełniono zatem danymi z krasnojarskiej służby lotniczej ochrony lasów.

2. Ogólna charakterystyka terenu badań pod względem zagrożenia pożarowego

Ocena zagrożenia pożarowego obszarów Syberii Środkowej jest bardzo złożona, toteż zarówno sama ocena, jak i zasady rejonizacji zagrożenia pożarowego lasów wielokrotnie ulegały korekcie, wraz ze zmieniającą się częstotliwością występowania pożarów lasu. Idea oceny zagrożenia pożarowego w Rosji (b. ZSRR) została zapoczątkowana przez I. S. Melechowa (1946) i rozpowszechniona na terenie Syberii i Dalekiego Wschodu przez G. A. Mokeeva (1961). Lesistość terenu, naturalny skład gatunkowy lasów, rzeźba terenu i czynniki klimatyczne posłużyły jako podstawy do rejonizacji zagrożenia pożarowego zasobów leśnych ZSRR (Lapšin et al. 1971, Kireev 1979, Mjačkova 1983, Kurbatskij et al. 1987).

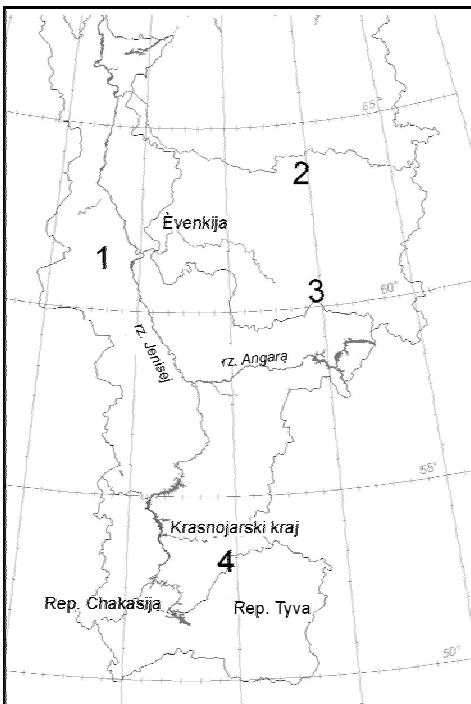
¹ Instytut lesa im. V.N. Sukačeva SO RAN, 660036, Krasnojarsk, Akademgorodok Rosja, e-mail: evg@ksc.krasn.ru

Na terenie Syberii Środkowej w granicach Kraju Krasnojarskiego i sąsiednich regionów wyróżniono (Sofronov 1978, Valendik 1990) następujące obszary (ryc. 1):

1. Rejon Ob-Jenisejski (Ob'-Enisejskij) ze zwartymi lasami sosnowymi na terenach wtórnie zabagnionych. W okresie lata nierzadko występują tutaj okresy suszy wskutek napływu suchego powietrza z Azji Środkowej (Mongolii). Okres zagrożenia pożarowego trwa od maja do września. Największą palność według statystyk obserwuje się w czerwcu – lipcu.

2. Rejon Tunguski (Tungusskij) z borealnymi lasami iglastymi, zwartymi i prześwietlonymi, zajmujący północno-zachodnią część płaskowyżu środkowosyberyjskiego. Na północy jego granica przechodzi wzdłuż pogórza Putoranu, a na południu wzdłuż wododziału rzek Podkamiennoj Tunguskiej i Angary. Tutaj sezon zagrożenia pożarowego trwa dwa miesiące (środek lata).

3. Rejon Priangarskij, gdzie przeważają prześwietlone lasy iglaste, ograniczony wododziałem rzek Podkamiennoj Tunguskiej i Angary na północy, a odnogami pasma gór Wschodniego Sajaju na południu.



Rycina 1. Obszary zagrożenia pożarowego lasów Syberii Środkowej w granicach Krasnojarskiego Kraju (Krasnojarskij Kraj) i sąsiednich rejonów:

1 – Ob'-Enisejskij, 2 – Tungusskij, 3 – Priangarskij, 4 – Altae-Sajanskij

Figure 1. Forest fire hazard areas in Central Siberia within the confines of Krasnojarskij Kraj and neighbouring regions: 1 – Ob'-Enisejskij, 2 – Tungusskij, 3 – Priangarskij, 4 – Altae-Sajanskij

Okres zagrożenia pożarowego zaczyna się tutaj w drugiej dekadzie maja i trwa do września. W czerwcu i lipcu występują długotrwałe okresy bezdeszczowe, co praktycznie każdego roku prowadzi do ekstremalnego zagrożenia pożarowego.

4. Rejon Altae-Sajanskij – strefa górską południowej Syberii, włącznie z terytorium Republiki Tuwy (Tywa). Okresem roku o największym zagrożeniu pożarowym jest wiosna. Na wzniesieniach, porośniętych lasami sosnowymi, i na stokach Kotliny Tuwińskiej, pokrytych głównie liściastymi typami lasu z pokrywą trawiastą, pożary powstają już w kwietniu. Latem, w związku z nasileniem się aktywności cyklonów, a także wraz rozwojem traw, palność lasów w Republice Tuwy zmniejsza się.

3. Aktualna sytuacja dotycząca pożarów lasu na terenie Syberii Środkowej

Wykorzystywana w praktyce technologia pozwala interpretować dane monitoringu satelitarnego i tworzyć operacyjną bazę danych o pożarach lasu. Strefy aktywne termicznie, zarejestrowane na obrazach satelitarnych, są dzielone na pożary leśne i nieleśne (pożary stepowe i użytków rolnych). Ponadto przeprowadzana jest inwentaryzacja uszkodzonych powierzchni, oceniane są parametry energetyczne pożarów i czas trwania aktywnej fazy spalania. Corocznie uzupełniana baza danych zawiera informacje o pożarach w latach 1996-2007 (Kucenogij 2006).

Na terenie Krasnojarskiego Kraju, włącznie z Tajmyrem i Ewenkijskim Okręgiem Autonomicznym, a także w republikach Chakasji i Tuwy, w sezonie pożarowym 2007 r. odnotowano na podstawie zdjęć satelitarnych ponad 3500 stref aktywnych termicznie (tab. 1). W ostatnim dziesięcioleciu zwiększył się udział pożarów lasu występujących na tych samych terenach oraz nastąpiło znaczne zwiększenie powierzchni lasów co roku narażonych na oddziaływanie ognia. Nierzadko masowo występujące pożary leśne obserwuje się w rejonach północnych, gdzie z punktu widzenia ekologicznego, rozmiar uszkodzeń lasów borealnych może być katastrofalny (Valendik et al. 1996, Ivanova et al. 2005, Vaganov et al. 1998). W takich przypadkach rola systemu monitoringu satelitarnego jest najistotniejsza, ponieważ praktycznie nie jest możliwe patrolowanie lasów przez służby ochrony lotniczej (Ponomarev et al. 2006, Loupian et al. 2006).

Na szczególnie wysokim poziomie utrzymywały się wskaźniki palności w sezonie zagrożenia pożarowego w latach 2003-2007 (ryc. 2).

Dane pochodzące z lat 2006-2007 wskazują, że pożary nieleśne występują na ogół w strefie między 51° a

Tabela 1. Pożary wykryte w 2007 r.

Table 1. Fires detected in 2007

Podmiot Federacji Rosyjskiej CIS regions	Liczba stref aktywnych termicznie Number of fire active zone			Powierzchnia (tys. ha) Area in '000 ha		
	ogółem total	leśnych forest	nieleśnych non-forest	ogółem total	leśna forest	nieleśna non-forest
	Krasnojarski Kraj	1952	779	1173	1022	562
Evenkija	93	93	0	94	94	0
Tajmyr	20	5	15	4,5	1,4	3,1
Republika Chakasja	753	258	495	570	340	230
Republika Tuvy	708	462	246	555	370	185
Ogółem Total	3526	1597	1929	2245,5	1367,4	878,1

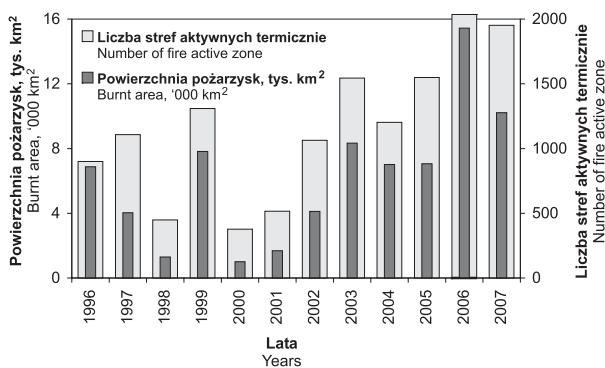
**Rycina 2. Wskaźniki palności lasów w Krasnojarskim Kraju**

Figure 2. Forest flammability index in Krasnojarskij Kraj

58° szerokości geograficznej północnej, w stepowej i leśno-stepowej strefie południa Krasnojarskiego Kraju, a także w Republice Chakasji (ryc. 3). Najwięcej takich pożarów jest na zaludnionych obszarach, na których wykonywane są prace rolne. Pożary lasów powtarzające się na tych samych miejscach występują głównie w pasie między 55° a 60° szerokości geograficznej północnej. Stanowią one prawie 90% wszystkich pożarów powtarzających się. Jednakże w poszczególnych latach, nawet do 20% pożarów lasu powstaje w mało zaludnionych rejonach północnych (Ivanova et al. 2005). Na przykład w sezonie pożarowym 2006 roku najczęściej pożarów lasu odnotowano na północ od 60° szerokości geograficznej północnej (ryc. 3 a). W 2007 r. udział pożarów, które wystąpiły na północ od 60° szerokości geograficznej wynosił mniej niż 5%. Większość takich pożarów powstaje i rozprzestrzenia się w ekstremalnych warunkach zagrożenia pożarowego, na ogół przypadających na połowę lipca.

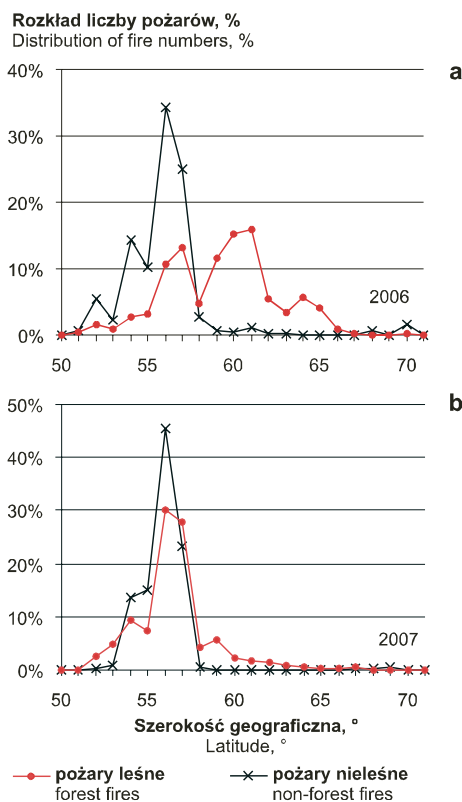
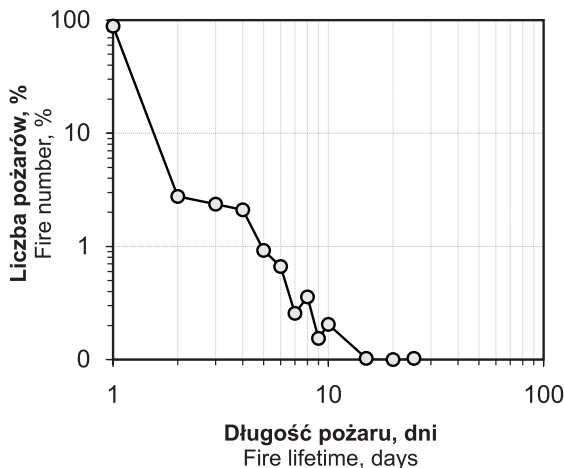
**Rycina 3. Rozkład pożarów leśnych i nieleśnych na terenie Syberii Środkowej w zależności od szerokości geograficznej w latach 2006 (a) i 2007 (b)**

Figure 3. Distribution of forest and non-forest fires in Central Siberia in relation to latitude in the years 2006 (a) and 2007 (b)

Baza danych o pożarach lasu zawiera informacje o długości aktywnej fazy pożaru, od chwili jego wykrycia do momentu ostatniej rejestracji strefy czynnej termicz-

nie. W 2007 roku 88% zanotowanych pożarów było zlokalizowanych, tzn. ugaszonych w ciągu jednej doby (ryc. 4). Pożary dłuższe, trwające 10 dni i dłużej, występują w trudno dostępnych rejonach północnych i niekiedy ich lokalizacja jest możliwa tylko dzięki oddziaływaniu zewnętrznych czynników naturalnych w postaci opadów atmosferycznych.

Rycina 4 ilustruje możliwości służb ochrony przeciwpożarowej lasu, uwarunkowane poziomem materialno-technicznego ich wyposażenia. Coroczny udział pożarów wielkich, o powierzchni ponad 1000 ha, które stanowią nie więcej niż 5% ogólnej liczby pożarów



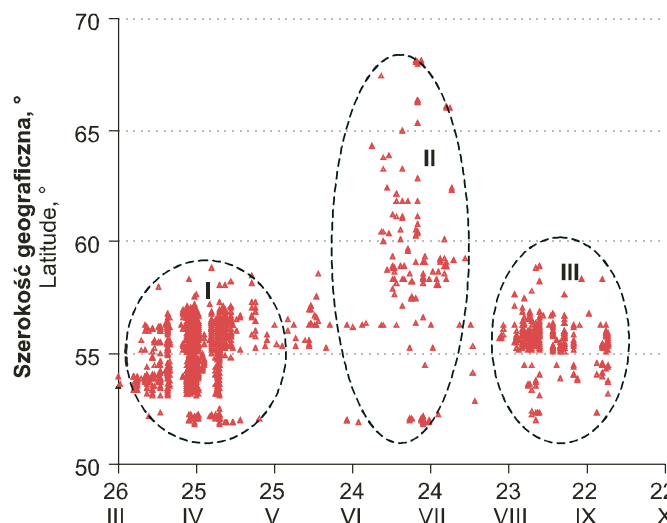
Rycina 4. Rozkład pożarów lasu o różnej długości aktywnej fazy spalania (Krasnojarski Kraj, 2007 r.)

Fig. 4. Distribution of forest fires with different active burning phase (Krasnojarski Kraj 2007)

lecz obejmują do 90% całkowitej powierzchni uszkodzonej przez ogień, jest obiektywnym prognostycznym wskaźnikiem zagrożenia pożarowego dla badanego regionu.

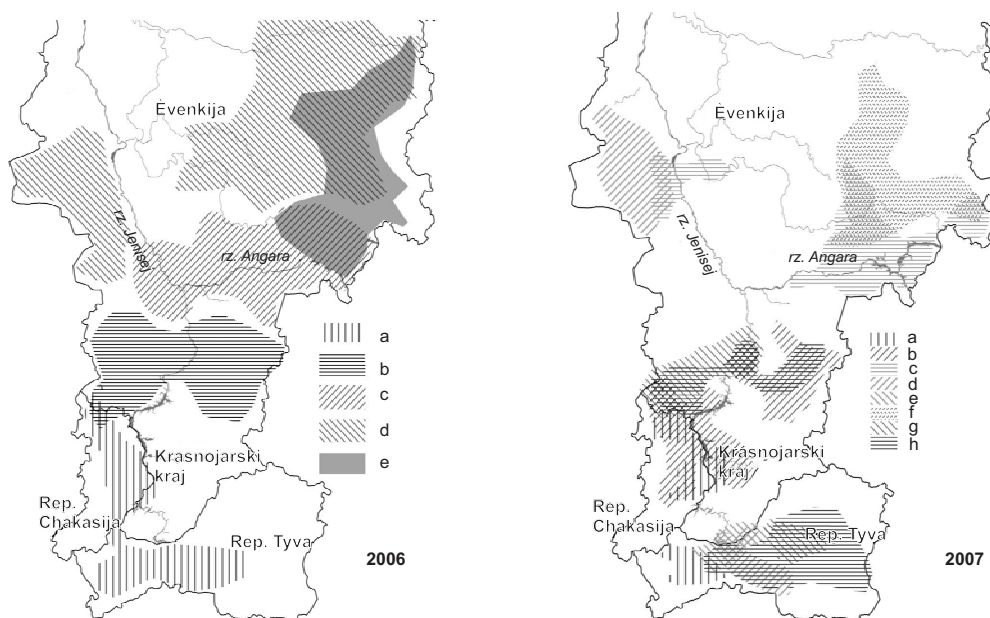
Do skutecznego stosowania strategii przeciwpożarowej konieczne jest dysponowanie danymi o przestrzenno-czasowych prawidłowościach kształtowania się zagrożenia pożarowego w regionie. Taką analizę przeprowadzono na podstawie diagramu ilustrującego aktywność pożarów w zależności od szerokości geograficznej i terminu występowania, na przykładzie sytuacji w sezonie pożarowym 2007 roku (ryc. 5). Obserwowany przestrzenno-czasowy rozkład pożarów wynika przede wszystkim z tego, że na terytorium Syberii Środkowej występuje kilka stref klimatycznych i przyrodniczych. W rezultacie w regionie uformowały się zróżnicowane warunki zagrożenia pożarowego, w których daje się zauważyć zmienność długości sezonu pożarowego i okresów międzypożarowych, oraz specyficzne, charakterystyczne dla różnych typów formacji roślinnych, warunki rozprzestrzeniania się pożarów, a następnie popożarowej restytucji lasów (Ivanova et al. 2005, Kurbatskij et al. 1987, Valendik et al. 2001).

Okresy maksymalnej aktywności pożarowej na terenie Syberii Środkowej (ryc. 5) są charakterystyczne dla danego regionu i powtarzają się co roku. Zwraca uwagę fakt, że maksymalne liczby pożarów wiosennych (ryc. 5, I) i jesiennych (ryc. 5, III) są związane z południowym rejonem kraju, obszarami republik Chakasji i Tuwy, podczas gdy letnie maksimum (ryc. 5, II) jest związane na ogół z rejonem Priangar'ja i Evenkijskiego Okręgu Autonomicznego (występowanie



Rycina 5. Sezonowe i przestrzenne zróżnicowanie występowania pożarów na terenie Syberii Środkowej w 2007 roku: I, II, III – czasowe przedziały maksimum aktywności występowania pożarów

Figure 5. Seasonal and spatial variation of fire risk in the territory of Central Siberia in 207: I, II, III – maximum fire risk time intervals



Rycina 6. Sezonowe zróżnicowanie występowania pożarów. Na lewo: w 2006 r., a – kwiecień, b – maj, c – czerwiec, d – przelom czerwca i lipca, e – maksimum pożarowe na przelomie lipca i sierpnia; na prawo w 2007 r.: a, b – wiosną; c, d, e – latem; f, g, h – na przelomie lata i jesieni

Figure 6. Seasonal variation of fire risk. On the left: 2006, a – April, b – May, c – June, d – June/July, e – fire peak in July/August; on the right: in 2007, a, b – spring; c, d, e – summer; f, g, h – summer/autumn.

pożarów lasu na diagramie rozciąga się do 70° szerokości geograficznej).

Analiza uzyskanych materiałów w powiązaniu z danymi geograficznymi pozwoliła opracować schematy map występowania pożarów lasu w zależności od szerokości geograficznej dla Krasnojarskiego Kraju i regionów sąsiednich (ryc. 6). Odzwierciedlają one przestrzenne sezonowo-fenologiczne zróżnicowanie warunków zagrożenia pożarowego lasu, na które składają się różnorodne warunki pogodowe i zróżnicowanie typów roślinności, a także występowanie naturalnych i antropogenicznych czynników pojawiania się źródła ognia w lasach.

W ciągu sezonu pożarowego odnotowuje się geograficzne zróżnicowanie występowania pożarów lasu, zarówno w aspekcie szerokości jak i długości geograficznej. Podział na strefy pod względem aktywności występowania pożarów lasu jest wyraźny w drugiej połowie lata na zachód od rzeki Jenisej, powyżej ujścia rzeki Angary i we wschodnich rejonach Ewenkij-skiego Okręgu Autonomicznego.

Opracowane mapy pozwalają śledzić kierunek zmian stref aktywności pożarów w ciągu sezonu, a tym samym prognozować kształtowanie się warunków zagrożenia pożarowego w lasach Syberii Środkowej, co jest niezbędne do opracowania ogólnej strategii działań w zakresie ochrony przeciwpożarowej w regionie.

4. Uszkodzenie lasów na skutek kompleksowego oddziaływania czynników antropogenicznych i naturalnych

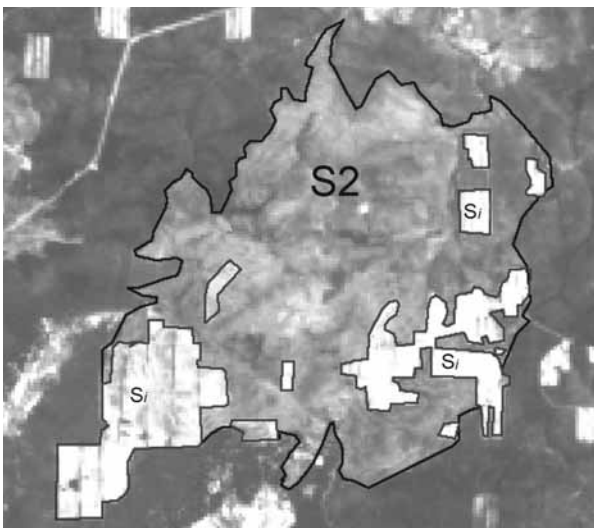
Wykorzystanie danych satelitarnych do oceny kondycji zdrowotnej lasów Syberii Środkowej jest następnym etapem systemu monitoringu lasów (Burjak et al. 2007, Suchinin et al. 2006). Przy opracowywaniu tego zagadnienia wykorzystano materiały zdjęciowe ze stosunkowo nowego międzynarodowego systemu satelitarnego DMC (Disaster Monitoring Constellation, http://www.dmcii.com/about_us_constellation.htm). Na zdjęciach, na podstawie kombinacji charakterystyk spektralnych, wydzielono klasy różnego stopnia uszkodzenia lasów w rejonie Priangar'ja (Ponomarev et al. 2007). Wyniki analizy obrazów, usystematyzowane w postaci banku danych, odzwierciedlają skalę oddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych, a także bieżący stan lasów Syberii Środkowej.

Wyniki analizy obrazów satelitarnych pozwalają stwierdzić, że średnio około 30-40% powierzchni lasów Syberii Środkowej to lasy uszkodzone w różnym stopniu, a słabe oznaki restytucji lasu są widoczne jedynie na powierzchni stanowiącej nie więcej niż 30% uszkodzonych lasów.

Tabela 2. Powierzchnia lasów uszkodzonych w wybranych leśnictwach

Table 2. Area of damaged forests in the territory of selected Forest Inspectorates

Leśnictwo Forest district	Ogólna powierzchnia	Powierzchnia zrębów		Powierzchnia zrębów objęta pożarem		$\frac{S_2}{\sum S_i}$
	Total area	Cutting area		Fire afflicted cutting area		
	'000 ha	'000 ha	%	'000 ha	%	
Bogućanskoe	119	2,1	1,8	25,2	21,2	12,0
Gremučinskoe	879	26,8	3,0	179,8	20,5	6,8
Manzenskoe	85	3,2	3,8	16,4	19,3	5,1
Nevonskoe	540	6,8	1,3	62,2	11,5	9,1
Karabul'skoe	139	12,8	9,2	83,1	59,8	6,5

**Rycina 7. Pożary lasu na zrębach w rejonie rzeki Angary w 2005 r.: S₁ – powierzchnie zrębów; S₂ – powierzchnia pożarzyska**Fig. 7. Forest fires on cutting areas in the Angara river region in 2005: S₁ – cutting areas, S₂ – burnt area

W strefie tajgi środkowej i na północy tajgi południowej znajdują się znaczne zasoby leśne, szczególnie cenne pod względem eksploatacyjnym. Jednocześnie zręby stanowią same w sobie ogniska podwyższonego zagrożenia pożarowego, a powstające tu pożary rozprzestrzeniają się także na sąsiednie drzewostany. Takie pożary mogą powtarzać się w ciągu jednego sezonu, co w rezultacie istotnie zwiększa statystykę uszkodzonych powierzchni. Na rycinie 7 przedstawiono przykład rozprzestrzenienia się pożaru lasu na terenie zrębów. W wyniku wielokrotnego spalania się takich terenów zachodzi możliwość ich stepowania (Burjak et al. 2007).

Wyniki badań dotyczące lasów w rejonie rzeki Angary (tab. 2) świadczą, że powierzchnia pożarzysk

przewyższa średnio 5–12 razy powierzchnię zrębów, na których pożar lasu zaczyna się rozwijać. W ten sposób, oddziaływanie antropogeniczne jest nie tylko jednym z czynników wpływających bezpośrednio na lasy Syberii Środkowej, ale jest również pośrednią przyczyną uszkodzeń wskutek ognia, co powinna ujawnić analiza przyczyn pożarów lasu i ich skutków.

Thum. B. Ubysz

Literatura

- Burjak L.V., Luzganov A.G., Ponomarev E.I., Moskal'chenko S.V. 2007. Pożary na naruśnionych terytorijach Priangar'ja i Pribajkal'ja. Tez. Międzynarodowej konferencji „Sopražajennye zadači mechaniki reagirujuščich sred, informatiki i ekologii”, Tomsk, 26-27.
- DMC International Imaging Ltd – Remote Sensing Data Solutions. http://www.dmcii.com/about_us_constellation.htm
- Ivanova G.A., Volosatova N.A., Kukavskaja E.A., Makrae D.D., Konard S.G. 2005. Emissii uglewoda pri požarach v sosnjakach Srednej Sibiri. Distancionnye metody v lesostrojstwie i učete lesov. Pribory i technologii. Institut lesa, Krasnojarsk, 51-54.
- Kireev D.M. 1997. Struktura taeżnych landšaftov i metody ee distancionnogo izučeniya. Issledovanie tajożnych landšaftov distancionnymi metodami. *Nauka*, Novosibirsk, 11–44.
- Kucenogij K.P. (red.) 2006. Aerzoli Sibiri. Izd-vo SO RAN, Novosibirsk, 548 s.
- Kurbatskij N.P., Ivanova G.A. 1987. Pożaropasnost' sosnjakov lesostepi i puti ee sniženija. ILiD, Krasnojarsk, 112 s.
- Lapšin E.I., Gorbačev V.N., Chramov A.A. 1971. Rastitel'nost' i počvy Enisejskogo krjaża (jużnaja čast'). Rastitel'nost' pravoberež'ja Eniseja. *Nauka*, Novosibirsk, 21–66.
- Loupian E.A., A.A. Mazurov, E.V. Flitman, D.V. Ershov, G.N. Korovin, V.P. Novik, N.A. Abushenko, D.A. Altyntsev, V.V. Koshelev, S.A. Tashchilin, A.V. Tatarnikov, I. Ciszar, A.I. Sukhinin, E.I. Ponomarev, S.V. Afonin, V.V. Belov, G.G. Matvienko and T. Loboda. 2006. Satellite

- Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11, 1: 113-145.
- Melechov I. S. Sezony lesnych požarov i postroenie geografičeskoj shemy lesopożarnych pojasov. 1946. *Sb. n.-i. rabot ALTI* (Archangel'sk), 8: 1-15.
- Mjačkova N.A. 1983. Klimat SSSR. MGY, Moskva, 190 s.
- Mokeevev G.A. 1961. Pożaropasnye pojasa i vremja naibolee sil'nogo razvitija lesnych požarov. *Lesnoe Chozjajstvo*, 8: 53-57.
- Ponomarev E.I., Sukhinin A.I., McRae D.J. 2006. Daily wildland fire danger mapping using satellite data in Siberia. *Forest Ecology and Management*, 234, 1, 73.
- Ponomarev E.I., Burjak L.V. 2007. Issledovanie primenimosti s'jomki so sputnikov serii DMC dlja monitoringa narušenosti lesov. *Geografija i prirodnye resursy*, 4: 135–139.
- Sofronov M.A. 1978. Lesnoe rajonirovanie Goslesfonda SSSR. Gorenje i požary v lesu. ILiD SO AN SSSR, Krasnojarsk, 108-109.
- Suchinin A.I., Burjak L.V., Ponomarev E.I., Byčkov V.A. 2006. Geoinformacionnaja sistema i distancionnye dannye primenitel'no k zadače monitoringa narušenosti lesov Nižnego Priangar'ja. *Vestnik TGU*, 18: 179-185.
- Vaganov E.A., Furjaev V.V., Suchinin A.I. 1998. Požary sibirskoj tajgi. *Priroda*, 7: 51-62.
- Valendik E.N. 1990. Bor'ba s krupnymi lesnymi požarami. Nauka, Novosibirsk, 193 s.
- Valendik E.N., Ivanova G.A. 1996. Ekstremal'nye požaropasnye sezony v boreal'nych lesach Srednej Sibiri. *Lesovedenie*, 4: 12-19.
- Valendik E.N., Ivanova G.A. 2001. Pożarnye režimy v lesach Sibiri i Dal'nego Vostoka. *Lesovedenie*, 4: 69-76.