

С.В. Афонин, В.В. Белов

Система космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области. Часть 2. Оценка эффективности космомониторинга

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 15.03.2001 г.

Представлены результаты анализа эффективности космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области в 1998–2000 гг. Результаты получены путем сравнения спутниковой информации с данными Томской авиабазы охраны лесов о лесных пожарах, зафиксированных в области за три пожароопасных сезона. Исследована зависимость вероятности обнаружения лесных пожаров при тематической обработке данных прибора AVHRR/NOAA от характеристик пожаров и условий наблюдений.

Введение

В работе [1] обсуждались организационные моменты и некоторые проблемы проведения космомониторинга лесных пожаров (КМЛП), который осуществляется в Томской области с 1998 г. на базе созданного в Институте оптики атмосферы СО РАН Центра приема и обработки информации со спутников NOAA. Цель данной работы – проанализировать эффективность применения спутниковых оптических систем для обнаружения лесных пожаров и сравнить с данными наземных и авиационных служб охраны лесов. В литературе этот вопрос, к сожалению, освещен не достаточно подробно, в большинстве случаев (например, [2–4]) приводятся лишь общие показатели, которые не позволяют в полной мере изучать все аспекты вопроса об эффективности применения спутниковых технологий для оперативного мониторинга лесных пожаров.

С помощью специальной компьютерной программы нами выполнен комплексный анализ результатов КМЛП в Томской области, относящихся к пожароопасным сезонам 1998–2000 гг. В качестве тестовой информации использовались данные Томской авиабазы охраны лесов о пожарах, которые были зафиксированы в области службами пожароохраны лесов за указанный трехлетний период. Исследование вопроса об эффективности функционирующей в области системы космомониторинга лесных пожаров проводилось по следующим основным направлениям: а) оценка общей результативности КМЛП и эффективности раннего (по сравнению со службами пожароохраны лесов) обнаружения лесных пожаров со спутников; б) зависимость результатов космомониторинга от площади пожаров; в) информативность данных КМЛП в различное время суток.

1. Характеристики пожаров

При сравнении спутниковой информации с тестовой использовались следующие ключевые характеристики очагов:

- 1) географические координаты (широта и долгота), дополняемые азимутом и расстоянием до пожара от места базирования авиаотделения;
- 2) даты и времена обнаружения ($T_{\text{обн}}$), локализации ($T_{\text{лок}}$) и ликвидации ($T_{\text{лик}}$) пожара;
- 3) площади пожара в момент его обнаружения ($S_{\text{обн}}$) и в момент его ликвидации ($S_{\text{лик}}$).

Для статистической обработки данных и построения гистограмм диапазон значений площади пожара S разбивался на 14, а диапазон значений длительности пожара [$T_{\text{обн}}$, $T_{\text{лик}}$] – на 11 подынтервалов. С целью оценки эффективности раннего обнаружения со спутников лесных пожаров временной интервал его существования расширялся до [T_0 , $T_{\text{лик}}$], где $T_0 = T_{\text{обн}} - dT$ (dT зависит от $S_{\text{обн}}$). Кроме того, в процессе выполнения некоторых блоков программы компьютерного анализа проводилась приближенная оценка площадей очагов $S(T)$ в моменты времени T сеансов космомониторинга.

Для каждого спутникового снимка с помощью этих характеристик выполнялась следующая процедура:

- по географическим координатам составлялась карта пространственного расположения обнаруженных со спутника высокотемпературных аномалий;
- составлялась карта пространственного расположения тех очагов пожаров, временной интервал поиска которых [T_0 , $T_{\text{лик}}$] соответствовал времени приема снимка (в некоторых случаях их число достигало 75);
- осуществлялось сравнение двух карт и по заданному пространственному критерию отбирались совпадающие пары объектов с учетом их пространственных

размеров и вероятности присутствия очага на снимке, которая считалась равной 1 в интервале $[T_{\text{обн}}, T_{\text{лок}}]$ и стремилась к нулю при $T \rightarrow T_0$ или $T \rightarrow T_{\text{лик}}$.

Для получения общего представления о лесных пожарах в Томской области на рис. 1 приведены сводные за 1998–2000 гг. данные о некоторых характеристиках очагов: а) карты пространственного распределения пожаров по территории области (рис. 1,а); б) гистограмма распределения пожаров по их площади $S_{\text{лик}}$ (рис. 1,б); в) по длительности временного интервала $[T_{\text{обн}}, T_{\text{лик}}]$ (рис. 1,в).

Анализ приведенных на рис. 1 данных позволяет сделать следующие выводы.

1. Несмотря на различную плотность пространственного распределения очагов пожаров, преобладающая часть территории области является потенциально пожароопасной.

2. Представленные на рис. 1,б,в распределения имеют сравнительно небольшие (менее 6–7%) межго-

довые флуктуации, хотя следует отметить отсутствие в 2000 г. крупных (максимальная площадь – 180 га) и длительных пожаров.

3. Из данных на встроенных рисунках (интегральные функции распределений) следует, что количество малоразмерных очагов площадью менее 1 га составляет в среднем около 60%, а число «коротких» по длительности (менее 12 ч) пожаров превышает в среднем 50%. Таким образом, можно ожидать, что свыше 50% пожаров имеют низкую вероятность обнаружения их со спутника.

2. Анализ эффективности космомониторинга

Прежде всего, обратимся к табл. 1, где для каждого года (1998–2000 гг.) по месяцам приведены итоговые результаты космомониторинга лесных пожаров в Томской области, а именно:

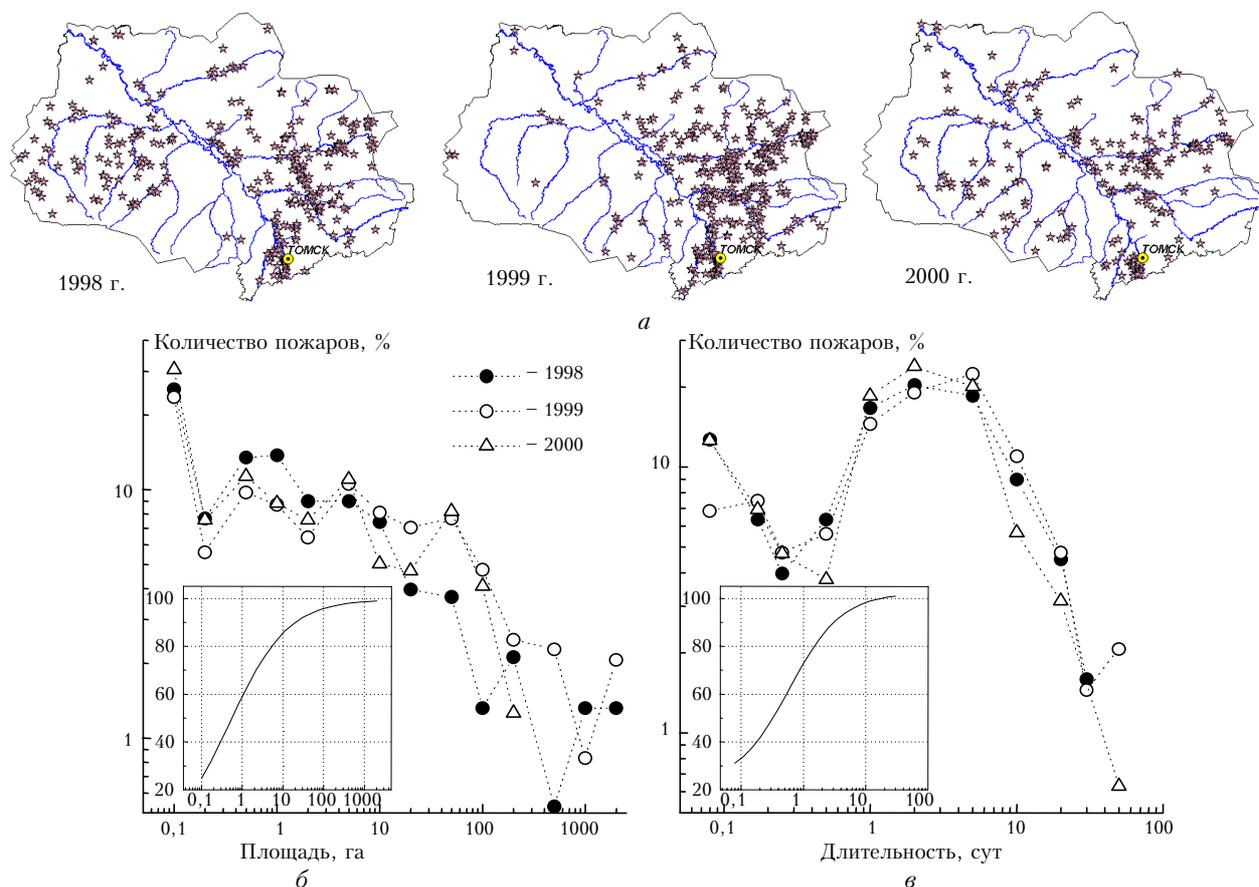


Рис. 1. Характеристики лесных пожаров

Таблица 1

Итоговые результаты космомониторинга лесных пожаров за 1998–2000 гг.						
Характеристика	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Всего
1	2	3	4	5	6	7
1998 г.						
Число пожаров	24	32	175	147	–	378 (–87)
Облачность, %	34,6	49,3	20,1	46,4	–	–
Обнаружено пожаров	6	2	38	51	–	97
Раннее обнаружение	5	1	11	25	–	42

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
				1999 г.		
Число пожаров	60	31	199	132	60	482 (–80)
Облачность, %	45,7	55,6	28,5	49,6	61,8	–
Обнаружено пожаров	39	9	72	51	22	193
Раннее обнаружение	20	0	23	33	10	86
				2000 г.		
Число пожаров	47	93	110	49	19	318 (–57)
Облачность, %	59,0	35,5	46,9	48,6	70,4	–
Обнаружено пожаров	16	25	26	8	2	77
Раннее обнаружение	6	18	9	1	0	34
Всего пожаров			1178 (–224)			
Обнаружено			367, или 31,2% (38,5%)			
Раннее обнаружение			162, или 13,8% (17,0%)			

Примечание. В скобках со знаком минус дано число пожаров, которые невозможно было обнаружить со спутника.

– число пожаров, зафиксированных томскими службами пожароохраны лесов;

– среднее за месяц количество облачности – относительный размер территории области, недоступной для космомониторинга подстилающей поверхности;

– общая результативность КМЛП – суммарное количество обнаруженных со спутников лесных пожаров;

– эффективность раннего обнаружения пожаров (РОП) – количество очагов, обнаруженных со спутников раньше, чем они были зафиксированы службами пожароохраны лесов.

Из табл. 1 следует, что общая результативность космомониторинга очагов пожаров для различных лет находится в диапазоне 24–40%. Всего из 1178 лесных пожаров со спутников в 1998–2000 гг. было обнаружено 367 очагов, т.е. более 31% от их общего количества. Эффективность раннего обнаружения пожаров (РОП) лежит в интервале 11–18% (162 очага), а в среднем за 3 года составляет около 14%.

При оценках эффективности КМЛП целесообразно учесть тот факт, что часть очагов (или условий наблюдения) имели характеристики, которые делают их обнаружение со спутника практически невозможным. Это связано со следующими причинами: а) длительность пожара настолько мала, что интервал $[T_{\text{обн}}, T_{\text{лик}}]$ лежит между моментами ближайших к данному интервалу сеансов КМЛП; б) расстояние между очагами (пересекающимися по интервалам существования) составляет менее 2 км, т.е. они не могут быть пространственно разделены на снимках; в) очаг закрыт плотной облачностью в течение всего временного интервала $[T_{\text{обн}}, T_{\text{лик}}]$. В табл. 1 в колонке «Всего» в круглых скобках приведено число таких очагов для каждого года (15–25% от общего количества пожаров), хотя указанная величина, по нашему мнению, является явно заниженной (это следует хотя бы из того факта, что здесь не учтен такой мешающий для обнаружения малоразмерных очагов фактор, как наличие лесного полога в зоне развития очага для 96% пожаров). При вычитании из общего количества пожаров этих недоступных для обнаружения со спутника очагов общая результативность космомониторин-

га возрастает в среднем до 38,5%, а средняя эффективность раннего обнаружения очагов достигает уже 17%.

Обратимся к данным на рис. 2. На рис. 2,а для каждого года дана временная зависимость количества облачности (степень закрытости территории облаками) и эффективности обнаружения очагов со спутников (для каждого месяца указаны средние значения количества облачности). По понятной причине они связаны тесной отрицательной корреляцией, когда максимальная результативность космомониторинга приходится на малооблачные периоды. На рис. 2,б,в представлены гистограммы распределений эффективности раннего обнаружения от площади $S_{\text{обн}}$ (см. рис. 2,б) и общей результативности КМЛП от площади $S_{\text{лик}}$ (см. рис. 2,в). Используя данные рис. 2,в, можно выделить следующие оценки результативности космомониторинга в зависимости от площади пожара: до 20% для S менее 1 га, 40–55% для $S \approx 5$ –10 га и 80–100% для S свыше 50 га. Эти данные хорошо согласуются с выводами работы [4]. Минимальные размеры очагов лесных пожаров, фиксируемые нами со спутников, составляют около 0,1–0,2 га и обнаруживаются с вероятностью порядка 10%.

Из опыта работы служб пожароохраны лесов известно, что при площади очага менее 5 га ликвидация низового пожара осуществляется с высокой вероятностью. Обращаясь к рис. 2,б, можно отметить достаточно высокую (более 20%) эффективность РОП уже при $S \approx 2$ га, которая для значений $S \approx 5$ га возрастает до уровня 30–45%. Таким образом, спутниковая информация может достаточно продуктивно использоваться для раннего обнаружения очагов пожаров еще в ранней стадии их развития, когда ликвидация таких пожаров не будет требовать больших материальных затрат.

Еще одной важной иллюстрацией результатов комплексного анализа являются приведенные в табл. 2 данные об эффективности КМЛП в различное время суток. С этой целью все данные были разделены по различным спутникам и виткам (дополуденные и послепопуденные). Актуальность этого вопроса заключается в существовании схем организации космомониторинга, где используются только послепопуденные

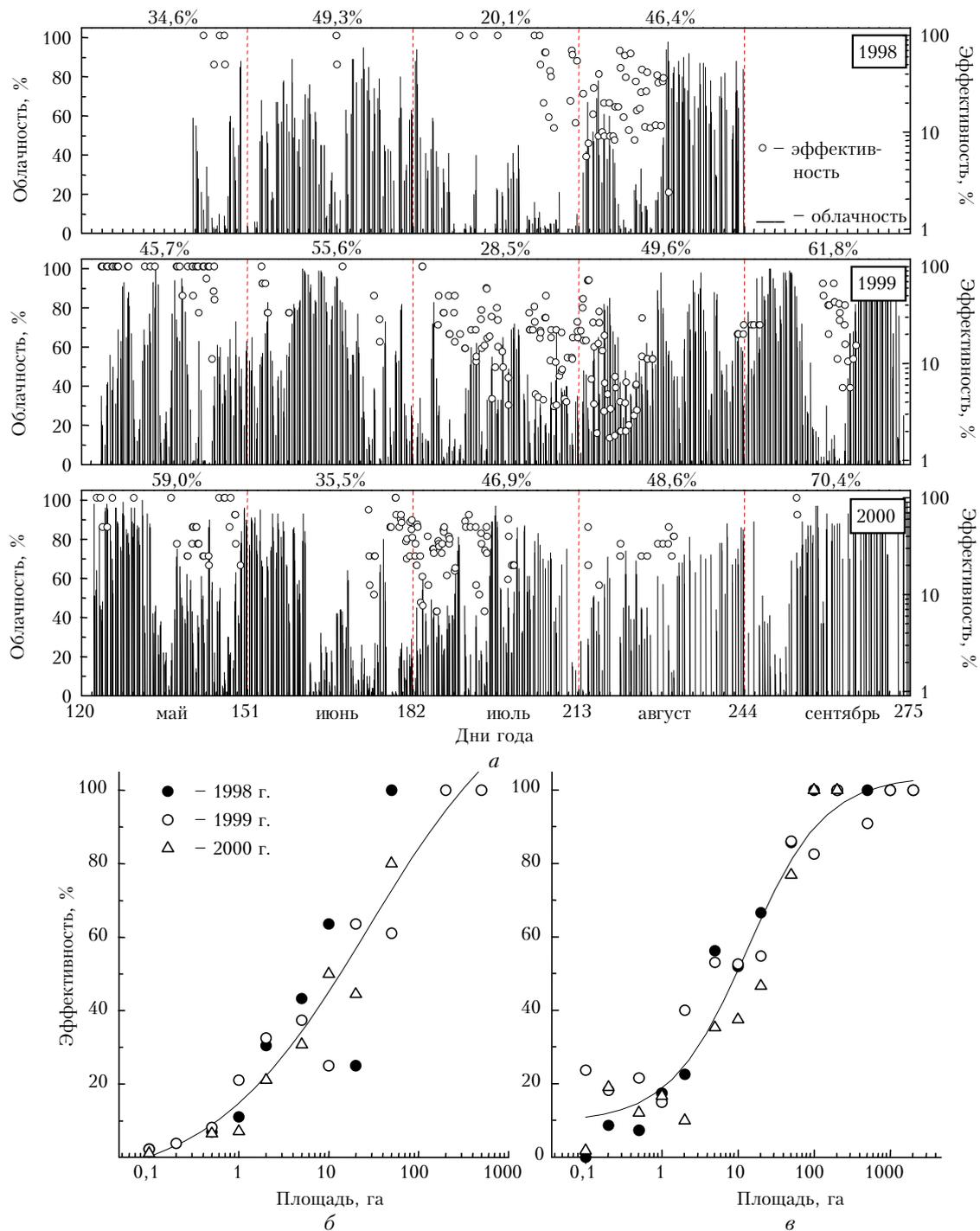


Рис. 2. Результаты космомониторинга очагов лесных пожаров

снимки или даже ограничиваются одним дневным снимком (например, со спутника NOAA-14). Причина такого подхода заключается в том, что послеполуденные снимки являются наиболее информативными и близкими по времени к моментам возникновения новых очагов и активизации уже существующих.

Данные табл. 2 дают полное представление об эффективности КМЛП в зависимости от времени суток – относительно низкие показатели имеют утренние снимки и значительно более высокой результа-

тивностью (~ в 2–3 раза выше) отличаются послеполуденные снимки. Однако из данных табл. 2 становится очевидным, что использование только одного (даже самого информативного) снимка приводит к уменьшению результативности космомониторинга на 20–25%, а эффективность РОП падает в 1,4–1,8 раза. В столбце «Сумма» табл. 2 представлены суммарные показатели эффективности космомониторинга, полученные с использованием только послеполуденных снимков. Из приведенных в этой графе величин следует, что

Результаты космомониторинга пожаров в различное время суток

Витки Спутники	Дополуденные			Послеполуденные			Сумма
	NOAA-12	NOAA-14	NOAA-15	NOAA-12	NOAA-14	NOAA-15	
	1998 г.						
Время	08:14–10:02	04:56–06:50	—	18:28–20:12	15:08–16:47	—	
Число снимков	91	93	—	86	83	—	
Обнаружено пожаров	24; 24,7%	33; 34,0%	—	74; 76,3%	78; 80,4%	—	92; 94,8%
Раннее обнаружение	4; 9,3%	10; 23,3%	—	15; 34,9%	31; 72,1%	—	36; 85,7%
	1999 г.						
Время	07:52–09:37	05:39–07:30	—	18:04–19:49	15:44–17:36	20:01–21:40	
Число снимков	150	148	—	153	152	153	
Обнаружено пожаров	43; 22,2%	46; 23,7%	—	145; 74,7%	130; 67,0%	112; 57,7%	186; 96,4%
Раннее обнаружение	17; 19,8%	12; 14,0%	—	47; 54,7%	45; 52,3%	42; 48,8%	79; 91,9%
	2000 г.						
Время	07:31–09:45	06:21–09:00	09:51–12:01	17:44–19:45	16:20–18:20	19:59–21:54	
Число снимков	121	132	81	126	141	83	
Обнаружено пожаров	10; 13,0%	12; 15,6%	20; 26,0%	51; 66,2%	58; 75,3%	36; 46,8%	73; 94,8%
Раннее обнаружение	2; 5,9%	0; 0,0%	11; 32,4%	19; 55,9%	19; 55,9%	12; 35,3%	29; 85,3%

Примечания: а) «Время» – временной диапазон приема снимков (местное время); б) результативность КМЛП и эффективность РОП даны в процентах по отношению к суммарным за год показателям (см. табл. 1, столбец 7).

в сумме послеполуденные снимки обеспечивают около 95% общей результативности КМЛП и свыше 85% раннего обнаружения очагов. Таким образом, несмотря на высокую информативность послеполуденных снимков, отказ от утренних снимков все же приводит к потере части полезной спутниковой информации и относительно заметному снижению эффективности РОП. Следовательно, максимальную эффективность КМЛП, оперативное наблюдение за динамикой очага и состоянием облачности в зоне его развития обеспечивает только полная схема КМЛП, включающая все спутниковые снимки независимо от времени суток.

Важной оценкой результатов применения спутниковых технологий ИОА СО РАН в работе служб пожароохраны лесов Томской области является принятое руководством Томской авиабазы охраны лесов решение о проведении с 2000 г. авиапатрулирования конкретных таежных территорий области только при наличии оперативных данных выполняемой в ИОА СО РАН тематической дешифровки спутниковой информации.

Авторы работы выражают признательность начальнику Томской авиабазы охраны лесов К.А. Абашеву, его заместителю В.Н. Пирогову и сотруднику авиабазы Н.Н. Абдулину за предоставленные архивы данных о лесных пожарах в Томской области за период 1998–2000 гг. и оказанную помощь в работе с ними.

S.V. Afonin, V.V. Belov. The system of space monitoring of forest fires on the territory of Tomsk region. Part 2. Estimate of the space monitoring efficiency.

The efficiency of space monitoring of forest fires on the territory of Tomsk region in the period 1998–2000 is analyzed in the paper. The analysis is based on comparison of space information with data of the Tomsk Aviation Control Service collected for three fire-hazard seasons. The dependence of the probability of forest fires detection using the AVHRR/NOAA monitoring data on characteristics of fires and observational conditions is under examination.

Авторы благодарят инженера лаборатории распространения оптических сигналов ИОА СО РАН Н.В. Кабанову за обработку статистических данных и оформление материалов статьи.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 00-05-72014) и программы «Сибирь».

1. *Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В.* Система космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области. Часть 1. Организация системы космомониторинга // Оптика атмосф. и океана 2000. Т. 13. № 11. С. 996–1004.
2. *Жеребцов Г.А., Кокуров В.Д., Кошелев В.В., Минько Н.П.* Использование данных AVHRR с ИСЗ NOAA для обнаружения лесных пожаров // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 5. С. 74–77.
3. *Абушенко Н.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Тащилин С.А., Татарников А.В.* Разработка автоматизированного алгоритма обнаружения очагов пожаров по данным прибора AVHRR/NOAA для территории Восточной Сибири // Международная школа молодых ученых и специалистов «Физика окружающей среды»: Сб. трудов. Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1999. С. 46–49.
4. *Сухинин А.И., Кахун Д.Р., Стокс Б.Дж.* Дистанционное зондирование лесных пожаров в Сибири с использованием информации NOAA // Международная конференция «Пожары в лесу и на объектах лесохимического комплекса: возникновение, тушение и экологические последствия»: Тезисы докл. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999. С. 123–125.