

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕСОПИРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ВДОЛЬ ТРАСС ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Даниил Валентинович Долгополов

АО «СпейсИнфо Геоматикс», 127490, Россия, г. Москва, ул. Декабристов, владение 51, кандидат технических наук, технический директор, тел. (905)714-13-77, e-mail: daniil.dolgopolov@gmail.com

Вячеслав Анатольевич Мелкий

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Алексей Александрович Верхотуров

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования, e-mail: ussr-91@mail.ru

В настоящей работе рассматриваются возможности использования многозональных космических снимков и средств автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования Земли для решения задач информационного обеспечения эксплуатации трубопроводных систем в условиях пожарной опасности.

Продемонстрирована возможность классификации типов растительного покрова по спутниковым изображениям Sentinel-2A с учетом данных выборочного наземного обследования, а также оценки лесопирологической обстановки вдоль трасс трубопроводов.

Представлена методика использования многоспектральных космических снимков для анализа лесопирологической обстановки. На примере лесных массивов на севере Сахалина с использованием спутниковых изображений TERRA, показана возможность мониторинга растительного покрова на участках леса в местах прокладки трубопроводов. Предложенный и апробированный подход может быть использован для анализа состояния лесов в районах с развитой трубопроводной сетью.

Приведены комбинации каналов Landsat 8 (ETM+) и Sentinel-2 (MSI S2A) наилучшим образом позволяющие выявлять и осуществлять наблюдение за пожарами, а также пример реализации системы мониторинга лесных пожаров на базе ГИС.

Ключевые слова: многозональные космические снимки, ГИС-технологии, трубопроводная система, дистанционное зондирование Земли, спектральные характеристики, мониторинг, лесопирологическая обстановка.

POSSIBILITIES OF USING MULTI-ZONE SATELLITE IMAGES AND GIS TECHNOLOGIES FOR MONITORING PIPELINE SYSTEMS

Daniil V. Dolgopolov

JSC SpaceInfo Geomatics, 51, Dekabristov St., Moscow, 127490, Russia, Ph. D., Technical Director, phone: (905)714-13-77, e-mail: daniil.dolgopolov@gmail.com

Vyacheslav A. Melkiy

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazards, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Alexey A. Verkhoturov

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Center of Collective Use, e-mail: ussr-91@mail.ru

In this paper, we consider the possibility of using multi-zone satellite images and automated processing of Earth remote sensing materials for solving problems of information support of the operation of pipeline systems in fire hazard conditions.

The possibility of classifying vegetation types based on Sentinel-2A satellite images, taking into account data from selective ground inspection, as well as assessment of the forest-ecological situation along pipeline routes is demonstrated.

The method of using multispectral satellite images for analyzing the forest fire situation was presented. On the example woodlands of the North Sakhalin by TERRA satellite images it was shown that vegetation cover can be monitored in forest areas where pipelines are laid. The proposed and tested approach can be used for analysis of conditions in forests with a developed pipeline network.

The combinations of Landsat 8 (ETM+) and Sentinel-2 (MSI S2A) channels that best allow detecting and monitoring fires are shown, as well as example of implementing by GIS-based forest fire monitoring system.

Key words: multi-zone satellite images, GIS technologies, pipeline system, remote sensing of the Earth, spectral characteristics, monitoring, forest fire situation.

Введение

Оперативное реагирование при борьбе с лесными пожарами невозможно без осуществления мониторинга лесопирологической обстановки на контролируемых территориях, через которые проходят магистральные трубопроводы. Значительных успехов в этом направлении можно добиться при использовании данных дистанционного зондирования Земли. Информация, получаемая из космоса, позволяет синхронно отслеживать возгорания на обширных территориях; контролировать ситуацию в труднодоступных регионах; прослеживать динамику развития лесных пожаров.

Мониторинг лесопирологической обстановки требует системного подхода к сбору, хранению, анализу информации, обеспечивающего представление о ситуации на пожароопасных участках трассы и позволяющего прогнозировать развитие ситуации. Всем этим требованиям может удовлетворять геоинформационная система с функцией мониторинга пожарной обстановки. Такая система должна иметь хорошо организованную базу пространственных данных, открытую для оперативного пополнения свежими данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и организованный доступ к ним для служб и подразделений, ответственных за безопасную эксплуатацию объектов магистральных трубопроводов. Помимо этого, важно иметь апробированные методы автоматизированной обработки материалов ДЗЗ, для оперативной обработки материалов съемки на протяженных территориях.

Методы и материалы

В работе были использованы следующие методы автоматизированной обработки материалов ДЗЗ:

1) метод классификации растительного покрова с использованием вегетационного индекса NDVI и снимков, полученных мультиспектральным сканером MSI S2A (спутник Sentinel-2A);

2) метод классификации с помощью спектрального анализа для детектирования действующих очагов горения по гиперспектральным данным TERRA (MODIS);

3) метод комбинирования данных, полученных в разных спектральных каналах, для получения псевдоцветного изображения и визуального мониторинга лесопирологической обстановки. Метод был апробирован с использованием данных Landsat 8 (ETM+) и Sentinel-2A (MSI S2A).

Характеристики космических изображений, использованных в настоящем исследовании, приведены в таблице.

Получение сведений о составе лесных массивов с использованием многозональных космических изображений

Прежде всего, следует отметить, что для ГИС, с помощью которой планируется осуществлять мониторинг лесопирологической обстановки, крайне важна информация о породном составе древостоев, так как горимость лесов находится в прямой зависимости от типологического состава [2].

Для получения новых сведений о составе лесных массивов целесообразно использовать данные многозональной космической съемки среднего пространственного разрешения, такие как данные Sentinel-2A или Landsat 8.

Древесный растительный покров хорошо выделяется на многозональных изображениях большинства космических систем. Наиболее информативны для дешифрирования растительного покрова спектральнозональные космические снимки, выполненные в зонах спектра 660–720 или 600–700 нм с пространственным разрешением не менее 10–15 м. Используя индексные изображения, на основе данных нескольких зон электромагнитного спектра, можно выделять особенности состава древостоев, неразличимые на однозональном изображении.

Хорошие результаты оценки условий засушливости и, как следствие, пожароопасности лесов, по спутниковым данным в сезон вегетации получаются при использовании известного вегетационного индекса NDVI, разработанного в Национальном управлении океанических и атмосферных исследований (NOAA, США) Дж. Д. Тарпли, Ф. Н. Коганом с соавторами [3, 4]. При расчете индекса определяют отношение разницы отражения двух спектральных каналов, имеющих максимальную вариацию в поглощении и отражении радиации зеленой биомассой растительности, к их сумме. Для засушливых территорий значения NDVI достаточно хорошо отражают уровень водообеспеченности (с коэффициентами корреляции в диапазоне 0,7–0,9) [5–7].

Характеристики спектральных каналов TERRA (MODIS),
Landsat 8 (ETM+), Sentinel-2A (MSI S2A) (по [1] с дополнениями)

TERRA (MODIS)			Landsat 8 (ETM+)			Sentinel-2A (MSI S2A)		
Ка-нал	Длина волны λ , нм	Разре-шение, м	Ка-нал	Длина волны λ , нм	Разре-шение, м	Канал	Центр. λ , нм	Разре-шение, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	405–420	1000						
9	438–448	500	1	430–450	30	B1	443	60
3	459–479	500	2	450–510	30			
10	483–493	1000				B2	490	10
11	526–536	1000	3	530–590	30			
12	546–556	1000						
4	545–565	500				B3	560	10
1	620–670	250	4	630–670	30	B4	665	10
13	662–672	1000						
14	673–683	1000						
						B5	705	20
15	743–753	1000				B6	740	20
						B7	783	20
2	841–876	250	5	850–880	30	B8	842	10
16	862–877	1000				B8a	865	20
17	890–920	1000						
18	931–941	1000				B9	940	60
19	915–965	1000						
5	1230–1250	500						
26	1360–1390	1000	9	1360–1380	30	B10	1373,5	60
6	1628–1652	500	6	1570–1650	30	B11	1610	20
7	2105–2155	500	7	2110–2290	30	B12	2202	20
20	3660–3840	1000						
21	3929–3989	1000						
22	3929–3989	1000						
23	4020–4080	1000						
24	4433–4498	1000						
25	4482–4549	1000						
27	6535–6895	1000						
28	7175–7475	1000						
29	8400–8700	1000						
30	9580–9880	1000						
31	10780–11280	1000	10	10600–11190	100			
32	11770–12270	1000	11	11500–12510	100			
33	13185–13485	1000						
34	13485–13785	1000						
35	13785–14085	1000						

В процессе исследования были выделены лесные формации на территории прохождения трубопроводов на о. Сахалин по данным Sentinel-2 с геодезической привязкой, радиометрической и геометрической коррекцией.

Пихтово-еловые леса хорошо выделяются при автоматизированном дешифрировании с использованием вегетационного индекса, особенно на зимних и весенних снимках [7]. Существенных отклонений значений индекса NDVI от модального значения на снимке не наблюдалось, что свидетельствует о благоприятной геоэкологической обстановке на исследуемой территории (рис. 1).

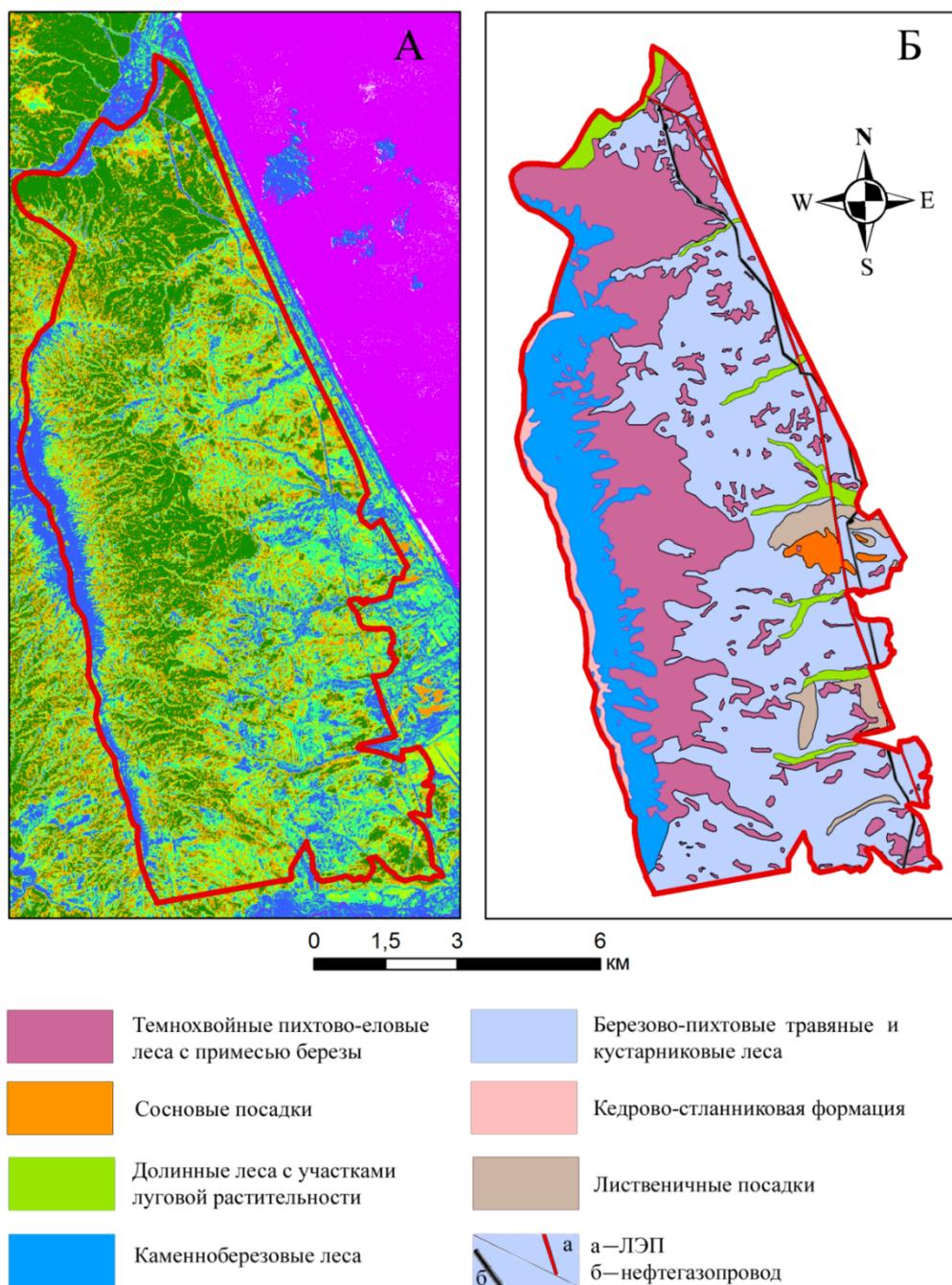


Рис. 1. Дешифрирование растительности разных типов территории Сахалина:

А – классифицированное изображение на основе вегетационного индекса NDVI;
Б – схема выделенных растительных формаций (по Сабирову и др., 2019) [8]

Для изображений различных сообществ растительности были определены средние значения NDVI: в темнохвойных лесах на весенних снимках они составляют 0,49–0,62, а в каменноберезняках – 0,14–0,24.

***Мониторинг лесопирологической обстановки
с использованием материалов ДЗЗ,
получаемых космической системой TERRA (MODIS)***

Среди методик обнаружения и мониторинга пожаров с использованием материалов ДЗЗ стоит особо отметить методику классификации с помощью спектрального анализа по данным, получаемых системой TERRA (см. табл.1). Наличие большого перечня тепловых спектральных каналов и короткий период обновления информации позволяют использовать эти данные для эффективного мониторинга пожарной обстановки [9].

Методика обнаружения пожаров основана на сравнении температур (интенсивностей входного сигнала, полученного радиометром MODIS) в двух спектральных каналах: 21 канал (3929–3989 нм) и 31 канал (10780–11280 нм). При этом считается, что чем выше температура пиксела в 21 канале, тем больше вероятность пожара. Соответственно, чем больше разность температур в каналах, тем больше вероятность пожара.

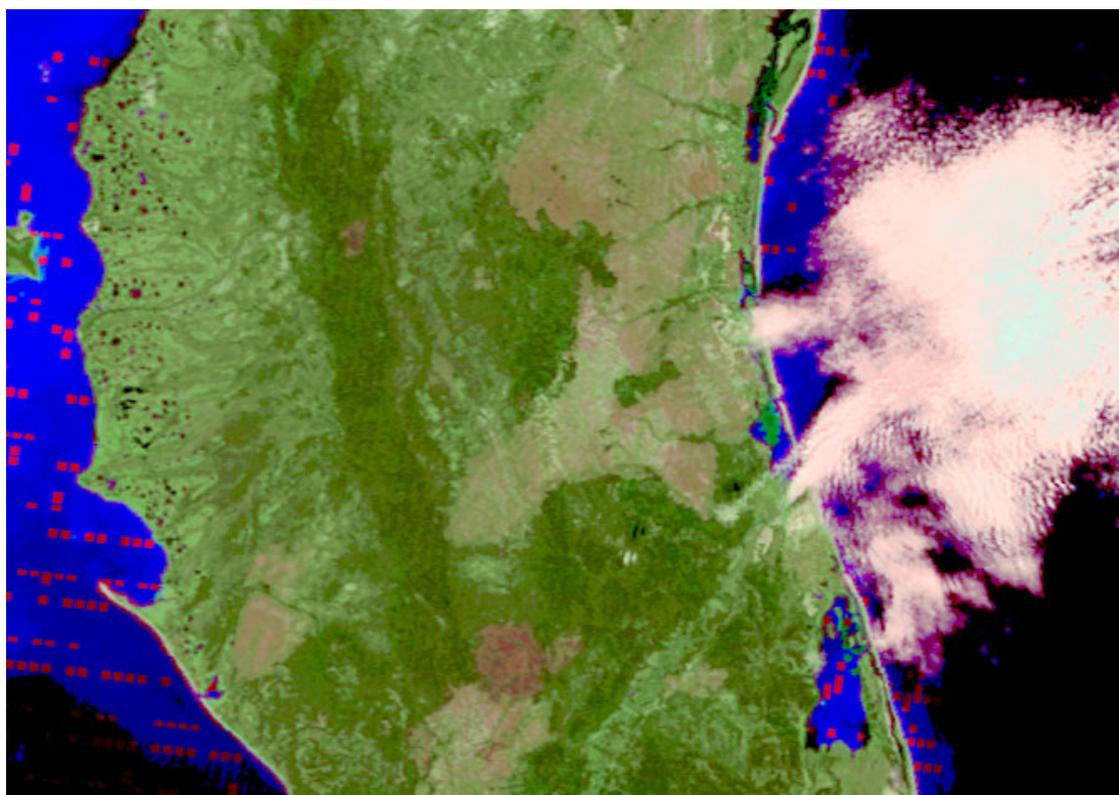


Рис. 2. Обнаружение лесных пожаров на севере о. Сахалин с использованием данных полученных радиометром MODIS космического аппарата TERRA (пространственное разрешение 250 м.)

Визуальные наблюдения за лесными пожарами с использованием метода комбинирования спектральных изображений и космических изображений среднего пространственного разрешения

Для визуального выявления лесных пожаров может использоваться метод комбинирования данных разных спектральных каналов и получения «псевдоцветного» изображения.

Наши исследования показывают, что при использовании данных Landsat 8 (ETM+) выявление лесных пожаров наиболее эффективно при использовании комбинации каналов: RGB – 7:5:4. (табл.1). В случае использования данных Sentinel-2 создают комбинацию каналов: RGB – B12, B8a, B4 (рис. 3). Комбинация этих каналов наилучшим образом позволяет выявлять и осуществлять наблюдение за пожарами.

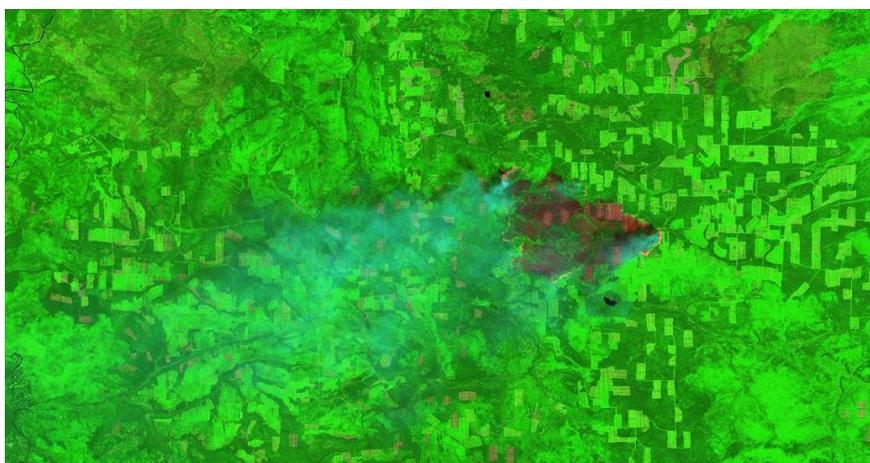


Рис. 3. Наблюдение за пожаром на изображении в комбинации спектральных каналов B12, B8a, B4 с КА Sentinel-2.

Обработка спектральных космических изображений в ГИС

Большое число современных геоинформационных систем имеют в своем арсенале функционал необходимый для работы с многозональными космическими изображениями.

Например, для получения вегетационных (NDVI) и других индексов в QGIS можно использовать «калькулятор растров» – функциональный модуль, который позволяет, имея набор спектральных изображений, получить индексное изображение.

Для получения индексного изображения, достаточно знать какие спектральные изображения необходимо использовать и формулу для расчета. Так вегетационный индекс NDVI вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \right),$$

где ρ_{NIR} – отражение в ближней инфракрасной области спектра,
 ρ_{RED} – отражение в красной области спектра.

Пример реализации информационной системы мониторинга лесопирологической обстановки

Примером успешной реализации ГИС, с помощью которой осуществляется мониторинг лесопирологической ситуации, может служить Информационная системы дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз) [10], созданная с использованием оптимизированной канадской прогнозной модели динамики природных пожаров Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (CFFBPS) [11].

Система ИСДМ-Рослесхоз предоставляет пользователям доступ к большому набору дополнительной информации, необходимой для анализа пожарной ситуации, включая данные о текущих и прогнозных метеоусловиях с использованием web-интерфейса (рис. 4) [12].



Рис. 4. Фрагмент интерфейса информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ-Рослесхоз).
Блок мониторинга пожарной опасности. Лесные пожары на территории Республики Бурятия 17 марта 2020 г.

Заключение

В настоящей работе продемонстрирована возможность классификации типов растительного покрова по спутниковым изображениям с использованием индекса NDVI и привлечением данных выборочного наземного обследования, а также оценки лесопирологической обстановки вдоль трасс трубопроводных систем, что способствует снижению рисков от пожарной опасности.

На примере анализа лесопирологической обстановки в лесных массивах с использованием многозональных спутниковых изображений TERRA, Landsat 8, и Sentinel 2A показаны возможности мониторинга пожарной опасности на участках леса в зонах прохождения трасс магистральных трубопроводов.

В качестве примера реализации ГИС, осуществляющей мониторинг за лесопирологической обстановкой с использованием материалов ДЗЗ, приводится информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Рослесхоза, созданная с использованием оптимизированной канадской прогнозной модели динамики природных пожаров (CFFBPS).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Спутники и сенсоры // Сайт GIS-Lab [Электронный ресурс]. Доступно на: <https://wiki.gis-lab.info/w/Сенсоры/MODIS> (дата обращения 12.04.2020).

2. Мелкий В. А., Малинников В. А., Меньшиков К. С., Долгополов Д. В., Цареградский П. Ю., Черниговский Ю. М. Мониторинг лесопирологической обстановки по данным космических съемок // Интеграция фундаментальной науки и высшего образования по проблемам ускоренного воспроизводства, использования и модификации древесины: Материалы Международной научно-практической конференции (Воронеж, 13–16 июня 2000 г.): в 2-х т. – Воронеж, ВГЛТА, 2000. – Т. 2. – С. 23–27.

3. Tarpley J. D., Schneider S. R., Money R. L. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite // *Journal of Climate and Applied Meteorology*. – 1984. – No. 23(3). – 494 p.

4. Kogan F. N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polarorbiting satellite data // *Bulletin of the American Meteorology Society*. – 1995. – No. 76 (5). – P. 655–668.

5. Kogan F. N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection // *Advances in Space Research*. – 1995. – No. 15 (11). – P. 91–100.

6. Lui W. T., Kogan F. N. Monitoring regional drought using the vegetation condition index // *International Journal of Remote Sensing*. 1996. No. 17. P. 2761–2782. [Electronic resource]. Access point: https://www.researchgate.net/publication/248977064_Monitoring_regional_drought_using_the_Vegetation_Condition_Index (reference's date 12.04.2020).

7. Дунаева Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Ёлкина Е. С., Барботкина Е. С., Вечерков В. В., Барталев С. А. Использование данных дистанционного зондирования для ранней диагностики наступления засушливых условий // *Таврический вестник аграрной науки*. – 2019. – № 4 (20). – С. 28–45.

8. Сабиров Р. Н., Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Анализ геоэкологического состояния пихтово-еловых лесных формаций по данным дистанционного зондирования // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения. Материалы Третьей национальной научно-практической конференции (Новосибирск, СГУГиТ, 27–29 ноября 2019). [Электронный ресурс]. Доступно на: <http://nir.sgugit.ru/wp-content/uploads/2020/01/Sabirov-ANALIZ-GEOEK-SOSTOYANIYA-PIH-ELOV-LESNYH-FORMATSIJ.pdf> (дата обращения 12.04.2020).

9. Чабан Л. Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации при картографировании геопространственных данных. Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2013. – 96 с.

10. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения 12.04.2020).

11. Forestry Canada Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Information Report ST-X-3. Canada, Ontario, Ottawa, Published by Forestry Science and Sustainable Development Directorate. – 1992. – 63 p.

12. Хвостиков С. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А. Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2012. – Т. 9. – № 3. – С. 91–100.

© Д. В. Долгополов, А. А. Верхотуров, В. А. Мелкий, 2020