

Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V

В. А. Егоров, С. А. Барталев, П. А. Колбудаев, Д. Е. Плотников, С. А. Хвостиков

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия

E-mail: egorov@d902.iki.rssi.ru

Работа посвящена развитию методов картографирования растительного покрова России на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Представлена первая версия карты растительного покрова Российской Федерации на основе данных спутниковой системы Proba-V. В качестве признаков распознавания типов земного покрова при картографировании использовались очищенные от влияния облаков и некоторых других мешающих факторов сезонные композитные изображения, полученные по данным Proba-V 2016 г. с пространственным разрешением 100 м, характеризующие, прежде всего, фенологическую динамику спектрально-отражательных характеристик различных классов растительности. Для распознавания типов земного покрова по их спектрально-отражательным характеристикам использовался метод локально-адаптивной классификации LAGMA и соответствующий программный комплекс обработки данных дистанционного зондирования LAGMA-PLUS. Локально-адаптивная классификация выполнялась с применением алгоритма максимального правдоподобия. Легенда полученной карты включает в себя 23 класса земного покрова, образующих шесть различных тематических групп. Использование данных системы Proba-V демонстрирует значительное повышение детальности картографирования растительного покрова по отношению к аналогичным картам, созданным ранее по данным системы MODIS пространственного разрешения 250 м. Наличие постоянно обновляемого открытого архива многолетних данных Proba-V открывает возможность ежегодного картографирования растительного покрова России.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, картографирование растительного покрова, Proba-V

Одобрена к печати: 24.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-282-286

Спутниковое картографирование растительного покрова имеет широкое практическое использование и относится к числу интенсивно развиваемых научных направлений дистанционного зондирования Земли. Разработка по данным MODIS пространственного разрешения 250 м временного ряда ежегодных карт растительного покрова России за период с 2000 г. по настоящее время (Барталев и др., 2011а, 2015, 2016) открыла новые возможности непрерывного мониторинга состояния и динамики наземных экосистем страны. Использование новых спутниковых систем более высокого пространственного разрешения потенциально позволяет повышать детальность и точность картографирования растительного покрова. Первая версия созданной по данным спутниковой системы Proba-V новой карты растительного покрова России с пространственным разрешением 100 м отражает основные типы покрытых и непокрытых растительностью земель по состоянию на 2016 г. Легенда карты содержит 23 тематических класса, объединённых в шесть различных групп (см. *Состав...*, с. 283).

Построение карты растительного покрова основано на использовании ежедневных продуктов спутниковых данных S01 TOC Proba-V. Применение разработанного ранее для предварительной обработки данных MODIS и адаптированного к особенностям данных Proba-V метода (Барталев и др., 2011а, 2016) и программного комплекса позволило провести фильтрацию участков изображений, испытывающих влияние облаков, теней от облаков, аппаратных шумов и снежного покрова на земной поверхности. Обработка данных осуществлялась с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015).

Состав легенды карты растительного покрова

| Леса | Травяно-кустарниковая растительность |
|--|---------------------------------------|
| Темнохвойные вечнозелёные леса | Луга |
| Светлохвойные вечнозелёные леса | Степи |
| Лиственные леса | Хвойные вечнозелёные кустарники |
| Смешанные леса с преобладанием хвойных | Лиственные кустарники |
| Смешанные леса | Прочая растительность |
| Смешанные леса с преобладанием лиственных | Свежие гари |
| Хвойные листопадные (лиственничные) леса | Пахотные земли |
| Редины хвойные листопадные (лиственничные) | Безрастительные территории |
| Водно-болотные комплексы | Вечные снега и льды |
| Болота | Открытые грунты и выходы горных пород |
| Прибрежная растительность | Реки и водоёмы |
| Тундра | Урбанизированные территории |
| Травянистая тундра | |
| Кустарничковая тундра | |
| Кустарниковая тундра | |

Построение сезонных композитных изображений земной поверхности, очищенных от влияния облаков и других мешающих факторов, в красном (610–690 нм), ближнем ИК (777–893 нм) и среднем ИК (1570–1650 нм) каналах с пространственным разрешением 100 м основано на использовании данных, охватывающих следующие временные интервалы:

- 1 марта – 31 мая (весеннее композитное изображение);
- 1 июня – 31 августа (летнее композитное изображение);
- 1 сентября – 31 ноября (осеннее композитное изображение);
- 1 января – 31 апреля (зимнее композитное изображение).

В основу создания опорной выборки для классификации растительного покрова были положены стабильные во времени представители классов, извлечённые из временного ряда соответствующих карт, полученных по данным MODIS (Барталев и др., 2015). С учётом различия величин пространственного разрешения данных MODIS и Proba-V коррекция опорной выборки классов выполнялась путём удаления пограничных и краевых пикселей и применения локальной статистической фильтрации данных на основе композитных изображений пространственного разрешения 100 м.

Используемый для распознавания типов земного покрова по их спектрально-отражательным характеристикам метод LAGMA (Bartalev et al., 2014) позволяет проводить локально-адаптивную контролируруемую классификацию с применением метода максимального правдоподобия. Реализация метода в виде программного комплекса LAGMA-PLUS позволила провести классификацию данных Proba-V на основе локализованных спектрально-временных характеристик типов земного покрова в ячейках регулярной сети 20×20 км.

Ряд классов был сформирован и интегрирован в карту растительного покрова на основе данных из внешних источников. В частности, для формирования класса пахотных земель карты использованы результаты, получаемые по данным MODIS (Барталев и др., 2016; Bartalev et al., 2016). Адаптация этих данных включала приведение исходной карты пахотных земель к пространственному разрешению 100 м и их контекстный анализ совместно с классом открытых почв, прилегающих к пикселям класса пахотных земель в буферной зоне шириной до 250 м.

В качестве опорных данных для формирования класса пройденных огнем площадей использован результат оценки степени повреждения лесов, произведённой по данным MODIS (Стыщенко и др., 2013) за период 2014–2016 гг. Применение этих данных совместно с поиском межгодовых изменений в композитных изображениях Proba-V за эти годы позволяет получить участки изменений спектральных характеристик внутри заданных областей.



Рис. 1. Карта растительного покрова России по данным Proba-V

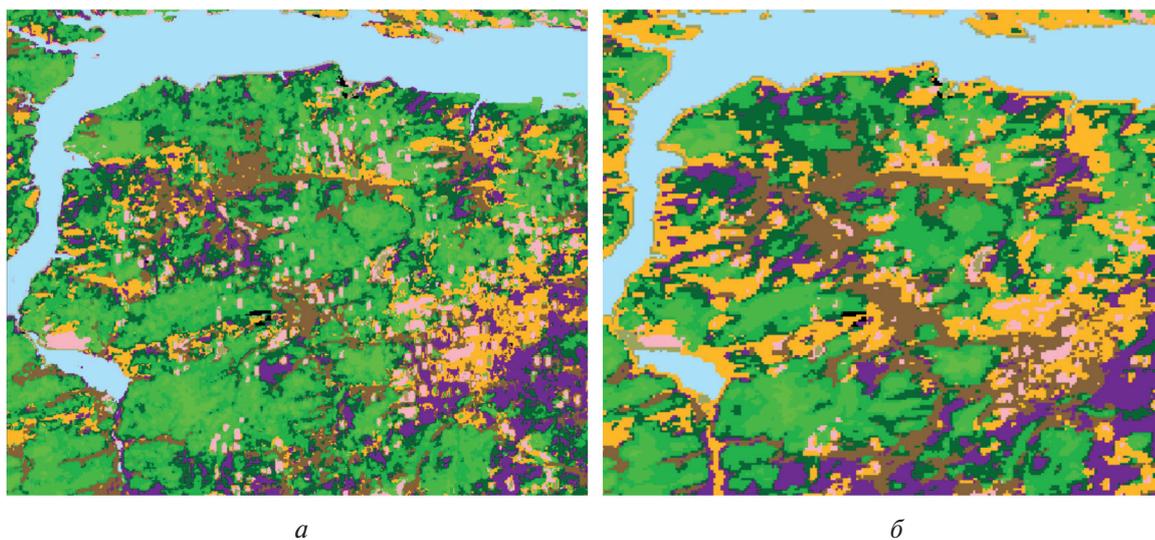


Рис. 2. Пример сопоставления результатов картографирования района Богучанского водохранилища (р. Ангара) по данным Proba-V 100 м (а) и MODIS 250 м (б)

За основу класса урбанизированных территории взят продукт GlobeLand30 (Chen et al., 2014), приведённый к пространственному разрешению данных Proba-V и совмещённый с классом открытых грунтов и выходов горных пород.

К классу вечных снегов и льдов относятся территории, демонстрирующие выделение в ходе предварительной обработки данных Proba-V соответствующего класса за весь годовой период наблюдения.

Проведённые исследования и разработки позволили создать новую карту растительного покрова России пространственного разрешения 100 м по состоянию на 2016 г. (рис. 1).

Несмотря на то что полученные результаты требуют валидации и возможного уточнения, представленное на *рис. 2* (см. с. 284) сравнение созданной карты с картой растительного покрова по данным MODIS наглядно демонстрирует повышение детальности картографирования. Доступность использования данных Proba-V позволяет проводить ежегодное картографирование с 2014 г. по настоящее время. При этом наличие постоянно обновляемого открытого архива многолетних данных Proba-V открывает возможность ежегодного картографирования растительного покрова России с данным уровнем пространственной детальности. В настоящее время первая версия карты по данным Proba-V 2016 г. с пространственным разрешением 100 м доступна для пользователей информационной системы Vega-Science (<http://sci-vega.ru/>).

Литература

1. *Барталев С. А., Егоров В. А., Еришов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А.* (2011a) Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
2. *Барталев С. А., Егоров В. А., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А.* (2011b) Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // *Компьютерная оптика*. 2011. Т. 35. № 1. С. 103–116.
3. *Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А.* Состояние и перспективы развития методов спутникового картографирования растительного покрова России // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 5. С. 203–221.
4. *Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
5. *Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов А. В., Кашицкий В. Ю., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А.* Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
6. *Стыценко Ф. В., Барталев С. А., Егоров В. А., Лупян Е. А.* Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2013. Т. 10. № 1. С. 254–266.
7. *Bartalev S. A., Egorov V. A., Loupian E. A., Khvostikov S. A.* A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data // *Remote Sensing Letters*. 2014. V. 5. Iss. 1. P. 55–64.
8. *Bartalev S. A., Plotnikov D. E., Loupian E. A.* Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique // *Remote Sensing Letters*. 2016. V. 7. No. 3. P. 269–278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874.
9. *Chen J., Ban Y., Li S.* China: Open access to Earth land-cover map // *Nature*. 2014. V. 514. P. 434.

Land cover map of Russia derived from Proba-V satellite data

V. A. Egorov, S. A. Bartalev, P. A. Kolbudaev, D. E. Plotnikov, S. A. Khvostikov

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: egorov@d902.iki.rssi.ru

This article is dedicated to development of methods of land cover mapping over Russia using remote sensing data. This work presents first version of Russian land cover map based on Proba-V Earth observation data. Seasonal cloud-free composite images of Proba-V with spatial resolution of 100 m

obtained in year 2016 were used as remote sensing indicators, which characterize phenological dynamic of terrestrial vegetation spectral-reflective characteristics. Locally adaptive classification method LAGMA and associated remote sensing data processing software package LAGMA-PLUS were used to map land cover types based on their spectral-reflective characteristics. Locally adaptive classification was based on maximum likelihood criterion. Legend of produced map includes 23 classes of land cover divided into 6 different thematic groups. Proba-V derived land cover map shows considerable increase in mapping details compared to previous maps based on data from MODIS instrument with spatial resolution of 250 m. Regularly updated open archive of multiannual Proba-V data presents an opportunity for annual land cover mapping of Russia.

Keywords: remote sensing, land cover mapping, Proba-V

Accepted: 24.04.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-282-286

References

1. Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A., (2011a) Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektrometri MODIS (Mapping of Russia vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 285–302.
2. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A., (2011b) Raspoznavaniye pakhotnykh zemel' na osnove mnogoletnikh sputnikovykh dannykh spektrometri MODIS i lokal'no-adaptivnoi klassifikatsii (Recognition of arable land based on long-term satellite data of the MODIS spectroradiometer and locally adaptive classification), *Komp'yuternaya optika*, 2011, Vol. 35, No. 1, pp. 103–116.
3. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Sostoyaniye i perspektivy razvitiya metodov sputnikovogo kartografirovaniya rastitel'nogo pokrova Rossii (State and perspectives of the development of methods for satellite mapping of vegetation cover in Russia), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 203–221.
4. Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V., *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* (Land cover mapping over Russia using Earth observation data), Moscow: IKI RAN, 2016, 208 p.
5. Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov A.V., Kashnitskii V.Yu., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A., Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
6. Stytsenko F.V., Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Metod otsenki stepeni povrezhdeniya lesov pozhamami na osnove sputnikovykh dannykh MODIS (Method for assessing the degree of damage to forests by fires based on MODIS satellite data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 1, pp. 254–266.
7. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A., A new locally-adaptive classification method LAGMA for large-scale land cover mapping using remote-sensing data, *Remote Sensing Letters*, 2014, Vol. 5, Issue 1, pp. 55–64.
8. Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A., Mapping of arable land in Russia using multiyear time series of MODIS data and the LAGMA classification technique, *Remote Sensing Letters*, 2016, Vol. 7, No. 3, pp. 269–278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874.
9. Chen J., Ban Y., Li S., China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, Vol. 514, pp. 434.