

Оперативный мониторинг лесных земель северных регионов на основе использования оптических и радарных космических снимков

Б.Т. Мазуров¹, Е.И. Аврунев¹, В.А. Хамедов²

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий
Новосибирск, 630108, Россия

² Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий
Ханты-Мансийск, 628011, Россия
E-mail: XamedovVA@uriit.ru

Работа посвящена описанию методических вопросов оперативного мониторинга лесных земель территорий северных регионов на основе комплексного использования оптических и радарных космических снимков. В целях обеспечения задач мониторинга используются снимки с российских и зарубежных космических аппаратов. Разработанный алгоритм обработки комбинаций разновременных оптических и радарных космических снимков позволяет выявлять изменения на лесных землях, возникающие под воздействием природных и антропогенных факторов. Для обеспечения задач мониторинга сформирована база данных выявленных дистанционными методами изменений лесных земель на территории Ханты-Мансийского автономного округа с предоставлением общего доступа к ней посредством разработанного геопортала регионального Центра космических услуг (ЦКУ). Разработанная подсистема мониторинга лесных земель обеспечивает получение информации о количественных и качественных показателях при проведении базовых, периодических и оперативных наблюдений с использованием дистанционного зондирования. Результаты работы могут применяться при проведении государственного мониторинга земель, осуществляемого территориальными органами и структурными подразделениями Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии.

Ключевые слова: Государственный мониторинг земель, дистанционное зондирование, подсистема мониторинга, показатели мониторинга, кадастр, лесные земли, облачность, радарные данные, алгоритм обработки

Одобрена к печати: 07.07.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-103-111

Введение

Существующая в настоящее время система управления земельными ресурсами предполагает ведение учета земель лесного фонда на государственном уровне в соответствии с требованиями государственного кадастра недвижимости (ст. 70 Земельного кодекса Российской Федерации и ст. 92 Лесного кодекса Российской Федерации) и государственного лесного реестра (ст. 91 Лесного кодекса Российской Федерации). Большое значение при учете таких земель имеет их подразделение на лесные и нелесные земли, а также достоверная и оперативная оценка состояния лесных земель, в том числе с учетом воздействия природных и антропогенных факторов. Особенно это актуально для северных территорий, где отмечается интенсивная деятельность нефтегазодобывающих компаний.

В настоящее время вопросам мониторинга состояния земель посвящено большое количество работ (Барталев и др., 2012; Гук, Евстратова, Алтынцев, 2015; Лупян и др., 2016). Получение дополнительной информации о целевом назначении участков позволяет обеспечить мониторинг использования (Сухих и др., 2006).

В связи с большим количеством облачных дней в году, в течение которых невозможно обеспечить оперативный мониторинг территорий северных регионов космическими снимками (КС) оптического диапазона, актуальным является использование снимков радарного

диапазона. Признаком дешифрирования в этом случае становится изменение характера отражения радиосигнала из-за появления в лесном массиве неоднородностей, вызванных воздействием факторов природного или техногенного характера. Однако радарные снимки требуют более сложной обработки, а для их достоверного дешифрирования необходимо получение дополнительной информации об исследуемой территории.

В качестве решения предлагается комплексное использование комбинаций разновременных космических снимков оптического и радарного диапазонов. Это повышает достоверность результата их дешифрирования (Бахтинова и др., 2012; Хамедов, 2016; Черемисин, Бурков, 2013) и обеспечивает проведение в регионах оперативных наблюдений, которые необходимы для определения времени воздействия на лесные земли природных или антропогенных факторов.

Разработка и реализация подсистемы мониторинга лесных земель

Для разработки методики и создания подсистемы мониторинга лесных земель были проведены исследования с использованием снимков оптического диапазона с космических аппаратов (КА) «Метеор-3М», Landsat 7, Landsat 8, Sentinel 2A, БКА, «Канопус-В», «Ресурс-П» и радарного диапазона с КА ERS 2, Sentinel 1A. Организация в 2005 г. ежедневного приема данных с КА ERS 2 и «Метеор-3М» центром дистанционного зондирования Земли в Югорском научно-исследовательском институте информационных технологий (Ханты-Мансийск) обеспечила получение необходимой информации для проведения работы. Снимки с КА «Канопус-В», БКА и «Ресурс-П» в настоящее время предоставляются Федеральным космическим агентством, а общедоступные данные с КА Landsat 7, Landsat 8, Sentinel 2A, Sentinel 1A и Sentinel 1B получают из распределенных источников.

Исследования включали в себя оценку решения практических задач использования методов дистанционного зондирования (ДЗ) в условиях Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). В теории принятия решений не найдено общего метода выбора критериев оптимальности, в основном руководствуются опытом или рекомендациями.

В проведенном исследовании с учетом цели мониторинга состояния лесных земель была выбрана двухкритериальная оптимизация с критериями «качество» и «цена». Это позволяет учесть как производственно-технические (качество продукции), так и экономические (цена) требования. Отметим, что продукцией решаемой задачи является информация о состоянии лесных земель.

В рамках рассматриваемой задачи предложен и реализован следующий критерий оптимальности:

$$E = \frac{fT}{S} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T — время, необходимое для выполнения работы по тематическому анализу; S — площадь исследуемого объекта; f — показатель формы объекта, определяемый отношением квадрата периметра объекта (p^2) к его площади (S):

$$f = \frac{p^2}{4\pi S}. \quad (2)$$

Исследование зависимости (2) показателя формы объекта f от пространственного разрешения (дискретизации) космических снимков было проведено для выборки из 185 объектов различной формы и площади, в том числе 113 объектов природного характера (лесные гари) и 72 объектов антропогенного характера (линейные и площадные объекты обустройства нефтегазового комплекса).

Минимизация критерия (1) с учетом формулы (2) позволяет выбрать оптимальный вариант использования системы мониторинга на основе данных ДЗ для конкретного участка территории. Оценка финансовых затрат на получение полезной информации о состоянии земель есть результат умножения E (1) на стоимость космического снимка, формируемую оператором космической системы ДЗ.

Одним из вариантов использования радарных снимков является их сочетание с оптическими снимками, обеспечивающим более информативное цветосинтезированное изображение, применяемое для последующего дешифрирования. В *табл. 1* представлены возможные комбинации КС оптического и радарного диапазонов для создания разновременных синтезированных изображений, используемых в дальнейшем при проведении тематической обработки.

В *табл. 1* индексом $КС_1$ обозначены космические снимки, полученные на территорию исследуемого участка до его изменения, а индексом $КС_2$ — после. Комбинации могут состоять как из разновременных оптических и радарных космических снимков, так и снимков одного диапазона.

Таблица 1. Комбинации снимков оптического и радарного диапазонов

Канал	Возможные комбинации синтезирования RGB изображения													
	1		2		3		4		5		6		7	
Red	$КС_2$		$КС_2$		$КС_2$		$КС_2$		$КС_2$		$КС_2$		$КС_2$	
Green	$КС_1$		$КС_1$		$КС_1$		$КС_2$		$КС_2$		$КС_2$		$КС_1$	
Blue	$КС_1$		$КС_1$		$КС_1$		$КС_1$		$КС_1$		$КС_1$		$КС_1$	
Диапазон съемки	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический	радарный	оптический
Условия	Съемка в условиях облачности или низкой освещенности										Съемка при отсутствии облачности			

В задачах осуществления кадастровой деятельности, согласно Приказу Минэкономразвития РФ от 13.11.2015 г. № 848 «Об утверждении требований к картам и планам,

являющимся картографической основой Единого государственного реестра недвижимости, а также к периодичности их обновления», для лесных территорий могут быть использованы картографические материалы масштабов 1:50 000 и 1:100 000. Достоверность дешифрирования объектов на земной поверхности, а также полученные оценки геометрических свойств, радиометрического и линейного разрешения на местности позволяют обеспечить получение требуемого картографического материала при совместном использовании радарных и оптических космических снимков, получаемых с указанных в табл. 2 космических аппаратов.

Таблица 2. Соответствие данных дистанционного зондирования оптического и радарного диапазонов картографическим масштабам

Соответствие масштабам		1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100 000
Космические аппараты	Оптический диапазон	«Ресурс-П»	«Ресурс-П» «Канопус-В» БКА	«Канопус-В» БКА «Метеор-М» Landsat 7, 8 Sentinel 2A	Landsat 7, 8 Sentinel 2A
	Радарный диапазон	–	–	Sentinel 1A ERS 2	Sentinel 1A ERS 2

На рис. 1 схематично представлены основные технологические этапы разработанного алгоритма обработки комбинаций радарных и оптических снимков. Алгоритм реализован следующим образом. Из одновременных изображений оптического и (или) радарного диапазона формируется синтезированное изображение в соответствии с указанными в табл. 2 возможными комбинациями, которое после проведения предварительной обработки классифицируется с использованием бинарной классификации.



Рис. 1. Алгоритм обработки разновременных оптико-радарных синтезированных изображений для выявления изменения на лесных землях

Результирующее изображение, разделенное на два класса после проведения классификации, включает в себя множество различных по величине объектов. Мелкие объекты, характер образования которых может быть случайным из-за влияния спекл-шума, «поглощаются» при генерализации более крупными объектами. При достижении достаточного качества результирующего растрового изображения проводится его векторизация и расчет площади наблюдаемого объекта. Частичное попадание в класс объектов других участков устраняется в дальнейшем экспертным методом. Результатом обработки являются подготовленные тематические карты-схемы выявленных изменений на лесных землях.

В современной научной литературе до сих пор недостаточно разработаны вопросы дешифрирования антропогенных территорий по космическим снимкам в силу их сложной структуры, которая может содержать такие компоненты как растительность, водные поверхности, искусственные покрытия. Тем не менее по результатам проведенных исследований был сделан вывод, что отдельные антропогенные объекты могут быть уверенно выделены автоматизированными методами по спектральным характеристикам.

Предложен усовершенствованный алгоритм (рис. 2) обнаружения изменений лесных земель по космическим снимкам оптического диапазона, позволяющий дешифрировать изменения природного и антропогенного характеров.



Рис. 2. Алгоритм обнаружения объектов природного и антропогенного характера

Алгоритм реализован с применением нового нормализованного индекса антропогенных объектов, условно названного *NMOI*, рассчитываемого как отношение разности и суммы спектральных каналов длин волн 0,433–0,453 мкм (*Coastal/Aerosol*) и 0,845–0,885 мкм (*NIR*), и представлен следующим выражением:

$$NMOI = \frac{Coastal - NIR}{Coastal + NIR}. \quad (3)$$

Эмпирически установлено, что значения индекса *NMOI* менее 0,1 соответствуют антропогенным объектам на космических снимках оптического диапазона. Кроме того, эти значения соответствуют части участков территорий, не являющихся антропогенными по происхождению. Такие участки схожи по спектральным значениям с гарями, но не являются ими (например, болота, участки обнаженной почвы и др.). Растительность при этом не выделяется. Таким образом, использование разработанного индекса позволяет картографировать антропогенные объекты и исключить из обработки ложные срабатывания на болотах, в пойме рек и участках с открытой почвой для картографирования участков лесных гарей.

На *рис. 3* представлена обобщенная структурная схема разработанной подсистемы мониторинга, ориентированной на совместном использовании программного обеспечения ГИС, данных ДЗ оптического и радарного диапазонов и результатов их тематической обработки.



Рис. 3. Обобщенная схема реализованной подсистемы мониторинга лесных земель

Подсистема мониторинга земель за счет организации информационного взаимодействия с органами государственной власти в области лесных отношений позволяет обеспечить мониторинг использования и, на экспертном уровне, проведение мониторинга состояния лесных земель.

Для обеспечения пользователей полученной в результате обработки данных ДЗ информацией о количественных и качественных показателях лесных земель используется база данных, доступ к которой осуществляется посредством общедоступного геопортала ЦКУ ХМАО (<http://geoportal.uriit.ru/arcgis/home/>).

В табл. 3 в качестве примера представлен один из показателей мониторинга, сформированный с учетом требований Приказа Минэкономразвития РФ от 26.06.2015 г. № П/343 «Об утверждении Порядка организации деятельности и взаимодействия территориальных органов и структурных подразделений Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии при осуществлении государственного мониторинга земель».

Таблица 3. Пример показателя мониторинга состояния лесных земель

<i>Наблюдаемый процесс на лесных землях</i>	<i>Показатель мониторинга состояния земель</i>		<i>Используемые данные ДЗ</i>
	<i>количественный</i>	<i>качественный</i>	
Нарушение лесных земель, в том числе в результате лесной вырубki или лесного пожара	Общая площадь и изменение площади	Степень развития процесса	Оптический и радарный диапазоны

Порядок передачи информации в природоохранные и контрольно-надзорные организации разработан и представлен в регламентах информационного взаимодействия, подготовленных в целях эффективного использования данных ДЗ в обеспечении мониторинга лесных земель.

Результаты

Одним из основных результатов исследования является разработка и программная реализация алгоритма обработки комбинаций радарных и оптических снимков (Хамедов, 2016; Хамедов, Мазуров, 2015) для создания тематических карт-схем выявленных изменений на лесных землях. Полученные результаты способствуют совершенствованию информационной базы (Мазуров, Николаева, Ромашова, 2012) региональных ГИС, повышению эффективности проведения государственного мониторинга земель и могут использоваться для совершенствования структуры информации (Уставич, Аврунев, 2012) государственного кадастра недвижимости при проведении научно-обоснованной налоговой политики.

Литература

1. *Барталев С.А., Еришов Д.В., Лупян Е.А., Толпин В.А.* Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
2. *Бахтинова Е.В., Соколов А.Ю., Никольский Д.Б., Кантемиров Ю.И.* Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультитременных радарных и радарно-оптических цветных композитах // Геоматика. 2012. № 1. С. 52–55.
3. *Гук А.П., Евстратова Л.Г., Алтынцев М.А.* Разработка методики определения изменений границы леса по разновременным разномасштабным аэрокосмическим снимкам // Геодезия и картография. 2015. № 12. С. 32–39.
4. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Барталев С.С., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефимов В.Ю., Жарко В.О., Кашиницкий А.В., Колбудаев П.А., Крамарева Л.С., Мазуров А.А., Оксюкевич А.Ю., Плотников Д.Е.,*

- Прошин А.А., Сенько К.С., Уваров И.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С. Информационная система комплексного дистанционного мониторинга лесов «Вега-Приморье» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 5. С. 11–28.
5. Мазуров Б.Т., Николаева О.Н., Ромашова Л.А. Совершенствование информационной базы региональных ГИС (РГИС) для инвентаризации и картографирования ресурсов // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 2/1. С. 130–133.
 6. Сухих В.И., Гиряев М.Д., Архипов В.И., Атаманкин Е.М., Березин В.И., Дворяшин М.В., Жулин В.М., Потапов И.М., Скудин В.М., Соболев А.А., Шаталов А.В. Научные основы и первые результаты дистанционного мониторинга незаконных рубок леса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Т. 1. С. 32–38.
 7. Уставич Г.А., Аврунев Е.И. Совершенствование структуры топографических планов для целей государственного кадастра недвижимости // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 2/1. С. 136–139.
 8. Хамедов В.А. Сравнение методов обнаружения лесных гарей по оптическим и радиолокационным космическим снимкам // Вестн. СГУГиТ. 2016. Вып. 3(35). С. 43–54.
 9. Хамедов В.А., Мазуров Б.Т. Разработка методических вопросов создания системы спутникового мониторинга состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса территории Западной Сибири // Вестн. СГУГиТ. 2015. Вып. 3(31). С. 16–31.
 10. Черемисин М.В., Бурков В.Д. Метод комплексного мониторинга лесов на основе оптических и радиолокационных данных ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 262–273.

Operational monitoring of boreal forests using optical and radar satellite imagery

B.T. Mazurov¹, E.I. Avrunev¹, V.A. Khamedov²

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk 630108, Russia

² Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk 628011, Russia
E-mail: XamedovVA@uriit.ru

This paper reviews the methodological issues related to the integrated use of optical and radar satellite imagery in operational monitoring of boreal forests. Images from both Russian and foreign missions were used in the development of a dedicated treatment algorithm for tracking changes in forested areas caused by natural factors and human impact. A relevant land cover change database was created for the forested areas of the Khanty-Mansi Autonomous District, openly available online through a regional Centre of Spatial Services (CSS) geoportal. The developed system supports baseline and periodical surveys, and operational monitoring, with both qualitative and quantitative data on changes in forested areas. Our results can be used in land cover monitoring operations led by the regional divisions of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography (Rosreestr).

Keywords: operational monitoring, remote sensing, forest land, landcover change, radar data, processing algorithm, Rosreestr

Accepted: 07.07.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-103-111

References

1. Bartalev S.A., Ershov D.V., Loupian E.A., Tolpin V.A., Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnykh zadach monitoringa nazemnykh ekosistem (Possibilities of Satellite Service VEGA Using for Different Tasks of Land Ecosystems Monitoring), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 49–56.
2. Bakhtinova E.V., Sokolov A.Yu., Nikol'skii D.B., Kantemirov Yu.I., Poluavtomaticheskoe vyyavlenie vyrubok lesa na mul'tivremennykh radarnykh i radarno-opticheskikh tsvetnykh kompozitakh (Semi-automatic detection of deforestation in the multi-temporal radar and radar-optical color composites), *Geomatika*, 2012, No. 1, pp. 52–55.
3. Guk A.P., Evstratova L.G., Altyntsev M.A., Razrabotka metodiki opredeleniya izmenenii granitsy lesa po raznovremennym raznomasshtabnym aerokosmicheskim snimkam (Development of methods for determining changes in the forest boundaries at different times on different scales aerospace pictures), *Geodeziya i Kartografiya*, 2015, No. 12, pp. 32–39.
4. Loupian E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Bartalev S.S., Burtsev M.A., Egorov V.A., Efimov V.Yu., Zharko V.O., Kashnitskii A.V., Kolbudaev P.A., Kramareva L.S., Mazurov A.A., Oksyukevich A.Yu., Plotnikov D.E.,

- Proshin A.A., Sen'ko K.S., Uvarov I.A., Khvostikov S.A., Khovratovich T.S., Informatsionnaya sistema kompleksnogo distantsionnogo monitoringa lesov "Vega-Primor'e" (Vega-Primorie: complex remote forest monitoring information system), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 5, pp. 11–28.
5. Mazurov B.T., Nikolaeva O.N., Romashova L.A., Sovershenstvovanie informatsionnoi bazy regional'nykh GIS (RGIS) dlya inventarizatsii i kartografirovaniya resursov (Improving the information base of regional GIS for inventory and mapping resources), *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2012, No. 2/1, pp. 130–133.
 6. Sukhikh V.I., Giryayev M.D., Arkhipov V.I., Atamankin E.M., Berezin V.I., Dvoryashin M.V., Zhirin V.M., Potapov I.M., Skudin V.M., Sobolev A.A., Shatalov A.V., Nauchnye osnovy i pervye rezul'taty distantsionnogo monitoringa nezakonnykh rubok lesa (Scientific basis of the first results of remote monitoring of illegal forest felling), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2006, Vol. 1, pp. 32–38.
 7. Ustavich G.A., Avrunev E.I., Sovershenstvovanie struktury topograficheskikh planov dlya tselei gosudarstvennogo kadastra nedvizhimosti (Improving the structure of topographical plans for the purposes of state real estate cadastre), *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2012, No. 2/1, pp. 136–139.
 8. Khamedov V.A., Sravnenie metodov obnaruzheniya lesnykh garei po opticheskim i radiolokatsionnym kosmicheskim snimkam (Comparison of methods for the detection of forest burnt in optical and radar satellite imagery), *Vestnik SGUGiT*, 2016, No. 3(35), pp. 43–54.
 9. Khamedov V.A., Mazurov B.T., Razrabotka metodicheskikh voprosov sozdaniya sistemy sputnikovogo monitoringa sostoyaniya lesnykh ekosistem v usloviyakh vozdeistviya neftegazovogo kompleksa territorii Zapadnoi Sibiri (Development of methodological issues of creating satellite-based monitoring system of forest ecosystems under the impact of oil and gas in Western Siberia), *Vestnik SGUGiT*, 2015, No. 3(31), pp. 16–31.
 10. Cheremisin M.V., Burkov V.D., Metod kompleksnogo monitoringa lesov na osnove opticheskikh i radiolokatsionnykh dannykh DZZ (Method of integrated forest monitoring based on optical and radar remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 4, pp. 262–273.