

УДК 528.8.854, 528.77

Analysis of the Seasonal Dynamics of Vegetation on Remote Sensing Data

**Elena V. Fedotova^{*a,b}, Artem A. Zholudev^a,
Viktor G. Izosimov^a, Yuri D. Shpiruk^c,
Yuri A. Maglinets^a and Gennadi M. Tsibul'skii^a**

^aSiberian Federal University

79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia

^bV.N. Sukachev Forest Institute SB RAS

50-28 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia

^cDepartment of Agriculture Administration

Sukhobuzimsky District of Krasnoyarsk Krai

44 Komsomolskaya Str., C. Suhobuzimskoe,

Krasnoyarsk region, 663040, Russia

Received 21.10.2014, received in revised form 12.11.2014, accepted 03.12.2014

The use of remote sensing data to study the vegetation dynamics is considered. The methods of medium and high spatial resolution data processing for mapping of agricultural land and forest are suggested. The results of the methods application for agricultural and forest areas of Siberia are shown.

Keywords: remote sensing, seasonal dynamics of vegetation.

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: elfed@ksc.krasn.ru

Анализ сезонной динамики растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли

**Е.В. Федотова^{а,б}, А.А. Жолудев^а, В.Г. Изосимов^а,
Ю.Д. Шпирук^в, Ю.А. Маглинец^а, Г.М. Цибульский^а**

*^аСибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

*^бИнститут леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28*

*^вОтдел сельского хозяйства администрации
Суходулимского района Красноярского края
Россия, 663040, Красноярский край,
с. Суходулимское, ул. Комсомольская, 44*

Рассмотрены вопросы использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для изучения динамики растительного покрова. Предложены методы обработки данных среднего и высокого пространственного разрешения для картирования земель сельскохозяйственного назначения и лесных насаждений. Представлены результаты применения методов для сельскохозяйственных и лесных территорий Сибири.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, сезонная динамика растительного покрова.

Введение

В связи с изменениями, которые происходили в последние 20-30 лет, с переходом от государственной формы собственности на землю к частной, с передачей лесных территорий в аренду возникла необходимость контроля использования этих угодий в соответствии с условиями аренды. Ввиду отсутствия точных актуальных карт, зачастую информации о действительном способе использования земель сельскохозяйственного назначения, о соблюдении арендаторами границ участков возрастает роль мониторинга состояния земельного и лесного фонда, обновления соответствующих карт, отражающих режимы использования ресурсов.

Источником объективной информации об использовании земельных ресурсов являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Анализ состояния сельскохозяйственных полей и прогноз урожая стали первыми задачами, для решения которых применяли данные ДЗЗ. Низкая повторяемость съемки одного участка поверхности затрудняла решение таких задач. Возможность повысить точность прогнозов возникла в 80-х годах прошлого столетия с появлением данных спектрорадиометра NOAA/AVHRR. Хотя низкое пространственное разрешение съемки (1 км) позволяло получать только достаточно генерализованные данные, благодаря их ежедневному обновлению задача изучения динамики растительности (используются методы анализа вегетационных индексов, в первую очередь вегетационного индекса нормированной разности (NDVI), стала решаемой. Работа по анализу фенологической изменчивости растительности в глобальном масштабе была предпринята еще в 1980-х годах [1]. На основе анализа данных NDVI NOAA/AVHRR были исследованы динамика рас-

тительного покрова отдельных континентов, масштабы рубок леса в экваториальных лесах, продуктивность африканских саванн и сельскохозяйственных земель Китайской Народной Республики.

Данное направление исследований получило продолжение с запуском спутников MODIS (TERRA&AQUA). Система MODIS ориентирована в том числе и на исследование растительности, поскольку приборы производят съемку в видимом красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, результаты измерения в которых используются для вычисления NDVI, с наилучшим для этого прибора пространственным разрешением 250 м. Получение по данным MODIS результатов глубокой переработки данных непосредственного измерения позволяет оценивать продуктивность и биомассу растительности [2].

В настоящее время исследования растительности при помощи карт вегетационного индекса NDVI стали традиционными. Расчет вегетационного индекса проводится по данным, прошедшим атмосферную коррекцию (алгоритм ее проведения использует различные каналы и производные изображения MODIS). На основе NDVI разработан индекс нового поколения EVI (Enhanced Vegetation Index – улучшенный вегетационный индекс), который позволяет получить больше градиентов биомассы и имеет преимущества для мониторинга растительности, поскольку влияние почвы и атмосферы в значениях EVI минимизировано. Для решения задач мониторинга состояния и динамики растительности предлагается использование таких методов анализа, как разность изображений, применение NDVI, отношение разновременных данных, регрессионный анализ разновременных данных [3].

В Институте космических исследований (ИКИ) РАН разработана система мониторинга ЗСХН на основе данных низкого и среднего пространственного разрешения MODIS [4]. Метод картографирования основан на использовании многолетних временных серий очищенных от влияния мешающих факторов композитных изображений, на основе которых происходит вычисление специально разработанных признаков распознавания. Признаки распознавания учитывают особенности сезонной и межгодовой динамики спектрально-отражательных характеристик используемых пахотных земель, отличающие их от других категорий сельскохозяйственных угодий и естественной растительности. Выявление пахотных земель выполняется с помощью алгоритма локально-адаптивной обучаемой классификации, учитывающей пространственную вариабельность значений признаков распознавания. Созданная цифровая карта имеет пространственное разрешение около 250 м.

По данным MODIS в ИКИ РАН создана также карта растительности Российской Федерации [5]. Метод картографирования основан на классификации очищенных от влияния облаков и других мешающих факторов композитных изображений, соответствующих разнотемпературным временным интервалам и учитывающих особенности фенологической динамики растительности. Композитные спутниковые изображения сформированы по технологии предварительной обработки данных на основе результатов ежедневных измерений спектрально-отражательных характеристик земной поверхности в видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах. Распознавание типов растительного покрова выполнено на основе алгоритма локально-адаптивной обучаемой классификации, позволяющей учесть географическую изменчивость спектральных характеристик классов. Созданная цифровая карта имеет пространственное разрешение около

250 м и получена по спутниковым данным 2010 г., в то время как разработанная технология динамического картографирования растительности по спутниковым данным открывает принципиально новую возможность ее ежегодного обновления.

Решение задачи контроля использования природных ресурсов хозяйствующими субъектами на региональном уровне предполагает выявление региональной специфики возможных состояний и нарушений использования как сельскохозяйственных земель, так и лесных угодий. Кроме того, известны границы кадастровых участков и границы территорий, отведенных под вырубку леса. Таким образом, задача мониторинга состоит в том, чтобы определять состояние и изменение состояния территорий в границах известных участков. Данные дистанционного зондирования являются источником объективной информации для анализа состояния и динамики лесного покрова. Условием для их эффективного применения выступает их пространственное и временное разрешение.

Далее рассмотрены методы решения задач мониторинга растительного покрова с применением данных ДЗЗ среднего и высокого пространственного разрешения.

Методы обработки данных ДЗЗ для применения в системе мониторинга сельскохозяйственных земель

Использование космических снимков для мониторинга ЗСХН ведется в следующих основных направлениях:

- 1) определение границ полей;
- 2) определение типа с/х культур на поле – пары, многолетние травы, озимые, яровые, а также отдельные культуры (пшеница, рожь, овес и т.д.);
- 3) оценка урожайности текущего года.

Для решения первой задачи эффективны алгоритмы сегментации изображений высокого пространственного разрешения. Поскольку необходимо поддерживать актуальное состояние карт полей, задача состоит в уточнении их границ. Был проведен анализ существующих методов сегментации, таких как метод выделения контуров, метод водораздела, метод кластеризации многомерной гистограммы, метод разделения-слияния на гексогональной топологической решетке [6, 7].

Для решения второй задачи можно рассмотреть методы обработки, предложенные в работе [4]. В данной работе используются признаки, построенные на основе многолетних рядов перпендикулярного вегетационного индекса (PVI), учитывающие характерные отличия между естественной и сельскохозяйственной растительностью ввиду наличия на участках последней севооборота. Основные признаки распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов данных MODIS:

1. Индекс кратчайшего сезона вегетации – характеризует сокращение продолжительности вегетационного периода сельскохозяйственных культур в силу проведения агротехнических мероприятий по сравнению с естественной растительностью.
2. Индекс весеннего развития растительности – характеризует время начала роста естественной и сельскохозяйственной растительности.
3. Индекс сезонного снижения фитомассы – характеризует период вегетации культурной растительности и моменты ожидаемого минимального присутствия.

4. Индекс межгодовых различий динамики растительности – характеризуется минимальным коэффициентом линейной корреляции между временными рядами значений PVI.
5. Индекс межгодовой изменчивости фитомассы – характеризует стандартное отклонение многолетних значений накопленной за год суммы PVI.
6. Разностный индекс сезонного пика вегетации – характеризует отклонения максимальных значений PVI летнего периода от среднегодовых значений.

В связи с тем что используемые признаки основаны на многолетних сериях данных, результаты отражают динамику состояния пашен за весь период вегетации.

Методы обработки данных ДЗЗ для анализа динамики лесного покрова

Лесной покров изменяется в основном под влиянием естественных причин – смены времен года. Но он имеет большее разнообразие в отличие от монокультурного характера растительности полей, а также характеризуется менее резкими границами. Поэтому на первом этапе необходимо дифференцировать лесной покров по более широкому набору признаков.

Выделение высотных зон и поясов, различающихся по составу, продуктивности и экологическим функциям лесов, представляет интерес для многоцелевого природопользования в горах. Задача картографирования и классификации территориальных единиц ранга высотных поясов для территории гор юга Сибири решается успешно с применением данных ДЗЗ низкого пространственного разрешения [8-10]. В лесной части Хакасии выделяются:

- 1) подтаежные леса с участием сосны, лиственницы, березы и осины в предгорьях и на высоте до 400 м над у.м.;
- 2) черневые преимущественно пихтовые с участием осины (300-700 м над у.м.);
- 3) темнохвойные горные леса (высота 700-1200 м над у.м.);
- 4) горно-таежные преимущественно кедровые леса (примерно от 1000 м над у.м.).

При разделении лесного покрова с помощью данных дистанционного зондирования (ДЗ) основной характеристикой является спектральная отражательная способность верхнего полога леса. Поэтому первым шагом при дифференциации лесного покрова является выделение формаций – темнохвойной и светлохвойной, которые определяются по составу верхнего полога лесных насаждений.

Использование данных ДЗ среднего пространственного разрешения (Landsat, Spot) дает возможность углубить дифференциацию лесов по таким характеристикам, как преобладающая порода, состав насаждений, возраст, тип леса [11]. Дифференциация лесов по спектральным признакам осуществляется на следующей основе. Темнохвойные леса выделяются по ранневесенним снимкам (март) и по летним снимкам более низким значением NDVI по сравнению с NDVI лиственных лесов и травянистой растительности. Сосновые леса можно выделить по летним снимкам, как и темнохвойные леса, но с более высоким отражением в красном канале. Лиственные леса имеют более высокое значение NDVI на летних снимках. Лиственничные леса вызывают определенные трудности при отделении от лиственных лесов, тем более что чаще всего они представлены смешанными лиственнично-березовыми насаждениями.

Чтобы проводить более детальное выделение лесов (тип леса, состав, возраст, растительность нижних ярусов), учитывают признаки, которые не таким очевидным образом можно

извлечь из данных ДЗ. Для решения данной задачи можно использовать ЦМР и расширить набор признаков параметрами высоты над уровнем моря, крутизны склона, его экспозиции, кривизны. Наборам таких характеристик можно поставить в соответствие характеристики лесов определенного состава, возраста, типа.

Результаты исследования

В качестве тестового участка для решения задач по мониторингу ЗСХН была выбрана территория Сухобузимского района. Произведено уточнение границ сельскохозяйственных контуров, представленных Центром агрохимической службы г. Красноярск. При этом использовали комбинацию снимков высокого пространственного разрешения SPOT-6, Landsat-7 и DMC UK. Методом визуально-аналитического выделения были получены границы около 1200 полей. Для автоматизации процесса выделения границ, основываясь на результатах анализа методов сегментации, выбрали программную среду *ENVI EX*. На рис. 1 представлен результат классификации, по которой получены границы полей.

На базе технологий, развитых в [12], выполнен пилотный проект «ГИС ЗСХН Сухобузимского района», создан действующий макет системы. На данном геопортале представлены средства аналитики по площадям сельскохозяйственных угодий, произрастающим культурам (по данным 2013 и 2014 гг.), владельцам и землепользователям, данным агрохимического анализа. Некоторые результаты анализа: выявлено, что более 20 % сельскохозяйственных угодий не используются в сельскохозяйственном обороте; обнаружены неточности кадастрового деления, а также земли, частично или полностью обрабатываемые без выделения кадастрового номера.

Анализ динамики лесного покрова проводили для лесов Республики Хакасия. Для лесных территорий выделение границ – более сложная задача, чем для сельскохозяйственных угодий, так как эти границы чаще всего мозаичны, размыты, а вариабельность состава лесных насаждений гораздо выше. Решена задача разделения лесов по формациям (темнохвойные и лиственнично-лиственные), а на рис. 2 изображена более детальная картосхема лесов Туимского участкового лесничества.



Рис. 1. Выделенные границы полей при использовании процедуры ENVI EX



Рис. 2. Карта-схема лесного покрова Туимского участкового лесничества

Заключение

В работе решены задачи актуализации границ полей земель сельскохозяйственного назначения и деления лесов по формациям, рассмотрены способы более детального разделения лесных насаждений по породному составу на региональном уровне. Дальнейшее продвижение в направлении мониторинга состояния растительности требует использования данных ДЗЗ среднего и высокого пространственного разрешения, получаемых чаще, чем это возможно для данных свободного доступа, зачастую с периодичностью не реже раз в три дня. Если карту полей можно составить за один вегетационный период по имеющимся в распоряжении авторов данным, то для мониторинга состояния и использования полей необходимы более часто обновляемые данные ДЗЗ.

При поддержке гранта РФФИ № 13-07-98005 и гранта КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» 2014 г.

Список литературы

- [1] Justice C. O. // Int. J. Remote Sensing, 1985. Vol. 6. № 8. P. 1271–1318.

- [2] *Justice C.* // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1998. Vol. 36(4). P. 1228–1249.
- [3] *Woodcock C.E., Ozdogan M., Gutman G. etc.* Trends in land cover mapping and monitoring // Land Change Science, Chapter 21. P. 367–377.
- [4] *Барталев С.А., Лулян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А.* // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35. № 1. С. 103–114.
- [5] <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=317>
- [6] <http://www.envisof.ru/envi.html>
- [7] <http://www.envisof.ru/idl.html>
- [8] *Назимова Д.И., Поликарпов Н.П., Сухинин А.И. и др.* // География и природные ресурсы. 2000. № 4. С. 117–123.
- [9] *Kharuk V.I., Ranson K.J., Burenina T.A., Fedotova E.V.* // Int. J. Remote Sensing. 2003. Vol. 24. № 1. P. 23–37.
- [10] *Назимова Д.И., Пономарев Е.И., Степанов Н.В., Федотова Е.В.* // Лесоведение. 2005. № 1. С. 12–18.
- [11] *Буренина Т.А., Овчинникова Н.Ф., Федотова Е.В.* // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 92–100.
- [12] *Маглинец Ю.А., Мальцев Е.А., Брежнев Р.В. и др.* // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 3. С. 316–323.