

РАСПОЗНАВАНИЕ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ СЕЗОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI

Э.А. Терехин¹

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, Белгород, Россия

Аннотация

Статья посвящена исследованию возможностей дискриминантного анализа для распознавания залежных земель на основе их спектрально-отражательных характеристик. Предложена методика автоматизированного выявления залежей среди пашни, основанная на дискриминантном анализе сезонных значений вегетационного индекса NDVI. На основе экспериментальной информации, собранной с аграрных угодий Белгородской области, рассчитаны и оценены уравнения, позволяющие в автоматизированном режиме относить конкретное аграрное угодье к пашне или залежи. Точность выявления залежей составила 71 %. Установлено, что из сезонных значений вегетационного индекса, рассчитанного на основе спутниковых снимков MODIS, наибольший вклад в распознавание залежей вносят его значения конца сентября-первой половины октября. Показано, что эффективность минимальных значений NDVI угодий для автоматизированного распознавания залежей значительно выше, чем средних значений.

Ключевые слова: залежные земли, пошаговый дискриминантный анализ, дистанционное зондирование, NDVI, MODIS, спектрально-отражательные свойства.

Цитирование: Терехин, Э.А. Распознавание залежных земель на основе сезонных значений вегетационного индекса NDVI / Э.А. Терехин // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41, № 5. – С. 719-725. – DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-5-719-725.

Введение

Залежные земли – это участки бывшей пашни, выведенные из севооборота. После прекращения аграрной деятельности на них начинается формирование естественных растительных сообществ, например, травянистых ассоциаций. В отличие от обрабатываемых земель по залежам не ведется подробной статистики. В то же время рациональное использование почвенно-растительных ресурсов требует информации о состоянии бывших аграрных угодий [1], что особенно актуально для территории Центрального Черноземья [2]. Решение данной проблемы традиционными способами, заключающимися в сплошном обследовании сельскохозяйственных полей, достаточно трудоемко, особенно в районах, где пахотные земли, как, например, в Белгородской области, составляют более половины всех площадей. В связи с этим становится актуальной разработка методов выявления и анализа залежей, основанных на применении данных дистанционного зондирования Земли.

Залежи могут быть выявлены путем экспертного дешифрирования многозональных снимков сверхвысокого пространственного разрешения (1–2 м/пиксель), однако этот способ требует много времени, особенно когда необходимо обследование десятков или сотен тысяч гектар. Кроме того, актуальные детальные космические снимки остаются достаточно дорогостоящими. Автоматизированное выявление залежей на основе одиночных снимков, как правило, затруднительно, в связи с тем, что в разные сроки вегетационного сезона отражательные свойства залежей могут быть схожи с аналогичными признаками других угодий. К настоящему времени имеется опыт использования различных типов спутниковых данных для оценки состояния залежей [3, 4], однако проблема их эффективного картографирования на основе материалов дистанционного

зондирования остается во многом открытой. В связи со сложностью спектрального отклика залежей актуальным становится использование регулярно получаемой спутниковой информации, включающей данные об отражательных характеристиках посевных площадей за серию временных срезов. Таким образом, появляется возможность в большей мере учесть отличия отражательной способности залежей от обрабатываемых полей и использовать их для распознавания бывших аграрных угодий.

На текущий момент наиболее продолжительными по времени, оптимальными по пространственному разрешению, позволяющему анализировать спектральные признаки отдельных посевных площадей, являются ежедневно получаемые снимки MODIS [5, 6]. На их основе разработан ряд информационных продуктов, содержащих значения зональных коэффициентов отражения либо спектральных вегетационных индексов [7, 8].

К настоящему времени в ряде исследований [9, 10, 11] уже получены результаты по выявлению конкретных типов посевов либо их групп на основе рядов вегетационных индексов. В то же время возможности использования рядов спектральных показателей для детектирования и оценки состояния залежных земель остаются малоизученными. Во многом это обусловлено отсутствием достоверной полевой информации о залежах, которая позволила бы сформировать репрезентативную выборку, позволившую оценить их спектрально-яркостные характеристики. Эффективная оценка спектральных показателей за множество дат обуславливает необходимость применения методов многомерного анализа. Одним из них является дискриминантный анализ, сущность которого заключается в расчете классификационных функций, вычисляющих значения, позволяющие отнести объект к тому или

иную классу. Применительно к проблеме дистанционного выделения залежей или пашни такими переменными могут выступать сезонные величины спектрально-отражательных характеристик, например, вегетационных индексов, в первую очередь, NDVI. Он основан на коэффициентах отражения в красной и ближней инфракрасной областях спектра, которые являются информативными для картографирования и оценки состояния растительного покрова.

Цель настоящей работы заключалась в оценке возможностей автоматизированного выявления залежных земель с использованием дискриминантного анализа и рядов сезонных значений вегетационного индекса NDVI.

1. Материалы и методы

Объектом исследования выступали аграрные угодья, типичные для юга Центрально-Черноземной зоны и юго-запада Среднерусской возвышенности, территориально охватывающего Белгородскую область. Она является регионом активного аграрного использования. Природно-климатические условия в ней соответствуют в основном условиям южной лесостепи, а пахотные земли составляют более 55 % всех площадей, занимая в отдельных районах свыше 62 %.

При проведении исследования исходили из предположения, что совокупность сезонных значений NDVI залежей может быть использована для их эффективного распознавания среди пашни.

Экспериментальное исследование включало следующие основные этапы:

- формирование выборки полей, являющихся пашней либо залежью, подготовка на ее основе геоинформационной базы данных;
- подбор и предварительная обработка спутниковых данных;
- расчет сезонного ряда NDVI для каждого анализируемого сельскохозяйственного угодья;
- предварительный статистический анализ различий сезонных значений вегетационного индекса для пашни и залежи;
- исследование полученной аналитической выборки методом дискриминантного анализа, выявление и анализ сезонных значений вегетационного индекса, наиболее эффективных для автоматизированного распознавания залежей;
- расчет дискриминантных функций, вычисляющих значения (классификационные веса), позволяющие относить конкретные угодья к залежам.

На подавляющем большинстве используемых аграрных угодий, за исключением полей с многолетними травами, минимум раз в год происходит распашка. Т.е. в эти сроки, хотя бы один раз за вегетационный сезон, обрабатываемое поле должно характеризоваться признаками оголенной почвы, которой соответствуют более низкие значения вегетационного индекса NDVI, чем растительному покрову [12]. Кроме того, спектрально-отражательные характеристики естественной травянистой растительности, присутствующей на залежах, в от-

дельные сроки вегетационного периода могут достоверно отличаться от признаков распаиваемых и засеваемых полей. Обусловлено это тем, что на залежах, особенно по мере увеличения их возраста, должно формироваться стационарное растительное сообщество, сезонная вариабельность спектрально-отражательных свойств которого должна быть меньше, чем у пахотных земель. Рабочая гипотеза исследования предполагала, что эти особенности залежей могут быть учтены путем исследования их сезонных значений NDVI и расчета на их основе дискриминантных функций, определяющих вероятность того, являлось ли конкретное поле в анализируемый год пашней или залежью.

Объективная оценка возможности распознавания залежных земель среди аграрных угодий требовала формирования репрезентативной выборки из сельскохозяйственных полей, включающей как пахотные земли, так и залежи. В связи с тем, что травянистые залежи по составу растительных сообществ могут совпадать с некоторыми естественными угодьями, например, лугами или растительностью овражно-балочной сети, то для повышения эффективности их выявления среди пашни анализ спектрально-отражательных признаков был выполнен в пределах созданного на всю территорию области векторного слоя [13] посевных площадей. Этот слой был специально подготовлен для проведения мониторинговых исследований пахотных земель Белгородской области. Т.е. анализируемые значения спектральных показателей были рассчитаны в пределах контуров конкретных полей. Применение такого подхода позволило достоверно проанализировать сезонную динамику NDVI залежных земель и впоследствии использовать ее для их распознавания. Геоинформационная обработка векторных данных была выполнена в программе ArcGIS.

Для формирования выборки анализируемых полей по каждому из них была необходима информация о том, являлось ли конкретное поле в анализируемый год залежью или нет. Для исследования был выбран 2013 год, т.к. по нему удалось собрать наиболее полную информацию о залежах. Эти данные были получены путем проведения полевых обследований аграрных угодий и с использованием анализа разновременных спутниковых снимков Landsat-7,8. Серия спутниковых снимков Landsat с сенсоров ETM+, OLI (пространственное разрешение 30 м/пиксель) за вегетационный сезон может быть достаточно эффективно использована для выявления признаков распашки на конкретных полях [14]. Отсутствие таких признаков за период активной вегетации на серии снимков указывает на то, что поле в анализируемый год было залежью. Используемая нами подборка снимков включала изображения с мая по ноябрь. Для выявления залежных земель также были применены возможности анализа высокодетальных спутниковых снимков, реализованные в веб-сервисе Google Планета Земля. Анализируемые объекты (сельскохозяйственные поля), составившие исследовательскую выборку, были расположены в различных частях Белгородской области.

Всего на основе совместного анализа данных полевых обследований и материалов космической съемки на территории региона было выявлено свыше 150 залежей и отобрано около 350 обрабатываемых и распаханых в 2013 году полей. Для последующего анализа из выявленных залежей были исключены угодья площадью менее 10 га. Это было обусловлено тем, что для них была высока вероятность недостоверного расчета спектральных показателей вследствие ограниченной пространственной разрешенности используемых спутниковых данных. При этом подавляющую часть выборки составляли объекты площадью более 20 га. Кроме того, из анализа были исключены залежи, зарастающие древесной растительностью. Спектральный отклик таких угодий требует отдельного изучения, которое обусловлено тем, что объектом исследования выступает фактически древесная растительность. Всего, таким образом, в анализе участвовало 427 полей, 79 из которых были залежами (табл. 1). Пашню составляли поля с пшеницей озимой, ячменем яровым, соей, кукурузой, подсолнечником, сахарной свеклой, многолетними травами и парами.

Табл. 1. Статистические характеристики анализируемых угодий

| Тип | Площадь средняя, га | Число | Площадь суммарная, га |
|--------|---------------------|-------|-----------------------|
| Залежь | 32,0 | 79 | 2524,7 |
| Пашня | 97,3 | 348 | 33859,6 |
| Всего | 85,2 | 427 | 36384,3 |

На следующем этапе была произведена подборка и предварительная обработка информационных продуктов MODIS, создаваемых на основе ежедневно получаемых данных MODIS (пространственное разрешение 250 м/пиксель) и содержащих значения вегетационного индекса NDVI за интервал в 16 дней. Для создания MOD13Q1 используются атмосферно и радиометрически откорректированные спутниковые данные, что позволяет сравнивать между собой разносезонные значения NDVI. На текущий момент MOD13Q1 является единственным типом спутниковых данных, дающих возможность проанализировать динамику спектрально-отражательных свойств посевных площадей на конкретный год в ретроспективе до начала 2000-х гг. на протяжении всего вегетационного периода.

На основе MOD13Q1 методом зональной статистики в программе ERDAS IMAGINE для каждого угодья (пахотного поля, либо залежи) был рассчитан ряд значений NDVI в период 7 апреля – 1 ноября 2013 года, содержащий данные за 14 временных срезов. При использовании метода зональной статистики имеется возможность расчета средних и минимальных значений вегетационного индекса, вычисляемых для каждой посевной площади. Нами была проанализирована эффективность и тех и других значений для разделения пахотных и залежных земель.

Основная часть экспериментального исследования заключалась в проведении пошагового дискриминантного анализа [15] полученной выборки значений, т.е.

исследовании возможности автоматизированного выделения залежных земель среди остальных посевных площадей на основе их спектрального отклика. Исследование было выполнено в программе STATISTICA. Эффективность распознавания оценивали на основе матрицы классификации, характеризующей точность дешифрирования (в процентах) интересующих типов угодий – в нашем случае залежей. Методом дискриминантного анализа были проанализированы минимальные и средние значения вегетационного индекса NDVI. Для оценки того, значения NDVI каких сроков наиболее информативны для распознавания залежей, исследование было выполнено с использованием пошагового дискриминантного анализа, последовательно включающего переменные в модель по степени их вклада в разделение залежей от пахотных угодий.

После этого были сделаны выводы об эффективности NDVI за конкретные даты, точности распознавания залежей, а также информативности минимальных и средних значений вегетационного индекса.

2. Результаты

Метод зональной статистики позволяет для каждой анализируемой посевной площади либо залежи рассчитать как среднее, так и минимальное значение вегетационного индекса, наблюдающееся на конкретную дату в ее границах. В связи с тем, что NDVI связан с проективным покрытием зеленой фитомассой [16], его среднее значение, рассчитанное по конкретной посевной площади, будет учитывать ареалы с наличием и одновременно отсутствием зеленой растительности. Минимальное значение индекса будет отражать присутствие ареалов в пределах сельскохозяйственного угодья с наименьшей долей зеленой растительности, включая наличие распаханной почвы. Соответственно, оно может быть присуще только пахотным полям. И средние, и минимальные значения индекса конкретных полей, таким образом, представляют интерес с точки зрения оценки их эффективности как независимых переменных для отнесения отдельных угодий к залежи либо пашне.

По полученной выборке нами были построены и проанализированы графики сезонной динамики средних и минимальных значений вегетационного индекса сельскохозяйственных полей (рис. 1, 2). Они дали наглядное представление о различиях NDVI залежей и пашни, а также позволили сравнить эти отличия в разные сроки. Сравнение минимальных и средних значений NDVI для залежей и пашни, рассчитанных на основе усредненных со всех анализируемых угодий, показало, что их сезонная динамика имеет примерно одну и ту же форму. Это указывает на то, что средние и минимальные значения индекса примерно одинаково отражают сезонное изменение почвенно-растительного покрова полей на протяжении сезона.

При этом из графиков на рис. 1, 2 видно, что на протяжении практически всего вегетационного сезона кривые минимальных значений индекса залежей и пашни отстоят дальше друг от друга, чем кривые их

средних значений. Предварительно это указывает на большую эффективность минимальных значений индекса для разделения пашни и залежи.

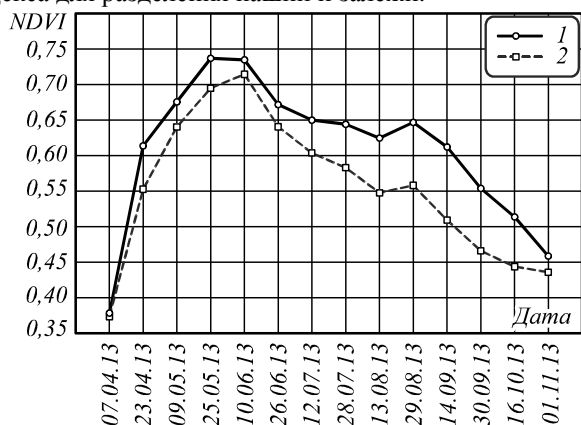


Рис. 1. Динамика средних значений NDVI для залежных (1) и пахотных (2) земель

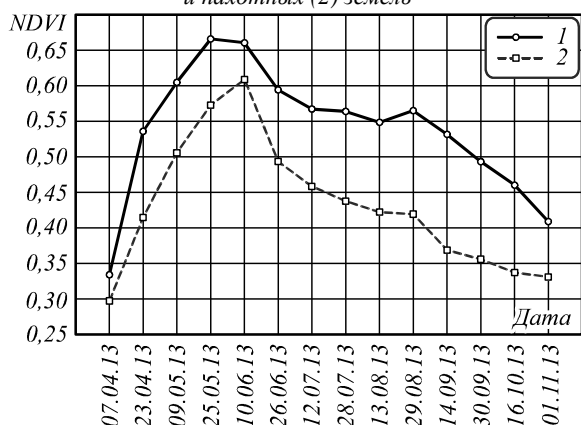


Рис. 2. Динамика минимальных значений NDVI для залежных (1) и пахотных (2) земель

Статистическая оценка степени взаимных различий NDVI пашни и залежи, выполненная путем анализа t-критерия Стьюдента и его сравнения с критической величиной, также показала, что их минимальные значения индекса более значимо отличаются друг от друга, чем средние (табл. 2). Используемый уровень значимости – 0,05, число степеней свободы – 425. Критическая величина t-критерия для соответствующего числа степеней свободы составляет 1,967. Т.к. минимальные (очень низкие) величины индекса характеризуют наличие оголенной почвы или полное отсутствие зеленой фитомассы, то, видимо, этот фактор является решающим для разделения залежей и пашни.

Из табл. 2 видно, что величина t-критерия Стьюдента для минимальных значений NDVI больше и чаще превышает критическую величину (1,967), чем аналогичный показатель для средних значений, что характерно для всех анализируемых временных срезов. Значительные различия в минимальных значениях индекса для залежей или пашни наглядно проявляются и при их графическом анализе в отдельные сроки (рис. 3).

Таким образом, был сделан предварительный вывод о том, что минимальные значения индекса должны быть более информативны для разделения пашни и залежи на основе спутниковых данных.

Табл. 2. Величина t-критерия Стьюдента, характеризующая взаимное различие значений вегетационного индекса залежи и пашни

| Средние значения NDVI | | | Минимальные значения NDVI | | |
|-----------------------|---------|------|---------------------------|---------|------|
| Дата | t-знач. | p | Дата | t-знач. | p |
| 07.01.13 | 0,45 | 0,65 | 07.01.13 | 4,70 | 0,00 |
| 23.04.13 | 3,48 | 0,00 | 23.04.13 | 7,05 | 0,00 |
| 09.05.13 | 2,24 | 0,03 | 09.05.13 | 5,16 | 0,00 |
| 25.05.13 | 3,10 | 0,00 | 25.05.13 | 5,20 | 0,00 |
| 10.06.13 | 1,92 | 0,05 | 10.06.13 | 3,33 | 0,00 |
| 26.06.13 | 1,91 | 0,05 | 26.06.13 | 5,53 | 0,00 |
| 12.07.13 | 2,49 | 0,01 | 12.07.13 | 5,64 | 0,00 |
| 28.07.13 | 3,40 | 0,00 | 28.07.13 | 6,58 | 0,00 |
| 13.08.13 | 5,33 | 0,00 | 13.08.13 | 8,17 | 0,00 |
| 29.08.13 | 5,88 | 0,00 | 29.08.13 | 8,27 | 0,00 |
| 14.09.13 | 6,69 | 0,00 | 14.09.13 | 9,15 | 0,00 |
| 30.09.13 | 6,87 | 0,00 | 30.09.13 | 11,12 | 0,00 |
| 16.10.13 | 5,40 | 0,00 | 16.10.13 | 11,04 | 0,00 |

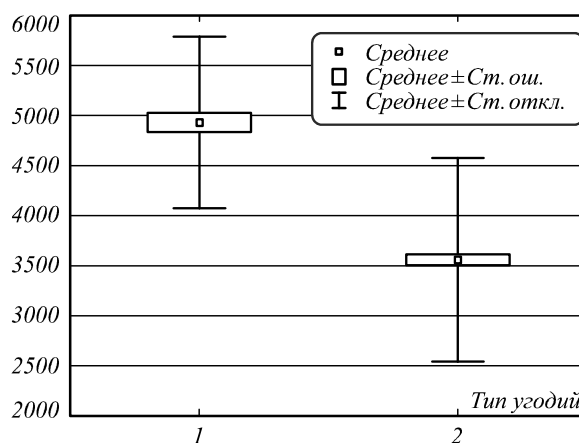


Рис. 3. Статистические параметры для минимальных значений NDVI (×10000) залежи (1) и пашни (2) 30.09.2013

Подробная статистическая оценка эффективности разделения пашни и залежи, выполненная методом дискриминантного анализа показала, что информативность минимальных сезонных значений NDVI для распознавания залежей среди пашни намного больше, чем его средних значений (табл. 3).

Табл. 3. Точность распознавания залежей и пашни на основе значений NDVI

| Тип | Точность распознавания, % | |
|--------|---------------------------|---------------------------|
| | Средние значения NDVI | Минимальные значения NDVI |
| Залежь | 32,9 | 70,8 |
| Пашня | 94,5 | 95,4 |
| Всего | 83,1 | 90,9 |

На наш взгляд, это объясняется тем, что минимальные значения вегетационного индекса в большей степени характеризуют наличие или отсутствие оголенной почвы или полное отсутствие зеленой фитомассы, а это фактически является основным признаком, отличающим с точки зрения дистанционного зондирования пашню от залежи.

Из табл. 3 видно, что точность выявления залежей на основе минимальных значений индекса составила

почти 71 %, в то время как на основе средних значений – 32,9 %.

На основе минимальных значений вегетационного индекса 56 залежей из 79 были распознаны верно и 23 залежи были ошибочно распознаны как пашня. На основе средних значений NDVI только 26 залежей были распознаны верно и 53 залежи были ошибочно отнесены к пашне.

Стоит отметить, что точность распознавания пашни на основе рассчитанных уравнений оказалась достаточно высокой – 95,4 %. Более высокой точности распознавания залежей достичь не удалось. Тем не менее, сам факт автоматизированного выявления основного числа залежей может быть использован для их мониторинга.

В связи с низкой эффективностью средних значений вегетационного индекса для распознавания залежей, они были исключены из дальнейшего анализа, в котором участвовали только минимальные показания NDVI аграрных полей. Они были применены для расчета дискриминантных функций (функций классификации).

Полученные уравнения, коэффициенты которых показаны в табл. 4, представляют линейные функции и позволяют рассчитывать значения (классификационные веса), на основе которых сельскохозяйственное поле будет относиться к залежи или пашне. Конкретное угодье будет классифицироваться в ту совокупность, для которой вычислен наибольший классификационный вес.

Необходимо отметить, что коэффициенты, показанные в табл. 4, рассчитаны для значений NDVI, умноженных на 10000, что было сделано для удобства анализа данных.

Табл. 4. Коэффициенты линейных дискриминантных функций, рассчитывающих классификационные веса, позволяющие отнести угодье к залежи или пашне

| NDVI | Залежь | Пашня |
|----------------------|----------|----------|
| 30.09.2013 (x_1) | -0,0010 | -0,0010 |
| 28.07.2013 (x_2) | 0,0036 | 0,0028 |
| 23.04.2013 (x_3) | 0,0000 | -0,0011 |
| 16.10.2013 (x_4) | 0,0053 | 0,0040 |
| 14.09.2013 (x_5) | 0,0014 | 0,0010 |
| 07.04.2013 (x_6) | 0,0084 | 0,0097 |
| 10.06.2013 (x_7) | 0,0043 | 0,0039 |
| Константа | -53,6864 | -37,0872 |

Таким образом, дискриминантные (классификационные) функции выглядели следующим образом:

$$\text{Залежь} = -0,0010x_1 + 0,0036x_2 + 0,0053x_4 + 0,0014x_5 + 0,0084x_6 + 0,0043x_7 - 53,6864.$$

$$\text{Пашня} = -0,0010x_1 + 0,0028x_2 - 0,0011x_3 + 0,0040x_4 + 0,0010x_5 + 0,0097x_6 + 0,0039x_7 - 37,0872.$$

Первая функция вычисляет классификационный вес для залежи, вторая – для пашни. Независимыми переменными в них выступают сезонные значения вегетационного индекса угодий, рассчитанные на основе информационных продуктов MOD13Q1.

По результатам обеих функций сравнивались полученные показатели. Анализируемое угодье относилось к тому классу, которому соответствовало более высокое значение. Например, если для конкретного угодья классификационный вес для залежи оценивался как 0,72, а для пашни 0,28, то оно относилось к залежи.

Сезонные значения вегетационного индекса, выступая независимыми переменными в функциях классификации, характеризуются различным вкладом в разделение залежи и пашни, что обусловлено реальными отличиями в состоянии почвенно-растительного покрова залежей в разные сроки периода вегетации. Наибольшая эффективность (по величине критерия «F-включение») установлена для значений индекса конца сентября-первой половины октября (табл. 5). Величина «F-включение» для переменной указывает на ее статистическую значимость при дискриминации между группами (в нашем случае между пашней и залежью). Чем она выше, тем больше вклад переменной в разделение совокупностей.

Табл. 5. Результаты пошагового дискриминантного анализа минимальных значений NDVI

| NDVI | Шаг | F-вкл. | p-уров. | Число перем. |
|------------|-----|--------|---------|--------------|
| 30.09.2013 | 1 | 123,7 | 0,00 | 1 |
| 28.07.2013 | 2 | 29,1 | 0,00 | 2 |
| 23.04.2013 | 3 | 31,8 | 0,00 | 3 |
| 16.10.2013 | 4 | 25,7 | 0,00 | 4 |
| 14.09.2013 | 5 | 14,4 | 0,00 | 5 |
| 07.04.2013 | 6 | 7,4 | 0,00 | 6 |
| 10.06.2013 | 7 | 6,8 | 0,00 | 7 |

На наш взгляд, высокая эффективность значений вегетационного индекса этих сроков для разделения пашни и залежи объясняется тем, что в это время подавляющее большинство обрабатываемых полей уже распаханно либо после уборки урожая на них полностью отсутствует зеленая фитомасса, в то время как на залежах, наоборот, сохраняется растительный покров. Этот фактор определяет значительные различия в NDVI залежей и пашни в этот период года.

Выводы

1. Исследованы возможности автоматизированного распознавания залежных земель на основе комбинированного использования статистических методов (дискриминантный анализ) и геоинформационных способов обработки данных.

2. Метод дискриминантного анализа позволил рассчитать уравнения, позволяющие с точностью свыше 70 % распознавать залежи среди пашни. Большой точности распознавания достичь не удалось в связи с высокой схожестью значений вегетационного индекса обрабатываемых полей и залежей во многие периоды вегетационного сезона.

3. Минимальные значения NDVI сельскохозяйственных полей, рассчитываемые на основе информационных продуктов MOD13Q1, значительно эффективнее для детектирования залежей, чем их средние значения.

4. Из сезонных значений вегетационного индекса наибольший вклад в автоматизированное разделение пахотных земель и залежей вносят значения NDVI конца сентября-первой половины октября (30.09–16.10), что, по всей видимости, обусловлено максимальным отличием почвенно-растительного покрова залежей от обрабатываемых полей в эти сроки.

Литература

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. Г.А. Романенко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 64 с.
2. Черкасов, Г.Н. Эволюция залежных земель и перспективы их использования в Центральном Черноземье / Г.Н. Черкасов, Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов // Земледелие. – 2009. – № 7. – С. 9-11.
3. Prishchepov, A.V. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe / A.V. Prishchepov, V.C. Radeloff, M. Dubinin, C. Alcantara // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 126. – P. 195-209. – DOI: 10.1016/j.rse.2012.08.017.
4. Балдина, Е.А. Радиолокационные данные для характеристики состояния залежей в дельте Волги / Е.А. Балдина // Геомашика. – 2012. – № 4. – С. 28-33.
5. Justice, C.O. An overview of MODIS Land data processing and product status / C.O. Justice, J.R.G. Townshend, E.F. Vermote, E. Masuoka, R.E. Wolfe, N. Saleous, D.P. Roy, J.T. Morisette // Remote Sensing of Environment. – 2002. – Vol. 83(1-2). – P. 3-15. – DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00084-6.
6. Zhou, J. Reconstruction of global MODIS NDVI time series: Performance of harmonic analysis of time series (HANTS) / J. Zhou, L. Jia, M. Menenti // Remote Sensing of Environment. – 2015. – Vol. 163. – P. 217-228. – DOI: 10.1016/j.rse.2015.03.018.
7. Pringle, M.J. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery / M.J. Pringle, R.J. Denham, R. Devadas // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2012. – Vol. 19. – P. 276-285. – DOI: 10.1016/j.jag.2012.05.015.
8. le Maire, G. Mapping short-rotation plantations at regional scale using MODIS time series: Case of eucalypt plantations in Brazil / G. le Maire, S. Dupuy, Y. Nouvellon, R.A. Loos, R. Hakamada // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 152. – P. 136-149. – DOI: 10.1016/j.rse.2014.05.015.
9. Барталёв, С.А. Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации / С.А. Барталёв, В.А. Егоров, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотиных, И.А. Уваров // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 1. – С. 103-116.
10. Кузнецов, К.В. Об использовании спутниковых снимков для распознавания сельскохозяйственных культур в Краснодарском крае / К.В. Кузнецов, Д.А. Липилин // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2012. – № 3(32). – С. 88-92.
11. Vorobiova, N.S. How to use geoinformation technologies and space monitoring for controlling the agricultural sector in Samara Region / N.S. Vorobiova, A.Y. Denisova, A.V. Kuznetsov, A.M. Belov, A.V. Chernov, V.V. Myasnikov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25(2). – P. 347-353. – DOI: 10.1134/S1054661815020261.
12. Савин, И.Ю. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки качества почв пашни (на примере Баксанского района Кабардино-Балкарии) / И.Ю. Савин, Э.Р. Танов, С. Харзинов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2015. – № 77. – С. 51-65.
13. Терехин, Э.А. Анализ многолетней динамики вегетационного индекса для посевных площадей / Э.А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 6. – С. 48-58.
14. Терехин, Э.А. Применение материалов космической съемки для оценки площади и состояния чистых паров Белгородской области / Э.А. Терехин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – Т. 32, № 15(212). – С. 178-183.
15. Халафян, А.А. СТАТИСТИКА 6. Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – М.: Бинум-Пресс, 2007. – 512 с.
16. Терехин, Э.А. Влияние проективного покрытия растительности посевных площадей на её спектрально-отражательные свойства / Э.А. Терехин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 3. – С. 61-71. – DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-61-71.

Сведения об авторе

Терехин Эдгар Аркадьевич. Кандидат географических наук (2011 г.), старший научный сотрудник федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга Белгородского государственного национального исследовательского университета. Область научных интересов: анализ данных дистанционного зондирования, геоинформационные технологии, исследование растительного покрова спутниковыми методами. E-mail: terekhin@bsu.edu.ru.

ГРПТИ: 89.57.35.

Поступила в редакцию 5 июня 2017 г. Окончательный вариант – 19 июля 2017 г.

RECOGNITION OF ABANDONED AGRICULTURAL LANDS USING SEASONAL NDVI VALUES

E.A. Terekhin^{1,2}

¹Belgorod State University,

Federal and Regional Centre for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources, Scientific and Technological Equipment Common Use Centre, Belgorod, Russia

Abstract

This paper explores the potentialities of discriminant analysis for the identification of abandoned agricultural lands using their reflectance spectrum properties. A method of automated detection of fallow lands is proposed. Using experimental data received from the agricultural lands of the Belgorod Region, we propose equations that allow an agrarian land to be classified as an arable

or fallow land in an automated mode. The accuracy of fallow land recognition is 71%. It is found that seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) values computed from MODIS data in the period of late September - early October are most informative in terms of abandoned agricultural land identification. It is shown that the use of the minimal NDVI values is much more efficient for the identification of fallow land when compared with the mean NDVI values.

Keywords: abandoned agricultural lands, stepwise discriminant analysis, remote sensing, NDVI, MODIS, reflectance spectrum properties.

Citation: Terekhin EA. Recognition of abandoned agricultural lands using seasonal NDVI values. *Computer Optics* 2017; 41(5): 719-725. DOI: 10.18287/2412-6179-2017-41-5-719-725.

References

- [1] Romanenko GA, ed. Agroecological state and prospects for the use of the lands of Russia, that left the active crop rotation [In Russian]. Moscow: "FGNU Rosinformagrotekh" Publisher; 2008.
- [2] Cherkasov GN, Masyutenko NP, Kuznetsov AV. Evolution of fallow lands and perspectives of its use in Central chernozem region [In Russian]. *Zemledeliye* 2009; 7: 9-11.
- [3] Prishchepov AV, Radeloff VC, Dubinin M, Alcantara C. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment* 2012; 126: 195-209. DOI: 10.1016/j.rse.2012.08.017.
- [4] Baldina EA. Application of radar data to characterize the deposits in the Volga Delta [In Russian]. *Geomatics* 2012; 4: 28-33.
- [5] Justice CO, Townshend JRG, Vermote EF, Masuoka E, Wolfe RE., Saleous N, Roy DP, Morisette JT. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment* 2002; 83(1-2): 3-15. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00084-6.
- [6] Zhou J, Jia L, Menenti M. Reconstruction of global MODIS NDVI time series: Performance of harmonic analysis of time series (hants). *Remote Sensing of Environment* 2015; 163: 217-228. DOI: 10.1016/j.rse.2015.03.018.
- [7] Pringle MJ, Denham RJ, Devadas R. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2012; 19: 276-285. DOI: 10.1016/j.jag.2012.05.015.
- [8] le Maire G, Dupuy S, Nouvellon Y, Loos RA, Hakamada R. Mapping short-rotation plantations at regional scale using MODIS time series: Case of eucalypt plantations in Brazil. *Remote Sensing of Environment* 2014; 152: 136-149. DOI: 10.1016/j.rse.2014.05.015.
- [9] Bartalev SA, Egorov VA, Loupian EA, Plotnikov DE, Uvarov IA. Recognition of arable lands using multi-annual satellite data from spectroradiometer MODIS and locally adaptive supervised classification [In Russian]. *Computer Optics* 2011; 35(1): 103-116.
- [10] Kuznetsov KV, Lipilin DA. On the use of satellite imagery for the recognition of crops in the Krasnodar Territory [In Russian]. *Newsletter of North-Caucasus State Technical University* 2012; 3 (32): 88-92.
- [11] Vorobiova NS, Denisova AY, Kuznetsov AV, Belov AM, Chernov AV, Myasnikov VV. How to use geoinformation technologies and space monitoring for controlling the agricultural sector in Samara Region. *Pattern Recognition and Image Analysis* 2015; 25(2): 347-353. DOI: 10.1134/S1054661815020261.
- [12] Savin I, Tanov E, Kharzinov S. The use of NDVI profiles for estimating the quality of arable lands (exemplified by the Baksan region in Kabardino-Balkaria) [In Russian]. *Bulletin of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute* 2015; 77: 51-65.
- [13] Terekhin EA. Analysis of vegetation index long-term dynamics for crop areas [In Russian]. *Current problems in remote sensing of the Earth from space* 2015; 12(6): 48-58.
- [14] Terekhin EA. Application of space survey materials to assess the area and condition of pure vapors of the Belgorod Region [In Russian]. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences* 2015; 32(15): 178-183.
- [15] Khalafyan AA. *STATISTICA 6. Statistical analysis* [In Russian]. Moscow: "Binom-Press" Publisher, 2007.
- [16] Terekhin EA. Influence of crop areas vegetation cover fraction on their spectral reflectivity properties [In Russian]. *Current problems in remote sensing of the Earth from space* 2016; 13(3): 67-71. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-61-71.

Author's information

Edgar Arkadievich Terekhin. PhD in Geography. A senior research worker of Centre for Aerospace and Ground Monitoring of Objects and Natural Resources of Belgorod State University. Research interests are satellite image processing, thematic processing of remote sensing data, GIS-technologies, study of vegetation cover based on satellite images. E-mail: terekhin@bsu.edu.ru.

Received June 5, 2017. The final version – July 19, 2017.