

Сезонная динамика NDVI многолетних трав и ее использование для типизации их посевов на территории Белгородской области

Э.А. Терехин

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга
объектов и природных ресурсов
Белгород, 308015, Россия
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

Изложены результаты исследования сезонной динамики индекса NDVI и спектрально-отражательных свойств многолетних трав, выращиваемых на территории Белгородской области. Значения NDVI изучены на основе данных MOD13Q1, получаемых на основе снимков MODIS, с интервалом в 16 дней. Сезонные значения вегетационного индекса исследованы в период с марта по декабрь 2012 г. на основе данных со 105 сельскохозяйственных полей. Установлено, что сезонная динамика NDVI позволяет классифицировать поля с многолетними травами, различающиеся по срокам их высевания и по количеству укосов. Поля, различные по срокам высевания трав, идентифицируются на основе разных значений индекса в период начала-середины апреля. Для полей с посевами трав предыдущего года значения NDVI в начале-середина апреля значительно выше, чем для полей, на которых посевы трав производились в текущем году. Повышенные значения NDVI для полей с многолетними травами посевов предыдущих лет позволяют дешифрировать эти поля на фоне остальных, за исключением полей с озимыми культурами. Поля, различающиеся по количеству укосов на протяжении года, идентифицируются на основе количества резких падений значений индекса, наблюдающихся после каждого укоса трав.

Ключевые слова: многолетние травы, сезонная динамика, спутниковые снимки, NDVI, Landsat ETM+, MODIS, MOD13Q1, Белгородская область.

Введение

Задача геоинформационного картографирования посевов многолетних трав является составляющей проблемы создания и обновления карты структуры посевных площадей. Многолетние травы характеризуются рядом особенностей, обуславливающих необходимость разработки специализированных подходов к применению спутниковых снимков для их картографирования и мониторинга. В первую очередь к таким особенностям относится сезонное развитие спектрально-отражательных свойств. В некоторых регионах, например, Белгородской области, поля с многолетними травами часто характеризуются небольшой площадью (около 20 га), что ограничивает применение снимков с некоторых спутниковых сенсоров для их анализа.

В Белгородской области посевы многолетних трав занимают относительно небольшую площадь по сравнению со многими другими культурами. Площадь многолетних трав в регионе составляет 6,7% от общей площади пашни (Департамент АПК, 2014). Но при этом посевы многолетних трав характеризуются повсеместным распространением, потому что они играют не только хозяйственное, но и экологическое значение (Лисецкий, 2011). В частности, многолетние травы высеваются на склонах, подверженных интенсивным эрозийным процессам, а также на участках полей, характеризующихся густой сетью потяжин, водороев и микроложбин.

Анализ публикаций на тему дистанционного исследования многолетних трав показывает, что этой проблеме посвящено значительно меньшее количество работ, чем вопросам

спутникового изучения других типов посевов. На текущий момент исследования сконцентрированы на анализе коэффициентов отражения многолетних трав в различных зонах спектра (Сергеева, 2011), картографировании многолетних трав в совокупности с остальными типами посевов (Терехин, 2012; Повх, 2013), оценке фитомассы (Калинин, 2010). При этом мониторинг посевов трав играет как экологическое, ресурсное, так и экономическое значение.

Настоящая статья посвящена проблеме исследования сезонных значений вегетационного индекса NDVI для многолетних трав, типичных для Белгородской области и Центрального Черноземья (в первую очередь, это эспарцет и люцерна), использованию спектральных характеристик многолетних трав для их типизации и анализа развития.

Материалы и методика исследования

Экспериментальная часть исследования заключалась в анализе сезонного изменения значений индекса NDVI для многолетних трав на основе продуктов MOD13Q1 (LPDAAC, 2012). Значения NDVI были проанализированы с интервалом в 16 дней в период с 5 марта по 2 декабря 2012 года. Продукты MOD13Q1 создаются на основе многозональных снимков MODIS.

Для достоверного анализа значений вегетационного индекса на территории Белгородской области на основе данных сельскохозяйственных организаций и полевых обследований было отобрано и исследовано 105 полей общей площадью 1574 га, на которых располагались посевы многолетних трав в 2012 году. Анализируемые поля располагались в различных административных районах Белгородской области (*рис. 1*).

Для анализа спектрально-отражательных свойств многолетних трав были использованы также снимки Landsat ETM+ 11, 20 мая, 7 и 14 июля 2012 года. За каждый срок были оценены особенности отображения многолетних трав на снимках и проведено сопоставление результатов со значениями NDVI, вычисленными на ближайшие даты на основе снимков MODIS. Для удобства анализа значения NDVI умножены на 10000. Анализ снимков осуществили в программе ERDAS IMAGINE 2013.

Геоинформационная обработка данных была выполнена в программе ArcGIS, статистический анализ проведен в программе STATISTICA.

Результаты и их обсуждение

В процессе исследования удалось установить особенности многолетних трав, определяющих специфику их анализа на спутниковых данных для территории Белгородской области.

1. Необходимо различать многолетние травы посева предыдущих лет, они будут характеризоваться на ранневесенних снимках повышенными значениями вегетационных индексов, и посевы трав текущего года, которые высеяны весной. Поля с травами, засеянными в

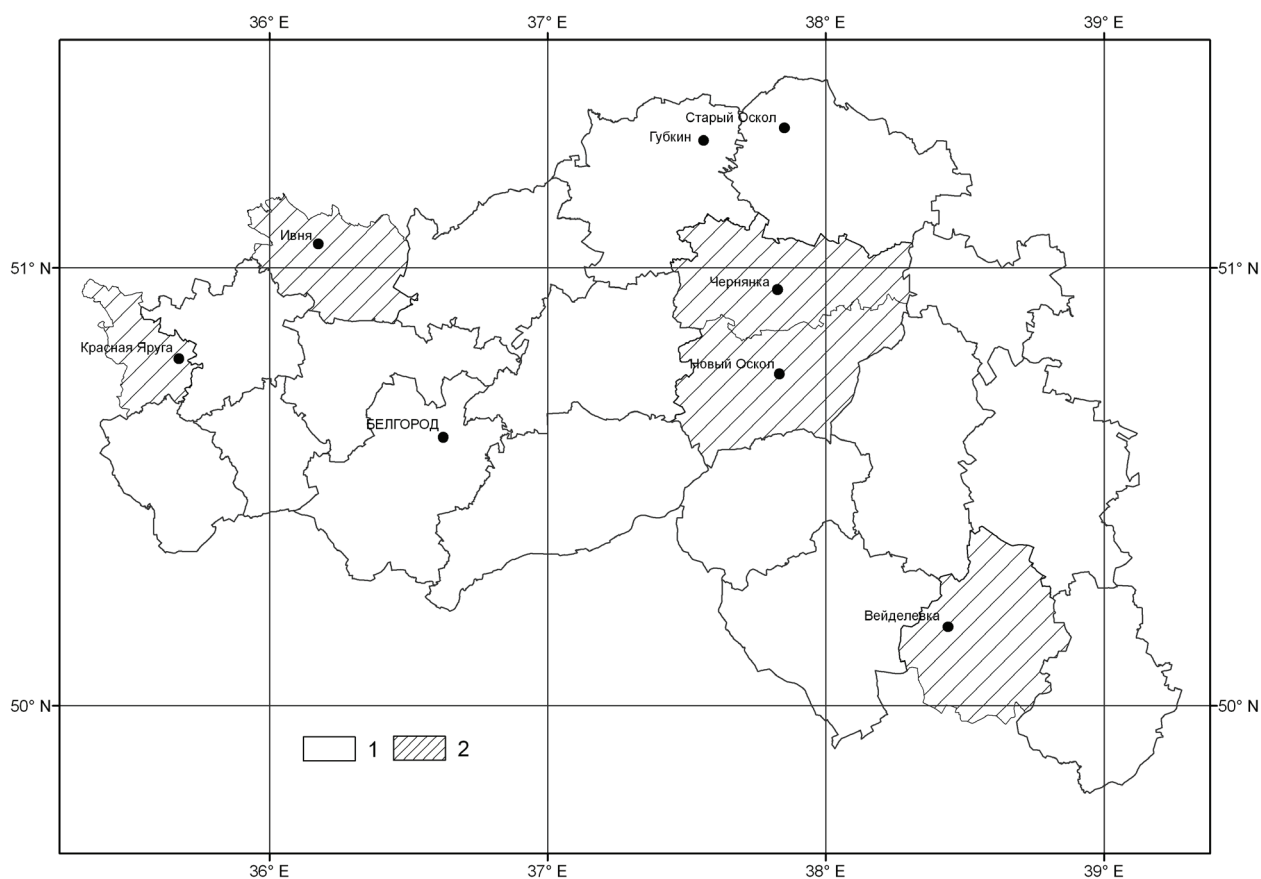


Рис. 1. Местоположение административных районов Белгородской области, в которых располагались тестовые поля с многолетними травами. 1 – границы Белгородской области и административных районов; 2 – районы, где располагались тестовые поля

текущем году, на ранневесенних снимках характеризуются спектральными характеристиками, типичными для оголенной почвы, и рост значений NDVI этих полей начинается позже, чем у полей предыдущего типа.

2. Следует различать поля с травами, на которых на протяжении вегетационного сезона периодически производились укосы, и на которых они отсутствовали. Первый тип полей характеризуется скачками значений NDVI.

3. Многолетние травы, несмотря на определенную однородность, на разных полях могут характеризоваться различным составом. Например, это могут быть посевы эспарцета или люцерны, комбинированные посевы.

Анализ сезонного развития спектрально-отражательных свойств полей с многолетними травами позволил, таким образом, установить типы полей, различающихся по разным критериям (рис. 2).

Первый критерий классификации полей с многолетними травами – сроки их высевания. С этих позиций можно выделить поля, на которых многолетние травы находятся с осени прошлого года (1 тип) и поля, на которых многолетние травы были посеяны в текущем году (2 тип).

Поля первого типа (рис. 3) по этой классификации среди анализируемых полей составляют подавляющее большинство и характеризуются повышенными значениями NDVI



Рис. 2. Типы полей с многолетними травами в зависимости от сроков их высевания и количества укосов

в ранневесенний период по сравнению со всеми остальными полями, за исключением полей с озимыми культурами, которые также в эти сроки имеют повышенные значения индекса в сравнении с остальными посевами (Терехин, 2013). Максимальные значения NDVI, соответствующие максимуму зеленой фитомассы, в 2012 г. на таких полях с многолетними травами наблюдались уже в первой половине мая. Повышенные значения вегетационного индекса в ранневесенний период позволяют достаточно эффективно выделять такие сельскохозяйственные поля на фоне остальных.

Поля второго типа (рис. 4) – поля, на которых многолетние травы были засеяны в текущем году, характеризуются тем, что активный рост значений NDVI у них начинается в более поздний период по сравнению с первым типом полей. Это обусловлено более поздним достижением аналогичных объемов зеленой фитомассы. Такие поля имеют спектральный отклик, близкий к ряду культур, также высеваемых весной (Терехин, 2012), что осложняет их дешифрирование на основе значений индекса.

Таким образом, принципиальное различие 1-го и 2-го типов полей с многолетними травами, различающихся сроками высевания, заключается в разной форме кривой сезонных значений NDVI, преимущественно в весенний период.

Анализ графиков на рис. 3, 4 позволил выявить и различия в сроках первого укоса на полях обоих типов. Для полей 1-го типа он производился между 8 и 24 мая, для 2-го типа – между 9 и 25 июня, т. е. на 3-4 недели позже. Анализ количества укосов позволяет классифицировать поля с многолетними травами также и по этому критерию.

Второй критерий классификации полей с многолетними травами – количество укосов на протяжении вегетационного периода. Необходимо отметить, что по этому критерию

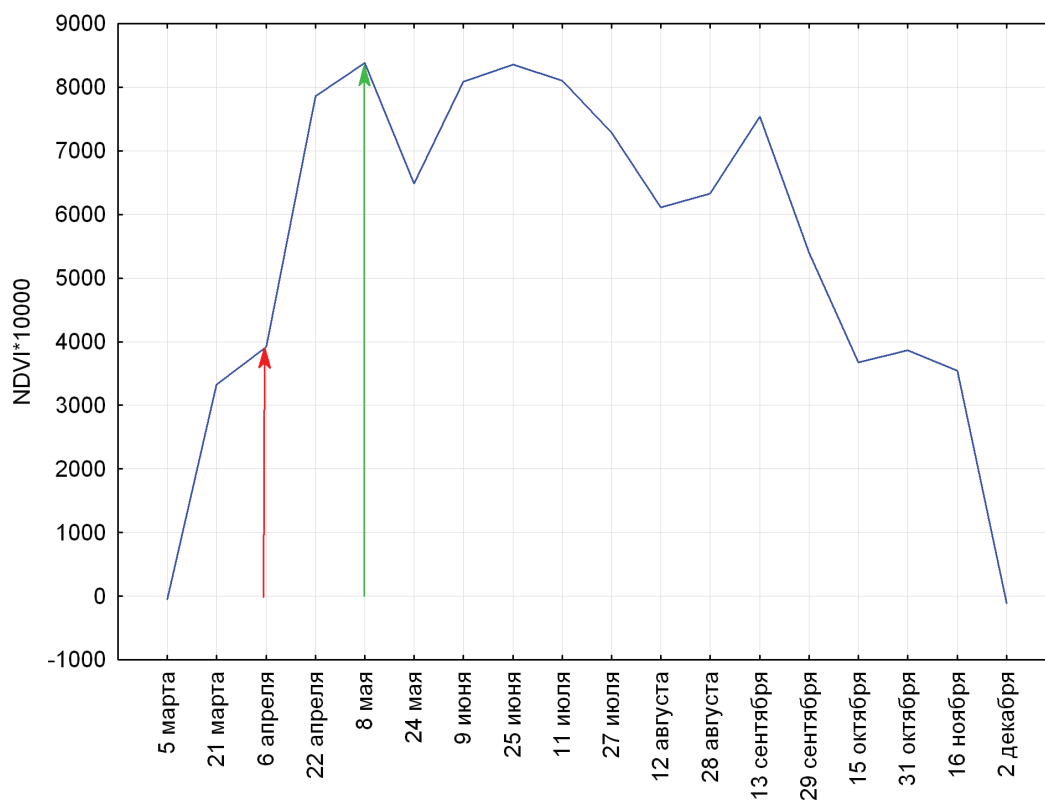


Рис. 3. Сезонная динамика значений NDVI поля, на котором многолетние травы находятся с осени прошлого года (1 тип). Красная стрелка – значения индекса сразу после схода снега, зеленая – время достижения максимальных значений NDVI после начала вегетационного сезона

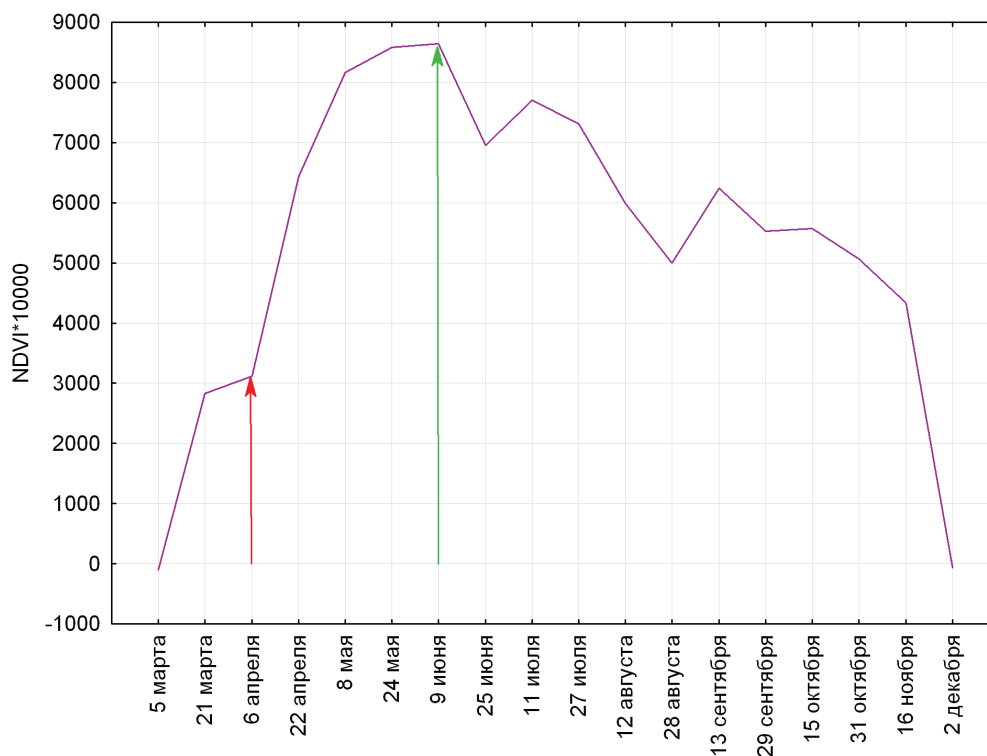


Рис. 4. Сезонная динамика значений NDVI поля, на котором многолетние травы находятся с весны текущего года (2 тип). Красная стрелка – значения индекса сразу после схода снега, зеленая – время достижения максимальных значений NDVI после начала вегетационного сезона

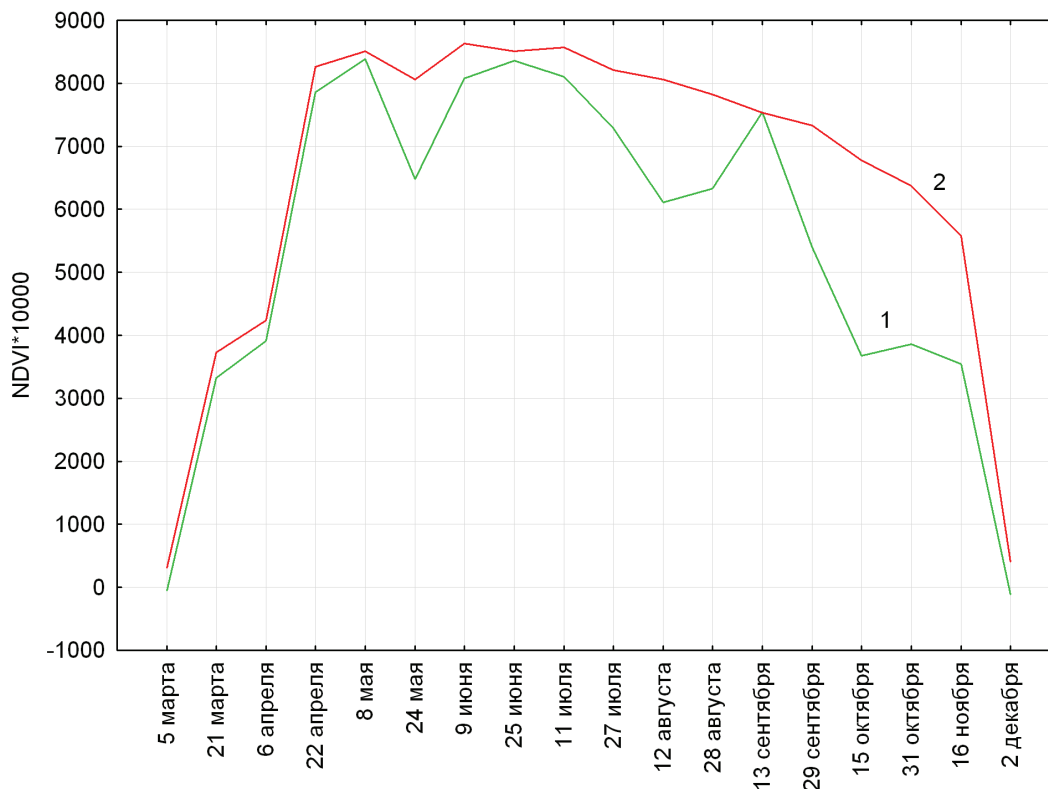


Рис. 5. Сезонная динамика значений NDVI для полей с многолетними травами, на которых наблюдается более 2-х скашиваний (1 тип) и менее двух скашиваний (2 тип). Резкие падения значений индекса соответствуют срокам укосов трав на полях

можно классифицировать поля обоих типов по предыдущей классификации (по срокам высева). Количество укосов, на наш взгляд, может быть выявлено по числу резких спадов значений спектрального индекса с последующим интенсивным ростом. После каждого укоса трав на полях должны наблюдаться резкие падения значений NDVI, обусловленные значительным снижением объемов зеленой фитомассы.

1-й тип полей по критерию количества скашиваний в год (рис. 5) характеризуется максимальным количеством падений и подъемов значений индекса. Установлено, что в большинстве случаев это поля с люцерной, характеризующейся более высокой интенсивностью развития после скашивания по сравнению с некоторыми другими травами, например, с эспарцетом. Из графика на рис. 5 видно, что падения индекса наблюдались после 8 мая, 27 июля, 13 сентября. Соответственно, в эти периоды происходило сенокошение. При этом второй укос производился с задержкой примерно на 2 недели, на что указывает предшествующее ему постепенное снижение NDVI, вызванное созреванием и переспеванием посевов.

Необходимо отметить, что на снимках высокого пространственного разрешения Landsat ETM+ смена спектрально-отражательных свойств полей с многолетними травами после скашиваний дешифрируется достаточно эффективно (рис. 6).

На таких снимках достаточно отчетливо проявляются следы от движения сенокосилок, которые могут быть использованы как дешифровочные признаки для полей с многолетними травами.



Рис. 6. Отображение полей с многолетними травами на снимках Landsat ETM+ в разные сроки вегетационного сезона. На снимках 14.07.2012 и 30.07.2012 видны следы от сенокосений, являющиеся дешифровочными признаками полей с посевами многолетних трав. 1 – контуры сельскохозяйственных полей; 2 – контуры полей с многолетними травами

2-й тип полей (рис. 5) характеризуется малым количеством скашиваний (одно, максимум – два). Из графика на рис. 5 видно, что первый укос на полях этого типа происходит примерно в те же сроки, что на полях 1-го типа, однако после этого производился максимум еще 1 укос, либо их больше вообще не производилось. Как правило, этот тип сезонного развития NDVI характерен для полей с эспарцетом. Обусловлено это тем, что эспарцет после укоса увеличивает зеленую фитомассу менее интенсивно, чем люцерна, вследствие чего в Белгородской области он скашивается, как правило, один, максимум – 2 раза в вегетационный сезон. При этом первый укос производится в июне, второй в конце августа или в сентябре.

Таким образом, количество укосов, установленное на основе значений NDVI, позволяет косвенно оценить и тип многолетних трав, находящихся на полях. Большое количество укосов характерно с высокой вероятностью для полей с люцерной, один или два укоса – для полей с эспарцетом. Т. е. форма кривой сезонной динамики спектрального индекса является дешифровочным признаком для типов многолетних трав, произрастающих на конкретных сельскохозяйственных полях.

Выводы

Анализ особенностей сезонной динамики значений индекса NDVI в совокупности с анализом дешифровочных признаков посевов многолетних трав на снимках высокого пространственного разрешения на территории Белгородской области позволил сделать следующие выводы.

Кривая сезонных значений NDVI является инструментом не только детектирования, но и анализа особенностей развития многолетних трав, позволяющим определять тип многолетних трав, сроки уборки и количество укосов. Использование сведений о сезонной динамике значений индекса позволило классифицировать поля с многолетними травами, характерные для территории Белгородской области, по различным критериям. Первый критерий – сроки высевания трав на полях, второй – количество укосов на протяжении вегетационного периода.

Детектирование посевов многолетних трав целесообразно проводить на основе совместного использования сезонных значений NDVI, извлеченных из продуктов MOD13Q1, и данных высокого пространственного разрешения. Ключевыми признаками при выделении трав являются повышенные значения индекса на сельскохозяйственных полях сразу после схода снежного покрова (для посевов трав предыдущих лет) и резкие скачки значений индекса на протяжении вегетационного сезона. На снимках высокого пространственного разрешения важным дешифровочным признаком многолетних трав являются существенные различия спектрально-отражательных свойств в пределах конкретных сельскохозяйственных полей, обусловленные особенностями проведения укосов на полях. Области одного и того же поля, различные по отражательным свойствам, формируют участки правильной формы (следы от движения сенокосилок), причем в разные сроки вегетационного периода.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации, проект № МК-2170.2014.5.

Литература

1. Департамент агропромышленного комплекса Белгородской области: <http://belapk.ru>
2. Калинин Н.А., Пьянков С.В., Связов Е.М., Смирнова А.А. Технология комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования // Вестник Удмуртского университета. 2010. № 6-4. С. 11-18.
3. Лисецкий Ф.Н., Ковалева Т.Н. Использование космического мониторинга для изучения элементов водного баланса в целях адаптивного землеустройства агроландшафтов // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 2011. Т. 17. № 21. С. 108-118.
4. Повх В.И., Шляхова Л.А., Боева И.Н. Оценка структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур по спутниковой информации высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 224-228.
5. Сергеева О.С. Использование спектральной отражательной способности почв и агрофитоценозов для мониторинга плодородия почв: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Тюмень. 2011. 20 с.
6. Терехин Э. А. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственной растительности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 243-248.
7. Терехин Э.А. Анализ спектральных свойств сельскохозяйственной растительности Белгородской области по спутниковым данным MODIS // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки. 2013. №10 (153). вып. 23 С. 150-156.
8. Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Электронный ресурс – <https://lpdaac.usgs.gov>.

NDVI seasonal dynamics of perennial grasses and its use for classification of their crops in the Belgorod region

E.A. Terekhin

*Belgorod State National Research University
Federal and Regional Centre for Aerospace Monitoring of Natural Resources
Belgorod 308015, Russia
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

Results of the study of the seasonal dynamics of NDVI index and spectral reflection properties of perennial grasses grown in the Belgorod region are presented. NDVI values based on MOD13Q1 data obtained from MODIS images at intervals of 16 days were studied. Seasonal NDVI values during the period from March 5 to December 2, 2012 on the basis of data from 100 agricultural fields were studied. Seasonal dynamics of NDVI allowed us to classify fields with perennial grasses, different in terms of seeding and number of mowings. Fields differing in terms of grass seeding were identified on the basis of different values of the index in the early to mid-April period. It was found that for fields with previous-year seeding the NDVI values in the early to mid-April were significantly higher than those for fields with grass seeded the current year. Increased values of NDVI index for fields with perennial grass crops from previous years help detecting these fields against other fields, except for fields with winter crops. Fields that differ in number of mowings during a year are identified by the number of sharp drop in index values observed after each mowing.

Keywords: perennial grasses, seasonal dynamics, remote sensing data, NDVI, Landsat ETM+, MODIS, MOD13Q1, Belgorod region

References

1. <http://belapk.ru>
2. Kalinin N.A., Pyankov S.V., Sviyazov E. M., Smirnova A.A. Tekhnologiya kompleksnoy otsenki fitomassy sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po dannym distantsionnogo zondirovaniya (Technology of the complex estimation of crop biomass according to remote sensing data) *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2010, No. 6-4, pp. 11-18.
3. Lisetskii F.N., Kovaleva T.N. Ispol'zovaniye kosmicheskogo monitoringa dlya izucheniya elementov vodnogo balansa v tselyakh adaptivnogo zemleustroystva agrolandshaftov (Using space monitoring for the study of water balance elements for purposes of adaptive agrolandscape arrangement) *Nauchnyye vedomosti BelGU. Seriya Yestestvennyye nauki*, 2011, Vol. 17, No. 21, pp. 108-118.
4. Povkh V.I., Shlyakhova L.A., Boeva I.N. Otsenka struktury posevnykh ploshchadey sel'skokhozyaystvennykh kul'tur po sputnikovoy informatsii vysokogo razresheniya (Assessment of the structure of agricultural crop areas using high resolution satellite data). *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 4, pp. 224-228.
5. Sergeeva O.S. *Ispol'zovaniye spektral'noy otrazhatel'noy sposobnosti pochv i agrofytotsenozov dlya monitoringa plodorodiya pochv: synopsis diss. kand. biol. nauk* (Using spectral reflectance of soils and agrophytocenosis for monitoring soil fertility), Tyumen', 2011, 20 p.
6. Terekhin E.A. Informativnost' spektral'nykh vegetatsionnykh indeksov dlya deshifirovaniya sel'skokhozyaystvennoy rastitel'nosti (The efficiency of spectral indices for interpretation agricultural vegetation), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 4, pp. 243-248.
7. Terekhin E.A. Analiz spektral'nykh svoystv sel'skokhozyaystvennoy rastitel'nosti Belgorodskoy oblasti po sputnikovym dannym MODIS (Analysis of spectral properties of agricultural vegetation of the Belgorod region from MODIS satellite data), *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: yestestvennyye nauki*, 2013, No. 10 (153), Issue 23, pp. 150-156.
8. <https://lpdaac.usgs.gov>.