



УДК 528.88

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СПЕКТРАЛЬНО-ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВОВ ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

FEATURES OF THE SEASONAL DYNAMICS OF THE SPECTRAL REFLECTANCE PROPERTIES OF TECHNICAL CROPS IN THE BELGOROD REGION

Э.А. Терехин
E.A. Terekhin

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород,
ул. Победы, 85
Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Ключевые слова: подсолнечник, соя, сахарная свекла, NDVI, MODIS, сезонная динамика, Центральное Черноземье, дистанционное зондирование.

Key words: sunflower, soybeans, sugar beet, NDVI, MODIS, seasonal dynamics, central Chernozemie, remote sensing.

Аннотация. Приведены результаты исследования сезонной динамики вегетационного индекса NDVI для посевов сои, подсолнечника и сахарной свеклы. Динамика индекса изучена за весь вегетационный период на примере 2012 года. Установлено, что посевы сои и подсолнечника характеризуются схожими особенностями сезонной динамики индекса в период интенсивного роста его значений, который соответствует периоду увеличения зеленой фитомассы этих культур. Для сахарной свеклы наивысшие значения индекса достигаются позже остальных культур и для нее, в отличие от сои и подсолнечника, характерно плавное снижение значений индекса в период после достижения его максимальных значений. Проанализировано изменение значений индекса на полях в период, следующий после уборки урожая. На основе динамики значений индекса установлено, что постоянный снежный покров на большинстве полей появился в период после 16 ноября.

Resume. The results of a study of seasonal dynamics of NDVI index for soybean, sunflower and sugar beet have been presented. Seasonal dynamics of the index with an interval of 16 days for the entire growing season on the example of the 2012 season has been studied. It was established that the crops of soybeans and sunflowers are characterized by similar features of the seasonal dynamics of the index during the period of intensive growth of its values, which corresponds to a period of increasing green biomass of these crops. Highest index values for sugarbeet are reached later, unlike soybeans and sunflower, characterized by a gradual decrease in the index values in the period after reaching its maximum value. On the basis of growth NDVI values in autumn it was established that most of the fields with soybean and sunflower after harvest of winter crops were sown. Based on the dynamics of index values it was established that permanent snow cover in most fields appeared after November 16.

Введение

Территория Белгородской области характеризуется распространением черноземных почв и оптимальными для сельского хозяйства агроклиматическими условиями, обуславливающими интенсивное сельскохозяйственное использование территории. Значительное количество осадков выпадает в летний период, совпадающий с максимальной интенсивностью роста всех сельскохозяйственных культур, что благоприятно сказывается на их развитии. Кроме озимых, занимающих около трети посевных площадей, широкое распространение получили посевы технических культур, к которым, в первую очередь, относятся сахарная свекла, подсолнечник и соя. Все перечисленные культуры на территории региона высеваются весной, однако, каждая из них имеет свои особенности развития. Сахарную свеклу сеют в конце апреля – начале мая, в некоторые годы с наступлением ранней весны – в первой половине апреля. Примерно в эти сроки высевают подсолнечник и сою. Массовая уборка сахарной свеклы начинается в конце сентября – октябре [Хижняк, 1975; Лукин, 2007]. В 2014 г. площадь посевов сои в сельскохозяйственных организациях Белгородской области составила 155964 га, подсолнечника – 103825 га, сахарной свеклы – 61520 га [Департамент АПК, 2014]. В общей структуре посевных площадей области посевы сои составили 11,3%, подсолнечника 7,5%, сахарной свеклы – 4,5%, составляя в совокупности около четверти всех посевных площадей.

Эффективное сельскохозяйственное производство обуславливает необходимость получения объективной и разносторонней информации о развитии посевов. Материалы регулярной

космической съемки в связи с этим представляют особый интерес с точки зрения анализа спектрально-отражательных свойств посевов, которые связаны с биофизическими характеристиками растительности [Klisch et al., 2006; Леонтьев, 2013; Atzberger et al., 2013].

Большинство типов сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории Белгородской области, характеризуется интенсивным развитием и динамикой вегетационного состояния, а, соответственно, и спектрально-отражательных свойств. В связи с этим возникает необходимость изучения посевов по серии спутниковых снимков или продуктов на их основе, фиксирующих спектральные характеристики посевов в разные сроки развития с минимальной периодичностью. Возможности орбитального спектрорадиометра MODIS [Justice et al., 2002] позволяют анализировать динамику спектрально-отражательных свойств посевов с небольшим временным интервалом, что важно для регулярного мониторинга посевов. Реализация системы спутникового мониторинга сельскохозяйственных культур на региональном уровне требует изучения спектральных характеристик растительности и их сезонной динамики. Особенности фенологического развития технических культур в таком случае обуславливают необходимость их отдельного исследования, в том числе, с применением данных дистанционного зондирования [Повх и др., 2007].

Результаты исследования, изложенные в настоящей статье, являются составной частью изучения спектральных характеристик основных типов сельскохозяйственных культур, характерных для Белгородской области, и агроклиматических условий Центрального Черноземья. Для условий Белгородской области к настоящему времени оценена информативность ряда вегетационных индексов для дешифрирования посевов [Терехин, 2012], выполнена оценка сезонной динамики спектральных характеристик некоторых типов культур, а также оценены возможности применения вегетационного индекса NDVI для детектирования типов сельскохозяйственной растительности [Терехин, 2015]. Однако полноценное представление о региональных сезонных особенностях сельскохозяйственной растительности требует рассмотрения полного набора типов посевов, характерных для Белгородской области, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

Одним из наиболее эффективных показателей, позволяющих анализировать особенности сельскохозяйственной растительности, является вегетационный индекс NDVI. Индекс рассчитывается на основе коэффициентов отражения в красной и ближней инфракрасной спектральных зонах. Он является безразмерной величиной и связан с объемом зеленой фитомассы. Анализ его значений позволяет оценить сроки посева и уборки культур, периоды интенсивного набора зеленой фитомассы, что необходимо для контроля развития посевов. Анализ сезонной динамики NDVI является важнейшим компонентом в разработке системы регионального мониторинга посевов сельскохозяйственных культур [Барталев и др., 2005]. Настоящая статья посвящена исследованию сезонной динамики значений индекса для группы технических культур с целью последующего использования спектральных свойств сельскохозяйственной растительности для анализа развития и состояния посевов.

Объекты и методы исследования

Исследование сезонной динамики значений NDVI для анализируемых культур было проведено в период вегетационного сезона 2012 г. на основе данных MOD 13 [LPDAAC] с начала весны до зимнего периода (за девять месяцев). Для получения экспериментального материала были собраны и проанализированы данные о типах посевов с 525 сельскохозяйственных полей, расположенных на территории Белгородской области, общей площадью 30969 га. Динамика значений индекса была изучена отдельно для каждой культуры и сопоставлена с особенностями динамики NDVI других типов посевов [Терехин, 2014].

С помощью программного пакета ArcGIS по серии продуктов MOD 13 был получен сезонный ряд значений NDVI для каждого сельскохозяйственного поля. Для удобства анализа были использованы значения индекса, умноженные на 10000. После этого было выполнено исследование спектрально-отражательных свойств анализируемых культур по снимкам с пространственным разрешением 15-30 м Landsat ETM+ (11 мая, 20 мая, 7 июля и 14 июля 2012 г.), проведен статистический анализ полученных данных (в программе STATISTICA 10). Результаты исследования получены с применением программного обеспечения и оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием ФРЦ НИУ «БелГУ».

Результаты и их обсуждение

С точки зрения изучения сезонного развития конкретной сельскохозяйственной культуры интерес представляет определение значений NDVI сельскохозяйственных полей в период, наступающий сразу после схода снега, в сроки до и после уборки урожая, а также во время до-



стижения максимальных величин индекса. При этом необходимо предварительно установить значения индекса, соответствующие оголенной (свежевспаханной) почве. Анализ NDVI на основе продуктов MOD 13 позволил установить, что значения индекса, соответствующие оголенной почве, находятся в пределах менее 3000 (значения индекса умножены на 10000). Показания индекса, выше этого порогового значения в подавляющем большинстве случаев указывают на наличие вегетационной активности на полях.

Оценка значений NDVI для полей с соей показала, что на большинстве полей в 2012 г. начало вегетационной активности зафиксировано уже в первой половине апреля (рис. 1), что является ранним сроком. При этом необходимо отметить, что 2012 год характеризовался очень ранней весной и, соответственно, сроками посевных работ, которые начались уже в конце марта.

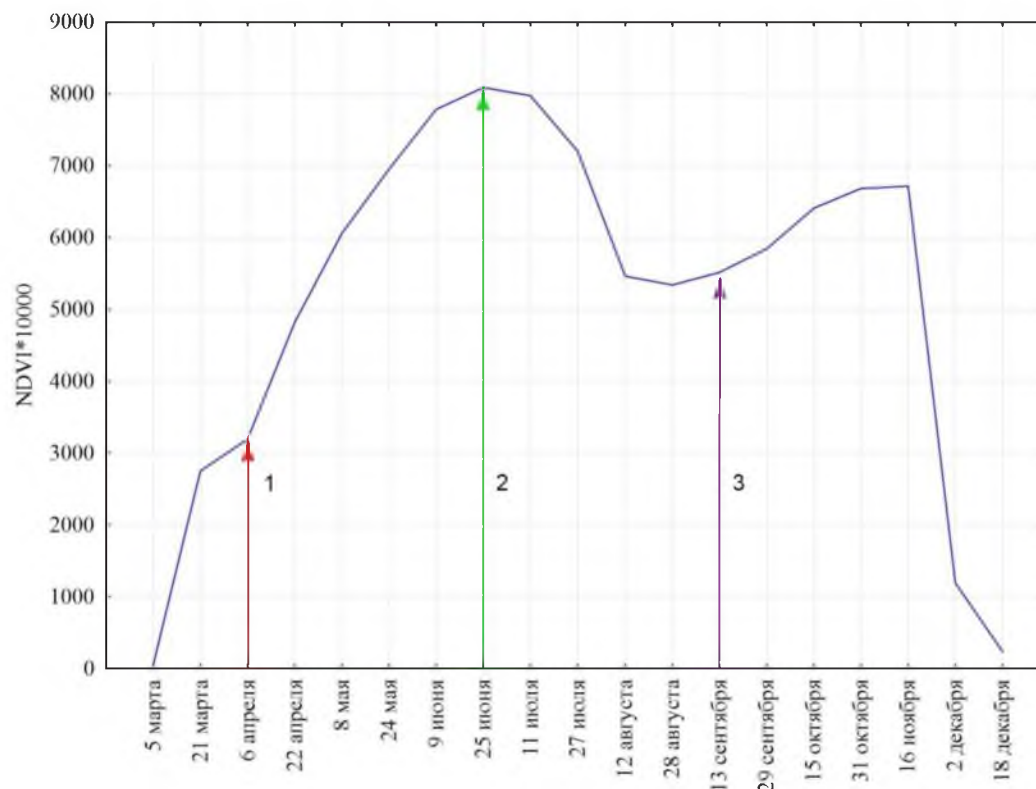


Рис. 1. График динамики средних значений NDVI для полей с соей: стрелка 1 – значения индекса сразу после схода снега; стрелка 2 – время достижения максимальных значений NDVI; стрелка 3 – начало роста значений NDVI (рост озимых культур, посеянных после сои)

Fig. 1. Graph of dynamics of average NDVI values for fields with soybeans: arrow 1 index value immediately after the snow melts; arrow 2 – the time to reach maximum values of NDVI; arrow 3 – the beginning of the growth values NDVI (the growth of winter crops planted after soybean)

Максимальные значения индекса для большинства полей с соей наблюдались в конце июня. В течение следующего времени наблюдался интенсивный спад значений NDVI. Минимальные значения индекса на протяжении вегетационного сезона для большинства полей зафиксированы в конце августа, после чего до установления постоянного снежного покрова наблюдался рост значений индекса. В процессе полевых исследований установлено, что на большинстве полей, на которых в 2012 г. произрастала соя, была посеяна озимая пшеница.

Таким образом, постепенное увеличение значений индекса на полях после уборки урожая может являться дешифровочным признаком озимых культур, посеянных на полях осенью. Интенсивный рост озимых осенью обусловил увеличение их зеленой фитомассы, что должно было отразиться и на значениях NDVI до установления снежного покрова. Резкое падение значений NDVI для полей с соей в конце года наблюдалось между 16 ноября и 2 декабря. Это указывает на то, что в этот промежуток времени произошло установление регулярного снежного покрова, т.к. показания NDVI, характерные для снежного покрова, значительно ниже, чем для зеленой растительности [Eklundh et al., 2011].

Анализ значений индекса сахарной свеклы показал, что также как и для сои, рост вегетационной активности наблюдался в первой половине апреля и продолжался до конца июня – середины июля (рис. 2).

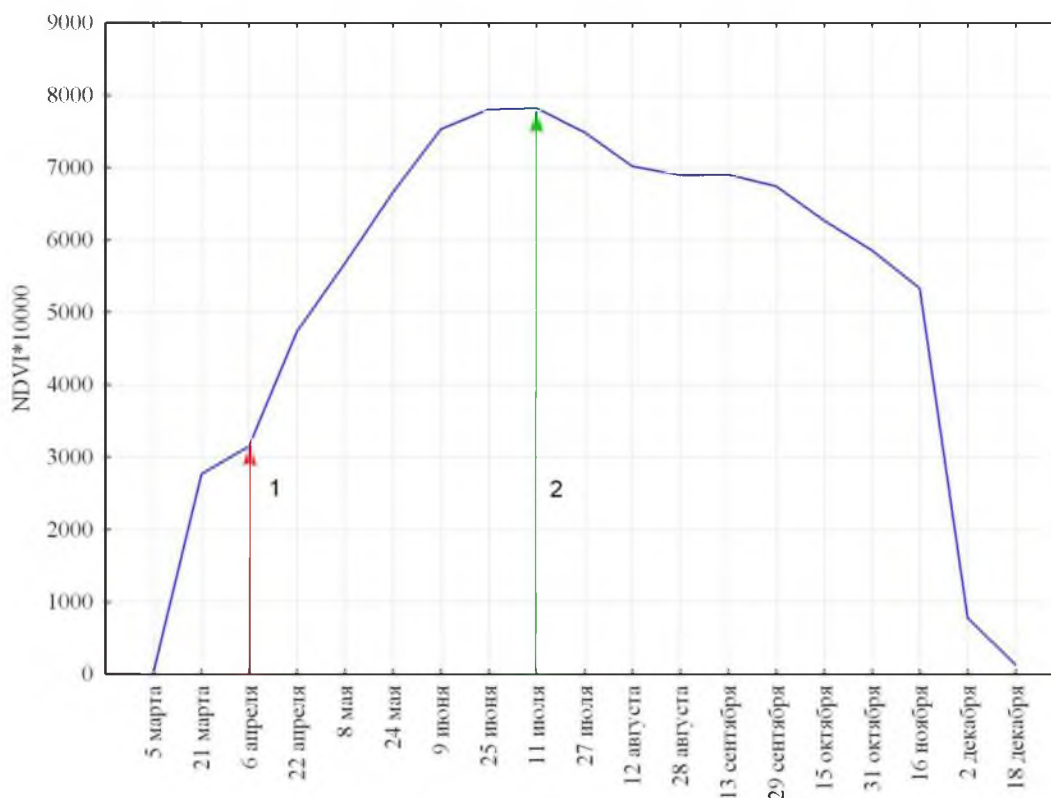


Рис. 2. Сезонная динамика NDVI для полей с сахарной свеклой: стрелка 1 – значения индекса сразу после схода снега; стрелка 2 – время достижения максимальных значений NDVI после начала вегетационного сезона

Fig. 2. Seasonal dynamics of NDVI for sugar beet fields: arrow 1 – value of the index immediately after the snow melts, arrow 2 – Time of maximum NDVI values after the start of the growing season

Кривая значений сезонной динамики NDVI для сахарной свеклы характеризует отличия сезонного развития от сои и от других культур. Они проявляются в большей продолжительности периода максимальной зеленой фитомассы и значительно меньшей интенсивности ее спада, что характерно для сахарной свеклы, которая характеризуется наличием значительных объемов зеленой фитомассы до конца сентября. В связи с этим значения NDVI для большинства полей с сахарной свеклой с середины июля и до ноября снижаются постепенно, что может являться важным дешифровочным признаком для полей с сахарной свеклой. Резкое падение значений индекса для полей с сахарной свеклой так же, как для полей с соей в 2012 г. зафиксировано в период между 16 ноября и 2 декабря. Таким образом, особенностями сезонной динамики NDVI для сахарной свеклы является повышенная длительность периода с максимальными значениями вегетационного индекса и его последующее плавное снижение до наступления зимнего периода, а точнее, до установления постоянного снежного покрова.

Сезонная динамика значений NDVI полей с подсолнечником во многом аналогична сезонной динамике индекса для полей с соей (рис. 3). Для сезонной динамики значений NDVI подсолнечника установлены следующие особенности: начало активного роста значений индекса – около 6 апреля, окончание периода роста значений индекса – 25 июня, резкое падение значений индекса в конце осени – после 16 ноября.

Таким образом, посеvy подсолнечника, также как и посеvy сои характеризуются во многом аналогичной динамикой значений NDVI в период увеличения его значений. Для полей с подсолнечником, так же, как и посеvов сои, характерен рост значений индекса в осенний период. В процессе полевых исследований и анализа снимков высокого пространственного разрешения Landsat установлено, что осенний рост значений индекса для полей с подсолнечником и соей, обусловлен тем, что после уборки урожая на большинстве полей, где произрастали эти культуры, в конце лета – начале осени были произведены посеvy озимых культур. Интен-



сивный рост озимых культур в осенний период обусловил повышение значений NDVI в этот период для полей, на которых до этого находились посевы сои и подсолнечника.

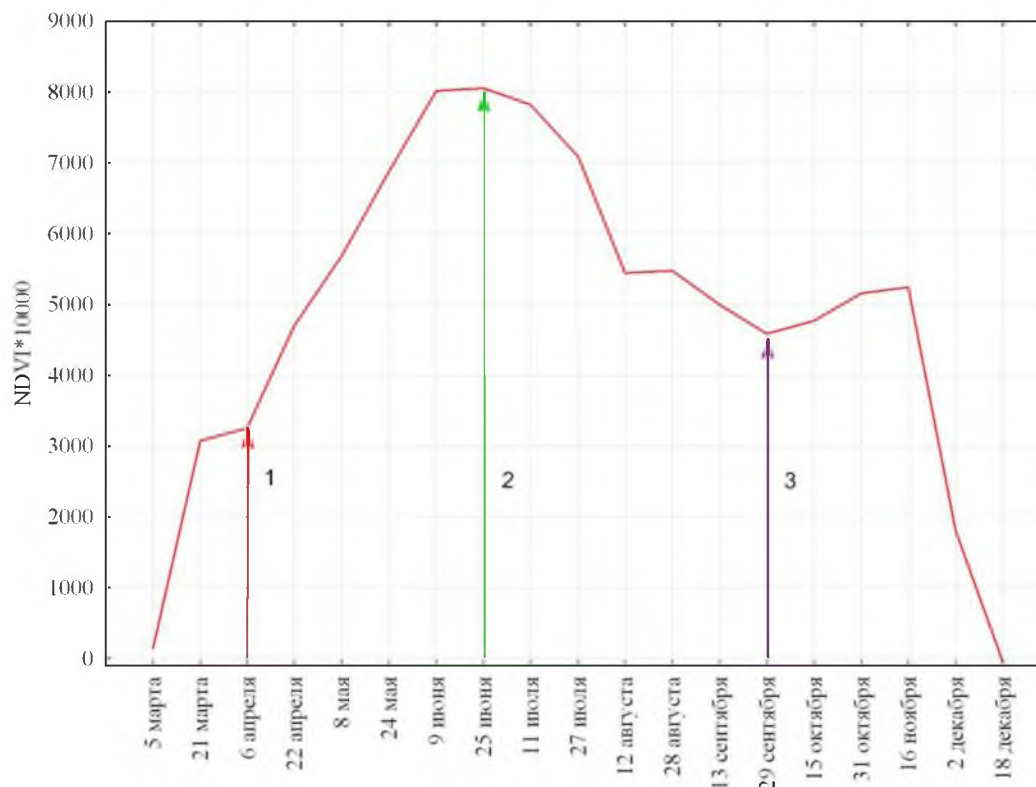


Рис. 3. Сезонная динамика NDVI для полей с подсолнечником: стрелка 1 – значения индекса сразу после схода снега; стрелка 2 – время достижения максимальных значений NDVI после начала вегетационного сезона; стрелка 3 – начало роста значений NDVI, обусловленного посевом озимых

Fig. 3. Seasonal dynamics of NDVI for fields with sunflowers: arrow 1 – value of the index immediately after the snow melts; arrow 2 – Time of maximum NDVI values after the start of the growing season; arrow 3 – the beginning of the growth values NDVI, due to the planting of winter crops

Таким образом, анализ сезонной динамики значений NDVI позволил установить основные особенности развития каждой из культур, а также особенности использования сельскохозяйственных полей с соей и подсолнечником после того, как на них была произведена уборка урожая (таблица). На большинстве полей, где основную часть вегетационного сезона произрастали соя и подсолнечник, начиная с конца лета, были произведены посевы озимых культур. Сахарная свекла находилась на полях до окончания вегетационного сезона. Результаты, приведенные в таблице, характеризуют этапы развития культур, полученные на основе значений NDVI, усредненных со всех сельскохозяйственных полей с конкретными культурами.

Таблица
Table

Основные даты, характеризующие развитие посевов на основе динамики NDVI
Main dates of characterizing the development of crops based on the dynamics of NDVI

Культура	Начало роста значений NDVI (начало вегетации)	Максимальные значения NDVI (максимум зеленой фитомассы)	Посев озимых после уборки урожая	Появление устойчивого снежного покрова
Соя	6.04.–22.04.	25.06	12.08.–13.09.	после 16.11.
Сахарная свекла	6.04.–22.04.	11.07	нет	после 16.11.
Подсолнечник	6.04.–22.04.	25.06	13.09.–29.09.	после 16.11.

Соответственно, для отдельных сельскохозяйственных полей, эти этапы могут незначительно отличаться. Также необходимо отметить, что посевы озимых были проведены не для

всех сельскохозяйственных полей, на которых основную часть вегетационного периода произрастали соя и подсолнечник.

Заключение

В процессе выполненных исследований сезонной динамики вегетационного индекса NDVI для посевов технических культур установлен ряд особенностей их сезонного развития. На основе полученных экспериментальных данных выявлено, что в 2012 г. для посевов сои, сахарной свеклы и подсолнечника интенсивный рост значений индекса начался в первой половине апреля. Окончание периода роста значений индекса для сои и подсолнечника наблюдалось 25 июня, для сахарной свеклы – 11 июля. Индекс NDVI коррелирует с величиной зеленой фитомассы, следовательно, эти сроки соответствуют времени окончания увеличения объема зеленой фитомассы у перечисленных культур, что было подтверждено в процессе полевых исследований. Сезонная динамика NDVI, характерная для сахарной свеклы, существенно отличается от динамики значений индекса, характерной для подсолнечника и сои в период, следующий после достижения максимальных сезонных значений NDVI каждой из культур. Отличие заключается в том, что для сахарной свеклы характерно плавное снижение значений индекса до самой уборки урожая. Связано это с тем, что сахарная свекла, в отличие от сои и подсолнечника, значительно дольше сохраняет значительные объемы зеленой фитомассы. Эта особенность сахарной свеклы может быть использована в качестве ее дешифровочного признака. Резкое падение значений индекса для полей со всеми анализируемыми культурами в период между 16 ноября и 2 декабря соответствовало появлению устойчивого снежного покрова.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта на проведение научно-исследовательских работ по приоритетным направлениям социально-экономического развития Белгородской области (договор № Г-03 от 10.11. 2013 г.).

Список литературы

References

1. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А., Савин И.Ю. 2005. Дистанционная оценка параметров сельскохозяйственных земель по спутниковым данным спектрорадиометра MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2 (2): 228–236.
1. Bartalev S.A., Lupjan E.A., Nejshtadt I.A., Savin I.Ju. 2005. Remote parameter estimation of agricultural land based on satellite data MODIS sensor. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa, 2 (2): 228–236. (in Russian)
2. Департамент агропромышленного комплекса Белгородской области. Электронный ресурс. URL: <http://belapk.ru> (27 декабря 2014).
2. Department of agriculture of the Belgorod region. Available at: <http://belapk.ru> (accessed 27 December 2014). (in Russian)
3. Леонтьев А.А. 2013. Система спутникового мониторинга состояния полей и прогнозирования урожайности. Геоматика, (2): 77–79.
3. Leont'ev A.A. 2013. The satellite monitoring system status fields and forecasting yields. Geomatika [Geomatics], (2): 77–79. (in Russian)
4. Лукин С.В. (ред.). 2007. Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области. Белгород, БелГУ, 556.
4. Lukin S.V. (red.). 2007. Prirodnye resursy i okruzhajushhaja sreda Belgorodskoj oblasti [Natural Resources and Environment of the Belgorod region]. Belgorod, BelGU, 556. (in Russian)
5. Повх В.И., Гарбузов Г.П., Шляхова Л.А. 2007. Оценка структуры посевов подсолнечника в Ставропольском крае по данным дистанционного зондирования спектрорадиометра MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 4 (2): 284–289.
5. Povh V.I., Garbuzov G.P., Shljahova L.A. 2007. Evaluation of the structure of sunflower crops in the Stavropol region on remote sensing data MODIS sensor. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa, 4 (2): 284–289. (in Russian)
6. Терехин Э.А. 2014. Анализ сезонной динамики вегетационного индекса NDVI и отражательных свойств посевов кукурузы на территории Белгородской области. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 11 (4): 244–253.
6. Terekhin E.A. 2014. Analysis of the seasonal dynamics of NDVI index and the reflective properties of corn in the Belgorod Region. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa, 11 (4): 244–253. (in Russian)
7. Терехин Э.А. 2012. Информативность спектральных вегетационных индексов для дешифрирования сельскохозяйственной растительности. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 9 (4): 243–248.
7. Terekhin E.A. 2012. The Efficiency of Spectral Indices for Interpretation Agricultural Vegetation. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa, 9 (4): 243–248. (in Russian)



8. Терехин Э.А. 2015. Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур. Исследование Земли из космоса, (1): 23–31.

Terekhin E.A. 2015. Assess the seasonal index value NDVI for detection and analysis of state agricultural crops. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, (1): 23–31. (in Russian)

9. Хижняк А.А. 1975. Природные ресурсы земли Белгородской. Воронеж, Центрально-Чернозёмное книжное издательство, 126.

Hizhnjak A.A. 1975. *Prirodnye resursy zemli Belgorodskoj* [Natural resources of the Belgorod region]. Voronezh, Central'no-Chernozjomnoe knizhnoe izdatel'stvo, 126. (in Russian)

10. Atzberger C., Klisch A., Mattiuzzi M., Vuolo F. 2013. Phenological metrics derived over the European continent from NDVI3g data and MODIS time series. *Remote Sensing*, 6 (1): 257–284.

11. Eklundh L., Jin H., Schubert P., Heliasz M., Guzinski R. 2011. An optical sensor network for vegetation phenology monitoring and satellite data calibration. *Sensors*, 11 (8): 7678–7709.

12. Justice C.O., Townshend J.R.G., Vermote E.F., Masuoka E., Wolfe R.E., Saleous N., Roy D.P. Morisette J.T. 2002. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1–2): 3–15.

13. Klisch A., Royer A., Lazar C., Baruth B., Genovese G. 2006. Extraction of Phenological Parameters from Temporally Smoothed Vegetation Indices. *In: Remote Sensing support to crop yield forecast and area estimates. Workshop proceedings. ISPRS Archives XXXVI-8/W48*: 91–95.

14. Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Available at: <https://lpdaac.usgs.gov> (accessed 7 February 2015).