

УДК 528.88

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ И СОСТОЯНИЯ ЧИСТЫХ ПАРОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**  
**APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA TO ESTIMATION OF AREA AND THE STATE OF FALLOWES 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:* чистые пары, NDVI, MODIS, Landsat, Белгородская область.  
*Key words:* fallow, NDVI, MODIS, Landsat, Belgorod region.

*Аннотация.* Представлены результаты применения спутниковых снимков для анализа спектрально-отражательных свойств и картографирования чистых паров на территории Белгородской области в 2013 г. С применением методов геоинформационного и статистического анализа изучена сезонная динамика значений NDVI, характерная для чистых паров в период с начала весны по окончании лета. На основе информации с 70 тестовых полей установлено, что на протяжении вегетационного сезона средние значения вегетационного индекса варьируют в пределах от 0,40 до 0,57. При этом наблюдается последовательное изменение значений NDVI вслед за динамикой количества осадков. Рассмотрены возможности применения сезонных значений индекса для оценки состояния чистых паров. На основе комбинированного использования данных MODIS и Landsat-7,8 выполнено геоинформационное картографирование чистых паров в пределах региона. Получены картограммы, характеризующие распределение площадей чистых паров в области в 2013 г., которые могут быть использованы для анализа состояния растительного покрова сельскохозяйственных угодий. Установлено, что площадь чистых паров относительно общей площади пахотных земель изменяется в районах области от 0,37% до 2,12%.

*Resume.* The results of the application of remote sensing data to map of clean fallow in the Belgorod region in 2013 were presented. With the use of geoinformation and statistical analysis studied the seasonal dynamics of the values of NDVI, typical of fallows in the period from the beginning of spring to the end of the summer. Based on information from 70 field test found that during the growing season averages vegetation index ranges from 0.40 to 0.57. Sequential changes in NDVI values following the dynamics of rainfall has been found. Applications seasonal index values to assess the state of fallows were considered. Based on the combined use of satellite imagery MODIS and Landsat-7, 8 GIS-mapping clean fallows in the Belgorod region has been conducted. Cartograms, characterizing the distribution of clean fallow areas in the region in 2013 were obtained. These cartograms can be used for analysis of vegetation of agricultural land. It was found that the area of clean fallow relative to the total area of arable land in the districts varies from 0.37% to 2.12%.

### **Введение**

Мониторинг земель, находящихся в состоянии чистого пара, является актуальной задачей для территорий интенсивного аграрного использования. Чистый пар – поле севооборота, свободное от возделывания культур в течение всего вегетационного периода, или основной его части. В районах интенсивного сельскохозяйственного использования, включая Белгородскую область, в которой распаханно свыше 60% земель [Лисецкий, 2007], чистые пары часто являются звеном в структуре севооборота. Чистые пары могут выступать хорошими предшественниками для озимых, выращиваемых в области, а также для ячменя, овса и ржи.

Разработка подходов, связанных с дистанционным выявлением пахотных земель, представляет интерес, как с научной, так и с практической точки зрения. К настоящему времени для мониторинга пахотных земель все шире используются возможности оперативной спутниковой съемки [Плотников, 2010; Dubovyk, 2013; Терехин, 2015], которые наряду с большим охватом территории позволяют анализировать сезонную динамику спектрально-отражательных свойств посевов. Снимки высокого пространственного разрешения, вместе со спутниковой информацией среднего разрешения, представляют значительный интерес для задач мониторинга посевных площадей, включая детектирование чистых паров [Noonan, 1999; Wu, 2014].

Целями настоящего исследования являлись оценка сезонных значений вегетационного индекса NDVI, характерных для чистых паров, геоинформационный анализ чистых паров на территории Белгородской области с применением данных спутниковой съемки на примере сезона 2013 года, анализ площади и состояния полей, находящихся в состоянии чистого пара в районах области.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступали посевные площади Белгородской области, находящиеся в состоянии чистого пара до начала сева озимых культур, т.е. до середины августа. Учитывая региональные особенности возделывания культур, исходили из предположения, что если конкретное поле, находилось в состоянии чистого пара до этого периода, то оно должно поддерживаться в распаханном состоянии и при поддержании режима чистого пара будет характеризоваться спектрально-отражательными характеристиками, типичными для оголенной почвы [Терехин, 2014].

Методы дешифрирования, основанные на анализе серии сезонных значений индекса [Wang, 2014], к настоящему времени все шире применяются для мониторинга посевных площадей [Alcantara, 2012, 2013]. Вегетационный индекс NDVI, представляющий отношение разности коэффициентов отражения ближнего инфракрасного и красного диапазонов к их сумме, является одним из широко используемых спектральных показателей для анализа растительного покрова [Барталев, 2006]. Одним из ключевых этапов автоматизированного дешифрирования полей, находящихся в распаханном состоянии (т.е. без растительного покрова), являлась статистическая оценка значений NDVI, характерных для таких полей на протяжении вегетационного сезона. Значения NDVI были изучены на основе данных MOD13Q1 [LPDAAC] с интервалом в 16 дней на примере вегетационного сезона 2013 года.

Для получения объективной информации о значениях вегетационного индекса, характерных для чистых паров, на основе полевых исследований и анализа разновременных снимков Landsat 7,8 сезона 2013 года на территории Белгородской области было отобрано 70 полей, находящихся в состоянии чистого пара. Анализ суммы значений NDVI и среднемесячных значений индекса, соответствующих оголенной почве, был выполнен с начала апреля по первую половину августа. Если в эти сроки поле находилось в распаханном состоянии, то его можно считать чистым паром до времени посева озимых.

Кроме анализа сезонных значений индекса по изображениям MOD13Q1, оценка спектрально-отражательных характеристик чистых паров была выполнена также на основе снимков высокого пространственного разрешения Landsat ETM+, OLI (15–30 м/пиксель). Используемая подборка снимков Landsat включала серии разновременных изображений, полученных на каждую из 4-х ячеек WRS-2, покрывающих Белгородскую область, и содержала 17 спутниковых изображений с мая по август 2013 года.

Необходимо отметить, что данные с сенсоров Landsat TM, ETM+, OLI могут быть успешно использованы для оценки спектрально-отражательных характеристик подавляющего большинства сельскохозяйственных полей [Abdel, 1996; Leisz, 2012; Prishchepov, 2012].

Картографирование чистых паровых полей требовало вычисления сезонного хода значений NDVI для каждой посевной площади Белгородской области. Для этой цели, а также для достоверной оценки площади чистых паров в районах, с использованием геоинформационной программы ArcGIS 10.1 и снимков высокого пространственного разрешения нами был подготовлен слой всех посевных площадей Белгородской области. После этого провели исследование пороговых значений индекса, характерных для чистых паров в разные даты исследования. Для дешифрирования паров был использован ранее предложенный прием [Терехин, 2014], основанный на применении пороговых значений за вегетационный сезон и выявлении посевных площадей со спектрально-отражательными характеристиками оголенных почв. Результаты исследования получены с применением программного обеспечения и оборудования Центра коллективного пользования научно-технологическим оборудованием «Федерально-региональный центр аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов» НИУ «БелГУ».

### Результаты и их обсуждение

На основе анализа данных, полученных с 70 тестовых полей общей площадью 4533 га на территории Белгородской области, установлены статистические характеристики NDVI, характерные для чистых паров в разные сроки вегетационного сезона до начала сеяния озимых культур (табл. 1).



Таблица 1

## Сезонные значения NDVI для чистых паров

Table 1

## Seasonal NDVI typical values for fallows

Дата	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
07.04.13	0.302	-0.45	0.47	0.126
23.04.13	0.450	0.11	0.64	0.098
09.05.13	0.535	0.20	0.73	0.105
25.05.13	0.563	0.25	0.78	0.113
10.06.13	0.543	0.22	0.80	0.110
26.06.13	0.461	0.05	0.64	0.099
12.07.13	0.454	0.10	0.82	0.143
28.07.13	0.446	0.07	0.69	0.105
13.08.13	0.412	-0.03	0.60	0.107

Среднее значение NDVI, характерное для чистых паров в период с 7 апреля по 13 августа составило 0.462 при стандартной ошибке среднего, равной 0.013. Информация, представленная в таблице 1, была использована для первого этапа дешифрирования и анализа состояния чистых паров. Этой информацией руководствовались при проведении дешифрирования полей, находящихся в состоянии чистого пара, на основе данных MOD13Q1.

Анализ сезонных значений NDVI показал, что на большинстве тестовых полей на протяжении вегетационного сезона до того времени, как поле засеивалось в конце лета, наблюдалась вегетационная активность, отразившаяся в повышении значений индекса в отдельные сроки (рис. 1).

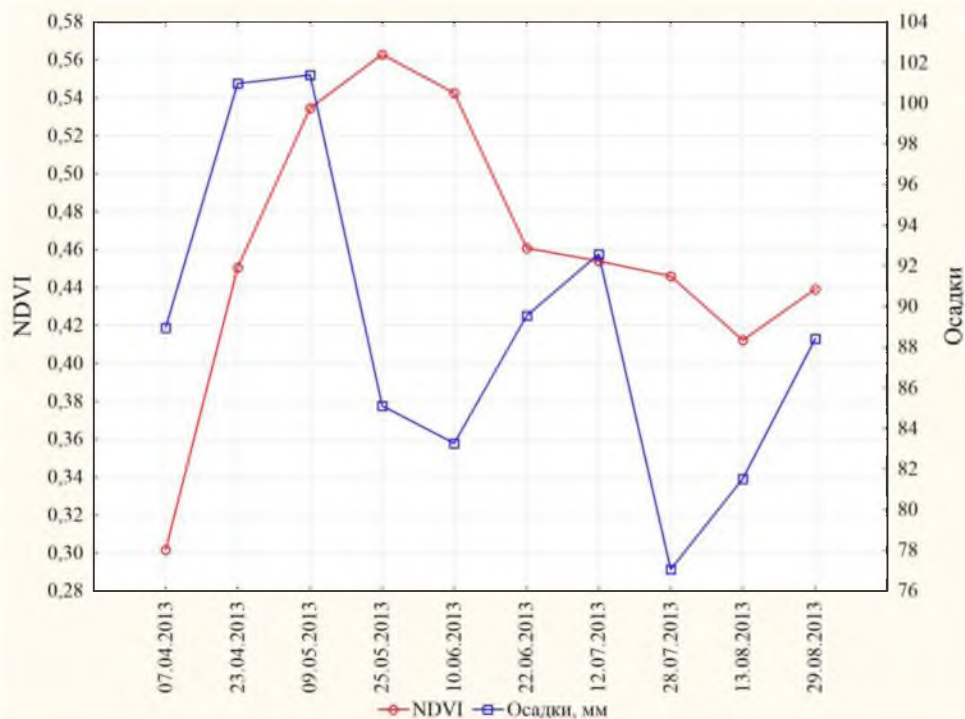


Рис. 1. Сезонная динамика NDVI для чистых паров на территории Белгородской области

Fig. 1. Seasonal dynamics of NDVI values for clean fallow in the Belgorod region

Из графика на рисунке 1 видно, что прослеживается связь между динамикой NDVI и динамикой количества осадков, усредненного на соответствующие даты с метеостанции «Белгород». При этом четко видно, что рост, либо падение значений NDVI наблюдаются с некоторыми задержками по сравнению с динамикой осадков, что логично, т.к. растительность не мгновенно реагирует на изменения в их количестве.

Наличие вегетационной активности дает основание предполагать, что на многих полях были задержки в сроках распашки, что, по всей видимости, стало причиной появления разреженного растительного покрова и повышения значений NDVI. Эта особенность

существенно осложняла применение критерия выделения чистых паров, основанного на том, что чистые пары на протяжении вегетационного сезона должны иметь значения NDVI, характерные для оголенных почв. Тем не менее, решение этой проблемы было найдено в использовании на втором этапе дешифрирования сезонных серий снимков Landsat ETM+, OLI, на которых диагностические признаки чистых паров проявляются достаточно достоверно в комбинациях среднего, ближнего инфракрасного и красного диапазонах спектра.

Установлено, что верификацию выявленных чистых паров, проводимую по снимкам высокого пространственного разрешения (Landsat-7, 8), целесообразно начинать с дешифрирования изображений, полученных за июль, т. к. в это время поля, находящиеся в состоянии чистого пара, будут наиболее достоверно выделяться среди других посевных площадей, занятых определенным типом сельскохозяйственной растительности.

Таким образом, совместное использование данных высокого и среднего пространственного разрешения позволило выполнить картографирование чистых паров в 2013 году на всей территории Белгородской области (рис. 2) и получить представление о распределении площадей чистых паровых земель.

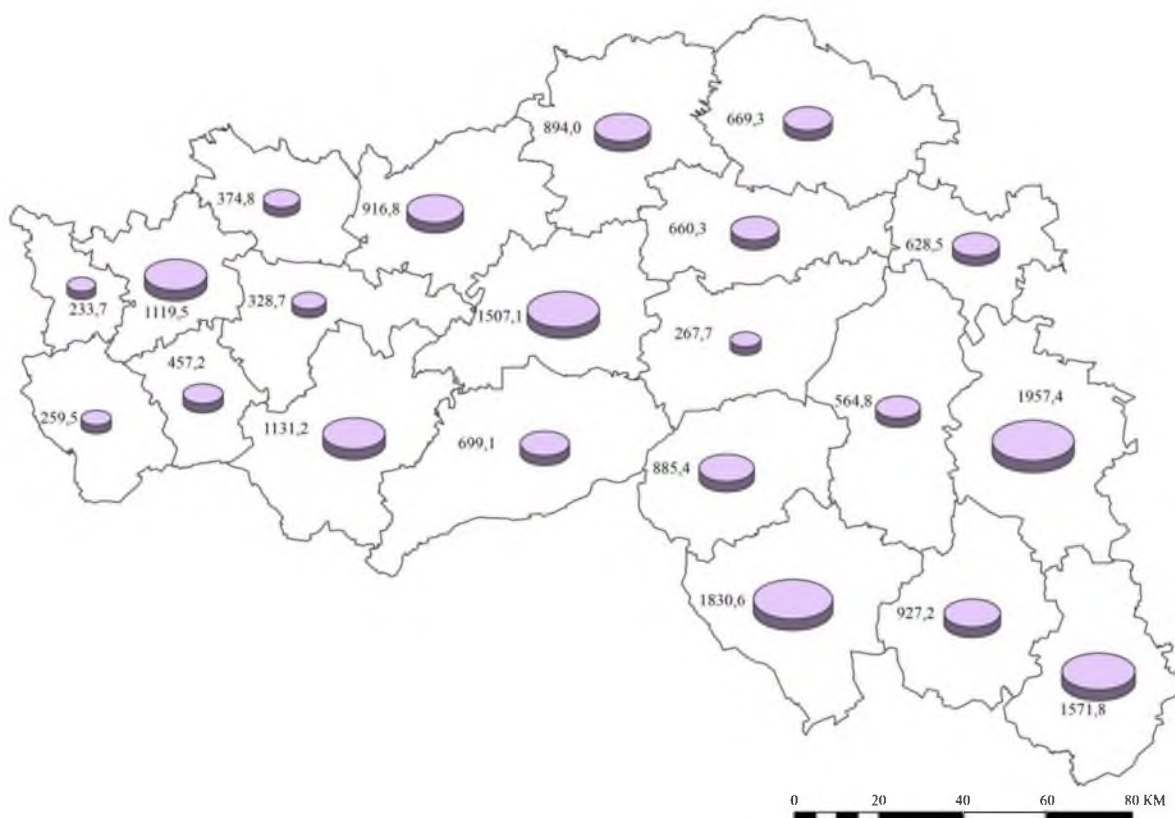
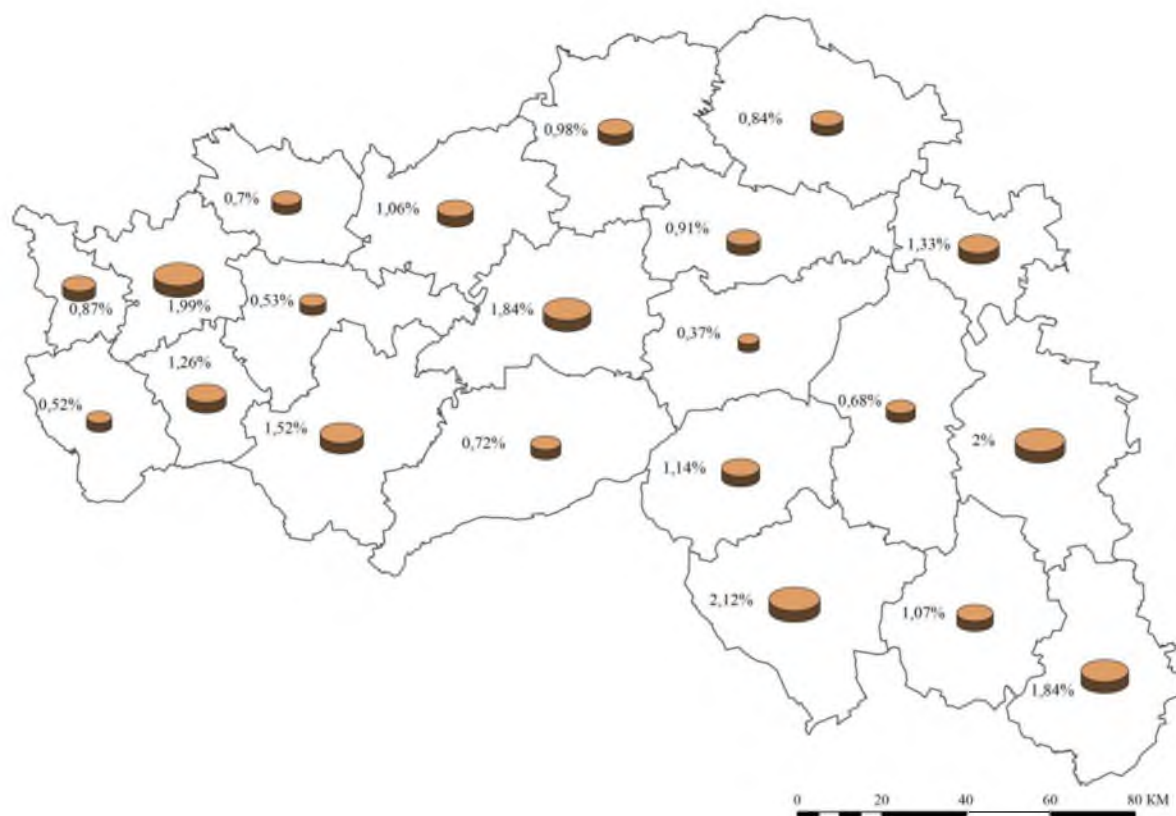


Рис. 2. Площадь чистых паров в административных районах Белгородской области в 2013 г, вычисленная на основе материалов спутниковой съемки, га

Fig. 2. Area clean fallow in 2013 in the administrative areas of the Belgorod region, calculated on the basis of remote sensing data

Из картограммы на рисунке 2 видно, что суммарные площади чистых паров в районах области варьируют от 233 га в Краснояружском районе до 1957 га в Алексеевском районе. Однако, т. к. площади административных районов существенно различаются между собой, более объективная оценка будет основана на анализе площади чистых паров относительно общей площади возделываемых земель в каждом районе. Для этой цели требовались сведения об общей площади возделываемых земель в каждом административном районе Белгородской области, которые были получены из предварительно созданного файла контуров посевных площадей Белгородской области, содержащего свыше 30 000 участков общей площадью свыше 1500000 га. Результаты картографирования доли чистых паров от общей площади пахотных земель по состоянию на 2013 г. показали, что она изменяется от 0.37 в Новоскольском районе до 2.12% в Валуйском районе (рис. 3).



*Рис. 3.* Доля чистых паров от общей площади пахотных земель в 2013 г. в районах Белгородской области, вычисленная на основе материалов спутниковой съемки  
*Fig. 3.* Share of clean fallow of the total area of arable land in 2013 in the administrative areas of the Belgorod region, calculated on the basis of remote sensing data

Необходимо отметить, что все полученные результаты относятся к посевным площадям, поддерживаемым в состоянии чистого пара до начала посева озимых. Кроме них в Белгородской области присутствуют также другие типы паров, в том числе занятые, которые не были объектом настоящего исследования и которые требуют отдельного изучения.

### Заключение

На основе материалов спутниковой съемки проанализирована сезонная динамика вегетационного индекса NDVI для чистых паров на территории Белгородской области, и поддерживаемых до начала посева озимых культур. Выявлено, что на протяжении вегетационного сезона средние значения вегетационного индекса варьируют в пределах от 0.40 до 0.57. При этом зафиксировано последовательное изменение значений NDVI вслед за динамикой количества осадков. Установлено, что на большинстве чистых паров в отдельные сроки проявлялась вегетационная активность обусловленная, по всей видимости, задержками в сроках распахки. Выявленная особенность осложняет применение данных космической съемки среднего пространственного разрешения для автоматизированного детектирования полей, находящихся в состоянии чистого пара, т. к. для многих из них в течение вегетационного сезона не характерны значения NDVI, типичные для вспаханных почв. На основе комбинированного использования данных среднего (MOD13Q1) и высокого пространственного разрешения (Landsat ETM+, OLI) выполнено геоинформационное картографирование чистых паров на территории Белгородской области и ее муниципальных районов в 2013 года. Дешифрирование чистых паров было основано на анализе серии одновременных спутниковых изображений одного вегетационного периода и изучении сезонной динамики значений NDVI. Установлено, что доля чистых паров от общей площади пашни изменяется в районах от 0.37% до 2.12%, а в абсолютных значениях она варьирует от 233.7 га в Краснояружском районе до 1957.4 га в Алексеевском районе. Результаты исследования могут быть использованы при изучении растительного покрова Белгородской

области. Предложенный в статье подход, основанный, анализе сезонных значений NDVI, может быть применен для картографирования и анализа многолетней динамики чистых паров.

#### Благодарности

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

#### Список литературы

#### References

1. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А. 2006. Метод выявления используемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования со спутников. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 3 (2): 271–280.

Bartalev S.A., Lupyan E.A., Neyshtadt I.A. 2006. The recognition features to map arable lands based on multi-annual MODIS Earth observation data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 3 (2): 271–280 (in Russian)

2. Лисецкий Ф.Н., Польшина М.А., Нарожняя А.Г., Кузьменко Я.В. 2007. Решение почвоводоохранных и экологических задач при внедрении ландшафтных систем земледелия. *Проблемы региональной экологии*, (6): 72–79.

Lisetskiy F.N., Pol'shina M.A., Narozhnyaya A.G., Kuz'menko Ya.V. 2007. The decision of soil and water security and ecological problems at introduction of landscape systems of agriculture. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional environmental issues], (6): 72–79. (in Russian)

3. Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А. 2010. Признаки распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов данных спутникового спектрорадиометра MODIS. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 7 (1): 330–34.

Plotnikov D.E., Bartalev S.A., Lupyan E.A. 2010. The recognition features to map arable lands based on multi-annual MODIS Earth observation data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 7 (1): 330–34. (in Russian)

4. Терехин Э.А. 2014. Методические основы оценки площади чистых паров на основе данных дистанционного зондирования. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 26 (3): 148–156.

Terekhin E.A. 2014. Methods of assessing the area fallow based on remote sensing data. *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennye nauki* [Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences], 26 (3): 148–156. (in Russian)

5. 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* [Earth Observation and Remote Sensing], (1): 23–31. (in Russian)

6. Abdel Rahman S. 1996. Landsat digital data processing of land use land cover classification of East Nile delta, Egypt. *ORSTOM*: 381–388.

7. Alcantara C, Kuemmerle T, Prishchepov A. V., Radeloff V. C. 2012. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 124: 334–347.

8. Alcantara C., Kuemmerle T., Baumann M. et al. 2013. Mapping the extent of abandoned farmland in Central and Eastern Europe using MODIS time series satellite data. *Environmental Research Letters*, 8 (3): 035035.

9. Dubovyk O., Menz G., Conrad C., Lamers J.P.A., Lee A., Khamzina A. 2013. Spatial targeting of land rehabilitation: a relational analysis of cropland productivity decline in arid Uzbekistan. *Erdkunde*, 67 (2): 167–181.

10. Leisz Stephen. 2012. Mapping fallow lands in Vietnam's north-central mountains using yearly Landsat imagery and a land-cover succession model. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (20): 6281–6303.

11. Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Available at: <https://lpdaac.usgs.gov>.

12. Noonan M. 1999. Classification of Fallow and Yields using Landsat TM data in the Sugarcane Lands of the Herbert River Catchment. *Herbert Recourse Information Centre*, 30.

14. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Dubinin M., Alcantara C. 2012. The effect of Landsat ETM/ETM + image acquisition dates on the detection of agricultural land abandonment in Eastern Europe. *Remote Sensing of Environment*, 126: 195–209.

13. Wang Y., Zhuang D., Jiang D., Fu J., Yu X., Ju H. 2014. Identifying winter fallow fields by combining use of MODIS-EVI time series and phenological data. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12 (1): 216–220.

14. Wu Z., Thenkabail P., Mueller R., Zakzeski A., Melton F., Johnson L., Roosevelt C., Dwyer J., Jones J., Verdin J. 2014. Seasonal cultivated and fallow cropland mapping using MODIS-based automated cropland classification algorithm. *Journal Applied Rem. Sens.*, 8 (1). Available at: <http://remotesensing.spiedigitallibrary.org/article.aspx?articleid=1827513>.