

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЧИСТОГО ПАРА ПО НАЗЕМНЫМ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ
И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ*

A.P. Shevyrnogov, A.A. Larko, I.Yu. Botvitch,
D.V. Emelyanov, T.I. Pisman

THE IDENTIFICATION OF BARE FALLOW BY GROUND-BASED SPECTROMETRY
AND SATELLITE DATA

Шевырногов А.П. – д-р техн. наук, проф., зав. лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

E-mail: ap_42@mail.ru

Ларько А.А. – вед. математик лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

E-mail: lantar@inbox.ru

Ботвич И.Ю. – мл. науч. сотр. лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

E-mail: irina.pugacheva@mail.ru

Емельянов Д.В. – инженер лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

E-mail: dima9526@gmail.com

Письман Т.И. – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск.

E-mail: tpisman@mail.ru

Shevyrnogov A.P. – Dr. Techn. Sci., Prof., Head, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics SB RAS – Separate Division of FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.

E-mail: ap_42@mail.ru

Larko A.A. – Leading Mathematician, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics SB RAS – Separate Division of FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.

E-mail: lantar@inbox.ru

Botvich I.Yu. – Junior Staff Scientist, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics SB RAS – Separate Division of FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.

E-mail: irina.pugacheva@mail.ru

Emelyanov D.V. – Engineer, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics SB RAS – Separate Division of FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.

E-mail: dima9526@gmail.com

Pisman T.I. – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics SB RAS – Separate Division of FRC KRC SB RAS, Krasnoyarsk.

E-mail: tpisman@mail.ru

Цель исследования – отработка метода распознавания чистых паров по наземным дистанционным и спутниковым данным в течение вегетационного сезона 2018 г. Объектом исследования являются чистые пары и посевы пшеницы на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вблизи п. Минино (Красноярский край). При проведении наземной спектрометрии исследуемых тестовых участков использовался полевой спектрометрический комплекс, состоящий из портативного

спектрорадиометра Spectral Evolution PSR-1100F, компьютера, калибровочного отражающего эталона, цифрового фотоаппарата и программного обеспечения. В результате наземной спектрометрии исследованы отражательные спектральные свойства чистых паров и посевов пшеницы, которые принято выражать коэффициентом спектральной яркости (КСЯ). Проведены измерения коэффициента спектральной яркости объектов в диапазоне от 320 до 1100 нм. Для дешифрива-

*Исследование выполнено в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН «Междисциплинарные интеграционные исследования» на 2018–2020 гг. (проект № 74.2) и Гос. задания № госрегистрации: АААА-А17-117013050027-1.

ния чистого пара и посевов пшеницы использовалась спутниковая информация Sentinel-2B. На основе наземных и спутниковых данных рассчитывались спектральные индексы: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и NDSI (Normalized Difference Soil Index). По результатам наземной спектрометрии показано, что в период вегетации земли под паром и посевы зерновых культур различаются по оптическим характеристикам. На основе анализа спутниковых данных по динамике вегетационного индекса NDVI и почвенного индекса NDSI показана возможность идентификации чистого пара и точного контроля времени распашки полей под паром в течение вегетационного сезона. На исследуемых полях под паром хорошо распознаются даты проведения распашки (10 и 25 июля) – индекс NDVI резко уменьшается от 0.4 (разреженная растительность) до 0.05 (оголенная почва). Одновременно в даты проведения распашки значение почвенного индекса NDSI возрастает. Показана применимость почвенного индекса NDSI для идентификации чистых паров.

Ключевые слова: чистые пары, дистанционное зондирование, наземная спектрометрия, коэффициент спектральной яркости, спутники.

The purpose of the study is to develop the method for detecting bare fallows by ground-based remote and satellite data during growing season of 2018. The objects of the study are bare fallows and wheat crops on the territory of the Krasnoyarsk RIA FRC KSC SB RAS near the village of Minino (Krasnoyarsk Territory). When conducting ground-based spectrometry of the test sites studied, a field-based spectrometry complex was used, consisting of Spectral Evolution PSR-1100F portable spectroradiometer, a computer, a calibration reflecting standard, a digital camera, and software. As a result of ground-based spectrometry, reflective spectral properties of bare fallows and wheat crops were studied, which are commonly expressed by spectral brightness coefficient (SBC). The spectral brightness coefficient of objects in the range from 320 to 1100 nm was measured. Sentinel-2B satellite information was used to interpret bare fallows and wheat crops. On the basis of ground and satellite data the spectral indices were calculated: NDVI

(Normalized Difference Vegetation Index) and NDSI (Normalized Difference Soil Index). According to the results of ground-based spectrometry, it was shown that, during growing season, bare fallows and grain crops differed in optical characteristics. Based on the analysis of satellite data on the dynamics of NDVI vegetation index and NDSI soil index, the possibility of identifying bare fallows and precise time control for plowing bare fallows during the vegetation season was shown. On studied bare fallows, the dates of plowing were well recognized (July, 10 and 25) – NDVI index sharply decreased from 0.4 (sparse vegetation) to 0.05 (bare soil). At the same time, on plowing dates, the value of the NDSI soil index increased. The applicability of NDSI soil index for the identification of bare fallows was shown.

Keywords: remote sensing, ground-based spectrometry, spectral brightness coefficient, satellites.

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 [1]. Чистые пары могут выступать хорошими предшественниками для озимых, выращиваемых в Красноярском крае, а также для яровой пшеницы и овса [2]. Рациональная система обработки почвы – это одна из главных составляющих системы земледелия. Рекомендации в значительной мере зависят от регулирования многих факторов роста и развития сельскохозяйственных культур. При этом обработка почвы является одним из основных приемов, влияющих на плодородие пахотных земель [3].

Дешифрирование открытой поверхности почвы является одной из ключевых задач в космическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения. В Красноярском крае сведения о площади и расположении свежераспаханных полей востребованы в рамках дистанционного мониторинга землепользования.

Отличительной особенностью чистого пара, положенной в основу его классификации по

спутниковым данным, является отсутствие развитого растительного покрова в течение вегетационного сезона [4, 5]. К настоящему времени для мониторинга пахотных земель все шире используются возможности оперативной спутниковой съемки, которые наряду с большим охватом территории позволяют анализировать сезонную динамику спектрально-отражательных свойств посевов [6]. Снимки высокого пространственного разрешения, вместе со спутниковой информацией среднего разрешения, представляют значительный интерес для задач мониторинга чистых паров [7].

Среди методов дешифрирования особенно перспективен метод спектральных индексов. Среди всего разнообразия спектральных индексов особый интерес для дешифрирования открытой почвы представляет вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и почвенный индекс NDSI (Normalized Difference Soil Index), который определяется несколькими параметрами: содержанием воды, удельным весом почвы, распределением почвенных частиц по размеру и т. д. [8].

Цель исследования: отработать метод распознавания чистых паров по наземным дистанционным и спутниковым данным высокого пространственного разрешения.

Для выполнения цели исследования были поставлены следующие **задачи**.

1. Проведение полевых спектрометрических измерений и сбор спутниковых данных для анализа динамики спектральных характеристик полей под паром на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вблизи п. Минино в течение 2018 г.

2. Разработка алгоритмов и программ для обработки наземных спектральных измерений и спутниковых данных земель сельскохозяйственного назначения.

3. Анализ динамики вегетационного индекса NDVI и почвенного индекса NDSI, рассчитанных по спутниковым данным Sentinel-2B для полей под паром в течение вегетационного периода.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования являются опытные поля (чистые пары и посевы пшеницы) на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вбли-

зи п. Минино (Средняя Сибирь, Красноярский край). Для отработки метода идентификации чистого пара и сравнения использованы посевы пшеницы Курагинской.

При проведении наземной спектрометрии исследуемых тестовых участков использовался полевой спектрометрический комплекс, состоящий из портативного спектрорадиометра Spectral Evolution PSR-1100F, портативного компьютера PDA GETAC, калибровочного отражающего эталона (Spectral Evolution), цифрового фотоаппарата и программного обеспечения DARWin SP и DARWin Compact 1.2.

Отражательные спектральные свойства природных объектов принято выражать коэффициентом спектральной яркости (КСЯ). КСЯ – величина, характеризующая пространственное распределение спектральной яркости отражающей поверхности. Измерения коэффициента спектральной яркости объектов проведены в диапазоне от 320 до 1100 нм.

Измерения проводились в ясную погоду с 11 до 15 ч местного времени, что на широте проводимых работ обеспечивало сопоставимые условия освещения объектов. Положение спектрорадиометра относительно измеряемой площади всегда было в надир. В ходе спектрометрирования производилась съемка площадок диаметром около 50 см.

Для дешифрирования чистого пара использовалась спутниковая информация Sentinel-2B, с уровнем предварительной обработки Level-1C (URL: <https://earthexplorer.usgs.gov>). На этапе предварительной обработки производилась атмосферная коррекция данных до уровня Level-2A путем использования процессора Sen2Cor, набор инструментов Sentinel-2 Toolbox для программного обеспечения Sentinel Application Platform (SNAP) (URL: <http://step.esa.int/main>). Далее полученные данные использовались для расчета спектральных индексов NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и NDSI (Normalized Difference Soil Index) (табл.). В ходе тематической обработки использовались следующие каналы – 2, 3, 4, 8.

Формулы расчета спектральных индексов по наземным и спутниковым данным

Индекс	Формула расчета	
	По данным Sentinel	По Spectral Evolution PSR – 1100 F
NDVI	$(b8 - b4)/(b8 + b4)$	$(КСЯ_{785-900} - КСЯ_{650-680})/(КСЯ_{785-900} + КСЯ_{650-680})$
NDSI	$(b2 - b3)/(b2 + b3)$	$(КСЯ_{456-523} - КСЯ_{542-577})/(КСЯ_{456-523} + КСЯ_{542-577})$

Результаты исследования. На рисунке 1 представлены результаты наземной спектрометрии чистого пара и посева пшеницы в течение вегетационного периода 2018 г. Показано, что в период вегетации почвы под паром и посевы зерновых культур различаются по оптическим характеристикам. Весной и в начале лета (09.06) посевы яровых культур еще только начинают всходить. На ранних стадиях роста, когда плотность растительного покрова мала, отражение в значительной степени зависит от почвы. Чистые пары также обладают признаками почвы. В результате в ближней инфракрасной области для пшеницы и чистого пара коэффициенты спектральной яркости достигают только 10–12 %.

В середине лета (13.07) значения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) посевов пшеницы возрастают до максимальных в ближней инфракрасной области и значительно отличаются от значений КСЯ чистого пара. В это время сезона существует достоверное различие спектров тестовых участков и, соответственно, существует возможность идентификации почвы под паром.

В начале осени (06.09) отражение исследуемых посевов пшеницы снижается в связи с уборкой урожая. Спектральные значения чистого пара остаются невысокими (до 10 % в ближней ИК-области) и неизменными, если их вспашка происходит регулярно в течение вегетационного периода.

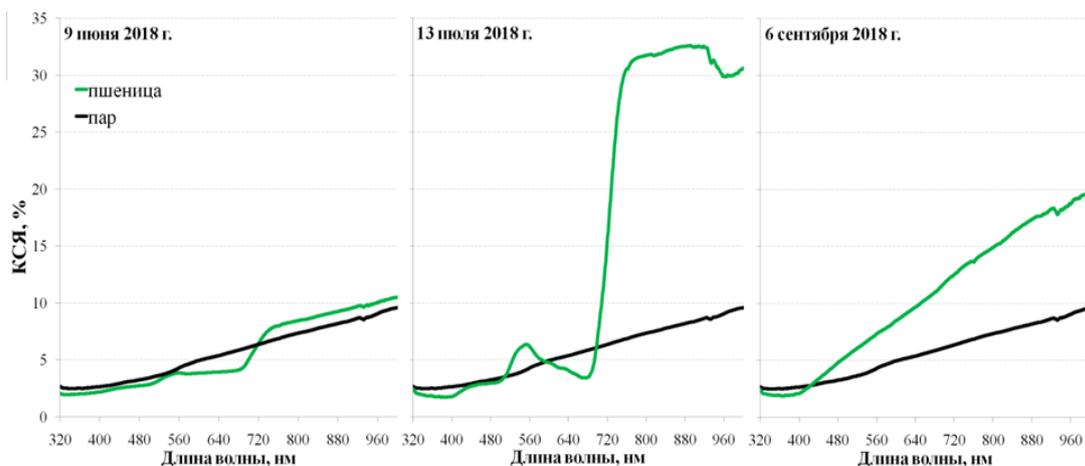


Рис. 1. Динамика коэффициента спектральной яркости (КСЯ) чистого пара и посевов пшеницы в течение вегетационного периода по данным наземных измерений

Для идентификации по спутниковым данным чистого пара и посевов пшеницы проведен анализ сезонной динамики вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) и почвенного индекса NDSI (Normalized Difference Soil Index).

Показано, что динамика NDVI исследуемых объектов (полей под паром и посевов пшеницы) различается в течение вегетационного периода (рис. 2). Ранней весной значения NDVI чистого

пара и посевов пшеницы близки, так как посевы еще не взошли или только начинают всходить – индекс NDVI имеет низкое значение (до 0,25). В середине июля фитомасса зерновых культур достигает наибольшей величины и соответственно индекс NDVI достигает максимальных величин (0,72–0,75).

На основе анализа спутниковых данных показано, что на опытном поле под паром хорошо распознается дата проведения вспашки (конец

июля) – индекс NDVI резко уменьшается от 0,4 (разреженная растительность) до 0,05 (почва). Поскольку это было опытное поле для отработки метода распознавания полей под паром по

спутниковым данным, то срок вспашки был выполнен не в соответствии с технологией подготовки чистого пара.

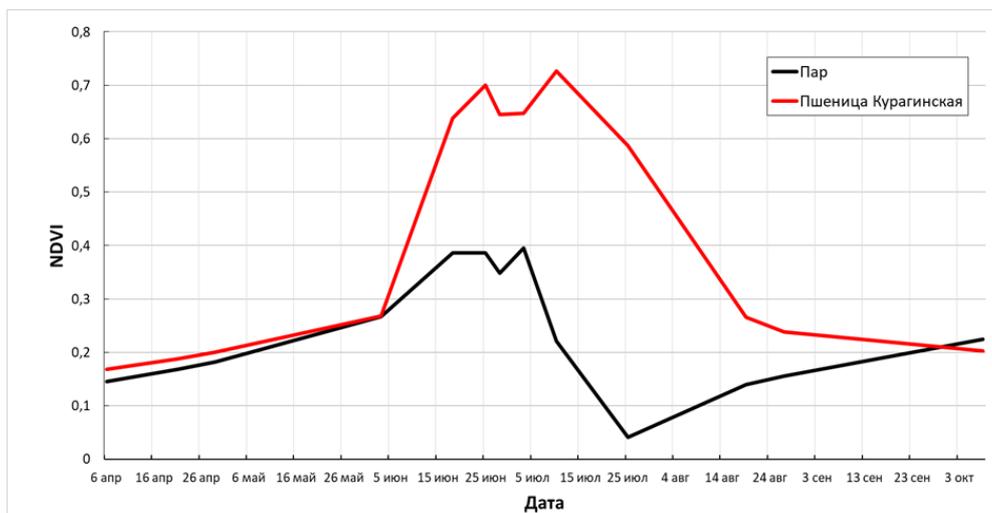


Рис. 2. Динамика NDVI чистого пара и посева пшеницы в течение вегетационного периода по спутниковым данным (2018 г.)

Среди всего разнообразия спектральных индексов особый интерес для дешифрирования открытой почвы представляет почвенный индекс NDSI (Normalized Difference Soil Index). Изменение почвенного индекса NDSI находится в противофазе с вегетационным индексом NDVI (рис. 3). Применимость почвенного индекса особенно актуальна для идентификации чистого пара. Например, в конце июля после вспашки

значение почвенного индекса NDSI максимально, в то время как значение вегетационного индекса NDVI минимально. Однако в течение всего вегетационного сезона, когда вносится вклад растительности, корреляция между вегетационным индексом (NDVI) и почвенным индексом (NDSI) не очень высокая ($r = -0,733$). В целом показана применимость почвенного индекса NDSI для идентификации чистого пара.

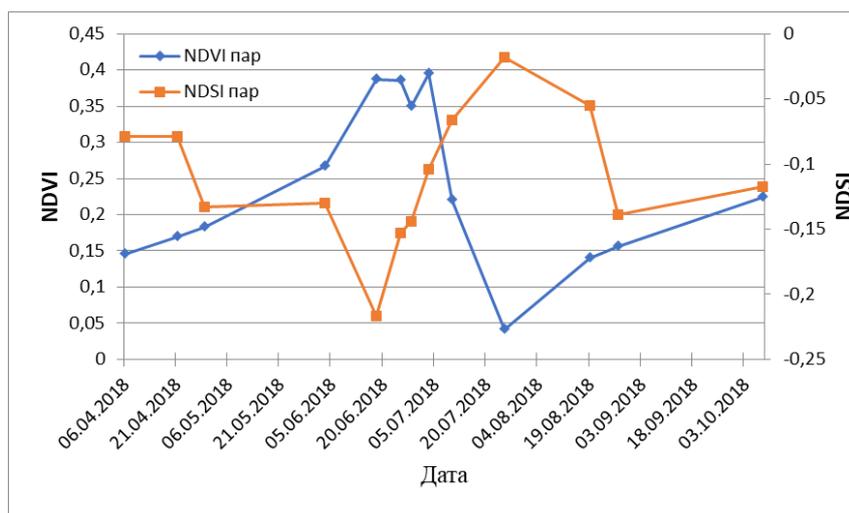


Рис. 3. Динамика вегетационного (NDVI) и почвенного (NDSI) индексов чистого пара в течение вегетационного периода по спутниковым данным Sentinel-2 B

Выводы. При выполнении работы получены следующие наиболее значимые результаты:

– проведены полевые измерения и сбор спутниковых данных для анализа динамики спектральных характеристик чистого пара и посева пшеницы на территории Красноярского НИИСХ ФИЦ КНЦ СО РАН вблизи п. Минино в течение вегетационного периода 2018 г.;

– разработаны алгоритмы и программы для обработки наземных спектральных измерений и спутниковых данных земель сельскохозяйственного назначения (чистого пара и посевов пшеницы);

– выявлены отличительные свойства спектральной отражательной способности участков, занимаемых полями под паром, от полей, занятых посевами пшеницы, по наземным спектральным съемкам;

– на основе спутниковых данных Sentinel-2B по динамике NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) показана возможность идентификации чистого пара и точного контроля времени распашки полей под паром в течение вегетационного периода;

– показана применимость почвенного индекса NDSI (Normalized Difference Soil Index), рассчитанного на основе спутниковых данных Sentinel-2B, для идентификации чистых паров.

Литература

1. Терехин Э.А. Методические основы оценки площади чистых паров на основе данных дистанционного зондирования // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. – 2014. – № 3 (174). – Вып. 26. – С. 148–156.
2. Берзин А.М., Полосина В.А. Повышение эффективности чистых и сидеральных паров в лесостепных и степных районах Сибири // Вестн. КрасГАУ. – 2018. – № 3. – С. 39–44.
3. Мальцев Н.Н., Батудаев А.П., Мальцева Т.В. и др. Урожайность культур севооборота в зависимости от обработки чистого пара в степной зоне Бурятии // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 9. – С. 3–7.
4. Терехин Э.А. Применение материалов космической съемки для оценки площади и состояния чистых паров Белгородской области // Научные ведомости. Сер. Естественные

- науки. – 2015. – № 15 (212). – Вып. 32. – С. 178–183.
5. Барталев С.А., Лупян Е.А., Нейштадт И.А. Дистанционная оценка параметров сельскохозяйственных земель по спутниковым данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2005. – Вып. 2. – Т. 2. – С. 228–236.
6. Плотников Д.Е., Барталев С.А., Лупян Е.А. Признаки распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов данных спутникового спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Вып. 7 (1). – С. 330–334.
7. Wallace C.S.A., Thenkabail P., Rodriguez J.R. et al. Fallow-land algorithm based on neighborhood and temporal anomalies (FANTA) to map planted versus fallowed croplands using MODIS data to assist in drought studies leading to water and food security assessments // GIScience & Remote Sensing. – 2017. – Vol. 54. – № 2. – P. 258–282. – DOI:10.1080/15481603.2017.1290913.
8. Wu Z., Thenkabail P., Mueller R. et al. Seasonal cultivated and fallow cropland mapping using MODIS-based automated cropland classification algorithm // J. Applied Rem. Sens. – 2014. – № 8. – DOI:10.1117/1.JRS.8.083685.

Literatura

1. Terehin Je.A. Metodicheskie osnovy ocenki ploshhadi chistyh parov na osnove dannyh distancionnogo zondirovanija // Nauchnye vedomosti. Ser. Estestvennye nauki. – 2014. – № 3 (174). – Vyp. 26. – S. 148–156.
2. Berzin A.M., Polosina V.A. Povyshenie jeffektivnosti chistyh i sideral'nyh parov v lesostepnyh i stepnyh rajonah Sibiri // Vestn. KrasGAU. – 2018. – № 3. – S. 39–44.
3. Mal'cev N.N., Batudaev A.P., Mal'ceva T.V. i dr. Urozhajnost' kul'tur sevooborota v zavisimosti ot obrabotki chistogo para v stepnoj zone Burjatii // Vestn. KrasGAU. – 2017. – № 9. – S. 3–7.
4. Terehin Je.A. Primenenie materialov kosmicheskoj s'emki dlja ocenki ploshhadi i sostojanija chistyh parov Belgorodskoj oblasti

- // Nauchnye vedomosti. Ser. Estestvennye nauki. – 2015. – № 15 (212). – Vyp. 32. – S. 178–183.
5. *Bartalev S.A., Lupjan E.A., Nejshtadt I.A.* Distancionnaja ocenka parametrov sel'skohozjajstvennyh zemel' po sputnikovym dannym spektrometra MODIS // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija zemli iz kosmosa.* – 2005. – Vyp. 2. – T. 2. – S. 228–236.
 6. *Plotnikov D.E., Bartalev S.A., Lupjan E.A.* Priznaki raspoznavanija pahotnyh zemel' na osnove mnogoletnih rjadov dannyh sputnikovogo spektrometra MODIS // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa.* – 2010. – Vyp. 7 (1). – S. 330–334.
 7. *Wallace C.S.A., Thenkabail P., Rodriguez J.R.* [et al.]. Fallow-land algorithm based on neighborhood and temporal anomalies (FANTA) to map planted versus fallowed croplands using MODIS data to assist in drought studies leading to water and food security assessments // *GIScience & Remote Sensing.* – 2017. – Vol. 54. – № 2. – P. 258–282. – DOI:10.1080/15481603.2017.1290913.
 8. *Wu Z., Thenkabail P., Mueller R.* et al. Seasonal cultivated and fallow cropland mapping using MODIS-based automated cropland classification algorithm // *J. Applied Rem. Sens.* – 2014. – № 8. – DOI:10.1117/1.JRS.8.083685.

