

## Исследование особенностей развития посевов зерновых озимых на основе их спектрально-отражательных характеристик

Э.А. Терехин<sup>1</sup>, О.А. Маринина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Белгород, 308015, Россия*

*E-mail: terekhin@bsu.edu.ru*

<sup>2</sup>*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008, Россия*

*E-mail: marininao@mail.ru*

Изложены результаты анализа спектрально-отражательных свойств озимых зерновых культур, полученные с применением материалов дистанционного зондирования Земли. Исследование выполнено на примере посевов, типичных для территории Белгородской области и Центрального Черноземья. Экспериментальные данные получены со 158 посевных площадей. Установлено, что различия в сроках проведения посевных работ оказывают более существенное влияние на различия в наступлении фенофаз озимых, чем условия зимовки. Таяние снежного покрова на полях в отдельные даты зимнего периода четко проявляется на значениях сезонного хода NDVI. С использованием наземных данных показано влияние роста посевов после зимнего периода на значения вегетационного индекса. Величина коэффициента вариации NDVI и проверка гипотезы о нормальном распределении в конкретные временные срезы могут выступать критериями, определяющими степень однородности биофизических параметров растительности, произрастающей на разных посевных площадях. В периоды, когда фазы развития выравниваются, наблюдается резкое снижение выборочного коэффициента вариации и стандартного отклонения. Установлено, что наибольшей однородностью проективного покрытия и зеленой фитомассы посевы характеризуются в период второй половины мая – середины июля. Минимальные значения коэффициента вариации NDVI (5–6%), рассчитанного на каждую анализируемую дату с интервалом в 16 дней, наблюдаются в период середины июня.

**Ключевые слова:** растительный покров, озимые зерновые, дистанционное зондирование, Landsat, MODIS, NDVI

*Одобрена к печати: 20.10.2016*

*DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-202-213*

### Введение

Посевы озимых зерновых, в первую очередь, пшеницы, во многих регионах России являются ключевым видом зерновых культур и занимают основное место в структуре севооборотов. Распространение озимых в Центральном Черноземье обусловлено тем, что в его природно-климатических условиях они в меньшей степени страдают от засух в весенне-летний период, дают более высокие урожаи по сравнению с яровыми при условии хорошей перезимовки. Озимая пшеница является важнейшей продовольственной культурой, в связи с этим мониторинг ее посевов и совершенствование методов оценки состояния являются крайне актуальными задачами. В Белгородской области ежегодно собирают в среднем 1 млн. т озимой пшеницы (Лукин, 2013), а ее площади занимают первое место среди остальных зерновых культур. Озимые культуры (преимущественно озимая пшеница) занимают около 30% посевных площадей.

С научной точки зрения исследование состояния озимых с применением данных дистанционного зондирования (ДДЗ) позволяет изучить спектрально-отражательные свойства быстро растущей и меняющей фазы развития растительности и оценить региональные особенности динамики растительного покрова. Для озимых культур во многих случаях характерна существенная вариабельность дат наступления основных фаз развития, обусловленная различиями в сроках посевных работ и влиянием условий перезимовки (Савин,

Негрэ, 2003). Различия в наступлении основных фаз (начало весенней вегетации, колошение, восковая спелость) могут достигать тридцати дней (Агроклиматические ресурсы..., 1972), что проявляется в спектральном отклике посевов на космических снимках высокого пространственного разрешения (Терехин, 2012). В зависимости от условий зимнего периода возобновление вегетации может приходиться на период с середины марта по середину апреля. Аналогичные различия могут наблюдаться для сроков прохождения стадий выхода в трубку, колошения, молочной и восковой спелости.

Совместное использование данных дистанционного зондирования с различных сенсоров, дополняющих друг друга по возможностям пространственного и временного разрешения, и сезонных рядов спутниковых данных позволяет исследовать совокупность характеристик развития посевов озимых, включая оценку биомассы и индекса листовой поверхности (Pan et al., 2012; Dong et al., 2016), проводить прогнозирование урожайности (Повх, 2009; de Wit et al., 2012; Береза и др., 2015). Кроме того, имеется возможность выявления аномалий в развитии культур (Лупян и др., 2016).

В основу дистанционной оценки состояния посевов положено влияние их биофизических характеристик на спектрально-отражательные свойства растительности (Кондратьев и др., 1986; Wiegand et al., 1991) и интенсивное изменение спектральных показателей во времени в оптическом диапазоне, являющееся следствием сезонного развития посевов (Плотников и др., 2011; Миклашевич, Барталев, 2016). Анализ состояния посевов на протяжении вегетационного сезона во многом основан на применении серий временных срезов их спектральных характеристик, например, значений вегетационных индексов (Шевырнов и др., 2007; Барталев и др., 2011). Повышение точности приводимых оценок должно быть обеспечено за счет применения спутниковых данных, позволяющих анализировать состояние посевов в пределах конкретных обрабатываемых полей (Yan, Roy, 2014).

Цель данной работы – исследование сезонной динамики спектрально-отражательных свойств озимой пшеницы, выращиваемой в агроклиматических условиях, типичных для Белгородской области, и оценка влияния сроков проведения посевных работ и условий зимовки на динамику спектральных характеристик. В задачи исследования входило изучение региональных особенностей развития посевов озимых на основе совместного использования спутниковых, метеорологических и полевых данных.

### **Материалы и методика исследования**

Объективный анализ особенностей развития посевов требовал интеграции дистанционных и наземных данных. В исследовании использована наземная информация о состоянии озимых, полученная в 2012–2016 гг. на ряде тестовых посевных площадей, расположенных на территории Чернянского и Новооскольского районов Белгородской области. Сезонная динамика посевов озимых, типичная для региона (на примере 2011–2012 гг.), была изучена на основе данных со 158 посевных площадей, на которых (по данным сель-

скохозяйственных организаций и полевых наблюдений) располагались посевы озимой пшеницы. Для анализа спектрально-отражательных свойств озимых были использованы информационные продукты MOD13Q1 (пространственное разрешение 250 м). Данные MOD13Q1 являются композитными изображениями нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Huete et al., 1999) за 16 дней, что позволяет отслеживать его динамику с небольшим интервалом времени. Индекс NDVI является безразмерной величиной. Его сезонная динамика является эффективным инструментом оценки состояния растительного покрова и его развития на протяжении периода вегетации (Zhang et al., 2014; Jamali et al., 2014). Для оцифровки контуров посевных площадей были задействованы снимки SPOT-5. Актуализация контуров полей (уточнение границ) и выборочная верификация данных о размещении посевов и их состоянии были проведены на основе снимков Landsat ETM+, OLI (пространственное разрешение 15–30 м).

Ранее показано (Терехин, 2015а), что, исходя из особенностей сезонного развития озимых культур, для их дешифрирования целесообразно использовать значения NDVI конца апреля и снимки Landsat этого же периода и начала июля. В настоящем исследовании для повышения эффективности оценки состояния озимых культур были задействованы также октябрьские снимки Landsat OLI, т.к. на изображениях этого периода посеы озимых, по причине увеличения зеленой фитомассы, существенно отличаются от остальных посевных площадей. На период 2014–2015 гг. удалось сделать подборку безоблачных снимков с сенсоров Landsat ETM+, OLI с практически минимальной частотой (*табл. 1*), что дало возможность дополнительного изучения сезонных изменений в растительности и оценки ее состояния на основе снимков с этих сенсоров. Для территории Белгородской области, характеризующейся значительным количеством облачных дней в году, достаточно сложно сделать подобную подборку безоблачных изображений высокого пространственного разрешения. Поэтому возможность ее формирования позволила в полной мере задействовать потенциал разновременных данных Landsat для анализа озимых зерновых в сезоны 2014–2016 гг.

Таблица 1. Снимки Landsat 7/Landsat 8 (path 176, row 25), используемые для исследования посевов озимых зерновых культур

<i>Сенсор</i>	<i>Дата</i>	<i>Сенсор</i>	<i>Дата</i>
OLI	25.10.2014	OLI	09.08.2015
ETM+	11.04.2015	OLI	25.08.2015
ETM+	27.04.2015	OLI	26.09.2015
OLI	21.05.2015	OLI	12.10.2015
OLI	08.07.2015	OLI	24.01.2016
OLI	24.07.2015	OLI	05.04.2016

Кроме снимков, указанных в *табл. 1*, в исследовании были задействованы изображения Landsat TM, ETM+ на 2011–2012 годы (path/row: 177/025, 176/025). Исходя из того,

что на протяжении основного периода развития озимых культур их значения NDVI существенно перекликаются со значениями NDVI многолетних трав, за исключением периода начала июля (Терехин, 2015б), использование изображений этого месяца является обязательным условием разделения их посевов друг от друга. Наличие признаков практически полного отсутствия зеленой фитомассы в период начала июля является ключевым критерием разделения посевов озимых культур и многолетних трав.

В отличие от большинства остальных типов посевов, изучение сезонного развития озимых культур необходимо проводить на основе данных не только текущего года, но и предыдущего, т.к. озимые высевают осенью. К середине октября озимые на многих посевных площадях уже всходят, что проявляется на значениях вегетационного индекса.

Кроме сезонной динамики средних значений NDVI была проведена оценка его максимальных значений и величины стандартного отклонения. Для геоинформационной обработки данных были использованы возможности программного комплекса ArcGIS 10.1. Анализ спутниковых изображений проведен с использованием пакета ERDAS IMAGINE, статистический анализ выполнен в программе STATISTICA 10.0.

### Результаты и их обсуждение

На основе информации со 158 полей с озимыми культурами, расположенных в различных районах Белгородской области, была сформирована выборка значений NDVI за период с 30.09.2011 г. по 18.12.2012 г. с интервалом в 16 дней. Она позволила оценить основные особенности развития посевов озимых зерновых на территории Белгородской области (*рис. 1*). Дополнительные исследования по оценке влияния посевов на их спектрально-отражательные свойства были выполнены на ряде участков в 2012–2016 гг.

Особенностью озимых культур является то, что посевы находятся на полях до начала августа, после чего спектральный отклик посевных площадей, на которых они присутствовали, формирует либо новый тип растительности, либо оголенная почва, если поле до следующего сезона поддерживалось в состоянии чистого пара.

На основе анализа сезонной динамики NDVI, кроме основных этапов роста посевов, удалось оценить влияние сроков высевания и условий зимовки на их развитие. На наш взгляд, критерием влияния этих факторов может выступать величина разности максимальных и средних выборочных значений вегетационного индекса на конкретные сроки. Сравнивая динамику вегетационного индекса полей, засеянных со значительным, практически максимальным временным интервалом (*рис. 1*), видно, что в осенний период (30.09–03.12) между кривыми NDVI наблюдаются более существенные различия по его абсолютным значениям, чем в период, следующий после зимовки. К началу июня происходит их выравнивание. Осенью определяющим фактором выступают различия в сроках посевных работ, вследствие чего озимые неодинаково успевают взойти к появлению снежного покрова. Весенне-летний период, в который большее влияние оказывают условия перезимовки

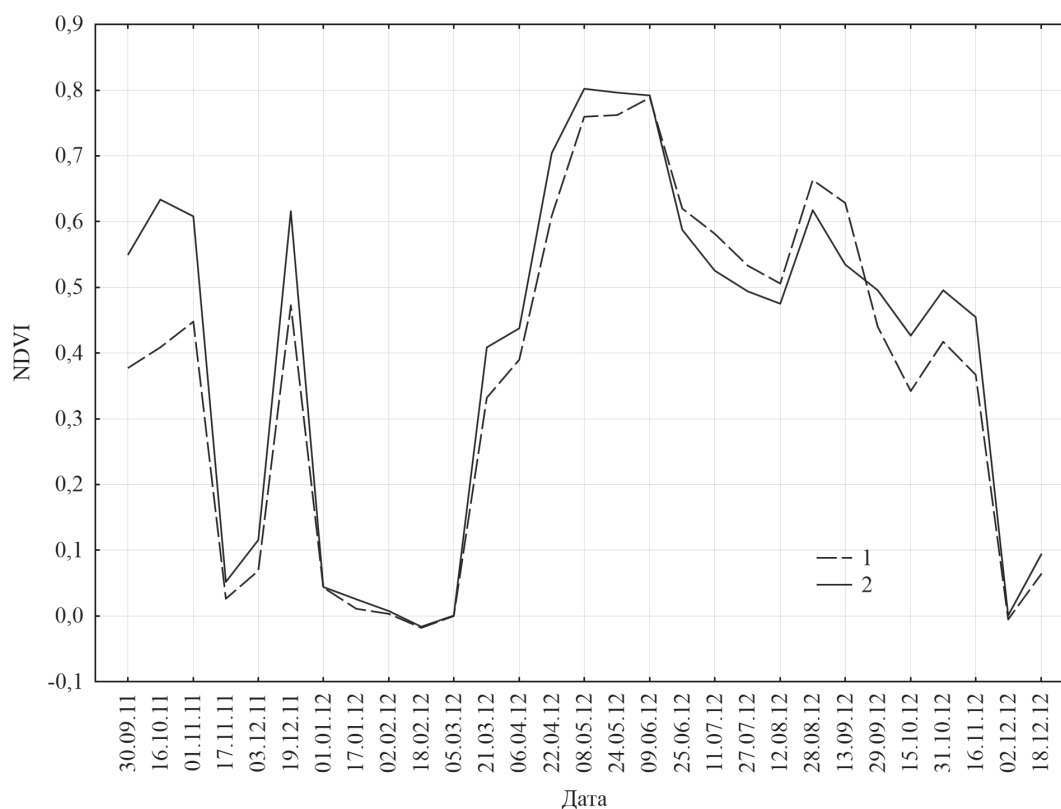


Рис. 1. Пример сезонной динамики вегетационного индекса полей с озимой пшеницей на территории Белгородской области. 1 – поле засеяно в октябре, 2 – поле засеяно в августе

посевов, характеризуется меньшей разностью между значениями NDVI полей, засеянных в разное время. Аналогичные результаты получены при оценке всей выборки анализируемых значений.

Таким образом, можно сделать вывод, что в период 2011–2012 гг. фактор различий в сроках высевания оказал большее влияние на разность в сроках развития посевов, чем фактор перезимовки. По всей видимости, это является региональной особенностью озимых, т.к. самые ранние сроки посевных работ приходятся на конец августа (на чистых парах, распаханых залежах), самые поздние – на середину октября.

Высказанное предположение подтверждено анализом ряда ежедневных метеоданных за весь морозный период для нескольких станций Белгородской области (<http://tr5.ru>). За морозный период 2011–2012 гг. (17.10.2011–04.04.2012) минимальные суточные температуры, представляющие опасность для посевов озимых (ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ ), наблюдались на протяжении одного длительного периода (22.01–21.02.2012). Но за этот срок минимальная высота снежного покрова (по данным метеонаблюдений) составляла 6 см при максимальной высоте 15 см, что должно было обеспечить оптимальные условия зимовки большинства посевов (Шульгин, 1967).

Таяние снежного покрова в зимний период, особенно в его начале, заметно отражается в значениях NDVI. На рис. 1 видно, что это период с 3 по 19 декабря 2011 года, когда температура в отдельные дни в Белгородской области (например, 5.12.2011) поднималась до  $7,5^{\circ}\text{C}$ , что привело к полному таянию снега на полях. Данный отклик виден на графиче-

ке значений вегетационного индекса даже без привлечения метеоданных. На протяжении зимнего сезона, особенно по причине длительного отсутствия снежного покрова на полях, зеленая фитомасса, сформированная осенью, может полностью исчезнуть. Но если температура на глубине узла кушения (3 см) не превышала критическую (для территории Белгородской области – около  $-10^{\circ}\text{C}$ ), это не существенно сказывается на развитии посевов. Весной при оптимальных условиях они достаточно быстро вновь формируют проективное покрытие зеленой фитомассой (рис. 2), что подтверждается анализом состояния растительного покрова на полях и оценкой значений NDVI.

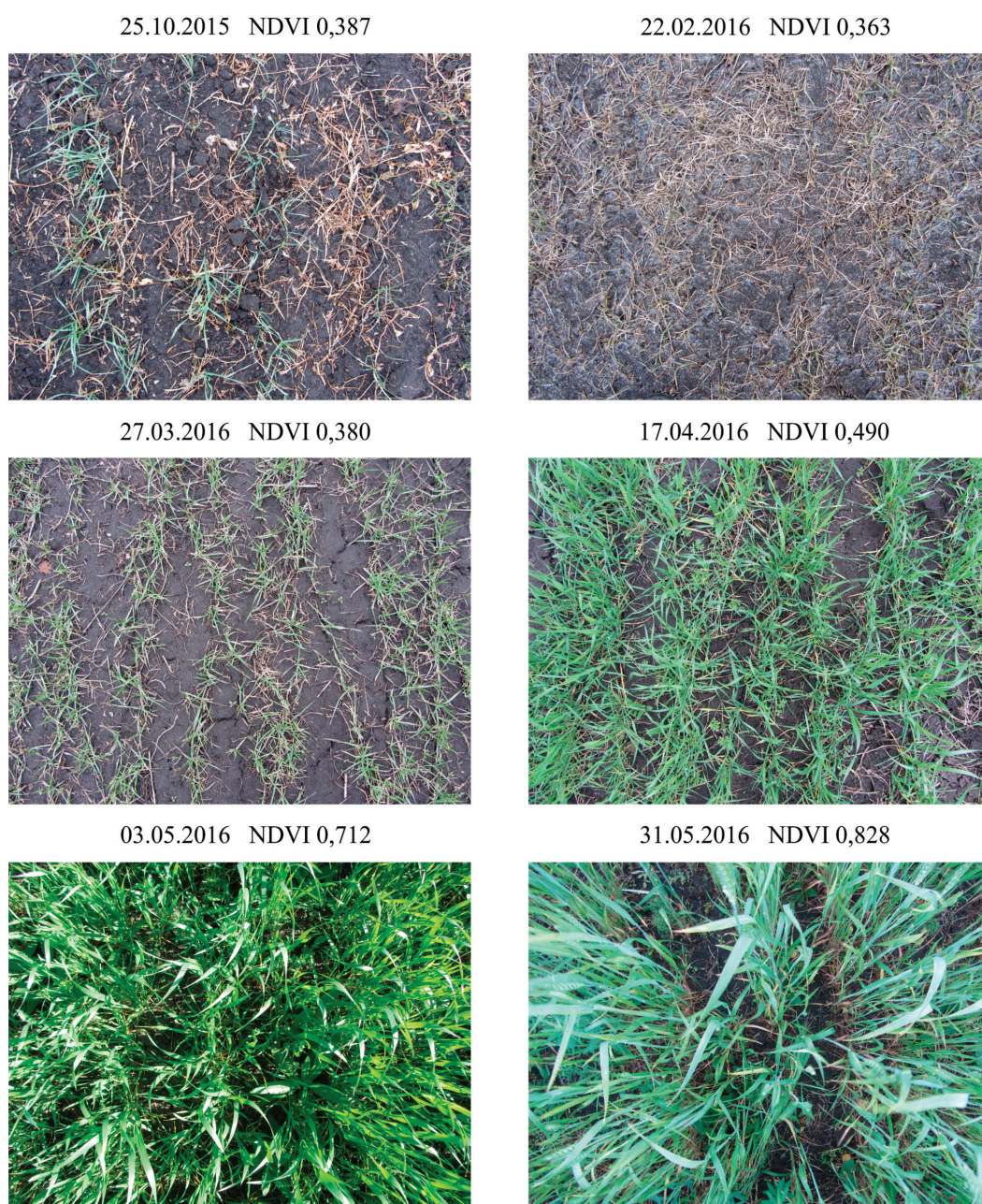


Рис. 2. Динамика растительного покрова одной и той же посевной площади с озимой пшеницей с октября по июнь (Новооскольский район, Белгородская область)

На основе анализа полевых данных и статистической оценки значений вегетационного индекса установлено, что несмотря на различия в сроках высевания и условиях зимовки, следствием которых являются разные сроки прохождения основных фаз развития, есть периоды, когда большинство посевов характеризуется наибольшей однородностью по величине проективного покрытия и зеленой фитомассы. Установлено, что такие периоды могут быть выявлены путем статистического анализа всей выборки значений NDVI (табл. 2, рис. 3).

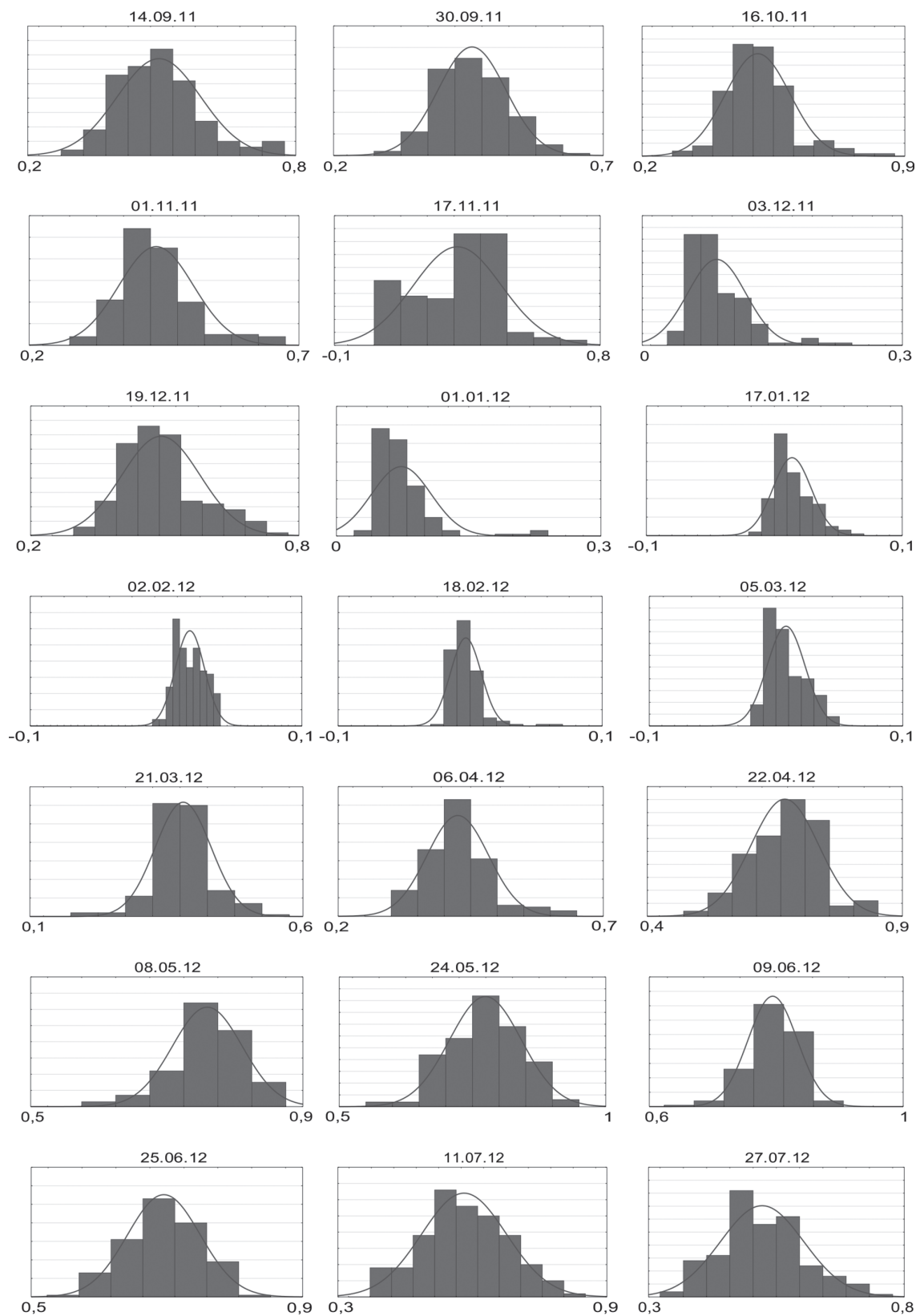
Таблица 2. Статистические характеристики NDVI, соответствующие различным стадиям развития посевов озимых

<i>Дата</i>	<i>Среднее</i>	<i>Стандартное отклонение</i>	<i>Коэффициент вариации*, %</i>
14.09.11	0,469	0,094	20,0
30.09.11	0,432	0,063	14,5
16.10.11	0,461	0,080	17,3
01.11.11	0,460	0,069	15,0
17.11.11	0,313	0,166	53,0
03.12.11	0,079	0,035	43,9
19.12.11	0,504	0,091	18,1
01.01.12	0,074	0,034	45,7
17.01.12	0,014	0,015	107,9
02.02.12	0,018	0,011	61,1
18.02.12	-0,003	0,012	353,7
05.13.12	0,008	0,015	187,3
21.03.12	0,356	0,051	14,4
06.04.12	0,426	0,058	13,6
22.04.12	0,658	0,070	10,6
08.05.12	0,735	0,051	7,0
24.05.12	0,774	0,067	8,7
09.06.12	0,782	0,041	5,3
25.06.12	0,683	0,057	8,4
11.07.12	0,568	0,098	17,3
27.07.12	0,519	0,090	17,2
12.08.12	0,499	0,088	17,7
28.08.12	0,604	0,115	19,1

\*Коэффициент вариации – стандартное отклонение / среднее значение × 100%

Критерием однородности посевов по биофизическим показателям в данном случае может выступать особенность распределения выборки значений вегетационного индекса, рассчитываемых на конкретный временной срез. В периоды, когда одни посевы «догнали» в значениях NDVI другие, выборка его значений с разных посевных площадей характеризуется нормальным распределением, оценка которого была проведена по форме гистограммы (рис. 3) и тестам Колмогорова-Смирнова, Лилиефорса, Шапиро-Уилка (уровень значи-

мости для всех тестов 0,05). Из *рис. 3* видно, что гипотеза о нормальном распределении в наибольшей степени подтверждается на графике второй половины июня (25.06.2012).



*Рис. 3. Вид распределения значений NDVI (горизонтальная ось) для посевных площадей с озимыми зерновыми в разные периоды года*



Кроме того, в эти периоды наблюдается существенное снижение выборочного коэффициента вариации (табл. 2). Необходимо отметить, что в период с начала января по начало марта подавляющая часть анализируемых посевных площадей была покрыта снежным покровом, следствием чего являются очень низкие значения NDVI (ниже 0,1–0,2), не характерные для растительного покрова, но отражающие состояние посевных площадей на эти сроки.

Из табл. 2 и рис. 3 видно, что периоды минимальных коэффициентов вариации, в значительной степени совпадающие с периодами нормального распределения значений вегетационного индекса, отражают стадии наибольшей однородности развития посевов. В данном случае это период с 24 мая по 11 июля – сроки колошения и восковой спелости. С 9 по 26 июня величина коэффициента вариации минимальна за весь вегетационный сезон. Период с 30 сентября по 1 ноября характеризуется нормальным распределением или близким к нему в связи с тем, что в это время подавляющее большинство полей с озимыми уже распаханно и засеяно, но посевы еще не взошли или только начинают всходить, т.е. спектральный отклик посевных площадей формирует оголенная почва.

## Выводы

С применением данных дистанционного зондирования рассмотрен ряд вопросов оценки состояния озимых, типичных для территории Белгородской области и Центрального Черноземья. К ним относятся особенности сезонной динамики вегетационного индекса, влияние на нее различных факторов и зависимость от стадий прохождения фаз развития. Установлено, что различия в сроках проведения посевных работ оказывают более существенное влияние на время наступления фенофаз озимых, чем условия зимовки. В качестве критерия, определяющего степень влияния этих факторов, предложено использовать величину разности максимальных и средних выборочных значений вегетационного индекса на конкретные временные срезы. Наиболее четко влияние биофизических параметров (проективное покрытие, зеленая фитомасса) на значения NDVI проявляется при его анализе на конкретных посевных площадях. В отдельные сроки вегетационного сезона, преимущественно с середины мая по середину июля, для посевов озимых, находящихся на различных полях, характерна наибольшая однородность по биофизическим параметрам. В эти периоды выборочная совокупность значений вегетационного индекса со всех посевных площадей с озимыми характеризуется минимальными коэффициентами вариации (менее 9%) и нормальным распределением или близким к нему. Наименьшая величина коэффициента вариации (5,3%) наблюдается в период середины июня.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-17-10008).

## Литература

1. Агроклиматические ресурсы Белгородской области. Л.: Гидрометеиздат. 1972. 91 с.
2. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А.* Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
3. *Береза О.В., Страшина А.И., Лупян Е.А.* О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 1. С. 18–30.
4. *Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Федченко П.П.* Аэрокосмические исследования почв и растительности. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 226 с.
5. *Лукин С.В.* Динамика урожайности озимой пшеницы в Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 7. С. 52–55.
6. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Крашенинникова Ю.С.* Наблюдение аномально раннего развития сельскохозяйственных культур в южных регионах России весной 2016 года на основе данных дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 240–243.
7. *Миклашевич Т.С., Барталев С.А.* Метод определения фенологических характеристик растительного покрова на основе временных рядов спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 9–24.
8. *Плотников Д.Е., Барталев С.А., Жарко В.О., Михайлов В.В., Присянникова О.И.* Экспериментальная оценка распознаваемости агрокультур по данным сезонных спутниковых измерений спектральной яркости // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 199–208.
9. *Повх В.И., Шляхова Л.А., Воробейчик Е.А.* Использование технологий дистанционного зондирования земли для решения задач прогноза урожайности зерновых культур в республике Адыгея // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 2. С. 419–424.
10. *Савин И.Ю., Негрэ Т.* О новом подходе к использованию NDVI для мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исследование Земли из космоса. 2003. № 4. С. 91–96.
11. *Терехин Э.А.* Спектральные отражательные свойства сельскохозяйственной растительности Белгородской области (по материалам космической съемки) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 20. № 15 (134). С. 188–193.
12. *Терехин Э.А.* Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга посевов озимых культур Белгородской области // География и природные ресурсы. 2015а. № 3. С. 175–181.
13. *Терехин Э.А.* Сезонная динамика NDVI многолетних трав и ее использование для типизации их посевов на территории Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015б. Т. 12. № 1. С. 9–17.
14. *Шевырногов А.П., Зоркина Т.М., Жукова В.М., Жукова Е.Ю., Жидкая М.В.* Изучение сезонной динамики сельскохозяйственных посевов на территории Хакасии по снимкам Terra MODIS // Сибирский Вестник сельскохозяйственной науки. 2007. №5. С. 29–35.
15. *Шульгин А.М.* Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 300 с.
16. *Dong T., Liu J., Qian B., Zhao T., Jing Q., Geng X., Shang J.* Estimating winter wheat biomass by assimilating leaf area index derived from fusion of Landsat-8 and MODIS data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2016. Vol. 49. P. 63–74.
17. *Huete A., Justice C., van Leeuwen W.* MODIS vegetation index (MOD13) // Algorithm theoretical basis document. 1999. Version 3. P. 19–21.
18. *Jamali S., Seaquist J., Eklundh L., Ardö J.* Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 141. No. 9. P. 79–89.
19. *Pan Y., Li L., Zhang J., Liang S., Zhu X., Sulla-Menashe D.* Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 119. P. 232–242.
20. *Wiegand C.L., Richardson A.J., Escobar D.E., Gerbermann A.H.* Vegetation Indices in Crop Assessments // Rem. Sens. Environment. 1991. No. 35. P. 105–119.
21. *de Wit A., Duveiller G., Defourny P.* Estimating regional winter wheat yield with WOFOST through the assimilation of green area index retrieved from MODIS observations // Agricultural and Forest Meteorology. 2012. Vol. 164. P. 39–52.
22. *Yan L., Roy D.P.* Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 144. P. 42–64.
23. *Zhang J., Zhang L., Xu C., Liu W., Qi Y., Wo X.* Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data – A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province // Acta Ecologica Sinica. 2014. Vol. 34. No. 1. P. 7–12.

# Investigation of winter cereal crops development based on their spectral reflectance properties

E.A. Terekhin<sup>1</sup>, O.A. Marinina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State National Research University, 308015, Russia  
E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

<sup>2</sup>Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Russia  
E-mail: marininao@mail.ru

The article presents the results of analysis of winter cereals spectral reflectance characteristics obtained using remote sensing data. The samples of sowings typical of the Belgorod Region and the Central Black Earth Region were used for the research. The experimental data were received from 158 sowing areas. It has been established that the difference in sowing time has more influence on the difference in winter cereals phenophases occurrence than on the over-wintering conditions. Snow melting in the fields on certain dates of the winter period can be clearly identified in NDVI seasonal trajectories values. The influence of sowings growth after the winter period on vegetation index values is shown using ground data. NDVI variation coefficient value and test of hypothesis for normal distribution in certain time slices may serve as criteria defining the uniformity degree of biophysical parameters of plants growing in various sowing areas. During the periods when the phases of development are leveled, sharp decreases in random variation and standard deviation are observed. It has been established that the maximal homogeneity of vegetation cover and green phytomass of the sowings is observed from the second half of May until mid-June. The minimal values of NDVI variation coefficient (5–6%) calculated for each analyzed date at an interval of 16 days are observed in mid-June.

**Keywords:** vegetation, winter cereals, remote sensing, Landsat, MODIS, NDVI

Accepted: 20.10.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-5-202-213

## References

1. *Agroklimaticheskie resursy Belgorodskoi oblasti*, Leningrad.: Gidrometeoizdat, 1972, 91 p.
2. Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A., Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektroradiometra MODIS (Mapping of Russia's vegetation cover using MODIS satellite spectroradiometer data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 285–302.
3. Bereza O.V., Strashnaya A.I., Loupian E.A., O vozmozhnosti prognozirovaniya urozhainosti ozimoi pshenitsy v Srednem Povolzh'e na osnove kompleksirovaniya nazemnykh i sputnikovykh dannykh (On the possibility to predict the yield of winter wheat in the Middle Volga region on the basis of integration of land and satellite data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 18–30.
4. Kondrat'ev K.Ya., Kozoderov V.V., Fedchenko P.P., *Aerokosmicheskie issledovaniya pochv i rastitel'nosti* (Space researches of soil and vegetation), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 226 p.
5. Lukin S.V., Dinamika urozhainosti ozimoi pshenitsy v Belgorodskoi oblasti (Dynamics of winter wheat productivity in Belgorod region), *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2013, No. 7, pp. 52–55.
6. Loupian E.A., Bartalev S.A., Krashenninnikova Yu.S., Nablyudeniye anomal'no rannego razvitiya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v yuzhnykh regionakh Rossii vesnoi 2016 goda na osnove dannykh distantsionnogo monitoring (Observing an abnormally early development of crops in the southern regions of Russia in spring 2016 using remote monitoring data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 2, pp. 240–243.
7. Miklashevich T.S., Bartalev S.A., Metod opredeleniya fenologicheskikh kharakteristik rastitel'nogo pokrova na osnove vremennykh ryadov sputnikovykh dannykh (Method for estimating vegetation cover phenological characteristics from satellite data time series), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 9–24.
8. Plotnikov D.E., Bartalev S.A., Zharko V.O., Mikhailov V.V., Prosyannikova O.I., Eksperimental'naya otsenka raspoznavаемости agrokul'tur po dannym sezonnykh sputnikovykh izmerenii spektral'noi yarkosti (An experimental assessment of crop types recognisability using time-series of intra-seasonal spectral reflectance measurements by satellite sensor), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 199–208.
9. Povkh V.I., Shlyakhova L.A., Vorobeichik E.A., Ispol'zovaniye tekhnologii distantsionnogo zondirovaniya zemli dlya resheniya zadach prognoza urozhainosti zernovykh kul'tur v respublike Adygeya (Application of the Earths remote sensing technologies to solve problems of the grain-crops yield forecast in Adygeya Republic), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Vol. 6, No. 2, pp. 419–424.
10. Savin I.Yu., Negre T., O novom podkhode k ispol'zovaniyu NDVI dlya monitoringa sostoyaniya posevov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (About New Approach for Using NDVI as a Tool for Crop Growth Monitoring and Yield Forecasting), *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 2003, No. 4, pp. 91–96.
11. Terekhin E.A., Spektral'nye otrazhatel'nye svoistva sel'skokhozyaistvennoi rastitel'nosti Belgorodskoi oblasti (po materialam kosmicheskoi s'emki) (Spectral reflectivity properties of agricultural vegetation Belgorod region)

- (based on remote sensing data)), *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2012, Vol. 20, No. 15 (134), pp. 188–193.
12. Terekhin E.A., Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya dlya monitoringa posevov ozimyykh kul'tur Belgorodskoi oblasti (Application of remote sensing data for monitoring winter crops in Belgorod region), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2015, No. 3, pp. 175–181.
  13. Terekhin E.A., Sezonnaya dinamika NDVI mnogoletnikh trav i ee ispol'zovanie dlya tipizatsii ikh posevov na territorii Belgorodskoi oblasti (NDVI seasonal dynamics of perennial grasses and its use for classification of their crops in the Belgorod Region), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 9–17.
  14. Shevyrnogov A.P., Zorkina T.M., Zhukova V.M., Zhukova E.Yu., Zhidkaya M.V., Izuchenie sezonnoi dinamiki sel'skokhozyaystvennykh posevov na territorii Khakasii po snimkam Terra MODIS (Study of seasonal dynamics of agricultural crops in the territory of Khakassia by Terra MODIS images), *Sibirskii Vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki*, 2007, No. 5, pp. 29–35.
  15. Shul'gin A. M., *Klimat pochvy i ego regulirovanie* (Soil climate and its regulation), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967, 300 p.
  16. Dong T., Liu J., Qian B., Zhao T., Jing Q., Geng X., Shang J., Estimating winter wheat biomass by assimilating leaf area index derived from fusion of Landsat-8 and MODIS data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, Vol. 49, pp. 63–74.
  17. Huete A., Justice C., van Leeuwen W., *MODIS vegetation index (MOD13), Algorithm theoretical basis document*, 1999, Version 3, pp. 19–21.
  18. Jamali S., Seaquist J., Eklundh L., Ardö J., Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 141, No. 9, pp. 79–89.
  19. Pan Y., Li L., Zhang J., Liang S., Zhu X., Sulla-Menashe D., Winter wheat area estimation from MODIS-EVI time series data using the Crop Proportion Phenology Index, *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 119, pp. 232–242.
  20. Wiegand C.L., Richardson A.J., Escobar D.E., Gerbermann A.H., Vegetation Indices in Crop Assessments, *Rem. Sens. Environment*, 1991, No. 35, pp. 105–119.
  21. de Wit A., Duveiller G., Defourny P., Estimating regional winter wheat yield with WOFOST through the assimilation of green area index retrieved from MODIS observations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, Vol. 164, pp. 39–52.
  22. Yan L., Roy D.P., Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data, *Remote Sensing of Environment*, 2014, Vol. 144, pp. 42–64.
  23. Zhang J., Zhang L., Xu C., Liu W., Qi Y., Wo X., Vegetation variation of mid-subtropical forest based on MODIS NDVI data – A case study of Jinggangshan City, Jiangxi Province *Acta Ecologica Sinica*, 2014, Vol. 34, No. 1, pp. 7–12.