

УДК 528.88

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ И ОЦЕНКЕ
СОСТОЯНИЯ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ
ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)****GEOINFORMATION APPROACH TO MONITORING AND ASSESSMENT OF CROP
AREAS USING REMOTE SENSING DATA
(A CASE STUDY OF 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*

Аннотация. Геоинформационный подход к оценке состояния растительного покрова – одно из актуальных направлений совершенствования системы мониторинга окружающей среды. При этом в значительной степени он основан на интегрированном использовании различных типов спутниковых данных. Цель работы состояла в ГИС-реализации ряда задач мониторинга посевов с применением спутниковых снимков, выполненной на примере Белгородской области. Предложены методики оценки состояния растительности с детальностью до отдельных обрабатываемых полей. С использованием многолетних рядов информационных продуктов, полученных на основе снимков MODIS, и данных Landsat показана геоинформационная реализация таких задач, как сезонный и многолетний анализ растительности, оценка площади чистых паров, динамика проективного покрытия. Приведены результаты геоинформационного картографирования посевных площадей. Установлена их точная площадь, как по области в целом, так и по ее отдельным административно-территориальным единицам.

Résumé. Geoinformation approach to assessing the state of vegetation - is one of the important directions of improving the environmental monitoring system. To a large extent it is based on the integrated use of different types of remote sensing data. The purpose of this study was the GIS-implementation of a number of crops monitoring tasks with the use of remote sensing images, made with reference to the Belgorod region. It has been proposed a methodology for assessing the condition of vegetation in some cultivated fields level. With the use of long-term series of information products based on MODIS and Landsat imagery data there were considered GIS implementation tasks such as the assessment of crop rotation patterns, seasonal and perennial vegetation analysis, assessment of the area of fallow, the dynamics of green phytomass covering. The results of geoinformation mapping of crop fields were presented. The exact area of cultivated fields in the region as a whole and in its parts has been calculated.

Ключевые слова: мониторинг посевов, геоинформационные системы, данные дистанционного зондирования, вегетационные индексы, Landsat, MODIS.

Key words: monitoring crops, geographic information systems, remote sensing data, vegetation indices, Landsat, MODIS.

Введение

Растительный покров является одним из ключевых компонентов окружающей среды. В регионах, где посевные площади являются наиболее распространенным типом земельных угодий, как например, в Белгородской области [Лисецкий, 2007], актуальными являются задачи совершенствования системы мониторинга сельскохозяйственной растительности.

Одним из основных направлений совершенствования подходов к мониторингу посевных площадей является внедрение геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования. Регулярно получаемые спутниковые данные могут выступать основой для создания систем мониторинга [Савин, 2014], позволяющих получать целый ряд параметров о состоянии растительности на различных территориальных уровнях [Терехов, 2007; Толпин, 2014; Воронина, 2014]. В частности,

актуальными вопросами использования данных дистанционного зондирования является сезонный анализ развития растительности [Муратова, 2007], мониторинг севооборотов [Зинченко, 2013], оценка биофизических параметров посевов и прогнозирование их продуктивности, оценка воздействия неблагоприятных климатических факторов [Савин, 2010]. При этом одно из ключевых направлений связано с повышением точности даваемых оценок, выработкой подробной информации о состоянии растительности на конкретных посевных площадях. Решение этой задачи может быть достигнуто за счет интеграции разноплановых спутниковых данных и материалов полевых наблюдений.

В настоящей статье показан опыт реализации геоинформационного подхода для мониторинга и оценки состояния посевов в Белгородской области. При этом было рассмотрено решение на региональном уровне таких задач как анализ сезонной динамики структуры посевных площадей, получение точной информации о площади и контурах обрабатываемых полей (в том числе, чистых паров), степени распаханности и наличии зеленой растительности на полях. Кроме того, были изучены проблемы оценки проективного покрытия зеленой растительности посевных площадей, оценка условий зимовки.

Материал и методы

Для реализации поставленных в исследовании задач были использованы методы геоинформационного анализа, картографирования и моделирования, методы предварительной и тематической обработки данных дистанционного зондирования.

Ключевыми материалами спутниковой съемки выступали следующие типы данных.

– Снимки среднего пространственного разрешения *MODIS* и информационные продукты на их основе: *MOD13Q1* [Vegetation Indices] и *MOD09GQ*. *MOD13Q1* являются композитными изображениями значений нормализованного вегетационного индекса *NDVI* за 16 дней [Justice, 2002]. Временной ряд продуктов *MOD13Q1* к настоящему времени включает непрерывные данные с 2000 года, что позволяет проводить как сезонный, так и многолетний анализ динамики вегетационного индекса. Использование данного типа информационных продуктов имеет ряд ограничений для картографирования структуры севооборотов. В то же время оно показало значительные возможности при анализе сезонных изменений в растительности, выявлении распаханых полей, оценки проективного покрытия.

– Снимки высокого пространственного разрешения *Landsat* (15–30 м) могут быть использованы для картографирования границ обрабатываемых полей, но основное их преимущество заключается в возможности выявления конкретных типов культур, детектировании чистых паров [Терехин, 2014], ежегодном обновлении контуров посевных площадей, верификации результатов обработки снимков *MODIS* на конкретные даты.

– Снимки высокого пространственного разрешения *SPOT-5* (5 м) были применены для создания векторного слоя контуров посевных площадей региона.

Тематическая и геоинформационная обработка спутниковых данных была осуществлена в программных пакетах *ERDAS IMAGINE* и *ArcGIS*. С помощью *ArcGIS* было проведено тематическое картографирование посевов, моделирование их биофизических параметров.

Блок наземной информации включал сведения о типе посевов, их биофизических параметрах и особенностях сезонного развития, собранные на протяжении 2010–2016 гг. в ряде районов Белгородской области со почти 100 тестовых полей. Кроме того, для эффективного анализа состояния растительности на основе спутниковых данных были задействованы данные сельскохозяйственных организаций о структуре севооборотов с более 1200 посевных площадей, расположенных в различных административных районах области.

Результаты исследований и их обсуждение

При геоинформационном анализе состояния обрабатываемых полей исходили из того, что необходимо предоставление сведений по конкретным посевным площадям с

максимально возможной точностью. В связи с этим для территории региона было осуществлено создание векторной картографической основы, позволившей оценить реальную площадь обрабатываемых полей в Белгородской области. Впоследствии с применением полученной векторной основы и информационных продуктов *MOD13* были рассчитаны сезонные и многолетние ряды вегетационного индекса для каждой посевной площади.

На основе подготовленной векторной основы впервые была получена точная информация о площади и характеристиках обрабатываемых полей в Белгородской области и ее административных районах (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

**Характеристики обрабатываемых полей Белгородской области
(по состоянию на 2013–2014 гг.)
Characteristics of crop areas in the Belgorod region (2013–2014)**

Район	Средняя площадь, га	Количество посевных площадей	Суммарная площадь обрабатываемых полей	Стандартное отклонение	Доля пахотных земель от площади района, %
Алексеевский	35.8	2742	98070	33.0	56.2
Белгородский	47.9	1553	74453	46.8	45.7
Бирючанский	34.0	2464	83660	32.3	47.4
Борисовский	58.9	614	36158	55.6	55.5
Валуйский	45.3	1906	86265	42.7	50.6
Вейделевский	44.2	1965	86831	37.7	64.1
Волоконовский	50.7	1529	77512	45.4	60.4
Грайворонский	68.4	731	50029	57.9	57.5
Губкинский	55.8	1633	91048	46.1	59.6
Ивнянский	55.2	966	53324	46.9	61.2
Корочанский	49.1	1665	81740	45.9	55.8
Красненский	47.5	992	47138	40.6	54.4
Краснояружский	37.3	717	26751	32.9	55.6
Новооскольский	49.8	1468	73167	43.0	52.2
Прохоровский	62.9	1374	86440	53.6	62.6
Ракитянский	57.4	982	56361	49.8	62.6
Ровеньский	50.8	1687	85645	40.7	62.7
Старооскольский	48.1	1663	79990	42.5	47.4
Чернянский	50.5	1442	72770	44.7	59.4
Шебекинский	58.8	1657	97463	55.7	52.3
Яковлевский	55.9	1102	61617	53.0	56.6
Всего	48.8	30852	1506430	45.0	55.5

Из таблицы видно, что суммарное количество обрабатываемых полей в Белгородской области составляет около 31000 единиц. Из года в год этот показатель по области может несколько изменяться, т. к. ежегодно происходит незначительное изменение количества обрабатываемых площадей. Но в целом контуры полей региона достаточно стабильны, т. к. ограничены в подавляющем большинстве системой лесных полос, овражно-балочными системами, лесными массивами и дорожной сетью.

Размеры возделываемых полей в регионе характеризуются очень высоким стандартным отклонением, что указывает на значительные вариации их площадей на территории региона или его отдельных районов. Наименьшая доля обрабатываемых полей характерна для Белгородского района, Старооскольского городского округа и для Бирючанского района, в которых она минимальная в области.

Основные стадии геоинформационной обработки и анализа данных, а также создание ГИС-проекта, в котором была интегрирована вся полученная информация, реализованы в программном пакете ArcGIS 10.1. Пример информационного запроса к конкретной обрабатываемой площади показан на рисунке 1. Для удобства анализа значения вегетационного индекса NDVI, представляющего безразмерную величину, умножены на 10000.

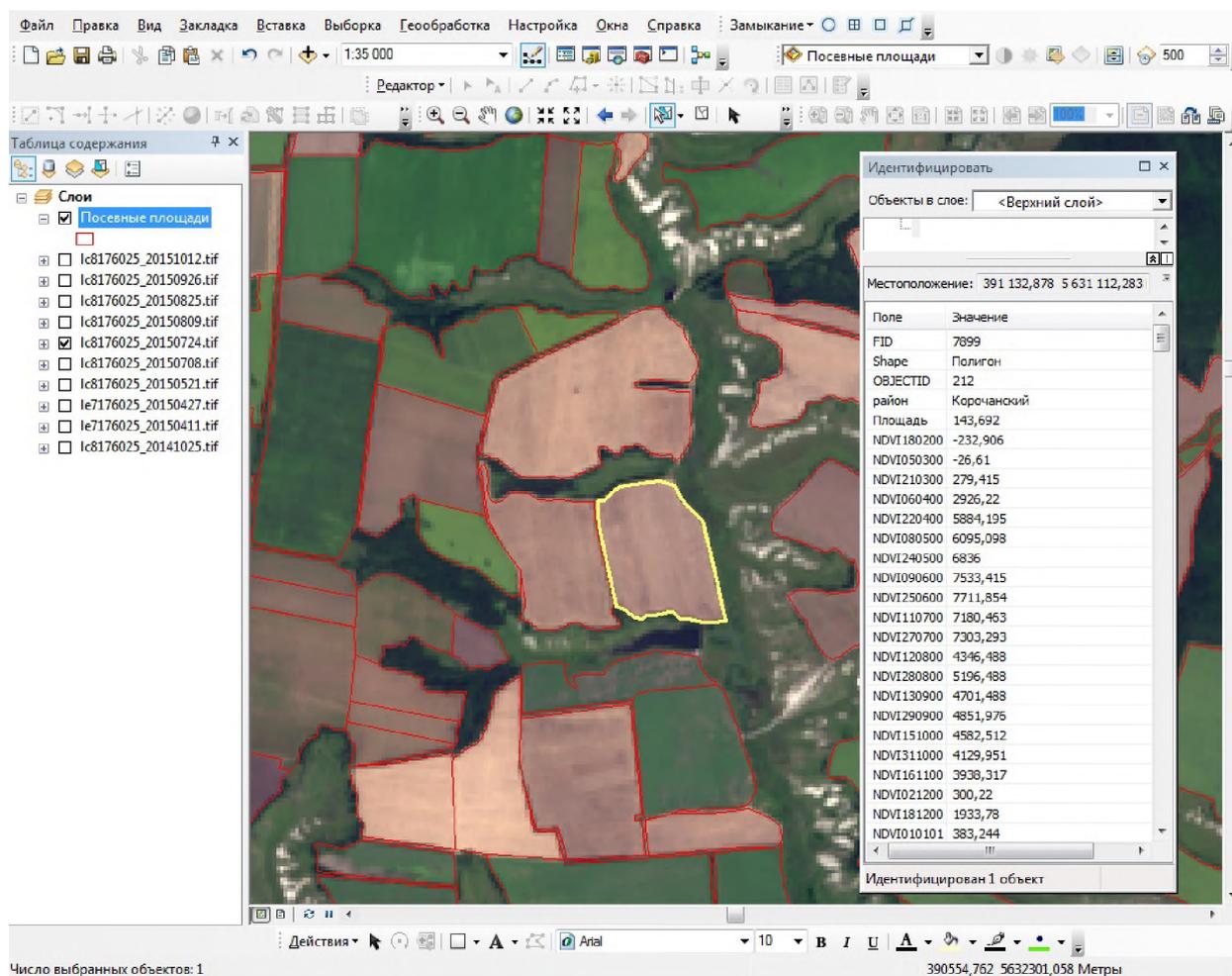


Рис. 1. Пример запроса информации в ГИС-проекте по конкретной посевной площади.

В подложке – комический снимок *Landsat OLI* от 24.07.2015

Fig. 1. Example of information query to the GIS-project for the specific crop area

По каждому обрабатываемому полю имеется возможность получения информации по его площади, району, в котором оно расположено, построения многолетнего ряда NDVI. Для отдельных полей на конкретные годы также внесена информация о типе посевов, проективном покрытии, других параметрах. Предусмотрена возможность внесения дополнительной информации, например, о переводе в другую категорию земель, абсолютной отметке, уклоне поверхности.

Одно из основных направлений мониторинга растительного покрова, связано с разработкой подходов по использованию вегетационных индексов для его анализа [Duveiller, 2015]. Нами были широко использованы возможности индекса *NDVI*, результаты вычисления и оценки которого применены для решения таких задач, как выявление распаханых земель и полей с активно развивающейся растительностью, определение типа посевов и особенностей их развития. Основной особенностью использования вегетационного индекса для анализа растительного покрова в разработанном ГИС-проекте является использование не просто растров вегетационного индекса, а его значений, рассчитанных и статистически оцененных в пределах контуров конкретных посевных площадей. Такой прием обеспечил не только более высокую точностью оценки, но и позволил сформировать аналитическую выборку значений, по которой можно производить оценку сезонной и многолетней динамики *NDVI*, которая, в свою очередь позволяет решать целый ряд задач, связанных с оценкой состояния растительного покрова. В ГИС-проекте по каждой посевной площади (из более 30000) рассчитан многолетний ряд вегетационного индекса с интервалом 16 дней (рис. 2). Сезонный и многолетний ряд *NDVI*, вычисленный для конкретного обрабатываемого поля, может дать информацию о типе посевов и стадиях их вегетации.

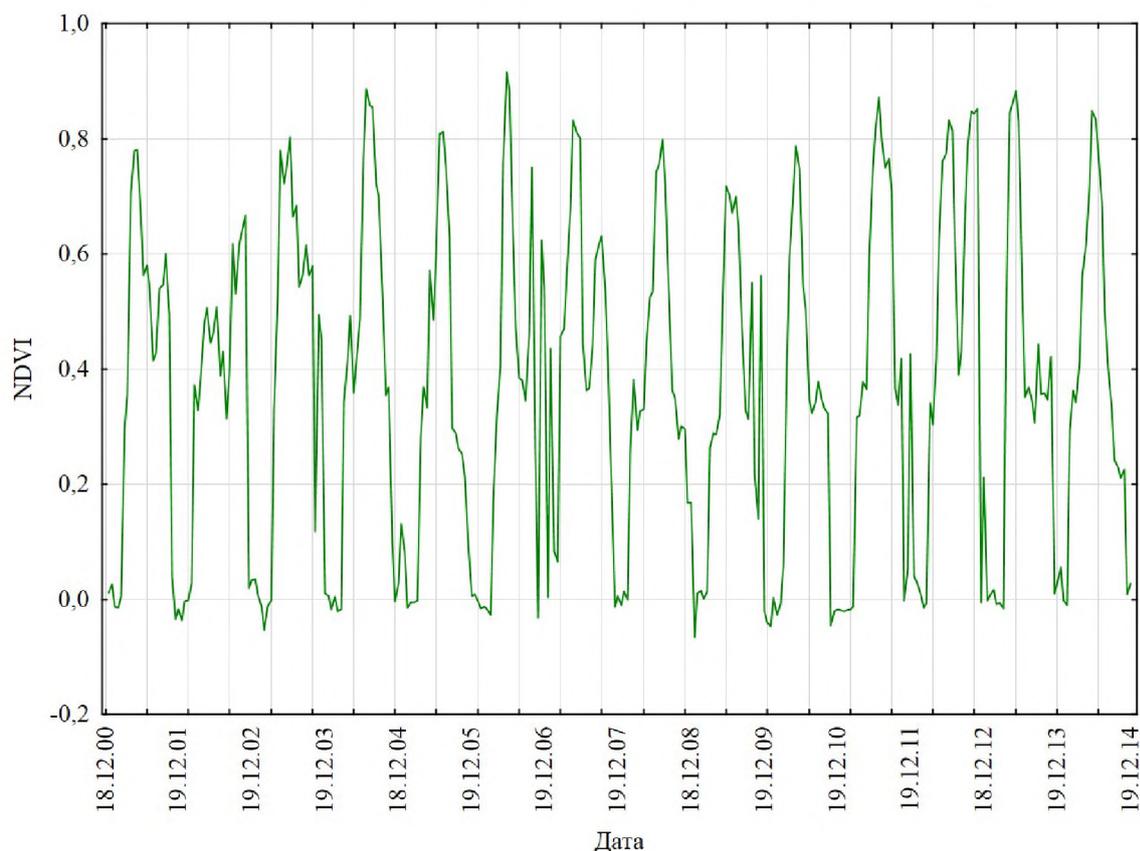


Рис. 2. Пример визуализации многолетнего ряда вегетационного индекса для конкретной посевной площади за 15 лет

Fig. 2. Example visualization of vegetation index time series for a specific crop area

С учетом поступления новых данных *MOD13Q1* возможно дальнейшее увеличение серии измерений. Интеграции рядов *NDVI* со снимками высокого пространственного разрешения (*Landsat*) и их совместная обработка на основе разработанных методик позволяет получать сведения о различных параметрах обрабатываемых полей. К ним относится динамика проективного покрытия зеленой фитомассой и ряд других параметров.

В предложенной системе значения вегетационного индекса применяются для решения ряда задач. Во-первых, его сезонные значения, вычисленные для конкретных полей, позволяют оценить текущее состояние посевной площади (распахана или нет). Это, в свою очередь требует статистического определения пороговых значений, которые были определены нами для целей сезонного картографирования степени распаханности посевных площадей и наличия на них растительного покрова. При этом необходимо отметить ряд ограничений, связанных с использованием предложенного подхода. Основное из них связано с пространственным разрешением исходных данных и заключается в снижении вероятности точного расчета значений вегетационного индекса для небольших по размеру полей, площадью 5–15 га.

На рисунке 3 пороговые значения *NDVI* до 0.6 с вероятностью 95% соответствуют полному отсутствию на полях зеленой фитомассы, либо указывают на факт распаханности поля на текущий момент. Остальные градации соответствуют различным категориям растительного покрова в зависимости от степени его проективного покрытия зеленой фитомассой (рис. 3).

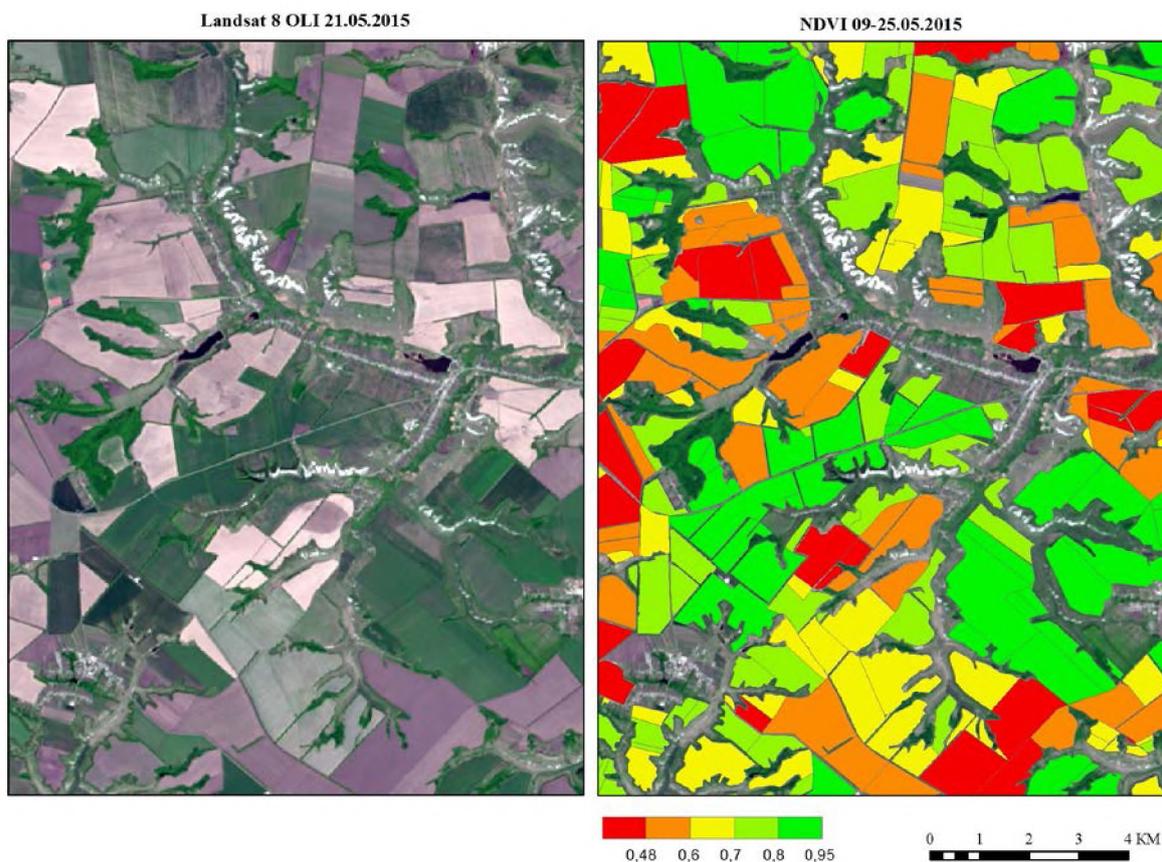


Рис. 3. Оценка состояния растительно-почвенного покрова посевных площадей на основе пороговых значений вегетационного индекса:
 0–0.60 – полное отсутствие зеленой растительности, 0.70–0.95 – различные категории растительности в зависимости от проективного покрытия
 Fig. 3. Estimation of plant-soil acreage based on vegetation index threshold values:
 0–0.60 – a complete lack of green vegetation, 0.70–0.95 – different vegetation categories depending on the amount of green biomass

Более подробная оценка величины проективного покрытия возможна для конкретных обрабатываемых полей на основе ранее установленных эмпирических соотношений [Терехин, 2016].

Информация о наличии фитомассы зеленых растений на посевных площадях в конкретный промежуток вегетационного сезона является одним из важных параметров состояния растительности. Она важна как с точки зрения оценки растительного покрова, так и с точки зрения оценки аграрного использования полей. Полное отсутствие зеленой растительности указывает на то, что посевная площадь либо распахана, либо урожай недавно убран, либо (если на поле были посеы зерновых) урожай созрел. Оценка наличия зеленой фитомассы может быть выполнена на основе пороговых значений вегетационного индекса (верифицированная по данным Landsat) и представлена как в разрезе конкретных полей, так и административно-территориальных единиц (табл. 2).

Таблица 2
Table 2

**Динамика площади полей с зеленой растительностью в Чернянском районе в 2015 г.
Seasonal dynamics of the square fields with green vegetation (Chernyansky District, 2015)**

Дата	Площадь полей с наличием зеленой фитомассы, га	Количество полей с зеленой растительностью	Доля от общей посевной площади района, %
06.03.15	10672.4	257	14.5
22.03.15	14429.6	368	19.7
07.04.15	16198.1	431	22.1
23.04.15	24765.9	640	33.7
09.05.15	41359.1	1027	56.3
25.05.15	52478.3	1236	71.5

Окончание таблицы 3
End of Table 3

10.06.15	58178.4	1309	79.3
26.06.15	51931.8	1261	70.7
12.07.15	47745.2	1196	65.0
28.07.15	43689.3	1089	59.5
13.08.15	23107.1	606	31.5
29.08.15	14064.1	365	19.2
14.09.15	7413.9	198	10.1

Из таблицы 2 следует, что даже в период максимального количества зеленой растительности на полях, доля посевных площадей, характеризующихся ее отсутствием достаточно велика. Т. е. на протяжении вегетационного сезона в структуре посевных площадей всегда присутствует достаточно большой процент полей (от 20% до 90%), характеризующихся полным отсутствием зеленой растительности.

Подобным образом можно получить сведения и о других параметрах растительности на конкретные обрабатываемые поля, административно-территориальные единицы. На основе многолетних данных вегетационного индекса и изображений *Landsat* предусмотрена возможность ретроспективной оценки состояния растительности, начиная с 2000 г.

Заключение

С применением спутниковых данных среднего и высокого пространственного разрешения выполнена геоинформационная реализация системы мониторинга и оценки состояния посевных площадей на примере территории Белгородской области. Проведена детальная оценка площади и количества обрабатываемых полей в регионе. С применением многолетних рядов вегетационного индекса, рассчитанных на базе снимков *MODIS*, реализована возможность текущей и ретроспективной оценки состояния посевных площадей. В частности, определение их степени распаханности на конкретные сроки с интервалом 16 дней на протяжении года, оценки проективного покрытия. Показана возможность оценки состояния полей на основе пороговых значений вегетационного индекса (*NDVI*), изучения сезонной динамики растительности посевных площадей.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации №МК-4611.2016.5.

Список литературы References

1. Воронина П.В., Мамаш Е.А. 2014. Классификация тематических задач мониторинга сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования MODIS. Вычислительные технологии, 19 (3): 76–102.
Voronina P.V., Mamash E.A. 2014. Classification of the thematic objectives of Agriculture monitoring using MODIS remote sensing data. Vychislitel'nye tehnologii [Computational Technologies], 19 (3): 76–102. (in Russian)
2. Зинченко В.Е., Лохманова О.И., Калиниченко В.П., Глухов А.И., Повх В.И., Шляхова Л.А. 2013. Космический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения юга России. Исследование Земли из космоса, (3): 33.
Zinchenko V.E., Lohmanova O.I., Kalinichenko V.P., Gluhov A.I., Povh V.I., Shljahova L.A. 2013. Space monitoring of agricultural land south of Russia land. Issledovanie Zemli iz kosmosa, (3): 33. (in Russian)
3. 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. Solution pochvovodoohrannyh and environmental challenges in the implementation of landscape systems of agriculture. Problemy regional'noy ekologii [Regional environmental issues], (6): 72–79 (in Russian)

4. Муратова Н.Р., Терехов А.Г. 2007. Опыт пятилетнего оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий Северного Казахстана с помощью спутниковых данных. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 4 (4): 277–283.
Muratova N.R., Terehov A.G. 2007. Experience a five-year operational monitoring of agricultural lands of Northern Kazakhstan using satellite data. Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 4 (4): 277–283. (in Russian)
5. Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Медведева М.А., Плотников Д.Е. 2011. Спутниковый мониторинг воздействия засухи на растительность (на примере засухи 2010 года в России). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 8 (1): 150–162.
Savin I.Ju., Bartalev S.A., Lupjan E.A., Tolpin V.A., Medvedeva M.A., Plotnikov D.E. 2011. Satellite monitoring drought impacts on vegetation (on example the drought in Russia in 2010). Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 8 (1): 150–162. (in Russian)
6. Савин И.Ю., Танов Э.Р. 2014. О возможностях оценки качества пахотных угодий Баксанского района Кабардино-Балкарии на основе спутникового сервиса «ВЕГА». Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 11 (3): 180–192.
Savin I.Ju., Tanov Je.R. 2014. On the possibilities of evaluating the quality of arable land Baksan region of Kabardino-Balkaria on the basis of satellite service "VEGA". Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 11 (3): 180–192. (in Russian)
7. 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)
8. Терехин Э.А. 2016. Влияние проективного покрытия растительности посевных площадей на ее спектрально-отражательные свойства. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 13 (3): 61–71.
Terekhin E.A. 2016. Effect of plant cover in the acreage of its spectral reflection properties. Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 13 (3): 61–71. (in Russian)
9. Терехов А.Г., Юсупова А.С., Зинченко Е.А., Муратова Н.Р. 2007. Оперативная инвентаризация размеров яровых посевов Северного Казахстана на базе спутниковых данных MODIS и IRS LISS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 4 (2): 365–371.
Terehov A.G., Jusupova A.S., Zinchenko E.A., Muratova N.R. 2007. Operational inventory sizes of spring crops in Northern Kazakhstan on the basis of satellite data MODIS and IRS LISS. Sovremennyye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 4 (2): 365–371. (in Russian)
10. Толпин В.А., Лупян Е.А., Барталёв С.А., Плотников Д.Е., Матвеев А.М. 2014. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса «ВЕГА». Оптика атмосферы и океана, 27 (7): 581–586.
Tolpin V.A., Lupjan E.A., Bartaljev S.A., Plotnikov D.E., Matveev A.M. 2014. Opportunities analysis of agriculture vegetation using satellite service "VEGA". Optika atmosfery i okeana [Atmospheric and Oceanic Optics], 27 (7): 581–586. (in Russian)
11. Duveiller G., Lopez-Lozano R., Cescatti A. 2015. Exploiting the multi-angularity of the MODIS temporal signal to identify spatially homogeneous vegetation cover: A demonstration for agricultural monitoring applications. Remote Sensing of Environment, 166: 61–77.
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. Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m, MOD13Q1, Available at: https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13q1
14. USGS Global Visualization Viewer: Available at: <http://glovis.usgs.gov/>