

Причины многолетней динамичности индекса NDVI (MODIS), осреднённого для пахотных земель на уровне муниципалитетов Белгородской области

И. Ю. Савин^{1,2}, Ю. Г. Чендев³

¹ Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва, 119017, Россия

² Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, 117198, Россия

³ Белгородский государственный университет, Белгород, 308015, Россия

E-mail: savin_iyu@esoil.ru

Одним из базовых продуктов интернет-сервиса «ВЕГА» являются картограммы вегетационного индекса NDVI (MODIS), осреднённого для пахотных земель всех муниципалитетов России, которые обновляются с временным шагом в одну неделю. В статье представлены результаты анализа его многолетней динамичности за период с 2001 по 2016 г. для муниципалитетов Белгородской области. Проведён анализ основных причин наблюдаемой динамики. Установлено, что наиболее значимыми причинами являются изменения площадей сева сельскохозяйственных культур и климатические условия вегетационного сезона. Дата начала появления первых сведений об NDVI в сезоне хорошо коррелирует с данными о температуре воздуха. Но тренд этого показателя за период исследований (2001–2017) на территории области не выявляется. Наблюдается нечётко выраженная периодичность локальных минимумов и максимумов показателя величиной 5–7 лет. На дату достижения сезонного максимума NDVI более сильное влияние оказывает изменение площадей сева культур, чем тренды метеоусловий (которые действуют в направлении наступления более раннего пика сезона вегетации). Это приводит пусть к слабому, но всё более позднему наступлению даты пика сезона вегетации во вторую половину анализируемого периода. Основным фактором динамики величины сезонного максимума NDVI в районах Белгородской области является динамика структуры посевов, сочетание урожайности и площадей сева культур. Полученные данные необходимо учитывать при использовании интернет-сервиса «ВЕГА» при оперативном мониторинге посевов сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, дешифрирование посевов, MODIS, NDVI, Белгородская область

Одобрена к печати: 15.01.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-137-143

Введение

В настоящее время целесообразность использования спутниковых данных для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур уже ни у кого не вызывает сомнений. Существует достаточно большое количество научных публикаций, как на локальном уровне, так и на глобальном, которые демонстрируют достоинства и недостатки спутникового сельскохозяйственного мониторинга, а также специфику использования спутниковых данных при мониторинге посевов (Лупян и др., 2009; Савин, 2015; Atzberger, 2013; Corgne et al., 2016; Eerens et al., 2014; Rembold et al., 2013).

Уже почти 10 лет назад усилиями специалистов ИКИ РАН был создан интернет-сервис «ВЕГА», предназначенный для облегчения доступа (в том числе и для специалистов сельского хозяйства) к первичным результатам спутникового мониторинга растительности (Лупян и др., 2011). Пользователь сервиса «ВЕГА» получает непосредственный доступ к первичным результатам обработки спутниковых данных в виде вегетационных индексов и их временной динамики, не тратя время на подготовку спутниковых данных к анализу и ресурсы на их очистку, коррекцию, комплексирование, создание мозаик и хранение. Это является одним из основных преимуществ подобных сервисов для специалистов в области сельского хозяйства, которым остаётся осуществить лишь прикладной анализ информации о вегетационных индексах для решения своих задач.

Более того, на сервисе в автоматизированном режиме генерируются также и результаты в виде информационных бюллетеней, которые содержат данные о динамичности вегетационного индекса NDVI, агрегированного для пахотных земель на уровне муниципалитетов (Толпин и др., 2011). Теоретически это должно упрощать для пользователя анализ информации о состоянии посевов, но по факту может приводить к путанице и получению неверных результатов. Связано это в основном с тем, что на осреднённую для пашни кривую NDVI на уровне муниципалитета может влиять очень много факторов. Среди них наиболее существенными, по-видимому, являются такие, как набор возделываемых культур, их площади, засорённость посевов, почвенные (в том числе агрохимические) и климатические условия. Комплексное влияние всех этих факторов часто делает тематическую интерпретацию приводимой в Бюллетенях информации нетривиальной задачей.

В предлагаемой статье излагаются результаты подобного анализа данных, приведённых в Бюллетенях сервиса «ВЕГА» для муниципалитетов Белгородской области.

Методы

Для каждого муниципалитета Белгородской области проводился анализ поведения NDVI и его связи с климатическими данными, статистикой по урожайности и площадям сева возделываемых сельскохозяйственных культур.

Данные об осреднённых еженедельных величинах NDVI были взяты из интернет-сервиса «ВЕГА». Статистическая информация за период 2001–2016 гг. получена от управления по статистике Белгородской области.

В качестве климатических параметров анализировались данные реанализа о количестве осадков, климатическом водном балансе и средней температуре воздуха (архив данных ERA-Interim, <https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>). Использовались декадные (10-дневные) данные. Архив содержит данные с пространственным разрешением 0,25°. Для каждого муниципалитета выбиралась одна репрезентативная точка с климатическими параметрами.

В качестве показателей NDVI использовались следующие:

- 1) начало сезона вегетации, которое определялось как неделя года, в которую появились первые в сезоне данные о NDVI, т. е. в течение которой сошёл снег;
- 2) неделя года, в которую был достигнут сезонный максимум NDVI;
- 3) величина сезонного максимума NDVI.

Результаты и обсуждение

Основным фактором влияния на начало сезона вегетации являются метеорологические условия конкретного года. Анализ полученных для каждого административного района данных показал, что различия между ними очень небольшие и отмечаются лишь в отдельные годы. Общая тенденция изменений представлена на *рис. 1* (см. с. 139).

Из рисунка следует, что в отличие от других регионов (Савин, Вриелинг, 2008) ярко выраженный тренд более раннего или более позднего наступления начала сезона для территории исследований не наблюдается. Чётко прослеживается более раннее наступление сезона в 2002, 2007–2009 и 2016 гг. и более позднее — в 2003 и 2013 гг. Причём это характерно практически для всех районов. Приведённые данные служат подтверждением того, что основным фактором динамики этого показателя является изменение метеорологических условий. Корреляционный анализ показывает, что для каждого из районов величина коэффициента корреляции между датой наступления сезона вегетации и среднелегальной средней температурой воздуха превышает 0,78.

Пик сезона вегетации (неделя осреднённого для пахотных земель административного района сезонного пика NDVI) имеет схожую динамику практически для всех районов области.

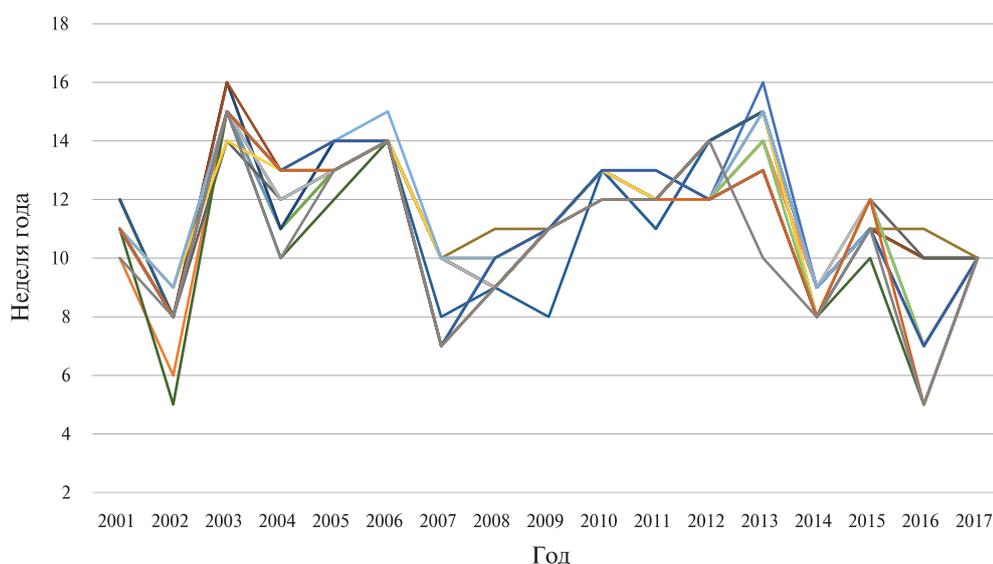


Рис. 1. Дата начала сезона вегетации на пахотных землях административных районов Белгородской области (разным цветом показаны кривые для каждого из районов)

Каждый год с 2003 по 2008–2010 наблюдается более раннее (в среднем на одну неделю в год) наступление пика сезона вегетации. Но затем, с 2008–2010 до 2017 г., пик сезона вегетации становится постепенно всё более поздним. При этом разница между 2008–2010 и 2017 гг. составляет для большинства районов лишь около 2–3 недель. Подобное поведение рассматриваемого показателя не может быть объяснено изменением метеорологических условий. Наоборот, если бы основным драйвером оказались именно они, то должно было бы наблюдаться всё более раннее наступление пика сезона вегетации (на фоне постепенного роста средней температуры воздуха).

Принимая во внимание, что с 2005–2007 гг. практически во всех районах области наблюдается суммарное увеличение доли площадей посевов поздних сельскохозяйственных культур (кукуруза, подсолнечник, соя, сахарная свёкла) по сравнению с посевами ранних культур (пшеница, ячмень, рожь, овёс), можно предположить, что это оказывает значимое влияние на динамику даты наступления пика сезона вегетации (термины «поздние» и «ранние» в контексте статьи используются для разделения культур, пик сезона которых наступает обычно позже или раньше других). Это предположение подтверждается сопоставлением графиков изменения площадей посевов поздних и ранних культур с графиком динамики даты наступления пика сезона вегетации (рис. 2, см. с. 140). Причём изменение площадей сева культур оказывает более сильное влияние, чем тренды метеоусловий (которые действуют в направлении наступления более раннего пика сезона вегетации), что и приводит пусть к слабому, но всё более позднему наступлению даты пика сезона вегетации во вторую половину анализируемого периода.

Интересно отметить, что по результатам многих исследований в мире в последние десятилетия установлен сдвиг сезона вегетации на более ранние сроки (Silveira, Thiébaud, 2017; Xu et al., 2017). Но в нашем случае существенное изменение в площадях посевов поздних культур привело к нивелировке влияния изменений климата и приданию слабого, но обратного по направлению тренда даты пика сезона вегетации.

Такой показатель, как «величина сезонного максимума NDVI», теоретически должен быть связан с величиной наземной фитомассы на полях, зависимой от типа возделываемых культур и их урожайности, которая, в свою очередь, зависит от метеорологических условий конкретного года и количества внесённых удобрений (Savin, 2007). На него может также влиять и засорённость посевов (Савин и др., 2017). Но с учётом того, что мы анализируем данные, осреднённые для всех пахотных земель административного района, влияние засорённости посевов вряд ли может быть значимо велико.

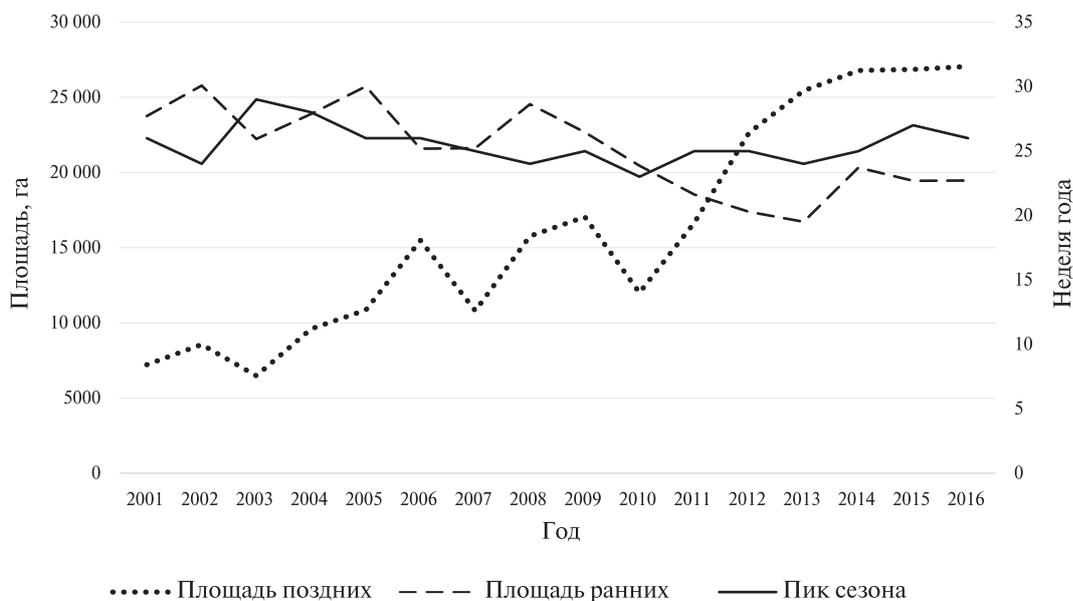


Рис. 2. Динамика даты пика сезона вегетации и площадей посевов ранних и поздних культур для Ракитянского района

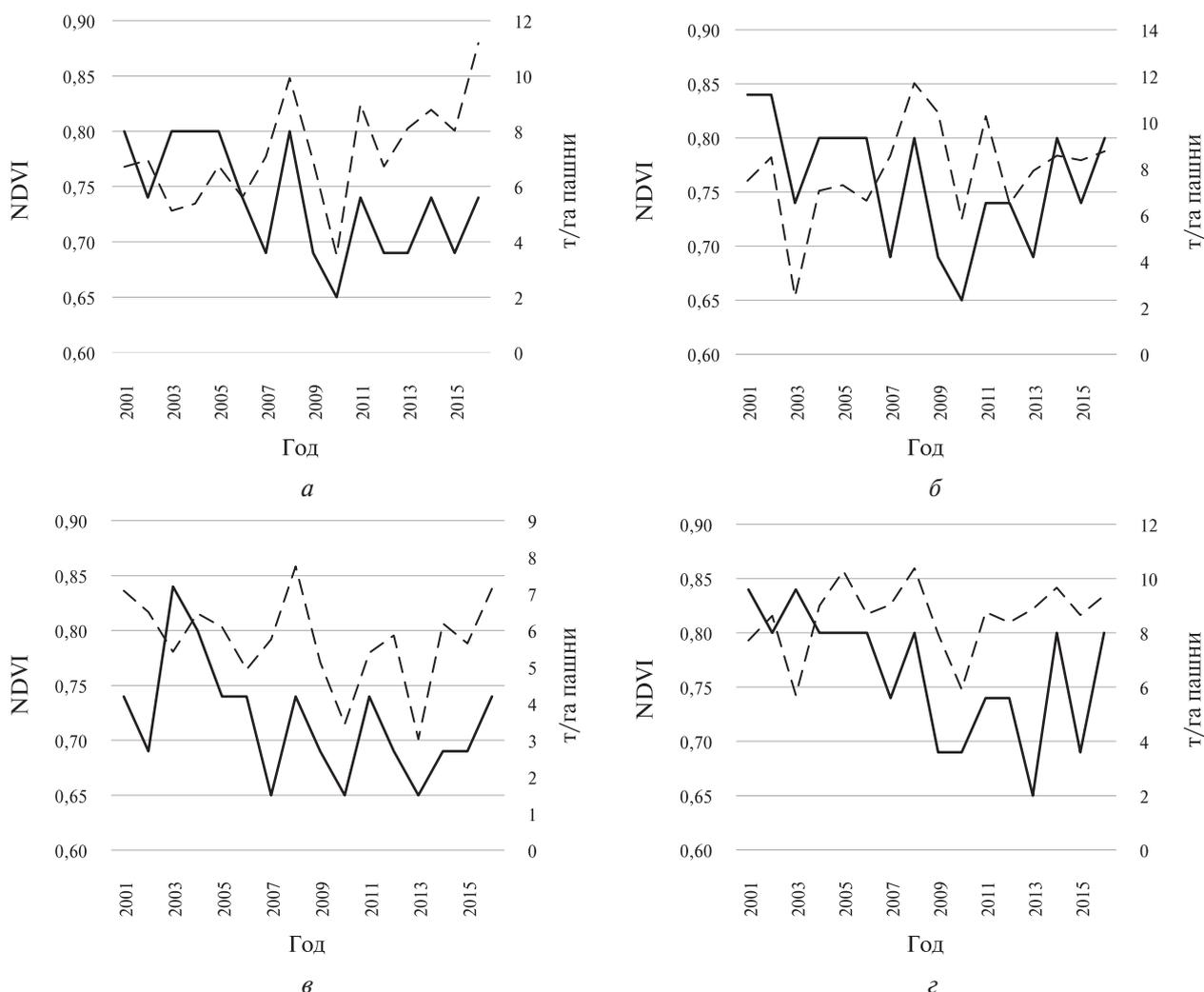


Рис. 3. Ковариация величины сезонного максимума NDVI (сплошная кривая) и расчётной надземной относительной фитомассы (пунктирная кривая): а — Алексеевский район; б — Грайворонский район; в — Ровенский район; г — Шебекинский район

Величина наземной относительной фитомассы на пахотных полях районов была рассчитана на основе данных о статистической урожайности, площадях посевов, а также с учётом средней доли побочной и основной продукции у каждой из возделываемых культур (Каюмов, 1989). Рассчитывалась величина общей фитомассы на полях как сумма наземной фитомассы всех возделываемых культур в районе, которая далее делилась на величину суммарной площади всех посевов в конкретном году.

Сравнение динамики сезонного максимума NDVI и расчётной величины наземной относительной фитомассы показало, что в целом для большинства районов наблюдается хорошая ковариация этих параметров (*рис. 3*, см. с. 140). Однако для преобладающей части районов ковариация отсутствует или выражена очень слабо в период с 2001 по 2005 г. Это может быть связано с недостаточным качеством как статистических данных, так и спутниковой информации.

Вследствие этого иногда наблюдается разнонаправленность общего тренда анализируемых показателей (см., например, *рис. 3* для Алексеевского района), хотя за период с 2005 по 2016 г. он для большинства районов положителен. Данный тренд объясняется как ростом доли поздних культур с большей фитомассой по сравнению с ранними культурами, так и ростом урожайности ранних культур, связанным с благоприятными метеорологическими условиями последних лет.

В целом на основе полученных данных можно сделать вывод о том, что основным фактором динамики величины сезонного максимума NDVI в районах Белгородской области является динамика структуры посевов, сочетание урожайности и площадей сева культур.

Выводы

Проведённые исследования показали, что, величина NDVI, осреднённого для пахотных земель административных районов Белгородской области, является комплексным показателем, который зависит от метеорологических условий конкретного года, урожайности всех возделываемых сельскохозяйственных культур, а также от доли посевов всех возделываемых в районе культур.

Дата начала появления первых сведений об индексе NDVI в сезоне хорошо коррелирует с данными о температуре воздуха. Однако тренд этого показателя за период исследований (2001–2017) на территории области не выявляется. Наблюдается нечётко выраженная периодичность локальных минимумов и максимумов показателя величиной 5–7 лет.

На дату достижения сезонного максимума NDVI более сильное влияние оказывает изменение площадей сева культур, чем тренды метеоусловий (которые действуют в направлении наступления более раннего пика сезона вегетации), что и приводит пусть к слабому, но всё более позднему наступлению даты пика сезона вегетации во вторую половину анализируемого периода.

Основным фактором динамики величины сезонного максимума NDVI в районах Белгородской области является динамика структуры посевов, сочетание урожайности и площадей сева культур.

Динамичность рассмотренных показателей в других областях может в большей степени зависеть от динамики метеорологических показателей, чем от изменений в площадях посевов и их типа. Но для уверенного вывода об этом необходимы дополнительные исследования.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00171).

Литература

1. Каюмов М. К. Программирование продуктивности полевых культур: справочник. М.: Росагропромиздат, 1989. 368 с.

2. *Лулян Е. А., Барталев С. А., Савин И. Ю.* Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // *Аэрокосм. курьер*. 2009. № 6. С. 47–49.
3. *Лулян Е. А., Савин И. Ю., Барталев С. А., Толпин В. А., Балашов И. В., Плотников Д. Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности «ВЕГА» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2011. Т. 8. № 1. С. 190–198.
4. *Савин И. Ю.* Современный спутниковый мониторинг почв и посевов: достижения и проблемы // *Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве*. 2015. С. 29–32.
5. *Савин И. Ю., Вриелинг А.* Анализ многолетней динамики растительных ресурсов на территории России по данным NOAA AVHRR // *Исследование Земли из космоса*. 2008. № 5. С. 74–82.
6. *Савин И. Ю., Докукин П. А., Вернюк Ю. И., Жоголев А. В.* О влиянии засоренности на NDVI посевов ярового ячменя, определяемый по спутниковым данным MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 3. С. 185–195.
7. *Толпин В. А., Балашов И. В., Савин И. Ю., Лулян Е. А.* Спутниковый сервис «ВЕГА» // *Земля из космоса: наиболее эффективные решения*. 2011. № 9. С. 32–37.
8. *Atzberger C.* Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs // *Remote Sensing*. 2013. V. 5. P. 949–981.
9. *Corgne S., Hubert-Moy L., Betbeder J.* Monitoring of Agricultural Landscapes Using Remote Sensing Data // *Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest*. 2016. P. 221–247.
10. *Eerens H., Haesen D., Rembold F., Urbano F., Tote C., Bydekerke L.* Image time series processing for agriculture monitoring // *Environmental Modelling and Software*. 2014. V. 53. P. 154–162.
11. *Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O.* Using Low Resolution Satellite Imagery for Yield Prediction and Yield Anomaly Detection // *Remote Sensing*. 2013. V. 5. No. 4. P. 1704–1733.
12. *Savin I.* Crop yield prediction with SPOT VGT in Mediterranean and central Asian countries // *ISPRS Archives XXXVI-8/W48 Workshop proceedings: Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates*. Commission VIII, WG VIII/10. Stresa: OPOCE, 2007. P. 130134.
13. *Silveira M. J., Thiébaud G.* Impact of climate warming on plant growth varied according to the season // *Limnologia — Ecology and Management of Inland Waters*. 2017. V. 65. P. 4–9.
14. *Xu H. J., Wang X. P., Yang T. B.* Trend shifts in satellite-derived vegetation growth in Central Eurasia, 1982–2013 // *Science of The Total Environment*. 2017. V. 579. P. 1658–1674.

Reasons for long-term dynamics of NDVI (MODIS) averaged for arable lands of municipalities of Belgorod region

I. Yu. Savin^{1,2}, Yu. G. Chendev³

¹ *V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow 119017, Russia*

² *Agrarian-Technological Institute RUDN, Moscow 117198, Russia*

³ *Belgorod State University, Belgorod 308015, Russia*

E-mail: savin_iyu@esoil.ru

One of the basic products of the Internet service VEGA is the cartograms of the vegetative index NDVI (MODIS) averaged for arable land of municipalities of Russia, updated weekly. The article presents the results of analysis of its long-term dynamics for the period of 2001–2016 for the municipalities of Belgorod Region. The main causes of the observed dynamics are analyzed. It was found that the most significant factors are the changes in crops acreage and the climatic conditions of the growing season. The date of the first NDVI value at the start of the season correlates well with air temperature data. But the trend of this indicator for the period of research (2001–2017) on the territory of the region is not revealed. An indistinct 5–7 years periodicity of local minima and maximums of this indicator is observed. Dynamics of crops acreage has stronger effect on the date of seasonal NDVI maximum than trends of weather conditions (which act towards the onset of an earlier peak in the growing season). It leads, albeit to a weak, but increasingly later NDVI seasonal peak date in the second half

of the analyzed period. The main factor of the dynamics of the magnitude of the seasonal NDVI maximum in Belgorod Region is dynamics of the cropping rotations, the combination of crop yields and acreage. The received data should be taken into account when using the Internet service VEGA for operative monitoring of crops.

Keywords: satellite monitoring, crop recognition, MODIS, NDVI, Belgorod Region

Accepted: 15.01.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-137-143

References

1. Kayumov M. K., *Programmirovaniye produktivnosti polevykh kul'tur. Spravochnik* (Programming of productivity of field crop. Reference book), Moscow: Rosagropromizdat, 1989, 368 p.
2. Loupian E. A., Bartalev S. A., Savin I. Yu., *Tekhnologii sputnikovogo monitoringa v sel'skom khozyaistve Rossii* (Satellite monitoring technologies in agriculture of Russia), *Aerokosmicheskii kur'er*, 2009, No. 6, pp. 47–49.
3. Loupian E. A., Savin I. Yu., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Balashov I. V., Plotnikov D. E., *Sputnikovyi servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti "VEGA"* (Satellite service for monitoring of status of vegetation "VEGA"), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 1, pp. 190–198.
4. Savin I. Yu., *Sovremenniy sputnikovyi monitoring pochv i posevov: dostizheniya i problemy* (Modern satellite monitoring of soils and crops: achievements and problems), In: *Primeneniye sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of remote sensing measures in agriculture), St. Petersburg: AFI, 2015, pp. 29–32.
5. Savin I. Yu., Vrieling A., *Analiz mnogoletnei dinamiki rastitel'nykh resursov na territorii Rossii po dannym NOAA AVHRR* (Analysis of long-term dynamics of vegetative resources in Russia based on NOAA AVHRR data), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2008, No. 5, pp. 74–82.
6. Savin I. Yu., Dokukin P. A., Vernyuk Yu. I., Zhogolev A. V., *O vliyaniy zasorennosti na NDVI posevov yarovogo yachmenya, opredelyaemyi po sputnikovym dannym MODIS* (About influence of weedness on spring barley NDVI, detected based on MODIS data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 3, pp. 185–195.
7. Tolpin V. A., Balashov I. V., Savin I. Yu., Loupian E. A., *Sputnikovyi servis "VEGA"* (Satellite service "VEGA"), *Zemlya iz kosmosa: naibolee effektivnye resheniya*, 2011, No. 9, pp. 32–37.
8. Atzberger C., *Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs*, *Remote Sensing*, 2013, Vol. 5, pp. 949–981.
9. Corgne S., Hubert-Moy L., Betbeder J., *Monitoring of Agricultural Landscapes Using Remote Sensing Data*, In: *Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest*, 2016, pp. 221–247.
10. Eerens H., Haesen D., Rembold F., Urbano F., Tote C., Bydekerke L., *Image time series processing for agriculture monitoring*, *Environmental Modelling and Software*, 2014, Vol. 53, pp. 154–162.
11. Rembold F., Atzberger C., Savin I., Rojas O., *Using Low Resolution Satellite Imagery for Yield Prediction and Yield Anomaly Detection*, *Remote Sensing*, 2013, Vol. 5, No. 4, pp. 1704–1733.
12. Savin I., *Crop yield prediction with SPOT VGT in Mediterranean and central Asian countries*, *ISPRS Archives XXXVI-8/W48 Workshop Proceedings: Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates. Commission VIII, WG VIII/10*, Stresa: OPOCE, 2007, pp. 130–134.
13. Silveira M. J., Thiébaud G., *Impact of climate warming on plant growth varied according to the season*, *Limnologica — Ecology and Management of Inland Waters*, 2017, Vol. 65, pp. 4–9.
14. Xu H. J., Wang X. P., Yang T. B., *Trend shifts in satellite-derived vegetation growth in Central Eurasia, 1982–2013*, *Science of The Total Environment*, 2017, Vol. 579, pp. 1658–1674.