Потенциальные возможности использования временных серий индекса NDVI по данным MODIS для оперативного мониторинга абрикосового сада

А. С. Моренец¹, И. Ю. Савин^{2,3}, И. А. Драгавцева¹, И. С. Козубенко⁴

¹ Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства, Краснодар, 350072, Россия

² Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва, 119017, Россия

³ Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, 199018, Россия

⁴ Министерство сельского хозяйства РФ, Москва, 107078, Россия
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

При возделывании многолетних плодовых насаждений большое значение имеет оперативный мониторинг их состояния, результаты которого могут стать основой для принятия управленческих решений по оперативной коррекции агротехники, а также прогнозирования и планирования производства фруктов. В статье рассмотрены возможности использования еженедельных композитов MODIS NDVI наряду с метеорологическими данными для оперативного мониторинга абрикосовых садов. В качестве основного источника информации использовались данные интернет-сервиса «ВЕГА», а также материалы полевых обследований на трёх участках в Краснодарском крае за период с 2001 по 2016 г. Проведённые исследования показали, что данные MODIS NDVI могут быть использованы для распознавания и оперативного мониторинга состояния абрикосового сада. Весенние заморозки как один из основных факторов продуктивности абрикоса в Краснодарском крае не оказывают прямого влияния на NDVI, но повреждение цветочных почек, цветов или лепестков приводит к тому, что NDVI середины сезона вегетации при наличии весенних заморозков оказывается ниже, чем в сезонах без заморозков. Понижение значений NDVI середины сезона вегетации коррелирует с потерями продуктивности абрикоса, вызванными весенними заморозками. При анализе многолетней динамики NDVI абрикосового сада необходимо учитывать возраст деревьев. Наличие в сервисе «ВЕГА» недельных композитов NDVI, а также метеорологических данных является хорошей основой для осуществления оперативного мониторинга абрикосовых садов на территории Краснодарского края.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, MODIS, NDVI, Краснодарский край, абрикос

Одобрена к печати: 21.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-127-135

Введение

Возделывание плодовых культур имеет такое же большое значение в обеспечении населения страны продовольствием, как и возделывание зерновых культур и овощей. Правительство России уделяет вопросу развития плодоводства большое внимание, поощряя расширение площадей плодовых насаждений, особенно на Северном Кавказе и в Республике Крым, где земли обладают наибольшим ресурсным потенциалом для этих целей (Драгавцева и др., 2016).

При возделывании как однолетних сельскохозяйственных культур, так и многолетних плодовых насаждений важное значение имеет оперативный мониторинг их состояния, на основе которого возможно принятие управленческих решений по оперативной коррекции агротехники, а также прогнозирование и планирование производства фруктов (Егоров и др., 2001).

В последние десятилетия широкое распространение для оперативного мониторинга состояния посевов однолетних сельскохозяйственных культур и естественной растительности получили методы, основанные на использовании спутниковой информации. Возможности использования спутниковой информации для оперативного площадного мониторинга естественной растительности и посевов сельскохозяйственных культур освещены в многочисленных научных публикациях (Лупян и др., 2009; Савин, 2015; Atzberger, 2013; Corgne et al., 2016;

Rembold et al., 2013). Ещё большее количество публикаций посвящено оценке возможностей мониторинга на уровне отдельных сельскохозяйственных полей и небольших тестовых участков естественной растительности.

Многолетние плодовые культуры в качестве объекта мониторинга сильно отличаются как от посевов однолетних культур, так и от естественной растительности. Основные отличия связаны с тем, что плодовые культуры десятки лет развиваются на одном и том же участке. При этом количество их надземной фитомассы изменяется не только в сезонном цикле, но также и в многолетнем. Кроме того, часто плантации многолетних плодовых культур совмещаются с посевами трав или однолетних культур. В отличие от естественной лесной растительности плодовые сады более регулярны в пространстве, управляемы и лишены многоярусности. Именно поэтому спутниковые методы оперативного площадного мониторинга однолетних культур или лесов невозможно без адаптации применить к мониторингу плодовых насаждений. Как результат, научные публикации, посвящённые вопросам разработки методов оперативного спутникового мониторинга плодовых насаждений, редки и малочисленны.

Достаточно полный обзор возможностей использования спутниковых данных для мониторинга тропических плодовых культур был проведён в работе (Usha, Singh, 2012). Авторы обобщили примеры использования спутниковых данных разных типов и разного пространственного разрешения для распознавания плодовых культур, определения площади их плантаций, даты уборки плодов, урожайности, повреждения болезнями и вредителями, засорённости плодовых садов. Но преобладающая часть проанализированных исследований носит локальный характер и базируется на спутниковых данных высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, использование которых для мониторинга состояния культур на больших территориях часто нерентабельно или невозможно технически.

Другой полный обзор посвящён теме использования данных дистанционного зондирования для оценки потребности плодовых культур в орошении (Alvino, Marino, 2017). Показано, что при оценке потребности полива плодовых культур могут быть использованы те же подходы, которые применяются для однолетних сельскохозяйственных культур (моделирование потенциальной и актуальной эвапотранспирации, расчёт индексов стресса культур от недостатка воды и др. (Casa et al., 2009; Mushtaq, Asima, 2014)). Однако вопросы использования спутниковых данных для распознавания насаждений, оценки урожая и состояния садов в этой работе почти не освещены.

В ряде работ рассмотрены возможности оперативного мониторинга виноградников на основе спутниковых данных (Рыбалко и др., 2016; Толпин и др., 2017).

Несмотря на наличие подобных публикаций, возможности использования спутниковых данных для оперативного площадного мониторинга плодовых культур до сих пор недостаточно изучены. В нашей статье проведён анализ возможностей использования NDVI MODIS для мониторинга насаждений абрикоса в Краснодарском крае.

Методы

В качестве объекта исследований использованы данные, полученные в ходе полевых обследований трёх участков с абрикосом в следующих хозяйствах в Краснодарском крае: ООО «ОПХ им. К.А. Тимирязева» Усть-Лабинского района, ООО «Плодовод» на восточной окраине Краснодара и ООО «Плодовое» в Ейском районе. Площадь каждого участка составляет около 100 га (рис. 1, см. с. 129).

Одним из важнейших факторов, влияющих на урожайность абрикоса в Краснодарском крае, являются весенние заморозки. В полевых условиях собиралась информация о влиянии на урожайность абрикоса весенних повреждающих заморозков. Использовался архив данных полевых наблюдений за период с 2001 по 2016 г. В соответствии с этими данными и данными, содержащимися в публикации (Драгавцева и др., 2016), в качестве критических минимальных температур воздуха для абрикоса в Краснодарском крае были приняты указанные в табл. 1 (см. с. 129).

Рис. 1. Расположение тестовых участков: 1 — ООО «Плодовое»;
2 — ОПХ «ООО им. К. А. Тимирязева»; 3 — ООО «Плодовод»

Таблица 1. Критические значения температуры воздуха весной для развития абрикоса

Месяц и декада	Фаза фенологического развития абрикоса	Критическая минимальная суточная температура воздуха, °С
Январь I	Органический и вынужденный покой	–25
Январь II		–24
Январь III		–24
Февраль I	Вынужденный покой	–22
Февраль II	Набухание цветковых почек	–20
Февраль III		–16
Март I	Распускание цветковых почек	–13
Март II		–10
Март III	Появление лепестков	–8
Апрель I		–6
Апрель II	Цветение	–3
Апрель III		–3

В качестве источника данных об NDVI насаждений абрикоса использовался интернет-сервис «ВЕГА» (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 времени 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.

В качестве источника информации для расчёта NDVI в сервисе «ВЕГА» используются спутниковые данные MODIS. Данные представлены с временным шагом в одну неделю.

Кроме того, при исследовании были использованы метеорологические данные с сервиса «ВЕГА», а именно ежедневные значения минимальной температуры воздуха за период с января по май 2001–2016 гг. Сопоставление этих данных с данными метеостанции г. Краснодара за пять произвольно выбранных лет показало достаточно хорошую сходимость ($R^2 = 0,91$).

По метеорологическим данным были определены дни с критическими значениями минимальной температуры воздуха для тестовых участков за период с января по май каждого года с 2001 по 2016 г.

После этого проводился анализ влияния перехода температур воздуха через критические значения на значения NDVI, осреднённые для каждого из тестовых участков.

Также проводился анализ связи значений сезонного максимума NDVI с потерями в урожайности абрикоса, вызванными весенними заморозками.

Результаты и обсуждение

В тематических продуктах дешифрирования сельскохозяйственных культур и естественной растительности на сервере «ВЕГА» отсутствует класс плодовых культур. Один тестовый участок во все годы с 2001 по 2016 классифицирован как пашня, второй и третий — сначала как пашня, а затем — как луг. Причём на третьем участке в 2008 и 2009 гг. показаны «открытые грунты и выходы горных пород» (табл. 2).

Таблица 2. Классы растительности на территории тестовых участков, показанные на тематических картах сервиса «ВЕГА» в динамике

Год	ООО «ОПХ им. К. А. Тимирязева»	ООО «Плодовод»	ООО «Плодовое»
2001	Пашня	Пашня	Пашня
2002	»	»	»
2003	»	»	»
2004	»	»	»
2005	»	»	»
2006	»	»	»
2007	»	»	»
2008	»	»	Открытые грунты и выходы горных пород
2009	»	Луга	»
2010	»	»	Луга
2011	»	»	»
2012	»	»	»
2013	»	»	»
2014	»	»	»
2015	»	»	»
2016	»	»	»

Рис. 2. Кривые NDVI абрикосового сада: точечная линия — первые годы развития; пунктирная линия — середина развития; сплошная линия — стадия активного плодоношения

Подобная ситуация объясняется тем, что в начальные годы роста абрикоса кроны деревьев ещё не смыкаются и не образуют единого полога. Поэтому влияние на NDVI оказывает открытая поверхность почв междурядий. При взрослении деревьев и их вступлении в плодоношение междурядное пространство часто (но не всегда) залужается, что приводит к тому, что участки насаждений абрикоса дешифрируются не как пашня, а как луговая растительность.

Сезонные кривые NDVI участков с абрикосом изменяются по мере взросления деревьев. В начале роста эти кривые схожи с кривыми однолетних культур, но при взрослении деревьев плато кривой расширяется на более продолжительный период и значения NDVI на нём возрастают (рис. 2).

Из приведённого рисунка следует, что теоретически возможно построение достаточно простого алгоритма для автоматизированного выделения ареалов насаждений абрикоса от пахотных угодий и луговой растительности, основанного на датах начала весенней вегетации и ширине плато кривой NDVI.

Из рисунка также следует, что для оценки состояния насаждений абрикоса необходимо принимать во внимание стадию их развития.

Многие авторы указывают на то, что NDVI плодовых культур во многих случаях плохо коррелирует с урожайностью (Usha, Singh, 2012; Pujar et al., 2017). Как правило, это связано с агротехникой возделывания плодовых насаждений (залужение междурядий, периодическая обрезка деревьев). Но качество подобных корреляций сильно зависит от типа культуры, климатических условий (тех климатических факторов, которые потенциально лимитируют развитие растений в конкретном регионе) и используемой агротехники. В нашем случае урожайность абрикоса во многом предопределяется воздействием весенних заморозков на рост и развитие растений.

Согласно метеоданным сервера «БЕГА», на территории исследований критические для абрикоса температуры воздуха наблюдались: в 2004 и 2005 гг. — в период покоя, в 2010 г. — в период распускания цветковых почек и в 2003, 2012 гг. — в период распускания лепестков растений. Непосредственно на NDVI в момент наступления критических температур это никакого влияния не оказало, так как в это время листья на деревьях ещё не распустились. Но эти явления в разной степени повлияли на продуктивность деревьев, что было зафиксировано полевыми обследованиями. Наши исследования показали, что величина сезонного максимума NDVI достаточно хорошо коррелирует с продуктивностью абрикоса, оценённой при обследовании насаждений (рис. 3, см. с. 132).

Рис. 3. Корреляция потерь продуктивности абрикоса от весенних заморозков с величиной сезонного максимума NDVI

Наличие подобной корреляции свидетельствует, что весенние заморозки в условиях Краснодарского края приводят к изменению надземной фитомассы деревьев абрикоса в середине сезона вегетации, что в конечном счёте отражается и на продуктивности деревьев. Следовательно, при наличии маски абрикосовых садов и данных сервиса «БЕГА» (NDVI и метеорологические данные) возможна организация системы спутникового мониторинга состояния абрикосового сада и оценки предполагаемых потерь продуктивности абрикоса от весенних заморозков.

Выводы

Проведённые исследования показали, что данные MODIS NDVI могут быть использованы для распознавания и оперативного мониторинга состояния абрикосового сада.

Весенние заморозки как один из основных факторов продуктивности абрикоса в Краснодарском крае не оказывают прямого влияния на NDVI, но повреждение цветочных почек, цветов или лепестков приводит к тому, что NDVI середины сезона вегетации при наличии весенних заморозков оказывается ниже, чем в сезонах без заморозков.

Понижение значений NDVI середины сезона вегетации коррелирует с потерями продуктивности абрикоса, вызванными весенними заморозками.

При анализе многолетней динамики NDVI абрикосового сада необходимо учитывать возраст деревьев.

Наличие в сервисе «БЕГА» недельных композитов NDVI, а также метеорологических данных является хорошей основой для осуществления оперативного мониторинга абрикосовых садов на территории Краснодарского края.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проекты № 17-307-50006 и 16-04-00199).

Литература

1. Драгавцева И. А., Савин И. Ю., Загиров Н. Г., Казиев М. Р. А., Ахматова З. П., Моренец А. С., Батталова С. Б. Ресурсный потенциал земель Северного Кавказа для плодоводства. Краснодар, Махачкала: ДагНИИСХ, 2016. 138 с.
2. Егоров Е. А., Фисенко А. Н., Дорошенко Т. Н., Хвостова И. В., Теренько Г. Н., Попова В. П., Смольякова В. М., Сторчевая Е. М., Черкезова С. Р., Драгавцева И. А., Артюх С. Н., Можар Н. В., Алехина Е. М., Заремук Р. Ш., Причко Т. Г., Лопатина Л. М., Савин И. Ю., Святкина О. А. Системообразующие экологические факторы и критерии зон устойчивого развития плодоводства на Северном Кавказе. Краснодар: СКЗНИИСИВ, 2001. 284 с.

3. Лупян Е. А., Барталев С. А., Савин И. Ю. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России // *Аэрокосмич. курьер*. 2009. № 6. С. 47–49.
4. Лупян 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.
5. Рыбалко Е. А., Баранова Н. В., Лупян Е. А., Толпин В. А., Кашницкий А. В., Уваров И. А., Крашенинникова Ю. С., Иванченко В. И. Организация работы с данными наземных и дистанционных наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга виноградников // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13. № 1. С. 79–92.
6. Савин И. Ю. Современный спутниковый мониторинг почв и посевов: достижения и проблемы // *Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве: Материалы Всерос. науч. конф. «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве»*. Санкт-Петербург, 16–17 сент., 2015. 2015. С. 29–32.
7. Толпин В. А., Рыбалко Е. А., Баранова Н. В., Кашницкий А. В., Лупян Е. А., Уваров И. А. Формирование информационной базы спутниковых и наземных данных для отработки методик дистанционного мониторинга виноградарства в Республике Крым // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 1. С. 101–110.
8. Alvino A., Marino S. Remote Sensing for Irrigation of Horticultural Crops // *Horticulturae*. 2017. V. 3(2). Article No. 40.
9. 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.
10. Casa R., Rossi M., Sappa G., Trotta A. Assessing Crop Water Demand by Remote Sensing and GIS for the Pontina Plain, Central Italy // *Water Resources Management*. 2009. V. 23. P. 1685–1712.
11. 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.
12. Mushtaq G., Asima N. Estimation of apple orchard using remote sensing and agro-meteorology land-based observation in Pulwama district of Kashmir valley // *Intern. J. Remote Sensing and Geosciences*. 2014. V. 3 (6). P. 2319–3484.
13. Pujar D. U., Pujar U. U., Shruthi C. R., Wadagave A., Chulaki M. Remote sensing in fruit crops // *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. V. 6(5). P. 2479–2484.
14. 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(4). P. 1704–1733.
15. Usha K., Singh B. Potential applications of remote sensing in horticulture: A review // *Scientia Horticulturae*. 2013. V. 153. P. 71–83. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.008>.

Potential possibilities of using MODIS NDVI time series for operative monitoring of apricot orchard

A. S. Morenets¹, I. Yu. Savin^{2,3}, I. A. Dragavtseva¹, I. S. Kozubenko⁴

¹ *North-Caucasian Zonal Research Institute of Horticulture and Viticulture
Krasnodar 350072, Russia*

² *V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow 119017, Russia*

³ *Agrarian-Technological Institute RUDN, Moscow 117198, Russia*

⁴ *Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Moscow 107078, Russia
E-mail: savin_iyu@esoil.ru*

When cultivating perennial fruit plantations, it is important to monitor their condition promptly, on the basis of which it is possible to make management decisions on the timely correction of agricultural technology, as well as forecasting and planning of fruit production. In the article the possibilities of using the weekly MODIS NDVI composites along with meteorological data for the operative monitoring of apricot gardens are discussed. As the main source of information, the data of the Internet

service “VEGA”, as well as field survey data at three test sites in the Krasnodar Region for the period 2001–2016 were used. The conducted researches showed that the MODIS NDVI data can be used for recognition and operative monitoring of the state of the apricot orchards. Spring frosts, as one of the main factors of apricot productivity in the Krasnodar Region, do not directly affect NDVI, but damage to flower buds, flowers or petals leads to the fact that NDVI mid-season vegetation in the presence of spring frosts is lower than in seasons without frosts. Decrease in NDVI values in the middle of the growing season correlates with the losses of apricot productivity caused by spring frosts. When analyzing the long-term dynamics of the NDVI apricot garden, it is necessary to take into account the age of the trees. The availability of weekly NDVI composites in VEGA service as well as meteorological data is a good basis for the operative monitoring of apricot orchards in the territory of the Krasnodar Region.

Keywords: satellite monitoring, MODIS, NDVI, Krasnodar Region, apricot

Accepted: 21.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-127-135

References

1. Dragavtseva I. A., Savin I. Yu., Zagirov N. G., Kaziev M. R. A., Akhmatova Z. P., Morenets A. S., Battalova S. B., *Resursnyi potentsial zemel' Severnogo Kavkaza dlya plodovodstva* (Resources potential of lands of Northern Caucasus for horticulture), Krasnodar, Makhachkala: DagNIISKh, 2016, 138 p.
2. Egorov E. A., Fisenko A. N., Doroshenko T. N., Khvostova I. V., Teren'ko G. N., Popova V. P., Smol'yakova V. M., Storchevaya E. M., Cherkezova S. R., Dragavtseva I. A., Artyukh S. N., Mozhar N. V., Alekhina E. M., Zaremuk R. Sh., Prichko T. G., Lopatina L. M., Savin I. Yu., Svyatkina O. A., *Sistemoobrazuyushchie ekologicheskie faktory i kriterii zon ustoychivogo razvitiya plodovodstva na Severnom Kavkaze* (System-forming ecological factors and criteria of zones for sustainable development of horticulture on Northern Caucasus), Krasnodar: SKZNIISiV, 2001, 284 p.
3. 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.
4. Loupian E. A., Savin I. Yu., Bartalev S. A., Tolpin V. A., Balashov I. V., Plotnikov D. E., *Sputnikovy 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.
5. Rybalko E. A., Baranova N. V., Loupyan E. A., Tolpin V. A., Kashnitski A. V., Uvarov I. A., Krashenninnikova Yu. S., Ivanchenko V. I., *Organizatsiya raboty s dannymi nazemnykh i distantsionnykh nablyudenii dlya resheniya zadach distantsionnogo monitoringa vinogradnikov* (Management of ground data and remote observations data processing aimed at vineyards remote monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 79–92.
6. Savin I. Yu., *Sovremennyy sputnikovy monitoring pochv i posevov: dostizheniya i problemy* (Modern satellite monitoring of soils and crops: achievements and problems), *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of remote sensing measures in agriculture), Proc. All-Russia Science Conference, St. Petersburg, 2015, pp. 29–32.
7. Tolpin V. A., Rybalko E. A., Baranova N. V., Kashnitskii A. V., Loupian E. A., Uvarov I. A., *Formirovanie informatsionnoi bazy sputnikovykh i nazemnykh dannykh dlya otrabotki metodik distantsionnogo monitoringa vinogradarstva v Respublike Krym* (Building a repository of satellite and ground data for the development of viticulture remote monitoring methods in the Republic of Crimea), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 1, pp. 101–110.
8. Alvino A., Marino S., *Remote Sensing for Irrigation of Horticultural Crops*, *Horticulturae*, 2017, Vol. 3, Article No. 40.
9. 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.
10. Casa R., Rossi M., Sappa G., Trotta A., *Assessing Crop Water Demand by Remote Sensing and GIS for the Pontina Plain, Central Italy*, *Water Resour. Manag.*, 2009, Vol. 23, pp. 1685–1712.
11. 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.

12. Mushtaq G., Asima N., Estimation of apple orchard using remote sensing and agro-meteorology land-based observation in Pulwama district of Kashmir valley, *Int. J. Remote sensing and Geosciences*, 2014, Vol. 3 (6), pp. 2319–3484.
13. Pujar D. U., Pujar U. U., Shruthi C. R., Wadagave A., Chulaki M., Remote sensing in fruit crops, *J. Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2017, Vol. 6 (5), pp. 2479–2484.
14. 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 (4), pp. 1704–1733.
15. Usha K., Singh B., Potential applications of remote sensing in horticulture: A review, *Scientia Horticulturae*, 2013, Vol. 153, pp. 71–83, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.008>.