

## **Исследование возможностей данных PCA Sentinel-1 для мониторинга сельскохозяйственных угодий**

А.С. Мартыанов<sup>1</sup>, П.В. Денисов<sup>1</sup>, А.И. Захаров<sup>2</sup>, К.А. Трошко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) АО «Российские космические системы», 127490, Москва, ул. Декабристов, владение 51, строение 25, E-mail: alekmartyanov@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал, 141190, пл. Введенского, 1, Фрязино, Московская область, aizakhar@sunclass.ire.rssi.ru

*Проанализированы преимущество характеристик радара с синтезированной апертурой (РСА) Sentinel-1 над другими космическими радиолокационными системами в контексте решения сельскохозяйственных задач. Описаны результаты экспериментов по использованию данных Sentinel-1 для решения задач мониторинга сельскохозяйственных угодий.*

*The advantage of Sentinel-1 characteristics over other space radar systems in the context of solving agricultural problems is analyzed. The results of experiments on the use of Sentinel-1 data for agricultural monitoring are described.*

### **Введение**

Для задач мониторинга сельскохозяйственных угодий необходима высокая периодичность съёмки. На значительной части сельскохозяйственных угодий территории России среднее покрытие облачностью составляет более половины всего вегетационного сезона, доходя до 70-80%, что не позволит обеспечивать оперативный мониторинг даже в случае ежедневной съёмки. Радиолокационные средства позволяют получать данные о сельскохозяйственных угодьях при наличии облачности и независимо от освещённости. Многовременные радиолокационные данные позволяют решать такие задачи как мониторинг изменения состояния посевов, определение состава культур, выявление нарушений в землепользовании, зарастание полей и др.

### **Характеристика миссии Sentinel-1 и используемых данных**

В работе использовались свободно распространяемые данные группировки космических аппаратов Sentinel-1 с РСА С-диапазона, запущенных в 2014 г. и 2016 г. Европейским космическим агентством. Стоит отметить, что глобальное покрытие суши осуществляется по умолчанию в интерферометрическом режиме Interferometric Wide Swath [8], который гарантирует постоянство таких параметров съёмки как угол наклона, разрешение, полоса захвата, что важно при сопоставлении и анализе многовременных данных.

В процессе исследования возможностей Sentinel-1 для мониторинга сельскохозяйственных угодий были получены и обработаны радиолокационные данные на территорию таких регионов как Тульская, Калужская, Белгородская, Ростовская области, республика Крым. Исходные данные были получены в формате GRD (Ground Range Detected: амплитудное изображение в проекции наклонной дальности, прошедшее операции некогерентного накопления и передискретизации, размер пикселя 10 x 10 м, разрешение 20 x 22 м). Общее количество использованных нами данных составило несколько сотен изображений, период съёмки – с апреля по октябрь 2015-2017 г.

Обработка многовременных данных проводилась в программном комплексе с открытым исходным кодом SNAP (Sentinel Application Platform) и включала такие этапы как удаление тепловых шумов для повышения радиометрической

чувствительности, пересчет значений яркости пикселей в удельную эффективную площадь рассеяния (УЭПР), сшивка снимков, некогерентное усреднение и цифровая фильтрация для подавления спекл-шума, удаление радиометрических искажений, связанных с рельефом, геокодирование (соотнесение каждого пикселя с географическими координатами), создание мозаик.

### **Особенности использования радиолокационных данных Sentinel-1 для задач сельскохозяйственного мониторинга**

Перечислим характеристики, которые выделяют Sentinel-1 перед другими космическими радиолокационными системами в задаче сельскохозяйственного мониторинга.

Периодичность съёмки Sentinel-1 превосходит многие зарубежные коммерческие космические радиолокационные системы и составляет 6-12 суток, что в совокупности с возможностью получения данных независимо от облачности и освещенности в зоне съёмки делает эту систему весьма подходящей для задач оперативного мониторинга сельскохозяйственных угодий.

Радиолокационная съёмка в С диапазоне является оптимальной для мониторинга посевов сельскохозяйственных культур, поскольку в коротковолновом диапазоне Х различия в биомассе не отображаются на радиолокационных изображениях при достижении определенного порога, а в длинноволновом L диапазоне травянистая растительность может быть радиопрозрачна [5]. Снимки в С диапазоне лучше других диапазонов передают контрасты при дешифрировании разных способов обработки почвы, стерни [7]. Недостатком С диапазона для сельскохозяйственных задач можно считать сравнительно небольшую глубину проникновения радиоволн в зондируемый слой, что ограничивает надежность определения влажности почв [3].

Снимки на перекрестной поляризации характеризуют объемное рассеяние от растительности и таким образом, объем биомассы. Съёмка на перекрестной поляризации не подвержена эффекту ориентации рядов (row orientation), когда при съёмке в согласованных поляризациях перпендикулярно или под углом направлению рядов посевов, наблюдается большое увеличение в значении УЭПР по сравнению с посевами, расположенными вдоль направления съёмки [4]. Таким образом, возможность съёмки на перекрестной поляризации является значительным преимуществом Sentinel-1 при мониторинге посевов.

Sentinel-1 может выполнять съёмку в широком диапазоне углов, в том числе при больших углах обзора в мониторинговом интерферометрическом режиме IW, что хорошо подходит для мониторинга посевов и не совсем подходит для определения влажности почв [4].

Значительным преимуществом Sentinel-1 является сохранение высокого разрешения при большой полосе захвата. Режим Interferometric Wide Swath является уникальным среди других космических радиолокационных систем поскольку обеспечивает полосу захвата в 250 км при разрешении в 5 x 20 м [8].

Разрешение Sentinel-1 немногим уступает разрешению таких мониторинговых миссий как Landsat и превосходит разрешение MODIS, NOAA. Сетка полей хорошо прослеживается даже после некогерентного накопления 3x3, использование многовременных фильтров позволяет дешифрировать древесно-кустарниковую растительность с исходным разрешением. Возможно выявление неоднородностей относительно крупных полей [2].

## Результаты экспериментов по оценке возможностей данных Sentinel-1 для сельскохозяйственного мониторинга

Среднее значение УЭПР в пределах поля на перекрестной поляризации HV в середине вегетационного периода обычно прямо связано с объемом биомассы, что позволяет осуществлять мониторинг состояния посевов (рис. 1).

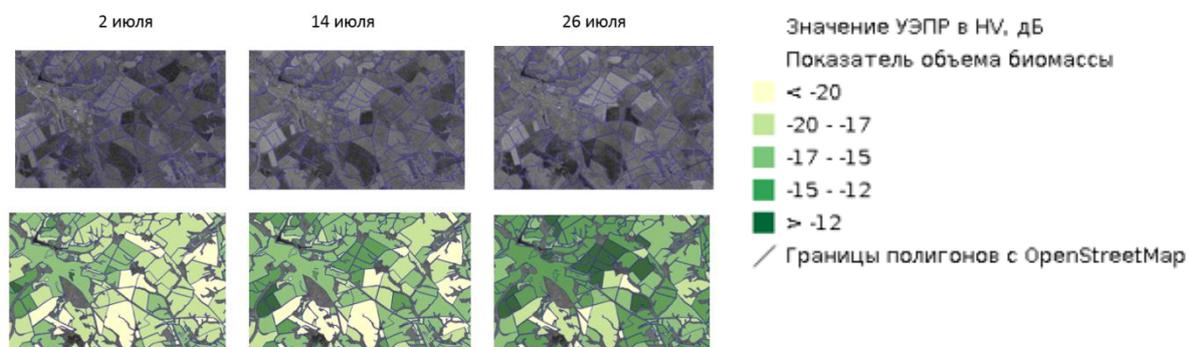


Рис. 1. Мониторинг состояния посевов. Показатель объема биомассы.

На рис. 2. показан коэффициент вариации полей, вычисленный по значениям УЭПР. Большие значения коэффициента свидетельствуют о неоднородностях, которые могут быть вызваны, например, неравномерностью развития культур в пределах участка.

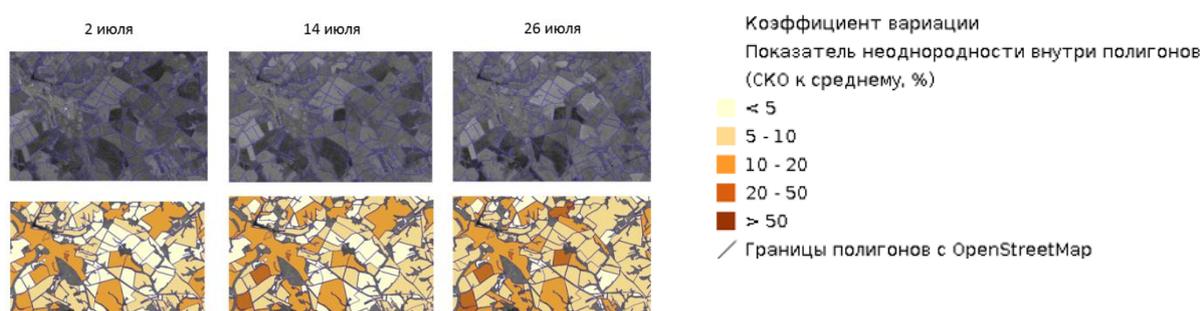


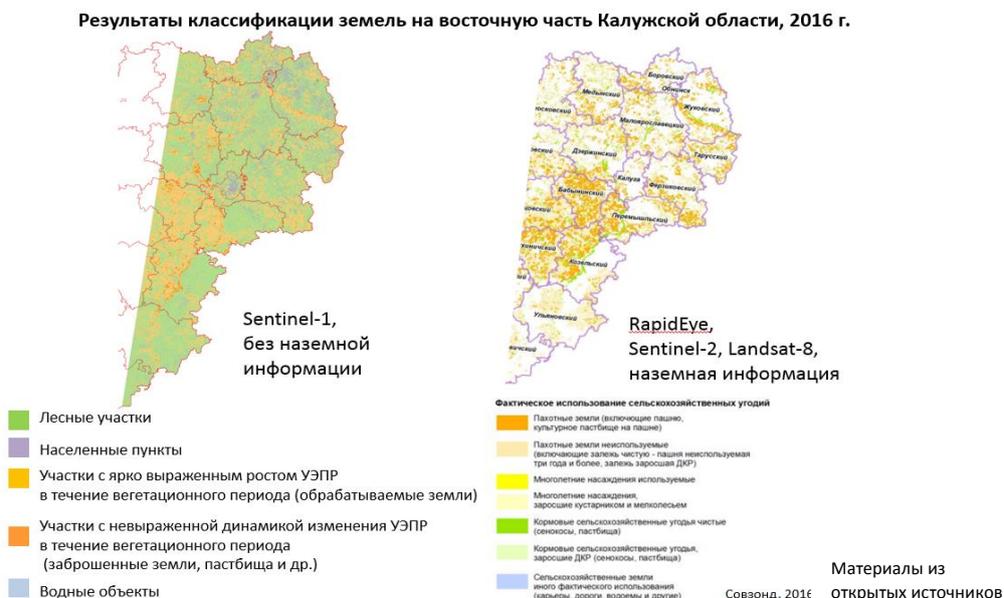
Рис. 2. Мониторинг состояния посевов. Показатель неоднородности.

Многовременной радиолокационный композит приведен на рис. 3: R – 08-09 июля 2016, G – 14-15 июля 2016, В – 07-08 августа 2016. Изображение можно интерпретировать следующим образом: черным показаны участки без растительности в течение указанного периода (могут быть неиспользуемыми сельскохозяйственными угодьями); белым – населённые пункты и древесно-кустарниковая растительность; красным и оранжевым – поля, убранные в период после 08-09 и до 14-15 июля; синим и фиолетовым – неубранные поля после 07-08 августа, желтым – поля, убранные в промежуток после 14-15 июля и до 07-08 августа.



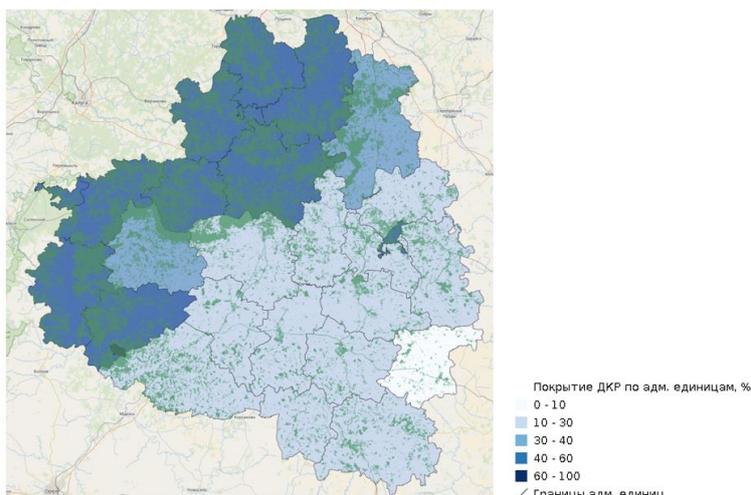
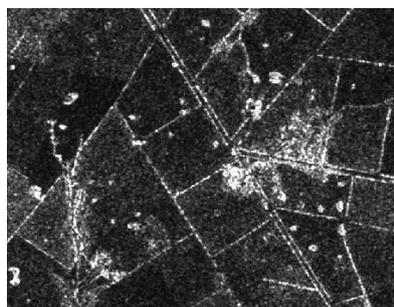
**Рис. 3. Многовременной радиолокационный композит.**

С помощью многовременной серии также можно провести классификацию сельскохозяйственных земель. На рис. 4 результат классификации типов почв по уровню динамики изменений отражательных свойства радиолокационных снимках Sentinel-1 без использования наземных данных соответствует результату классификации по оптическим данным RapidEye, Sentinel-2, Landsat-8 с использованием наземных данных.



**Рис. 4. Результаты классификации земель.**

Данные Sentinel-1 подходят для выделения древесно-кустарниковой растительности. На рис. 5. приведен фрагмент радиолокационного с примером зарастания, а также автоматически дешифрованный слой древесно-кустарниковой растительности и картограмма, показывающая залесенность по административно-территориальным единицам



**Рис. 5. Пример зарастания полей на радиолокационном изображении. Древесно-кустарниковой растительность, выделенная по радиолокационным данным.**

На рис. 6 приведен пример классификации состава сельскохозяйственных культур по данным Sentinel-1 в сравнении с данными по «Докладу о состоянии земель сельскохозяйственного назначения». Точность классификации повышается с увеличением числа используемых разновременных снимков [6]. Видно, что распознаются основные группы культур. Такая информация может быть полезна при мониторинге севооборота, в маркетинговых целях и др.



**Рис. 6. Результаты классификации с/х культур.**

### Выводы

Радиолокационные данные Sentinel-1 могут использоваться для высокочастотного мониторинга сельскохозяйственных угодий.

К преимуществам радиолокационных данных Sentinel-1 для сельскохозяйственного мониторинга, помимо общих для всех радиолокационных космических систем возможности получения снимков независимо от облачности и освещенности, относятся также высокая периодичность, большая полоса обзора при сохранении достаточно высокого разрешения, оптимальная для распознавания большинства культур длина волны. Важным также является наличие данных в перекрестной поляризации, характеризующих объемное рассеяние элементами растительности (и таким образом, объем биомассы), не подверженных таким геометрическим эффектам, как направление

распашки, и в меньшей мере подверженных влиянию небольших шероховатостей поверхности почвы. Можно сказать, что характеристики Sentinel-1 предпочтительны для решения задач из области сельского хозяйства.

Данные Sentinel-1 можно использовать для решения таких задач, как определение состава основных групп культур, мониторинг состояния посевов на основе обратного рассеяния в перекрестной поляризации, формирование показателя неоднородности растительных покровов, мониторинг динамики посевов, картографирование древесно-кустарниковой растительности.

Влияние внешних условий, учет радиофизических эффектов на обратное рассеяние от полей может потребовать дополнительной информации для обнаружения или коррекции эффекта и, вероятно, высокой квалификации оператора.

### **Литература**

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2015 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 196 с.
2. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований, 2011. 416 с.
3. Родионова Н.В. Связь радарных данных Sentinel 1 с наземными измерениями температуры и влажности почвы. Всероссийская конференция “Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов”. 2017
4. Agricultural Applications with SAR Data // SAR-EDU remote sensing education initiative. URL: <https://saredu.dlr.de/unit/agriculture> (дата обращения: 01.03.2015)
5. Ferrazzoli P., Paloscia S., Pampaloni P., Schiavon G., Sigismondi S., Solimini D. The potential of multifrequency polarimetric SAR in assessing agricultural and arboreous biomass // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1997. Vol. 35(1). P. 5-17
6. Inglada, Jordi, Arthur Vincent, Marcela Arias and Claire Marais-Sicre. Improved Early Crop Type Identification By Joint Use of High Temporal Resolution SAR And Optical Image Time Series. Remote Sensing. 2016. Vol. 8.
7. McNairn H., Boisvert J. B., Duguay C., Huffman E., Brown R.J.. Investigating the Relationship Between Crop Residue Cover and Radar Backscatter // Geomatics in the Era of RADARSAT (GER '97). 1997.
8. Sentinel-1\_User\_Handbook. [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook).