

II Всероссийская научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2018»

### **Практическое использование информационных возможностей фазового портрета при радиолокационном мониторинге земной поверхности**

М.И. Бабокин<sup>1</sup>, А.В. Ефимов<sup>1</sup>, В.Ю. Савостьянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Аэрокон», 140187, г. Жуковский, Московская обл., ул. Жуковского, 1, e-mail: [m.baboki@hotmail.ru](mailto:m.baboki@hotmail.ru); [alexef73@mail.ru](mailto:alexef73@mail.ru)

<sup>2</sup>АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР», 123557, г. Москва, Электрический переулок, 1, e-mail: [v-savostyanov@yandex.ru](mailto:v-savostyanov@yandex.ru)

*Представлены различные варианты практического использования космического однопроходного интерферометрического радиолокатора с синтезированием апертуры антенны (РСА) для подповерхностного фазового мониторинга. Приведены основные направления использования информационных возможностей фазового портрета при подповерхностном мониторинге верхних слоев почвы.*

*The different variants of the practical use cosmic single-pass interferometer synthetic aperture radar (SAR) are presented for ground penetration with the phase monitoring. The main trends of the use the information possibilities of the phase portrait at upper ground layers penetrating monitoring are discussed.*

В настоящее время интерферометрические измерения в радиолокационных технологиях позволяют решать такие сложнейшие задачи, такие как получение высокоточных цифровых моделей рельефа, мониторинг приграничных территорий, нестабильных склонов и др. [1,2]. Из ряда перспективных направлений радиолокационного мониторинга можно отметить интерферометрические фазоразностные методы, а среди вариантов построения интерферометрических комплексов своей простотой, гибкостью и достаточно высокими техническими характеристиками выделяется однопроходный интерферометр при переднебоковом или скошенном обзоре земной поверхности [4–6].

Вместе с тем, детальный анализ широкого спектра пользовательских задач дистанционного зондирования Земли подсказывает, что весьма актуальным сегодня становится подповерхностный мониторинг верхних слоев почвы [3]. Это, прежде всего, связано с развитием, так называемых, новых технологий “точного земледелия”.

*Цель работы:* обосновать практическое применение возможностей фазового мониторинга для решения задач “точного земледелия” и контроля за посадками различных сельскохозяйственных культур с использованием техники однопроходной РСА интерферометрии.

Сам термин “точное земледелие” появился сравнительно недавно и подразумевает под собой возможность получения спутниковых (и не только) оптических и ИК-снимков в реальном масштабе времени, способных помочь фермерам принимать важные решения в производстве сельскохозяйственных культур. Оперативно полученные спутниковые снимки конкретных полей, в сочетании и комплексированием с соответствующими агрономическими данными, сегодня уже во многих странах мира доступны фермерам и сельхозпроизводителям для оптимизации своевременно принимаемых ими решений как по защите урожая от неблагоприятных условий, так и по определению соответствующих норм внесения средств защиты растений и питательных веществ наиболее целевым и эффективным способом. Создание такого рода электронных карт полей (с высокоточной GPS-привязкой снимка к системе координат) позволило многим производителям существенно снизить свои финансовые расходы по оперативному мониторингу состояния своих посевов.

Но картина, в данном случае, представляется не совсем полной и точной. Дело в том, что сегодня потребители такого рода информации (фермеры, различные сельхозпроизводители, агрохолдинги) используют для оценки и анализа состояния своих полей, в основном оптический и ИК-диапазоны. При этом использование возможностей радиодиапазона сегодня направлено, в основном, для оценки различного уровня степени роста биомассы в различных местах планеты (лесов, джунглей, заповедников) с точки зрения выработки ими объемов кислорода и оценки различного уровня загрязнений.

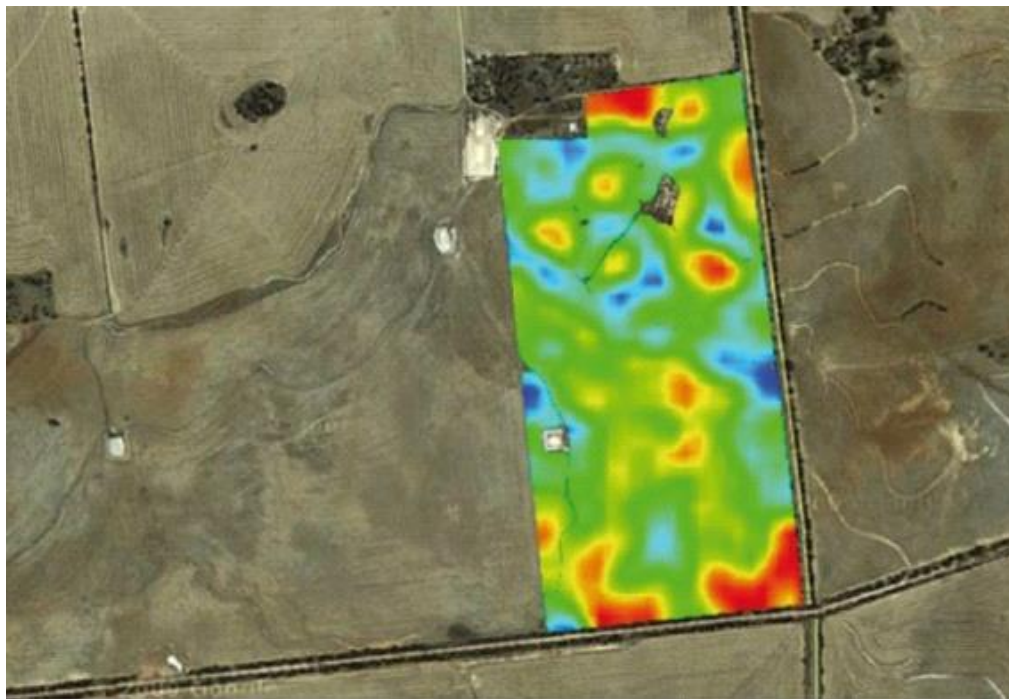
Использование технологии получения фазовых портретов (ФП) в РСА может существенно поднять технологию “точного земледелия” на еще, более высокий и качественный уровень [7,8]. Это связано с тем, что ФП позволяет обнаруживать относительные изменения различных участков земной поверхности во времени, которые могут быть, например, как различного природного, так и искусственного происхождения, и выражаться в следующих изменениях:

- в изменении высоты сельскохозяйственных культур на различных стадиях роста;
- в подвижках и разрушениях, возникающих в результате чрезвычайных ситуаций, землетрясений;
- в медленных и постоянно текущих процессах в глубине почв, а также в обнаружении скрытых разломов в горных породах и относительно действующих (“спящих”) вулканах;
- в деградации обваловки заглубленных нефтяных труб или их восстановления в процессе проведения профилактических работ и т.п.

Отметим тот факт, что сегодня для анализа динамики земной поверхности всё большее развитие приобретают интерферометрические методы, которые позволяют анализировать изменения земной поверхности. Тем не менее, как было уже отмечено ранее [1,2,4], техника использования электромагнитных волн (ЭМВ) коротковолновых диапазонов для подповерхностного зондирования, имеет пока весьма существенные ограничения на проникающую способность в почвы, особенно покрытые растительностью, в водную среду и т.д. Глубокому проникновению ЭМВ этих диапазонов препятствует также относительно высокое содержание влаги и соответствующая этому их высокая электропроводность. Если даже зондирующий сигнал проникает в сухую почву, то в области его проникновения происходит рассеяние на диэлектрических неоднородностях земной поверхности. Глубина проникновения зависит, как от соотношения между длиной волны ЭМВ и неровностями земной поверхности, так и от значения комплексной диэлектрической постоянной. Можно сказать, что в некоторые среды при определённых условиях проникновение таких ЭМВ достаточно значительное. Другое дело, насколько земной покров «позволит» проникнуть ЭМВ под поверхность.

Известно, что отражение растительного покрова в красной и ближней *инфракрасной областях электромагнитного спектра* тесно связано с его зеленой фитомассой. Для того чтобы количественно оценить состояние растительности, сегодня широко применяется так называемый *нормализованный разностный вегетационный индекс* NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI характеризует также плотность растительности, позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от  $-1$  до  $1$ . Для зеленой растительности отражение в красной области всегда меньше, чем в ближней инфракрасной за счет поглощения света хлорофиллом, поэтому значения NDVI для растительности не могут быть меньше  $0$ . Расчет индекса для каждого пиксела

космического снимка по красной и ближней инфракрасной спектральным зонам позволяет получить производное изображение – карту NDVI. NDVI позволяет выявить проблемные зоны угнетенной растительности, давая возможность принимать наиболее верные в долгосрочной перспективе решения, направленные на повышение урожайности. Участки с различным состоянием растительности или объемом зеленой фитомассы могут быть изображены различными цветами, что и представлено на рис. 1.



**Рис. 1. Космический снимок сельскохозяйственного участка местности при комплексировании оптического и ИК-диапазонов.**

При помощи статистической обработки карт NDVI помимо определения количества фитомассы можно также выделить площади посева различных сельскохозяйственных культур. Динамика вегетационного индекса позволяет выявить земли, выведенные по тем или иным причинам из сельскохозяйственного оборота, и контролировать в дальнейшем этот процесс на основе объективных фактических данных, получаемых с помощью космических средств наблюдения.

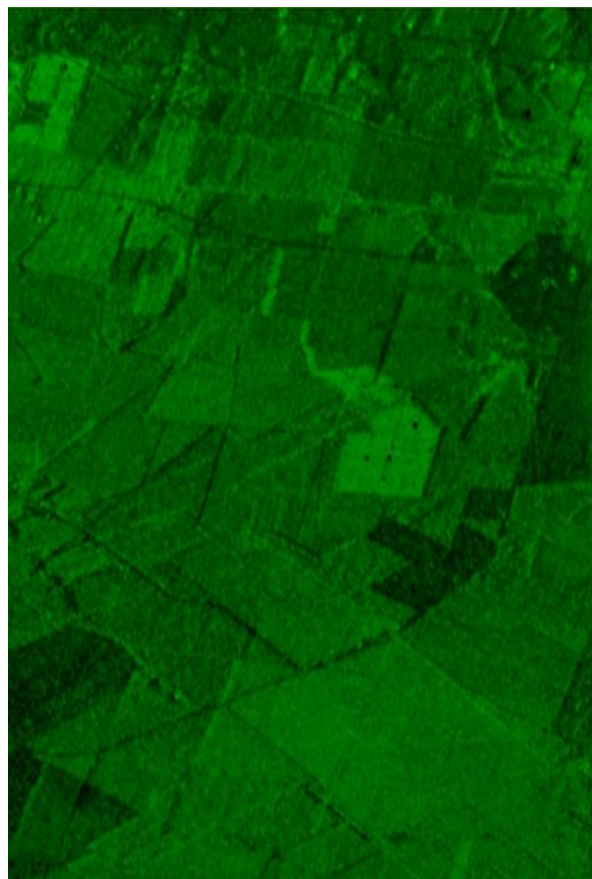
Проверка основных положений метода обнаружения подповерхностных аномалий при помощи ФП проводилась по сигналам, записанным на борту космического комплекса РСА «Кондор-Э» [5].

Во всех приведённых на рис. 2 радиолокационных изображениях наблюдение проводилось в скошенном режиме при угле скоса  $\alpha_0 \approx 1^\circ$ . Расстояние между смежными сеансами наблюдения составляло  $X_0 \approx 2...4$  км. Исходная пространственная разрешающая способность РСА  $\delta \approx 2...3$  м.

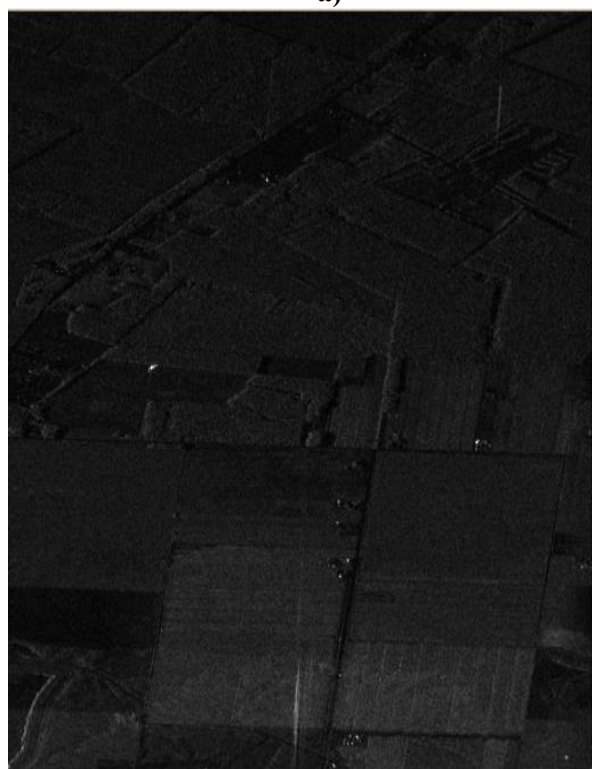
Сравнение радиолокационных изображений и фазовых портретов показывает, что границы разделов сельскохозяйственных участков на фазовом портрете выявляются более четко. Особенно показательна в этом плане нижняя серия снимков, где верхняя часть радиолокационного изображения не позволяет выявить планировку участков, однако фазовый портрет легко разграничивает лесополосу и сельскохозяйственные посадки. Кроме того, малоинформативные с точки зрения земледелия объекты, дающие на радиолокационном изображении яркие отметки, на фазовом портрете практически не проявляются и не мешают дешифрированию.



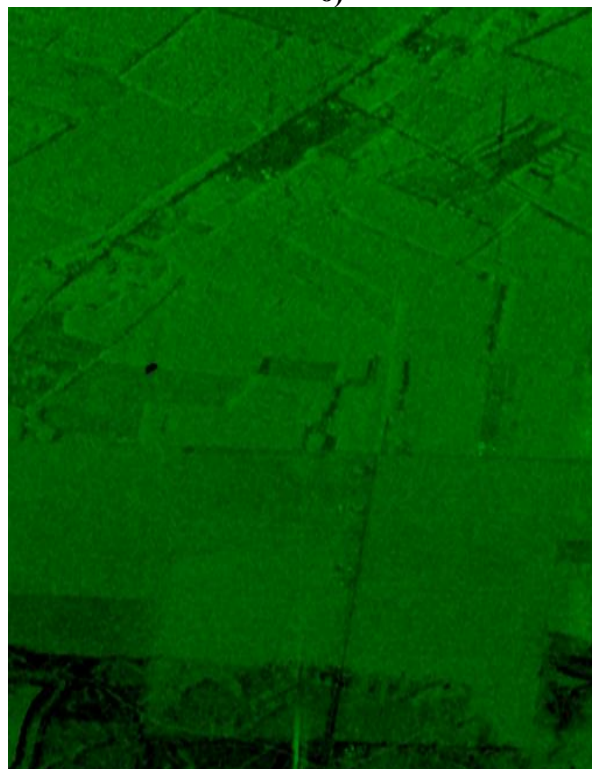
а)



б)



а)



б)

Рис. 2. Радиолокационные изображения полей сельскохозяйственного назначения (а) и их фазовые портреты (ФП) (б)

Таким образом, комплексирование оптического, ИК и радиодиапазонов на основе использования технологии построения фазовых портретов в РСА позволит наряду с решением традиционных задач высокоточного определения границ сельхозугодий:

- получить более точные оценки времени сбора урожая на склонах (склонах) и на ровной поверхности;
- определить качество использования удобрений;
- оценить состояние почвы (ее сухость, влажность и т.д.) и проанализировать характер ее подвижек (движения) при возникновении неблагоприятных погодных условий (дождь, засуха, снег, заморозки, паводки, подземные затопления, угрозы возникновения схода селей, землетрясения и т.д.);
- выбрать оптимальную экспозицию при точной посадки определенных сортов сельскохозяйственных культур с учетом геологических неоднородностей, выявляемых при использовании технологии ФП.

Подводя итог вышесказанному, отметим основные преимущества технологии фазового портретирования и не решенные задачи рассмотренного приложения:

1. Использование технологии получения фазовых портретов (ФП) в РСА, в совокупности с существующими оптическими и ИК-системами, может существенно поднять Российское сельскохозяйственное производство на качественно новый уровень и стать технологическими лидерами в сфере оказания услуг по агроконсалтингу в мире.

2. Внедрение технологии получения фазовых портретов в РСА позволит получать уникальные индивидуальные решения для фитомониторинга, а также продвигать различные услуги по обработке и анализу полученных данных (программные продукты в виде приложений), позволяющие принимать рациональные решения при удобрении, посеве или химической обработке растений.

3. На сегодняшний день пока остается не решенной основная проблема – это технология автоматического анализа (дешифрирования) получаемых изображений, которая может быть огромным источником дохода для сельского хозяйства, в частности, для производителей и поставщиков услуг.

### **Литература**

1. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368 с.
2. Верба В.С., Неронский Л.Б., Осипов И.Г., Турук В.Э. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / Под общей ред. В.С. Вербы – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
3. Замятин А.В., Марков Н.Г. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. Бабокин М.И. Измерение сдвигов земной поверхности в комплексах дистанционного зондирования Земли // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. №8. С.25-34.
5. Бабокин М.И., Ефимов А.В., Зайцев С.Э., Карпов О.А., Костров В.В., Неронский Л.Б., Савосин Г.В., Титов М.П., Толстов Е.Ф., Турук В.Э., Цветков О.Е. Итоги и уроки летних испытаний РСА малого космического аппарата «Кондор-Э» // VI Всероссийские Армандовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред: VII Всероссийская научная конференция (31.05–2.06. 2016 г., Муром). – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2016. – С.16-36.
6. Бабокин М.И., Ефимов А.В., Карпов О.А., Титов М.П. Однопроходный интерферометр при переднебоковом обзоре // Радиотехника. 2014. №7. С.16-20.

7. Бабокин М.И., Толстов Е.Ф. Фазовое портретирование в многоканальных РСА // VI Всероссийские Армадовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред: VII Всероссийская научная конференция (31.05–2.06. 2016 г., Муром). – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2016. – С.287-297.
8. Бабокин М.И., Костров В.В., Толстов Е.Ф. Фазовый портрет в космических РСА радиовидения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2017. № 4. С.4-14.