

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЗЗ И МЕТОДИК ИХ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SARSCAPE

Ю.И. Кантемиров (ООО «Компания Совзонд»)
y_kantemirov@sovzond.ru

В докладе приводится обзор современных радиолокационных данных ДЗЗ, дается их краткая сравнительная характеристика, рассматриваются основные методики обработки радиолокационных данных, реализованные в программном комплексе SARscape, а также приводятся примеры практического применения обработанных радарных данных.

Радиолокационная космическая съёмка выполняется в ультракоротковолновой (сверхвысокочастотной) области радиоволн, подразделяемой на X-, C-, и L-диапазоны (табл. 1).

Диапазон	Частоты, ГГц	Длины волн, см	Спутниковые системы
X	5.20 – 10.90	2.75 – 5.77 (2.4 – 3.8)	USGS SLAR, TerraSAR-X, TanDEM-X, Cosmo-SkyMed 1-4
C	3.9 – 6.2	3.8 – 7.6	ERS-1,2; ENVISAT-ASAR; RADARSAT-1,2
L	0.39 – 1.55	19.3 – 76.9 (15 – 30)	SIR-A,B, ALOS PALSAR

Табл. 1. Диапазоны радиоволновой области электромагнитного спектра, в которых выполняется (или выполнялась) космическая съёмка.

Широкое применение спутниковых радиолокационных данных началось в 1991 году с запуском спутника ERS-1 (Европейское космическое агентство) с радиолокатором на борту. Первоначальная цель запуска этого первого гражданского спутникового радиолокатора определялась довольно узко и ограничивалась морскими приложениями (мониторинг ледовой обстановки, айсбергов, судоходства, течений, нефтяных пятен и т.д.). Однако, уже после прохождения спутником первого десятка полных циклов повторения орбиты выяснилось, что кроме морских приложений у этого радиолокатора имеется большой потенциал и для выполнения различных задач на суше.

Во-первых, на опытных участках были успешно построены цифровые модели рельефа (ЦМР) по результатам интерферометрической обработки пар радарных снимков, выполненных с временным интервалом, равным кратному числу полных циклов повторения орбиты. Однако, для большинства типов ландшафтов (кроме пустынь) когерентность (мера корреляции фаз радарных снимков) для построения ЦМР оказывалась недостаточной, поскольку минимально возможный период между интерферометрическими съёмками составлял один полный цикл повторения орбиты, который во время наиболее продолжительной фазы «С» эксплуатации этого спутника был равен 35 дней.

Поэтому в пару к ERS-1 был запланирован запуск спутника ERS-2, а вместе они должны были составить тандемную пару спутников, способных выполнять тандемную интерферометрическую съёмку одной и той же территории с временным интервалом в 1 сутки. В тандемном режиме пара этих спутников проработала около года (1995-1996

гг.). Затем, с выходом из строя определенного оборудования на спутнике ERS-1 тандемная миссия официально закончилась. Фактически же тандемные съемки продолжались до марта 2000 г., когда прекратилась эксплуатация ERS-1, хотя в интерферометрической обработке тандемных пар после 1996 года возникают некоторые дополнительные трудности. Всего тандемом ERS-1 – ERS-2 отснята большая часть земного шара, иногда по несколько раз.

Еще одним важным практическим применением спутниковых радиолокаторов стал мониторинг смещений земной поверхности по результатам дифференциальной интерферометрической обработки. Если учесть, что спутник ERS-2 находится на орбите и выполняет съемку до сих пор, то на значительную часть земного шара имеются многопроходные интерферометрические цепочки снимков за период с 1991 по 2010 годы. Так, например, многие европейские города снимались каждый месяц, начиная с 1991 года. То есть, в настоящее время имеются 100- или 200- проходные цепочки радарных снимков, которые, в случае достаточной когерентности, могут быть обработаны всеми возможными дифференциальными интерферометрическими методиками, описанными в докладе, с получением на выходе карт смещений земной поверхности и деформаций зданий и сооружений за период до 20 лет. На территорию России и стран СНГ нередко имеются 30-40 проходные, и практически всегда 15-20 проходные цепочки таких снимков.

В 2002 году Европейским космическим агентством был запущен спутник ENVISAT, с радиолокатором ASAR на борту, который представлял собой следующее поколение спутников ERS-1 и 2. Этот спутник характеризуется большим количеством углов и режимов съемки, возможностью съемки в разных поляризациях (в т.ч. в двух одновременно) и в широкополосном режиме. При этом снимки, сделанные в режиме Image Mode в полосе съемки IS2 и с поляризацией VV интерферометрически совместимы со снимками ERS-1 и ERS-2. Эта особенность позволила в течение нескольких временных периодов организовать тандемную съемку ERS-2 – ENVISAT с временным интервалом в 30 минут на больших базовых линиях. Съемка в таком режиме характеризуется крайне высоким фазовым разрешением интерферограмм по высоте и при этом довольно высокой когерентностью фаз этих снимков, что позволяет строить ЦМР высокой точности (но среднего пространственного разрешения 20 м).

Кроме того, спутник ENVISAT также вел повторную съемку значительных территорий, в том числе, России и стран СНГ, что позволяет выстраивать интерферометрические цепочки снимков для мониторинга смещений земной поверхности.

Компания MDA (Канада) в 1995 году запустила радиолокационный спутник Radarsat-1 несколько иной концепции. Спутник мог вести съемку с пространственным разрешением от 100 до 7 м, под многими углами съемки и с разными площадями кадра. Наличие большого количества режимов съемки позволяло выполнять мониторинговые задачи, поскольку одна и та же территория могла сниматься не только через полный цикл орбиты (как в случае ERS-1 и ERS-2), но и через каждые 2-3 дня (но под разными углами съемки). Другим принципиальным отличием от спутников Европейского космического агентства являлась ориентация на съемку на заказ (в отличие от ERS и ENVISAT, ведущих более или менее регулярную съемку всего земного шара). Поэтому для Radarsat-1 архивные снимки как правило есть только на те территории, где выполнялась съемка на заказ.

Логическим продолжением спутника Radarsat-1 стал запущенный в 2007 году спутник Radarsat-2 (MDA, Канада). Этот спутник характеризуется пространственным разрешением от 100 м до 3 м (имеется также режим с разрешением 1 м, но он не

распространяется на территории России), возможностью съемки во всех возможных поляризационных режимах, широким диапазоном площадей кадров и очень высокой производительностью, а также возможностью мониторинговой съемки через 2-3 дня. На данный момент, данные с этого спутника представляются автору наиболее актуальными и подходящими для решения практически любых задач, которые вообще могут быть решены с помощью спутниковых радиолокаторов (за исключением уверенного построения интерферометрических ЦМР – метод работает для пустыни или степи, но не всегда работает для тундры, тайги или джунглей, поскольку не предусмотрен режим тандемной съемки). Также в полностью рабочем режиме выполняется одновременная съемка в 4-х поляризациях, позволяющая синтезировать полную поляризационную матрицу.

Спутники сверхвысокого пространственного разрешения TerraSAR-X (Infoterra GmbH, Германия) и CosmoSkyMed-1 – 4 (E-GEOS, Италия) также предлагают все возможные режимы съемки и комбинации поляризаций сигнала, а также большой диапазон площадей кадров и углов съемки.

Среди важных особенностей спутника TerraSAR-X следует отметить крайне высокую точность определения орбиты, а следовательно и крайне низкую (субпиксельную) ошибку геолокации снимков (естественно, это соблюдается только при использовании ЦМР в процессе геокодирования). Данные TerraSAR-X также могут быть использованы для мониторинга смещений земной поверхности и деформаций сооружений, хотя при съемке в X-диапазоне даже незначительная растительность резко ухудшает когерентность даже между соседними по времени съемками (полный цикл орбиты – 11 дней). Спутник Tandem-X, запущенный в пару к TerraSAR-X, составил с ним тандемную интерферометрическую группировку для выполнения одновременной интерферометрической съемки. По результатам этой съемки к 2015 году планируется получение глобальной ЦМР разрешением 10 м, что в 9 раз превосходит по детальности ЦМР SRTM. Кроме того ЦМР Terrasar-X/TanDEM-X будет действительно глобальной, а не ограничиваться 60° северной и южной широты. Этот вариант представляется наиболее перспективным в настоящее время для получения ЦМР сверхвысокого разрешения интерферометрическим методом, в том числе, и на территории с наличием растительности. К сожалению, компанией Infoterra принято решение о том, что тандемные пары снимков не будут распространяться и тандемная съемка не будет выполняться на заказ.

Что касается группировки из четырех спутников CosmoSkyMed 1-4, то она характеризуется следующими основными преимуществами. Во-первых, эта спутниковая группировка может осуществлять мониторинг любых территорий с периодичностью 4 раза в сутки (в том числе арктические регионы). Во-вторых, на сегодняшний день это единственная спутниковая группировка, которая осуществляет тандемную интерферометрическую съемку с разницей в сутки на заказ с пространственным разрешением до 60 см. В-третьих, компания E-GEOS, распространяющая данные CosmoSkyMed, предлагает значительно более выгодные условия по загрузке данных на приемные станции, по сравнению с другими радарными спутниками.

Радиолокатор PALSAR, расположенный на спутнике ALOS, является единственным в данный момент радиолокатором L-диапазона. Он выполняет съемку всей поверхности Земли ежегодно по несколько раз, поэтому на любую точку на Земле, скорее всего, найдется архив в 5-7 проходов (а на некоторые участки и по 20 проходов). Данные ALOS PALSAR пригодны для построения рельефа и мониторинга смещений интерферометрическим методом, для мониторинговых задач лесного и сельского

хозяйства и т.д. L-диапазон позволяет дольше сохранять когерентность, и, в некоторой степени, компенсировать ее падение, вызванное влиянием растительности. Плотный лес и джунгли, все же являются ограничением для интерферометрии, даже в L-диапазоне. Значительным недостатком ALOS PALSAR является отсутствие возможности съемки на заказ.

Важной тенденцией в развитии спутниковых радиолокационных систем (помимо повышения пространственного разрешения и увеличения числа режимов съемки) является расширение поляризационных возможностей, и, в особенности, появление возможности одновременной съемки в четырех возможных поляризациях (такая съемка позволяет в дальнейшем генерировать так называемую полную поляризационную матрицу, о преимуществах которой будет подробно сказано ниже). В таблице 2 приведены данные о наличии такой возможности у всех вышеперечисленных радиолокационных спутников.

СПУТНИК	ГОД ЗАПУСКА	ВОЗМОЖНОСТЬ СЪЕМКИ В ПОЛНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МАТРИЦЕ
ERS-1	1991	нет
ERS-2	1995	нет
Radarsat-1	1995	нет
ENVISAT	2002	нет
ALOS (PALSAR)	2006	есть
TerraSAR-X	2007	есть
Radarsat-2	2007	есть
Cosmo-Sky- Med-1,2,3	2007-2008	есть

Табл. 2. Появление режима съемки в полной поляризационной матрице на спутниковых радиолокационных системах.

Компания «Совзонд» поставляет данные со всех вышеперечисленных радиолокационных спутников, а также предоставляет программное обеспечение для обработки радарных данных “SARscape” (SARMAP, Швейцария) и оказывает услуги по тематической обработке данных радарных съемок, а также по обучению работе в “Sarscape”.