**Некоторые проблемы применения радарной спутниковой интерферометрии для мониторинга смещений природных и техногенных объектов России.**

Михайлов В.О. 1,2, Киселева Е.А. 1, Смирнов В.Б. 2, Смольянинова Е.И. 1, Тимошкина Е.П. 1, Дмитриев П.Н. 1, Голубев В.И. 1

1 Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

2 Физические факультет МГУ, отделение Геофизики, кафедра физике Земли.

Спутниковые радары с синтезированной апертурой (РСА интерферометрия) широко применяется для построения цифровых моделей рельефа (ЦМР), а при наличии ЦМР, для оценки смещений техногенных и природных отражателей радарного сигнала. Коллектив авторов имеет большой опыт решения геодинамических задач с применением РСА снимков, как путем построения и интерпретации парных интерферограмм, там и с применением методов устойчивых отражателей. В частности, с использованием парных интерферограмм были определены поля косейсмических и постсейсмических смещений в области землетрясения на Алтае 23.09.2003 г, определена геометрия поверхности разрыва и поле смещений на ней [1]. Различные модификации методов устойчивых отражателей были применены для исследования смещений главного здания МГУ, полей смещений на оползневых склонах в районе Большого Сочи, на ряде нефтяных месторождений [2,3,4].

В докладе будут рассмотрены некоторые результаты выполненных проектов, а также основные проблемы определения полей смещений с применением различных модификаций методов устойчивых отражателей (PS от англ. Persistent Scatterer) и интерпретации результатов.

Методы устойчивых отражателей успешно применяются для мониторинга смещений техногенных высоко когерентных объектов по спутниковым радарным снимкам. По амплитуде отраженного сигнала техногенные объекты обычно резко выделяются на фоне окружающей их участков земной поверхности, растительности, дорог, поэтому для выделения техногенных PS достаточно выбирать пиксели, имеющие достаточно высокие и стабильные во времени амплитуды отраженного сигнала. Идентификация устойчивых отражателей природного происхождения по данным РСА интерферометрии ставит ряд новых проблем, в первую очередь связанных с тем, что амплитуда отраженного сигнала от таких объектов существенно ниже, также как ниже их амплитудная и фазовая стабильность на сериях разновременных снимков. В результате уменьшается соотношение сигнал/шум и существенно повышаются требования к учету влияния различных факторов. Для природных объектов необходимо вводить иные критерии и методы выделения PS.

Основополагающей идеей при выделении природных PS является предположение о том, что поле деформаций природных объектов коррелированно как по пространству, так и по времени. Действительно, разность фаз на парной интерферограмме определяется смещением отражающего объекта и четырьмя компонентами помехи. Первые две - это атмосферные задержки и орбитальные ошибки, которые коррелированны по пространству, но не по времени. Третья компонента - это ошибки цифровой модели рельефа (ЦМР), которые коррелируют с пространственной базовой линией радарных снимков относительно снимка-мастера и могут быть эффективно подавлены. В четвертую группу входят все остальные неучтенные помехи, которые полагаются некоррелированными ни во времени, ни в пространстве. Если устранить сначала компоненты, высокочастотные по пространству, а затем и высокочастотные шумы во временных рядах, то все четыре компоненты помехи будут подавлены и останется длиннопериодная по пространству и по времени компонента, которая отражает сглаженную деформационную составляющую в разности фаз. Ясно, что успех идентификации PS определяется тем, насколько эффективно построены процессы фильтрации и насколько удачно выбраны соответствующие параметры фильтров. Для выделения коррелированного деформационного сигнала в частности, применяются полосовые фильтры, весовые осреднения в скользящих окнах, статистики Колмогорова-Смирнова и др.

Кроме того, данные спутниковых радаров, работающих в C и L диапазонах (ERS, ENVISAT, ALOS 1 и 2, Sentinel-1) более устойчивы к влиянию растительного покрова и атмосферных помех, чем данные Х диапазона (TerraSAR, CosmoSky-Med). Правильный выбор критериев для идентификации PS и диапазона съемки во многом определяют успех мониторинга смещений на природных объектах.

Проблемы интерпретации данных РСА интерферометрии состоят в том, что смещения определяются по фазовому сдвигу радарного сигнала, отраженного от наземной цели при повторной съемке. Эта величина характеризует смещение вдоль траектории распространения радарного сигнала, т.е. в направлении на спутник. Это приводит к зависимости регистрируемых смещений от геометрии съемки и от направления смещений и затрудняет сопоставление результатов спутниковых измерений с данными геодезии (повторные нивелировки, глобальные навигационные спутниковые системы и т.д.). Для преодоления этих проблем авторы развивают подходы, основанные на интерпретации данных о смещений в рамках геодинамических моделей исследуемых процессов. В частности, для оползневых склонов применяется модель смещения оползневых масс против градиента рельефа склона.

В докладе более подробно будет рассмотрено применение спутниковой радарной интерферометрии для исследования движений древнего мощного оползня в с.Барановка (Большой Сочи), активизация которого в ночь с 23 на 24 января 2012 года нанесла значительный материальный ущерб. Для изучения поведения оползня на различных временных интервалах были использованы радарные снимки со спутников, работающих в различных диапазонах длин волн: 17 снимков со спутника ALOS (длина волны - 23.5 см, восходящая орбита, временной интервал - 22.01.2007-17.09.2010), 13 снимков со спутника ENVISAT (5.6 см, нисходящая орбита, 29.11.2010-23.03.2012), 17 снимков со спутника TerraSAR-X (3.1 см, восходящая орбита, 24.12.2011-13.09.2012). Для всех трех наборов данных были построены и проанализированы временные серии смещений устойчиво-отражающих площадок. Рассмотрены особенности применения данных с разных спутников: влияние частотного диапазона и направлений визирования (восходящая и нисходящая орбиты) на идентификацию PS и оценки скоростей движений оползня. По значениям скоростей движения оползня в направлении визирования спутников были оценены истинные величины скоростей смещений по склону. Результаты для PS, полученных по данным со спутников ALOS и ENVISAT на близких временных интервалах, хорошо совпадают.

Движения оползня в с. Барановка наиболее четко проявились в результатах по данным со спутника TerraSAR-X. Из-за больших смещений и, как следствие, потери временной корреляции между снимком от 24.12.2011г. и остальными снимками, достоверная оценка скорости смещения оползня стала возможна лишь начиная с 07.02.2012 г. На временных сериях выделяется период наибольших смещений (7.02.2012 - 10.03.2012), в течение которого скорости смещения в направлении визирования спутника достигали 30 мм/мес. (около 120 мм/мес. вниз по склону), затем скорости смещения PS на оползне постепенно уменьшались и начиная с 06 июня скорости смещения PS достигли 2-3 мм/мес. (около 10 мм/мес. вниз по склону), что указывает на стабилизацию оползня (рис.1). В докладе также представлен пример учета ошибок развертки фазы на интерферограммах в случае больших смещений поверхности. Показано, что применение радарных снимков со спутников, работающих в разных диапазонах длин волн и производящих съемку с разных орбит и под разными углами, значительно повышает полноту и достоверность информации при изучении оползней.



Рис.1 Временная серия смещений для устойчивых отражателей на оползне в с. Барановка после схода оползня в ночь с 23 на 24 января 2012. Может быть выделен период наиболее быстрых смещений с 17.02.2012 по 21.03.2012, во время которого средняя скорость движения в направлении на спутник достигала 30 мм/месяц (в направлении вниз по склону V≈120 мм/месяц). После этого средняя скорость движения устойчивых отражателей на оползневом участке уменьшилась и с 06.06.2012 в направлении на спутник находится в пределах 2-3 мм/месяц (V≈10 мм/месяц), что также подтверждается наземными наблюдениями.

Литература

1. Михайлов В.О., А.Н. Назарян, В.Б. Смирнов, М. Диаман, Н. Шапиро, Е.А. Киселева, С.А. Тихоцкий, С.А. Поляков, Е.И. Смольянинова, Е.П. Тимошкина, 2010. Совместная интерпретация данных дифференциальной спутниковой интерферометрии и GPS на примере Алтайского (Чуйского) землетрясения 27.09.2003. Изв. РАН, «Физика Земли». №2. с. 3-16.
2. Михайлов В. О., Е. А. Киселева, Е. И. Смольянинова, П. Н. Дмитриев, В. И. Голу-бев, Ю. С. Исаев, К. А. Дорохин, Е. П. Тимошкина, С. А. Хайретдинов. Некоторые проблемы мониторинга оползневых процессов с использованием спутниковых радарных снимков с различной длиной волны на примере двух оползневых склонов в районе Большого Сочи. Изв. РАН, сер. «Физика Земли», 2014, № 4, с. 1–11.
3. Kiseleva Е., V. Mikhailov, E. Smolyaninova, P. Dmitriev, V. Golubev, E. Timoshkina, A. Hooper, S. Samiei-Esfahany, R. Hanssen. 2014. PS-InSAR monitoring of landslide activity in the Black Sea coast of the Caucasus. Elsevier, Proceeding Technology, v. 16, p. 404–413. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.106.

4 .Mikhailov V., Е. Kiseleva, P. Dmitriev, V. Golubev, E. Smolyaninova, E. Timoshkina. On reconstruction of the three displacement vector components from SAR LOS displacements for oil and gas producing fields. Elsevier, Proceeding Technology, v. 16, p. 385-393. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.104.