

Оценка точности расчета вертикальной и восточной компонент вектора смещений
земной поверхности по радарным снимкам с двух треков на модели подземного
хранилища газа

И.П. Бабаянц¹, В.О. Михайлов^{1,2}, Е.П. Тимошкина¹, С.А. Хайретдинов¹

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

² Московский государственный Университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Спутниковые радары с синтезированной апертурой (РСА) позволяют определять смещения отдельных участков земной поверхности и объектов инфраструктуры в направлении на спутник. Эти смещения являются суммой трех компонент вектора смещений отражающей площадки (по вертикали, на север и на восток), умноженных на синусы и косинусы углов наклона зондирующего луча и азимута полета спутника. Поскольку орбита спутника близка к полярной, смещения на север суммируются с коэффициентом, существенно меньшим, чем смещения по вертикали и на восток (смещения параллельно направлению полета спутника РСА интерферометрия не фиксирует). Поэтому, если есть основания полагать, что смещения на север существенно не превосходят смещения в других направлениях, то вкладом северной компоненты можно пренебречь. Тогда, располагая полями смещений, полученными по снимкам с нисходящего и восходящего треков, можно рассчитать смещения по вертикали и на восток. Такой прием часто используется при мониторинге различных природных и техногенных объектов. Оценим его точность на модели подземных хранилищ газа (ПХГ).

Для исследования точности оценки смещений с двух треков мы использовали трехмерную модель ПХГ, близкую к одному из подземных хранилищ, для которого ранее мы проводили расчеты по реальным данным. Съёмку района этого ПХГ проводил спутник Сентинель-1 с 4-х треков, двух восходящих и двух нисходящих. Используя данные о контурах ПХГ, глубине и мощности горизонта, который является резервуаром, мы задали близкое к реальному теоретическое изменение давления в период отбора газа. Это позволило рассчитать теоретические поля смещений земной поверхности по трем координатам – по вертикали, на север и на восток. Для расчета смещений было использовано решение задачи теории упругости о смещениях поверхности упругого полупространства в результате изменения давления в расположенном на некоторой глубине тонком пласте прямоугольной формы. Это решение получено путем

интегрирования решения для малого сферического источника деформаций (Geertsma, 1973) по прямоугольной площадке. Слой, в который ведется закачка и отбор газа, был разбит на прямоугольные элементы, в каждом из которых было задано падение давления.

Далее мы рассчитали смещения на спутник для съемки с каждого их 4-х треков, используя реальные углы наклона зондирующего луча и азимуты полета. После чего, используя смещения с одного восходящего и одного нисходящего трека, были рассчитаны вертикальные и восточные компоненты, в предположении, что смещениями на север можно пренебречь. Полученные смещения были сопоставлены с модельными смещениями по вертикали и на восток.

В результате показано, что ошибки расчета смещений по вертикали и на восток не превосходят первые проценты, т.е. находится на уровне точности метода РСА интерферометрии. Вертикальная компонента при максимальном значении оседаний равном 124 мм определена с максимальной ошибкой в 5.8 мм. Максимальная ошибка определения восточной компоненты составила 0.1 мм при максимальном смещении равном 37.4 мм. Следовательно, расчет смещений по данным с двух треков не должен приводить к существенным ошибкам при оценке вертикальной и восточной компонент вектора смещений в реальных ситуациях, по крайней мере для ПХГ и месторождений нефти и газа.

В заключение отметим, что более строгий подход к определению трех компонент вектора смещений основан на использовании соотношений между тремя компонентами вектора смещений, следующих из численных моделей исследуемого процесса. Примеры такого подхода для ПХГ и месторождений нефти и газа, оползневых склонов и областей землетрясений, можно найти, например, в работах (Михайлов и др., 2010, 2012, 2014).

Исследование выполнено по госзаданию ИФЗ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

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. Совместная интерпретация данных дифференциальной спутниковой интерферометрии и GPS на примере Алтайского (Чуйского) землетрясения 27.09.2003 // Изв. РАН, «Физика Земли». – 2010. -№2. с. 3-16.

Михайлов В.О., Е.А. Киселева, П.Н. Дмитриев, В.И. Голубев, Е. И. Смольянинова, Е.П. Тимошкина Оценка полного вектора смещений земной поверхности и техногенных объектов по данным радарной спутниковой интерферометрии для областей разработки месторождений нефти и газа // «Геофизические исследования» -2012 - №3, с. 5-17

Михайлов В. О., Е. А. Киселева, Е. И. Смольянинова, П. Н. Дмитриев, В. И. Голубев, 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. 120–130.

Geertsma, J. Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs // J. of Petr. Geol. June, 1973. p. 734-744.