

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Хатамиафкуиех Джавада

«Methods for processing multi-temporal composite synthetic aperture radar data to detect land surface displacement»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы диссертации

Работа Хатамиафкуиех Джавада посвящена применению методов обработки спутниковых радиолокационных данных с использованием метода SBAS-InSAR для регистрации смещений земной поверхности. В целом эта тематика имеет очень высокую актуальность, поскольку в настоящее время снимки, выполняемые спутниковыми радаром с синтезированной апертурой (РСА), широко применяются для мониторинга природных и техногенных процессов, в том числе в областях добычи нефти и газа. При этом технологии обработки и интерпретации снимков и получаемых данных во многом требуют совершенствования с целью повышения точности и надежности оценок смещений земной поверхности.

Поля смещений земной поверхности, которые получаются по спутниковым РСА-снимкам, дают важную информацию для оценки природных и техногенных опасностей. Этим также определяется актуальность и практическая значимость данного исследования.

Общий анализ работы

Цель диссертационной работы состоит в применении данных радаров с синтезированной апертурой (РСА или SAR) для мониторинга смещений земной поверхности на нефтяных и газовых месторождениях, в том числе повышение точности и снижение влияния факторов, создающих различного рода помехи. В число целей исследования также входит определение процессов, с которыми связаны смещения, верификация полученных смещений, путем сопоставления с

различными наземными и спутниковыми (GPS) наблюдениями.

В главе 1 обсуждаются основы РСА интерферометрии. Изложение довольно подробное, однако встречаются и неточности. На стр. 25 в формуле (1.8) знак умножения не на месте, в формуле (2.11) (которая на самом деле должна быть 1.11) на 2π надо умножать разность фаз, а не только первую фазу. На стр. 29 в левой части уравнения (1.14) непорядок со скобками. Выражение “unwrapping interferogram” для обозначения свернутой интерферограммы неудачное. Обычно в англоязычной литературе пишут “wrapped” и “unwrapped” интерферограммы.

В главе 2 в разделе 2.1 приведены данные о нефтяном бассейне долины Сан-Хоакин в Калифорнии. Дано описание нефтяных полей. Приведены данные из геологии, геохимии, геофизики, стратиграфические разрезы, трехмерные модели глубинного строения. Здесь же приведены модели строения нефтяных залежей, данные об объемах добычи, миграции воды. Эти данные полезны для интерпретации получаемых диссертантом полей смещений.

В разделе 2.3 дано подробное описание метода малых базовых линий, в разделе 2.4 – описание сервиса LiCSAR, которым автор пользовался для вычисления парных интерферограмм и построения временных рядов смещений. В качестве замечания отмечу, что в разделе 2.6, посвященном расчету смещений по вертикали и на восток, автор обходит вопрос о компоненте смещений на север. Напомню, что смещение на спутник есть сумма трех компонент вектора смещений: на север, на восток и по вертикали, умноженных на синусы и косинусы угла наклона зондирующего луча и азимута орбиты, которые известны. Поэтому, если есть данные с двух орбит, возникают два уравнения, но с тремя неизвестными компонентами вектора смещений. Вычислить восточную и вертикальную компоненту можно только пренебрегая северной. Это следовало отметить.

Приведенное на стр. 116 утверждение, что «In general, ascending data is more sensitive to vertical deformation, while descending data is more sensitive to horizontal deformation», в общем случае не верно, но, возможно, справедливо для конкретного района исследований.

Глава 3 начинается с детального описания реализации метода малых

базовых линий SBAS на сервисе LiCSAR. Изложение идет по двум широко известным статьям, далее (стр. 82) дается описание спутниковых данных, использованных для мониторинга нефтяных полей в Калифорнии. Замечание: приведенные в качестве примера развернутые интерферограммы на рис. 3.11 и 3.12 содержат очень существенную атмосферную компоненту, которую следовало бы устранить.

В разделе 3.10 приведены карты смещений по вертикали и на восток, рассчитанные по снимкам с двух орбит. Карты даны как для всей области исследований, так и для отдельных месторождений. Этот раздел весьма интересен и, наверное, является главным результатом диссертационной работы. В разделе 3.11 показана хорошая сходимость вертикальных смещений, полученных методом SBAS и по спутниковой геодезии (GPS). Это весьма важный показатель надежности результатов РСА интерферометрии.

В качестве замечания отмечу, что обозначение положительных значений как high, а отрицательных как low на многих рисунках раздела 3 является неудачным. Надо было бы написать upward и downward, например.

В разделе 3.12 подробно обсуждаются вертикальные и горизонтальные смещения на конкретных нефтяных полях. Интерпретация в целом интересна, но есть и непонятные места. Например, такое утверждение: «As sediments are buried deeper over time, they can compact and become more dense, causing the overlying rocks to uplift.». Казалось бы, наоборот, уплотнение уменьшает объем и приводит к погружению.

Полученные результаты суммированы в разделе 3.13.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В работе в качестве основной цели поставлен анализ надежности и эффективности метода малых базовых линий SBAS для мониторинга смещений на нефтяных и газовых месторождениях. В результате выполненных работ эта цель достигнута. По спутниковым радарным снимкам получены поля смещений за длительный период времени, которые с высокой точностью совпадают с данными GPS-измерений. Также поля смещений согласуются с данными о положении нефтяных месторождений и данными о местах отбора и закачки.

Защищаемые положения в целом тоже обоснованы полученными результатами, хотя некоторые из них сформулированы не совсем удачно. Например: «A method for processing Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) data to determine crustal mobility in oil and gas field areas». Строго говоря, метод был разработан ранее, но в работе автор детально исследовал его работу на очень большом материале, с привлечением различных дополнительных наземных и спутниковых (GPS) данных, разработал и применил некоторые усовершенствования и определил смещения земной поверхности. Поэтому можно считать, что это положение обосновано.

В то же время в работе есть результаты, которые стоило бы записать в защищаемые положения. Например, результаты сопоставления полей смещений с данными о процессах разработки нефтяных полей и заключения о возможных причинах оседаний, основанные, в том числе, на данных геологии.

Достоверность и научная новизна результатов диссертационного исследования

Достоверность полученных результатов подтверждается сходимостью результатов, полученных по большим наборам снимков с нисходящей и восходящей орбиты. Полученные результаты детально сопоставлены с данными GPS измерений и также продемонстрирована высокая сходимость этих независимых данных. Достоверность подтверждается еще и тем, что полученные смещения располагаются в пределах контуров нефтяных полей и хорошо объясняются откачкой углеводородов и закачкой вытесняющей жидкости.

Научная новизна в работе безусловно есть, о чем говорилось выше.

Практическая значимость работы

Практическая ценность исследования очевидна и не вызывает сомнений. Мониторинг смещений на нефтегазовых месторождениях важен не только для отслеживания нежелательных деформаций поверхности. Смещения земной поверхности – это важное граничное условие для численного моделирования процесса разработки месторождения.

Замечания к работе

Основные замечания были приведены выше. Огорчает большое количество опечаток. Текст не выверен, много повторений.

Заключение

Прежде всего следует отметить, что диссертант глубоко разобрался в вопросах спутниковой радарной интерферометрии. Это очень непростой метод извлечения слабого деформационного сигнала на фоне различного рода помех. Чтобы уверенно работать этим методом надо понимать вклад различных факторов (атмосфера, ошибки задания орбиты и цифровой модели рельефа, проблемы развертки фазы, тонкости фильтрации и многое другое). Кроме того, диссертант освоил обширный инструментарий сервиса LiCSAR, который предоставляет большие возможности для улучшения процесса обработки снимков и оценки полей смещений. Далее, диссертант обработал огромный объем спутниковых снимков, получил поля смещений за длительные интервалы времени, выполнил их сопоставление с данными GPS, а также данными о расположении нефтяных полей и о процессе их эксплуатации. Замечания к работе были высказаны выше, но они не снижают в целом положительную оценку выполненного диссертационного исследования.

Я считаю, что диссертационная работа соискателя Хатамиафкуиех Джавад «Methods for processing multi-temporal composite synthetic aperture radar data to detect land surface displacement» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, отвечает критериям пп. 2.1-2.6 Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН (протокол заседания ученого совета от 22.01.2024 № УС-1), а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Главный научный сотрудник, заведующий лабораторией 502 «Комплексная геодинамическая интерпретация наземных и спутниковых данных» ИФЗ РАН
д.ф.-м.н. (01.04.12 Геофизика), профессор, член-корреспондент РАН



Михайлов Валентин Олегович

9 декабря 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН)

Почтовый адрес: 123242, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1

Телефон: +7(499)766-26-56 E-mail: direction@ifz.ru

