ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Горшкова Виктора Леонидовича о диссертации Мельникова Андрея Юрьевича на тему: «Разработка методики анализа деформационного процесса в сейсмоактивных регионах по данным спутниковых высокоточных координатных определений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 «Геодезия»

Актуальность диссертационного исследования

Наблюдения за деформациями земной поверхности в сейсмически активных районах являются одной из важнейших задач современной геодезии. За последние десятилетия непрерывные ГНСС наблюдения стали одним из наиболее эффективных инструментов для осуществления данных наблюдений. Современным перспективным методом обработки сигналов ГНСС наблюдений в настоящее время является метод высокоточных координатных определений (Precise Point Positioning – PPP). Метод непрерывно совершенствуется и в настоящее время характеризуется миллиметровой точностью. В то же время, возможность применения данного метода для высокоточных наблюдений за деформациями земной поверхности недостаточно исследована в сравнении с относительным методом. В этой связи обзор характеристик обоих методов и исследование сравнительных точностей этих методов, проведённый в первой главе диссертации, являются актуальными.

На основе результатов обработки суточных ГНСС наблюдений этим методом в последние годы создаются и непрерывно обновляются интернет-архивы, хранящие данные о пространственном положении наблюдательных станций для периодов от нескольких лет до десятилетий. Помимо архивов данных ГНСС наблюдений появились не менее представительные архивы сейсмических событий и сайты с цифровой информацией о разломной тектонике. Это обуславливает актуальность разработки специализированной методики их совместной обработки для анализа деформационного процесса. Данный метод и разработанный на его основе программный продукт открывают новые возможности для совершенствования геодезических подходов к решению проблемы предсказания землетрясений.

Достоверность научных положений и выводов подтверждается следующими аспектами диссертационной работы.

- ***Использование обширной научной информации***, включающей теоретические и практические сведения об оценке точности метода PPP. Следует обратить внимание на некоторую даже избыточность приводимых сведений о методе PPP в части неиспользуемых для геодинамических исследований моментов (1.3.1 – одночастотные приёмники, и 1.3.2 – режим кинематики) и, наоборот, стандартно используемых в методе коррекций (релятивистские поправки, приливы, атмосферные задержки и т.д).

В тоже время не рассмотрены и не использованы в работе коррекции материала за атмосферные и гидрологические (грунтовые воды) нагрузки, учёт которых уменьшает как случайную ошибку рядов положений, так и снижает сезонные и более высокочастотные синоптические систематические ошибки. Последнее обстоятельство может оказаться существенным в плане основной темы диссертационной работы, т.к. эти систематические ошибки наблюдений могут маскировать эффекты сейсмически обусловленной динамики деформаций. Однако для близкорасположенных станций (менее 100 км) такого рода ошибки будут сильно коррелированы на всех станциях и не должны исказить динамику напряжений на малых площадях. Тем не менее, для придание большей общности разрабатываемой методики эти коррекции следует включать.

- ***Строгость использования математического аппарата*** при выполненной авторской оценкой точности метода PPP в сравнении с относительным методом и проведённым статистическим анализом полученных результатов на основе большого объема измерительных данных. К ценным выводам относится результат о достаточной согласованности использования ГНСС-данных подсистем ГЛОНАСС и GPS.

Следует, однако, заметить, что хорошо известная особенность временных рядов ГНСС-положений, а именно, как правило, фликкер-шумовое распределение их ошибок, требующее соответственно других статистических оценок, никак не отражена в работе. Для корректности дальнейшего развития разрабатываемой методики было бы весьма желательно включить в неё оценку закона распределения ошибок или, хотя бы, приводить любые другие робастные оценки ошибок или дисперсии вариаций Аллана. Отметим, что ввиду присутствия сезонных вариаций в рядах ГНСС-положений дисперсия вариаций Аллана даёт более объективные и, как правило, меньшие ошибки.

- ***Значительный объём обработанных данных*** существенно повышает достоверность приводимых оценок. Оценка сравнительной точности PPP метода по данным геодезической сети в районе землетрясения Паркфилд (13 станций за 5 лет), опробование методики определения деформаций по данным ГНСС определений продолжительностью более восьми лет в районе подготовки и разрядки сильного землетрясения Напа магнитудой >6 (34 станции) и других землетрясений в зоне сопряжения Тихоокеанской и Северо-Американской тектонических плит – это весьма серьёзный аргумент в практической реализации метода и его аппробации. При этом выбор для исследования и отработки методики специализированных ГНСС-сетей на территории США обусловлен её общедоступностью и высокой плотностью, в отличие от нашей российской реальности, где оба эти аспекта оставляют желать лучшего.

Единственное, с чем трудно согласиться как с преимуществом метода, это «отсутствие необходимости самостоятельной обработки данных». Не сомневаться в качестве исходного материала можно только при самостоятельной их обработке, имея на руках соответствующие Log-файлы сопутствующей информации о смене оборудования и пр. Только в этом случае корректно решается и «процедура учёта грубых выбросов» и разрывы непрерывности в рядах положений.

- ***Корректность применения математических моделей и методов*** как в целом по исследованию, так и в наиболее существенной его части, касающейся вычисления деформаций земной поверхности.

Небольшое замечание касается отбраковки данных и «устранению» разрывов в рядах положений. Именно в этом плане собственная обработка исходных данных позволяет решать многие проблемы с фильтрацией данных ещё на качественном уровне при использовании стандартного продукта TEQC. Кроме того, «серийные» выбросы - это признак недоучёта так называемых синхронных помех (СМЕ), возникающих как раз из-за нагрузочных эффектов на близко расположенных станциях. Что касается разрывов в рядах, то они, зачастую, обусловлены сменой оборудования и, следовательно, имеют сдвиг, не компенсируемый никакой интерполяцией, а только аппроксимируемый ступенчатой функцией Хэвисайда.

- **Научная новизна диссертационного исследования**

- Разработана оригинальная по функциональным возможностям и целевому назначению методика анализа деформационного процесса в сейсмически активных районах. Используются результаты, полученные методом высокоточных координатных определений, информация о разломной тектонике, а также о сейсмическом режиме исследуемых территорий. На примере ряда землетрясений с помощью разработанного пакета показано, что аномальные деформации начинают проявляться уже за несколько лет до главного толчка.
- Экспериментально обоснована возможность применения метода высокоточных координатных определений для изучения деформаций земной поверхности, путем сравнения результатов обработки суточных координатных и разностных ГНСС измерений.

Теоретическая и практическая значимость заключается в:

- теоретической и практической обоснованности применения метода высокоточных координатных определений для выявления и анализа деформаций земной поверхности;

• совершенствовании геодезического инструментария регистрации и анализа деформаций земной поверхности, повышающем эффективность результатов геодезического мониторинга деформаций земной поверхности в сейсмически активных районах.

• применении представленной методики в исследованиях на геодинамических полигонах России и в научных разработках по геомеханическому моделированию очагов сильных землетрясений.

При некоторой доработке созданного продукта он может быть востребован во многих институтах, занимающихся геодинамическими и сейсмическими исследованиями. В частности, в Пулковской обсерватории, ИФЗ РАН, ИДГ РАН, ДВ Федеральном университете и других учреждениях этого профиля.

Общая оценка диссертации и замечания по стилю изложения

Несмотря на ряд ранее упомянутых замечаний, исследование представляется вполне завершённой работой с конкретным практическим результатом в виде программного продукта, испытанного на большом совокупном материале геодезических (ГНСС) и сейсмических данных. Результаты исследования позволяют надеяться на дальнейшее развитие этого направления для поиска предвестников землетрясений.

Основные результаты диссертации в достаточной степени отражены в имеющихся публикациях автора и его коллег. Автореферат содержит все основные положения диссертационной работы.

Работа изложена в целом хорошо, почти без оплошностей. Имеется перегруженность описанием имеющихся программных продуктов, исходных данных и деталей исследований других авторов. Некоторые таблицы и рисунки собственной работы также могли быть вынесены в приложения.

Диссертационная работа Мельникова А.Ю. «Разработка методики анализа деформационного процесса в сейсмоактивных регионах по данным спутниковых высокоточных координатных определений» является целостной завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-методические и технологические решения анализа напряженно-деформированного состояния земной поверхности в сейсмически активных районах Земли. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, относится к областям исследований 7 и 8 паспорта специальности 25.00.32 – Геодезия, а ее автор достоин присуждения степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент Горшков Виктор Леонидович 14.08.2019

Кандидат физико-математически наук, физика-астрономия,
01.03.01 «Астрометрия и небесная механика»
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН (ГАО РАН),
Почтовый адрес: 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65, корп.1.
Заведующий Сектором Геодинамики отдела Позиционной астрономии
Телефон: +7(812)363-7025, моб. 921 989 0797
Адрес электронной почты: vigor@gaoran.ru

Подпись оппонента Горшкова Виктора Леонидовича заверяю.
Учёный секретарь ФГБУН ГАО РАН
К. ф.-м. н. Борисевич Татьяна Петровна