

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора РАН Стеблова Григория Михайловича на диссертацию Марковича Кирилла Игоревича «Совершенствование геодезических методов мониторинга геодинамических процессов с привлечением глобальных моделей Земли и обеспечением междисциплинарного подхода», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 – «Геодезия»

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Марковича Кирилла Игоревича направлена на усовершенствование методических основ мониторинга современных движений земной коры (СДЗК) различного происхождения. Основная цель работы состоит в оптимизации применения существующих геодезических методов наблюдения деформаций земной поверхности за счет междисциплинарного подхода и за счет привлечения глобальных моделей различных полей Земли, которые допускают установление корреляционной зависимости с изучаемыми деформациями. Необходимость оптимизации существующих интерполяционных подходов к картированию СДЗК обусловлена их неоднородностью вследствие тектонической раздробленности земной коры и комплексной взаимосвязью с различными геофизическими полями. В целом, актуальность представленной диссертационной работы, важность предмета и цели не вызывают сомнений.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом

Диссертация Марковича Кирилла Игоревича достаточно четко и логично структурирована и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 214 страниц. Диссертация сопровождается обширным объемом иллюстраций и таблиц. Текст диссертации написан технически грамотно, ее структура отвечает теме и цели исследования.

Во введении автор дает общую характеристику работы, в том числе, обосновывает актуальность темы, формулирует цель и основные направления

исследований, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, защищаемые положения.

В первой главе автор приводит обзор СДЗК различных пространственных и временных масштабов и рассматривает методы их изучения, как наземные, так и спутниковые. Кроме того, подробно описаны спутниковые методы дистанционного зондирования Земли, позволяющие выявлять разломно-блоковую структуру земной коры, учет которой играет важную роль в усовершенствовании геодинамического мониторинга. При этом автор закономерно приходит к выводу о возможности повышения точности, достоверности и детальности определения деформаций земной коры путем создания локальных геодинамических полигонов с обеспечением междисциплинарного подхода и включающего в свою основу системы ГНСС и геометрическое нивелирование.

В второй главе анализируются особенности ряда существующих подходов к моделированию скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК). Сравнивая различные методы, автор справедливо указывает их недостатки, отмечая, что простое линейное интерполирование или интерполяция с помощью Фурье-анализа не учитывают комплексную природу геодинамических процессов, проявляющихся в деформациях земной коры, в изменениях геофизических полей, их корреляцию с рельефом и внутренним строением Земли. Для повышения точности построения карт скоростей СВДЗК на территориях, состоящих из разновозрастных и разнотипных геоструктурных элементов и обладающих редкой сетью линий повторного геометрического нивелирования, автор предлагает использовать корреляционные модели прогноза по комплексу геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических данных. Эффективность указанного подхода продемонстрирована в диссертации в результате поиска корреляционных связей скоростей СВДЗК с вариациями гравитационного и магнитного поля, мощности земной коры, с рельефом дневной поверхности, с тектоническими структурами на территории Республики Беларусь.

В третьей главе описаны разработки по совершенствованию методики проведения наблюдений ГНСС в задачах геодинамического мониторинга за счет междисциплинарного подхода. Эффективность своих методических разработок

автор показывает на примере геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС», где проявляется взаимообусловленное влияния техногенных и тектонических факторов на состояние земной коры, что характерно, по мнению автора, и для других мест расположения ответственных инженерных сооружений в окрестности тектонических разломов. Основное внимание здесь уделяется оптимальному построению конечно-элементной модели покрытия изучаемой территории с учетом ее тектонической структуры и погрешностей измерений, и связанными с этим вопросам закладки центров наблюдательных пунктов и производства измерений.

В четвертой главе представлены результаты моделирования непривливаемых вариаций ускорения силы тяжести с использованием корреляционного подхода, описанного во второй главе на основе скоростей СВДЗК, рассчитанных по комплексу геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических данных. При этом, с одной стороны, обосновывается возможность повышение точности прогноза вариаций ускорения силы тяжести за счет использования карт скоростей СВДЗК. С другой стороны, показана необходимость учета влияния, которое оказывают вариации гравитационного поля при проведении нивелирных работ, в частности при проложении линий государственного нивелирования и при выполнении повторных наблюдений.

В заключении диссертации изложены итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

В целом, диссертационная работа Марковича Кирилла Игоревича представляет собой объемное научное исследование по актуальным вопросам геодезии на основе детального анализа имеющихся фактических данных, полученных с помощью существующих измерительных технологий, с использованием современных алгоритмов.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Основными научными положениями диссертации, вынесенными на защиту, являются:

- Алгоритм построения карт скоростей СВДЗК с использованием корреляционной модели прогноза скоростей СВДЗК по совместному набору геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических данных.

- Методика мониторинга СДЗК по результатам ГНСС-измерений, основанная на идее междисциплинарного подхода различных наук о Земле и позволяющая получать наиболее точные характеристики деформаций земной поверхности на геодинамических полигонах, включая и территории взаимообусловленного влияния тектонических и техногенных факторов.

- Алгоритм прогноза неприливных вариаций ускорения силы тяжести по модели скоростей СВДЗК и корреляционной модели прогноза.

- Обоснование необходимости учета влияния вариаций гравитационного поля на результаты геометрического нивелирования, проложенного на равнинных и спокойных в геологическом отношении территориях.

Все выводы и результаты диссертации закономерно вытекают из обширного фактического материала и проверенных методических подходов. Автором подробно описан порядок выполнения полевых измерений, их обработки и анализа. Все исходные данные тщательно систематизированы и приведены в работе вместе с оценкой их качества. При построении моделей автор применяет проверяемый математический аппарат и обоснованные подходы к моделированию деформаций земной коры. Все вместе, это позволяет уверенно подтвердить обоснованность полученных выводов и методики, которые составляют защищаемые положения.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Представленные методические разработки построены на новых принципах моделирования, существенно повышающих обоснованность картирования СДЗК по сравнению с ранее использовавшимися методами линейной интерполяции, средней квадратической коллокации, рекуррентного прогноза, модели авторегрессии и скользящего среднего, сингулярно-спектрального разложения и т.п. В отличие от перечисленных методов, в предлагаемых автором алгоритмах предложены подходы, позволяющие учесть комплексную природу

геодинамических процессов, связанных с деформациями земной коры, с изменением геофизических полей, их корреляцию с рельефом и внутренним строением Земли.

Ценность для науки проведенной соискателем работы (теоретическая и практическая значимость)

Теоретическая значимость. Основополагающая идея представленной работы, состоящая в использовании междисциплинарного подхода и комплексов различных данных о факторах деформирования земной поверхности представляется вполне логичной и перспективной. Такой подход значительно повышает достоверность интерполяции исходных точечных геодезических измерений за счет уточнения пространственно-временных закономерностей современных движений земной коры. В целом, предложенные разработки вносят вклад в развитие методических основ мониторинга СДЗК.

Практическая значимость. Представленные методические разработки мониторинга СДЗК по данным ГНСС с междисциплинарным подходом могут быть использованы для выявления пространственно-временных вариаций напряженно-деформированного состояния земной коры при изучении широкого круга геодинамических процессов, в том числе, в условиях ограниченных возможностей проведения наземных измерений ГНСС. Наиболее значимым на практике представляется возможность наблюдения за активностью тектонических разломов и своевременного выявления критических уровней напряжений и деформаций в земной коре, приводящих к сейсмическому или асейсмическому разрушению конструкций в зоне влияния разломов.

Публикации и апробация работы

Основные результаты диссертационного исследования были опубликованы в 7 научных работах, включая: 6 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень высшей аттестационной комиссии; 1 – в изданиях, зарегистрированных в международной системе цитирования Scopus.

Результаты исследований доложены на четырех конференциях, в том числе: Научно-технической конференции «Инновационные технологии в геодезии и

картографии» 25-26 мая 2018 года, Белорусский национальный технический университет, Минск; Международной научно-технической конференции «Пространственные данные – основа стратегического планирования, управления и развития» 27-29 мая 2019 года, Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва; Международной научно-практической конференции «Теория и практика разведочной и промысловой геофизики» 21-22 ноября 2019 года, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь; Международной научно-технической онлайн конференции «Пространственные данные в условиях цифровой трансформации» 25-27 мая 2020 года, Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва.

Результаты исследований внедрены в производственный и учебный процесс шести организаций.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат достаточно четко систематизирует основные положения работы и в полной мере отражает ее содержание. Выводы и научные положения, представленные в автореферате, соответствуют представленным в диссертации. Текст автореферата написан технически грамотно.

Замечания по работе

Наряду с высокой общей оценкой представленной работы, к ней имеется ряд вопросов и замечаний:

1. Вторая глава посвящена построению карты скоростей СВДЗК по геодезическим, геолого-геофизическим и сейсмологическим данным. В отношении сейсмологических данных следовало уточнить, в каком виде они использованы. Из текста второй главы можно сделать вывод о том, в модельных расчетах не используются какие-либо исходные сейсмологические данные, а задействована их опосредованная интерпретация в виде глубины залегания границы Мохоровичича на скоростном разрезе Земли, что, в свою очередь, требует дополнительной оценки точности картирования.

2. В работе содержатся разнообразные оценки точности и достоверности карты скоростей СВДЗК Республики Беларусь, построенной по комплексу геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических данных. Проверку следовало дополнить более непосредственной контрольной процедурой, а именно: выборочным исключением из модели отдельных эталонных точек (реперов «Карты современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР масштаба 1:5000000 (1989г.)» с последующим сравнением прогнозного и исходного (исключенного из модели) реперного значения вертикальной скорости.

3. В основу анализа горизонтальных деформаций земной коры на геодинамическом полигоне «Полоцкая ГЭС» положена методика конечно-элементного покрытия изучаемой поверхности и модель локально-однородного деформирования. Учитывая недостатки линейной интерполяции, отмеченные автором при анализе вертикальных движений, возникает вопрос, следует ли при анализе горизонтальных движений также переходить к более сложным моделям.

4. Говоря о перспективах развития представленной в работе методики геодезического мониторинга геодинамических процессов по данным высокоточных измерений ГНСС, автор указывает на ее последующую автоматизацию. В то же время, в третьей главе указывается на необходимость модификации алгоритма триангуляции Делоне путем введения структурных фиксированных ребер (с учетом тектонических разломов) и соответствующей оптимизации конечно-элементного покрытия. В связи с этим, остается не ясным, насколько практически реализуема автоматизация в данном случае.

Несмотря на высказанные замечания, диссертация заслуживает высокой общей оценки и является вполне законченным научно-квалификационным исследованием.

Заключение

В целом, диссертация Марковича Кирилла Игоревича «Совершенствование геодезических методов мониторинга геодинамических процессов с привлечением глобальных моделей Земли и обеспечением междисциплинарного подхода», соответствует п.8 паспорта специальности 25.00.32 – «Геодезия» и требованиям

п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, так как предлагает научно обоснованные методические и технологические разработки, имеющие существенное значение для развития государственной геодезической сети и создания с ее помощью геодинамической модели страны. Автор диссертации Маркович Кирилл Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 – «Геодезия».

Официальный оппонент,

д.ф.-м.н.

Стеблов

Стеблов Григорий Михайлович

25 мая 2021 г.



Ученая степень

Доктор физико-математических наук

Отрасль науки

Науки о Земле

Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация оппонента

25.00.10 - «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Ученое звание

Профессор РАН

Наименование организации

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

Почтовый адрес организации

123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1

Название структурного подразделения

Лаборатория спутниковых методов изучения геофизических процессов

Должность

Главный научный сотрудник

Адрес электронной почты

steblov@ifz.ru

Телефон

+7 (499) 254-88-81

Список основных публикаций оппонента по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Сдельникова И.А., **Стеблов Г.М.** Мониторинг цунамигенных землетрясений методами спутниковой геодезии // Геофизические исследования. 2016. Т.17. № 1. С. 46-55.
2. Левин Б.В., Сасорова Е.В., **Стеблов Г.М.**, Доманский А.В., Прытков А.С., Цыба Е.Н. Циклические вариации сжатия Земли и вопросы сейсмотектоники // Физика Земли. 2017. № 4. С. 50-54.
3. Милуков В.К., Миронов А.П., **Стеблов Г.М.**, Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А., Дробышев В.Н., Кусраев А.Г., Хубаев Х.М., Торчинов Х.М.З. Спутниковый геодезический мониторинг зоны Владикавказского активного разлома: первые результаты // Физика Земли. 2017. № 4. С. 110-117.
4. **Стеблов Г.М.**, Лобковский Л.И., Владимирова И.С., Баранов Б.В., Сдельникова И.А., Габсатаров Ю.В. Сейсмотектонические деформации Курильской островной дуги на различных стадиях сейсмического цикла, связанные с Симуширскими землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2018. № 6. С. 57-69.
5. Вдовин В.С., Дворкин В.В., Карпик А.П., Липатников Л.А., Сорокин С.Д., **Стеблов Г.М.** Проблемы и перспективы развития активных спутниковых геодезических сетей в России и их интеграции в ITRF // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2018. Т. 23. № 1. С. 6-27.
6. Корякин А.Ю., Жариков М.Г., Билянский В.В., Затырко В.А., **Стеблов Г.М.** Обработка и интерпретация спутниковых геодезических наблюдений с целью выявления смещений земной поверхности и геодинамического мониторинга состояния недр в процессе эксплуатации Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // Маркшейдерия и недропользование. 2018. № 6 (98). С. 54-56.
7. Корякин А.Ю., Жариков М.Г., Билянский В.В., Затырко В.А., **Стеблов Г.М.** Выявление смещений земной поверхности по данным спутниковых геодезических наблюдений // Научно-технический журнал по геодезии, картографии и навигации Геопрофи. 2018. № 5. С. 19-23.
8. **Стеблов Г.М.**, Сдельникова И.А. Закономерности пространственно-временных вариаций деформационных процессов в районе Японской зоны субдукции // Физика Земли. 2019. № 4. С. 89-98.