

ОТЗЫВ

официального оппонента Мустафина Мурата Газизовича на диссертацию Марковича Кирилла Игоревича на тему: «Совершенствование геодезических методов мониторинга геодинамических процессов с привлечением глобальных моделей Земли и обеспечением междисциплинарного подхода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 – Геодезия

Актуальность темы диссертации, и ее связь с государственными научными программами, степень обоснованности научных положений.

Оценка и прогноз деформаций земной поверхности чрезвычайно важная задача, как с точки зрения научного интереса, так и для практики, особенно, когда речь идет о решении вопросов безопасности строительства и эксплуатации зданий, сооружений, в том числе относящихся к категории опасных промышленных объектов.

Автор для изучения деформаций земной поверхности использовал весьма широкий арсенал возможностей, которые стали доступны лишь в последнее время. Привлечены современные методы космической геодезии и геоинформационные технологии для интерпретирования деформационных процессов с учетом данных геофизических и геологических результатов исследований. Данный подход представляется весьма перспективным, так как на сегодняшний день организация мониторинга деформаций земной поверхности без привлечения информации по смежным дисциплинам уже не достаточна. В качестве примеров можно привести целый ряд случаев, когда не учет либо геологических факторов, таких как неоднородность грунтового массива или геомеханического (геотехнического) в виде не верной оценки зоны влияния строящегося объекта может привести к ошибкам измерений из-за подвижности исходных реперов и соответственно возможному негативному (неконтролируемому) развитию деформационного процесса.

В работе рассматриваются особенности рельефа местности, обусловленные тектоническими процессами, которые в той или иной степени присущи любой территории и в этом отношении тема диссертации актуальна и для Республики Беларусь и для России.

Особо следует отметить то обстоятельство, что автор скрупулезно изучил работы отечественных исследователей и дал им дальнейшее развитие на основе современных технологий измерений. В диссертации для территории Беларуси построены карты скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) с учетом анализа моделей гравитационного поля и рельефа Земли, а также новых магнитометрических, сейсмологических и геолого-тектонических данных.

Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 25.00.32 – Геодезия: пункт 8: Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, зданий и

сооружений, вызванного природными и техногенными факторами, с целью контроля их устойчивости, снижения риска и последствий природных и техногенных катастроф, в том числе землетрясений».

Связь работы с научными программами и темами. В основу диссертации положены материалы, полученные при выполнении исследований по темам НИР, утвержденным Президиумом НАН Беларуси или Министерством образования Республики Беларусь: 1) ГПОФИ «Недра Беларуси 13» за 2006- 2010гг. «Диагностика современных движений земной коры Беларуси по результатам геодезических и геолого-геофизических исследований» ГБ-4026 (№ гос.регистрации 20062107); 2) ГПНИ «Природно-ресурсный потенциал» Задание «Геологические модели 12» за 2011-2013гг. «Моделирование геодинамических процессов по данным инструментальных исследований» (№ гос.регистрации 20111099); 3) ГПНИ «Природно-ресурсный потенциал» Задание 5.4.15 «Геологические модели» за 2014-2015гг. «Инструментальные исследования 13 современной геодинамики в Полоцком регионе» ГБ-0314 (№ гос.регистрации 20142987); 4) ГРНТИ №1017 «Инструментальные исследования современной геодинамики Беларуси» (01.03.2017 - 31.12.2017) (№ гос.регистрации 20170715 от 19.05.2017).

Таким образом, тема диссертации представляется актуальной в связи с развитием исследований и возможностью получения новых результатов, обеспечивающих повышение точности оценки и прогнозирования деформаций земной поверхности.

Обоснованность научных положений, выносимых на защиту.

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

Автором выполнен поиск корреляционных связей скоростей СВДЗК территории Беларуси с такими параметрами как рельеф дневной поверхности h , гравитационное Δg и магнитное поле ΔT , мощность земной коры НМОХО, тектоническое районирование G . В качестве эталонных значений скоростей СВДЗК для поиска корреляционных связей использовались скорости реперов, расположенных на карте на линиях нивелирования I и II классов, без учета проведенных на карте изолиний. Для каждого репера, участвующего в прогнозировании скоростей СВДЗК, были найдены: рельеф дневной поверхности h по данным глобальной цифровой модели рельефа ETOPO1'; аномалии ускорения силы тяжести в свободном воздухе и в редукции Буге по данным глобальной гравитационной модели Земли GECO; магнитные аномалии ΔT согласно «Карты магнитных аномалий Беларуси» (по Г.И. Каратаеву, Ж.П. Хотько, Б.В. Бондаренко и др.); мощность земной коры НМОХО по «Карте мощности земной коры на территории Беларуси», составленной Р.Г. Гарецким. На основании представленного набора данных

составлены уравнения типа, в которых с помощью метода наименьших квадратов найдены неизвестные коэффициенты связи.

Автором по установленным корреляционным связям разных рельефов выполнено разделение территории Беларуси (классифицирование). Анализ графиков корреляции для всех классифицированных структур показал, что связь скоростей деформаций с рельефом дневной поверхности h , гравитационным Δg и магнитное поле ΔT , а также мощностью земной коры $HMOHO$ должна быть криволинейного типа и наилучшим образом определяется при использовании квадратичной функции. Таким образом, 1-е положение вполне обосновано.

2. Разработана и апробирована 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.

Методика апробирована на геодинамическом полигоне «Полоцкая ГЭС». В основе методики распределение и закладка геодезических центров в районах тектонических разломов. Проектирование геодинамического полигона (ГДП) выполнялось на основании результатов геодезических, геофизических и сейсмологических исследований 2006-13 гг. в районах, примыкающих к Полоцкой ГЭС. Анализ данных этих исследований показал, что расположение геодезических пунктов на ГДП «Полоцкая ГЭС» должно обеспечить получение максимально достоверной информации о деятельности Полоцкого, Чашникского и Туровлянского тектонических разломов. Центры пунктов на ГДП «Полоцкая ГЭС» заложены на глубину три метра, что ниже наибольшей из максимальных глубин промерзания грунта для представленной территории на 1,8 метра. Закладка пунктов выполнена способом бурения с отбором пород грунта и в присутствии геолога. Конструкция центров пунктов предусматривает принудительное центрирование спутниковых антенн. Используемый тип геодезического центра является полезной моделью Полоцкого государственного университета «Геодезический репер для грунтов с сезонным промерзанием» (патент № U 20130561 от 23.08.2013г.). Геодезическое оборудование и методика производства ГНСС-измерений выбраны, исходя из необходимости достижения точности измерений не хуже 3 мм в плане, что в два раза жестче требований к точности, утвержденных законодательно в РБ «Методическим руководством по геодезическим работам на геодинамических полигонах, 1985г. (ЦНИИГАиК)». На основании разработанной методики и геометрии сети принято решение в процессе измерений использовать пять двухчастотных спутниковых приемников фирмы Trimble. Для выполнения наблюдений запроектировано три расстановки спутниковых приемников, которые образуют серию. Программа ГНСС-измерений в сети состоит из двух серий измерений.

Разработанная методика обеспечивает оценку СДЗК с точностью не хуже 3 мм в плане. Положение доказано.

3. Разработан алгоритм прогноза неприливных вариаций ускорения силы тяжести по модели скоростей СВДЗК и корреляционной модели прогноза.

Моделирование неприливных вариаций ускорения силы тяжести выполнено с использованием подхода профессора Г.И. Каратаева по разработанной модели скоростей СВДЗК V (первое положение), построенной по комплексу геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических данных. Геотектонические особенности исследуемой территории G задавались на основании «Карты тектонического районирования Беларуси». Детальный анализ корреляционных графиков между сопоставляемыми параметрами показал, что связь скоростей СВДЗК V и геодезическими, геолого-геофизическими и сейсмологическими данными для территории Беларуси наилучшим образом определяется при использовании квадратичной функции. Наличие связи между регрессионной моделью и эталонными значениями вариаций ускорения силы тяжести определялось для тектонических структур Беларуси. Оценка точности модели показала, что ошибки моделирования ($СКП=0,03$ мГал) сопоставимы с точностью инструментальных гравиметрических измерений, являющихся исходными для моделирования. Максимальные вариации ускорения силы тяжести наблюдаются в северной части и составляют $-0,20 - -0,32$ мГал. Таким образом, прогноз вариаций ускорения силы тяжести выполнен и обоснован.

4. Обоснована необходимость учета влияния вариаций гравитационного поля на результаты геометрического нивелирования, проложенного на равнинных и спокойных в геологическом отношении территориях.

Проведенная сопоставительная оценка гравитационного поля и результатов геометрического нивелирования обнаружила изменение величины направления отвесной линии, не учет которого может приводить к ошибкам до десятков мм.

Достоверность и новизна результатов и выводов диссертации.

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием большого объема фактических данных, преемственностью методики исследований, согласованностью полученных результатов, с альтернативными исследованиями.

Так, в диссертационной работе обоснована необходимость комбинированного использования данных различных методов наблюдений и интерпретации при изучении СДЗК, что является ключевой идеей совершенствования геодезических методов мониторинга геодинамических процессов. Новыми результатами являются. Алгоритм построения карт скоростей СВДЗК с использованием корреляционной модели прогноза скоростей СВДЗК по совместному набору геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических данных. Методика мониторинга

современных движений земной коры на геодинамическом полигоне по результатам ГНСС-измерений с обеспечением междисциплинарного подхода. Алгоритм построения карт вариаций ускорения силы тяжести с использованием корреляционной модели прогноза вариаций по модели скоростей современных вертикальных движений земной коры. Результаты оценки вариаций гравитационного поля на примере территории Республики Беларусь, доказывающая необходимость учета влияния вариаций на параметры вертикальных деформаций земной коры даже на равнинных и спокойных в геологическом отношении территориях, что не регламентируется нормативными документами в области производства нивелирования. Автором разработаны следующие выводы и рекомендации: разработанный алгоритм прогнозирования скоростей СВДЗК может быть использован для практического построения карт скоростей СВДЗК и рекомендуется в качестве замены метода линейного интерполирования, применяемого при составлении существующих карт. Разработанная методика мониторинга СДЗК по данным спутниковых высокоточных измерений с обеспечением междисциплинарного подхода успешно прошла апробацию на геодинамическом полигоне «Полоцкая ГЭС» и рекомендуется для получения наиболее точных характеристик деформаций земной поверхности на территориях, характеризующихся малыми тектоническими деформациями, а также в местах расположения геодинамических полигонов в районах взаимообусловленных влияний тектонических и техногенных факторов на состояние земной коры. Разработанный алгоритм прогнозирования вариаций ускорения силы тяжести рекомендуется для построения карт вариаций ускорения силы тяжести на территориях, слабо обеспеченных повторными гравиметрическими измерениями и состоящих из разнотипных геоструктурных элементов. Результаты оценки влияния вариаций гравитационного поля по данным гравиметрических наблюдений Беларуси свидетельствуют о необходимости учета влияния этих вариаций на параметры вертикальных деформаций земной коры даже на равнинных и спокойных в геологическом отношении территориях Восточно-Европейской платформы.

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

Теоретическая значимость работы состоит в обобщении существующих исследований на основе современных компьютерных технологий и новых повышенной точности данных спутниковых измерений координат точек земной поверхности, позволивших автору получить зависимости и связи между деформациями земной поверхности, геологическими и геодинамическими параметрами, обеспечивающие алгоритмизацию построения карт скоростей СВДЗК.

Практическая значимость работы заключается в разработке методики и построении карт скоростей СВДЗК, что весьма важно для оценки напряженно-деформированного состояния приповерхностных территорий и

организации мониторинга деформаций при строительстве и эксплуатации различных объектов.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом, замечания по оформлению диссертации.

Диссертация написана хорошим научным языком. Алгоритм исследований понятен и наглядно иллюстрирован. Оформлена диссертация с применением современных графических средств. Выводы логичны и содержательны.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.

Результаты исследований содержатся в 6 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Выводы исследований и основные результаты работы доложены на четырех конференциях (международных, региональных), в том числе: Научно-технической конференции «Инновационные технологии в геодезии и картографии» 25-26 мая 2018 года, Белорусский национальный технический университет, Минск; Международной науднотехнической 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.

Текст и смысл автореферата в сжатой форме соответствует содержанию диссертации. Формулировки научной новизны и научных положений, а также описание других показателей диссертации одинаковы в автореферате и диссертации.

Замечания:

1. Почему классификация C_3 использована только для территории Белорусской антеклизы. Каков принцип классифицирования? Есть ли алгоритм проверки справедливости применения такой классификации. Какая величина коэффициента корреляции отвечала критерию классифицирования.
2. Каким образом оценивалась погрешность при сопоставлении карт разломов и современных подвижек в масштабе 1:5000000. По картам какого масштаба определялось местоположение разломов.

3. В диссертации приведена конечно-элементная модель геополигона. Учитывались ли при ее построении структурные особенности (разломы) массива горных пород.

Отмеченные замечания не существенно отражаются на качестве диссертационной работы, уровень которой следует признать высоким.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., в которой на основании проведенных лично автором исследований содержится решение задачи разработки методики мониторинга геодинамических процессов с привлечением глобальных моделей Земли, в которой учитываются геологические данные о тектонических нарушениях, а также результаты гравиметрических съемок, имеющей значение для развития геодезии как в Республики Беларусь, так и в России, а ее автор Маркович Кирилл Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.32 – Геодезия.

Отзыв подготовил
официальный оппонент

Мустафин Мурат Газизович



С М.Т. Мустафина
по: М.Т. Мустафина
Заведующий отделом М.Т. Мустафина
производства Е.Р. Яновицкая
" 21 " 05 20 21 г.

Ученая степень - доктор технических наук;

25.00.20 Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика;

Ученое звание - доцент;

Полное наименование

образовательной организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»;

Почтовый адрес организации: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2;

Должность - заведующий кафедрой инженерной геодезии;

Адрес электронной почты: Mustafin_MG@pers.spmi.ru;

Телефон: 8 (812) 322-26-21;

Список основных публикаций по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях за последние пять лет.

1. Мустафин М.Г., Чан Т.Ш. Использование топоцентрической прямоугольной системы координат при решении инженерно-геодезических задач. Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). - 2018. - Т. 23. - № 3. - С. 61-73.

2. Грищенко Е.Н., Мустафин М.Г. Использование нейронной сети для уточнения прогнозируемых деформаций земной поверхности. Маркшейдерский вестник. - 2018. - № 1 (122). - С. 53-57.

3. Мустафин М.Г., Чан Ш.Т. Методика определения нормальных высот по данным спутниковых определений с учётом уклонений отвесной линии. Геодезия и картография. - 2018. - Т. 79. - № 7. - С. 2-10.

4. Мустафин М.Г., Юнес Ж.А. Оценка результатов спутниковых определений пунктов геодезической сети с различными сеансами наблюдений. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2018. - Т. 62. - № 1. - С. 23-26.

5. Мазуров Б.Т., Мустафин М.Г., Панжин А.А. Метод оценки дивергенции векторных полей деформаций земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых. Записки Горного института. - 2019. - Т. 238. - С. 376-382.

6. Мустафин М.Г., Нгуен Х.В. Оценка вертикальных смещений оснований зданий и сооружений на основе анализа элементов деформационной сети Геодезия и картография. - 2019. - Т. 80. - № 3. - С. 11-19.

7. Мустафин М.Г., Чан Ш.Т., Чан М.Х. Совершенствование геодезического обеспечения в строительстве с учётом зон тектонических нарушений и применения топоцентрических координат. Геодезия и картография. - 2019. - Т. 80. - № 11. - С. 2-14.

8. Аль Фатин Х.Д., Хатум Х.М., Мустафин М.Г. Некоторые особенности мониторинга деформационных процессов на горно-гидротехнических объектах. Маркшейдерский вестник. 2020. № 6 (139). С. 51-60.

9. Хатум Х.М., Мустафин М.Г. Оптимизация места расположения роботизированных станций наблюдений за деформациями зданий и сооружений. Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 9. С. 2-13.

