

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу

ФАТТАХОВА Евгения Альбертовича

"Развитие методов анализа длительных рядов геодеформационных наблюдений в сейсмоактивных и нефтегазовых регионах",
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика

Актуальность темы исследований

В настоящее время отмечается повышенный интерес к задачам, успешное решение которых во многом зависит от качества обработки и анализа больших объемов данных, представленных результатами долговременных наблюдений. Среди таких задач особо выделяются геодинамические задачи, связанные с обеспечением долговременной безопасной эксплуатации особо ответственных сооружений и объектов повышенного риска, выделением зон, характеризующихся повышенной деформацией, что весьма важно при организации добычи подземных ископаемых, в частности, углеводородов, а также поиска их залежей и определения запасов. Это определяет большое значение исследований, направленных на совершенствование и разработку новых методов обработки длинных рядов данных.

В этой связи представленная диссертационная работа Е.А. Фаттахова "Развитие методов анализа длительных рядов геодеформационных наблюдений в сейсмоактивных и нефтегазовых регионах", связанная с совершенствованием существующих подходов к обработке геодеформационных наблюдений является весьма важной и актуальной. По сути, речь идет о новом алгоритме анализа больших объемов данных, который при соответствующей адаптации к конкретным условиям позволяет существенно расширить перечень фундаментальных и прикладных задач геофизики и механики горных пород, решение которых ранее не представлялось возможным.

Цель и задачи исследований

В качестве основной цели исследований Е.А. Фаттахов выбрал совершенствование технологии анализа и интерпретации длительных рядов наблюдений за смещениями земной поверхности, полученных на геодинамических полигонах в сейсмоактивных и нефтегазоносных регионах, что представляет значительный интерес для решения целого ряда геодинамических задач, связанных,

прежде всего с предупреждением негативных последствий опасных явлений и процессов природного и техногенного происхождения.

Здесь следует отметить, что, несмотря на то, что подходы к обработки рядов данных в том или ином виде известны, диссертанту удалось представить новый подход, который предполагает в перспективе возможности его использовании для описания геодинамических процессов в земной коре и разработки прогностических признаков потери механической устойчивости локальных участков земной коры.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решался ряд задач, непосредственно связанных с разработкой алгоритма статистического анализа рядов исходных данных, проведением спектрально-временного анализа длительных рядов геофизических и геодезических рядов наблюдений при сопоставлении результатов измерения вертикальных движений земной поверхности, полученных спутниковыми и наземными методами.

Научная новизна и практическая значимость исследований.

В диссертации Е.А.Фаттахова представлены результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость.

В частности, в диссертационной работе предлагается оригинальный подход к анализу и интерпретации результатов геодеформационных процессов, полученных методами наземной и спутниковой геодезии, отличающийся проведением поэтапного спектрально-временного анализа рядов, полученных в результате непрерывных и повторных наблюдений с оценкой характера современного геодинамического состояния изучаемых территорий.

Представлен подход к статистическому анализу первичных данных на примере непрерывных наклономерных наблюдений, позволяющий использовать на практике данные дискретных измерений.

В результате выполнения статистического анализа многолетних повторных геодезических наблюдений Е.А. Фаттахову удалось вполне обоснованно уточнить среднегодовую скорость геодеформационных процессов на Ашхабадском и Камчатском геодинамических полигонах, продемонстрировав, что региональный фон среднегодовых скоростей деформаций не превышает 3×10^{-8} 1/год, несмотря на высокую сейсмичность регионов.

На основе спектрального анализа результатов геодезических и геофизических измерений выделены элементы сходства и отличия деформационного процесса в пределах разломных зон и вне зон их влияния.

Продемонстрирована возможность применения теории деформаций при анализе данных повторных наземных геодезических измерений для идентификации доминирующих типов аномалий вертикальных смещений в разломных зонах.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертации Е.А. Фаттахова результатов обусловлена строгим использованием и корректным применением в выполненных исследованиях математических методов обработки экспериментальных данных.

Полученные в диссертационной работе результаты были доложены и обсуждены на 23 Международных и Всероссийских конференциях, а также на научных семинарах и совещаниях.

Е.А. Фаттаховым получено свидетельство о государственной регистрации численной программы для декодирования наклономерных и акселерометрических данных, а также акт о внедрении результатов диссертационной работы в ООО «НПЦ ПромНедраЭксперт» (г. Москва).

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация У.А. Фаттахова состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении кратко в общих чертах обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач; характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация. Кроме того, дается краткое изложение содержания диссертации. Формулируются защищаемые положения работы.

В первой главе автор в качестве исходной информации для проведения исследований по теме рассматривает основные результаты геодеформационных наблюдений, выполненных на основных отечественных и зарубежных геодинамических полигонах разного целевого назначения. Выполнен обзор существующих методов измерений и анализа длинных рядов данных инструментальных наблюдений, включая метод повторных геодезических измерений. Анализируются их недостатки, и формируется перечень нерешенных вопросов. В результате выполненных исследований автор делает важный вывод о необходимости разработки системного подхода к обработке и анализу длинных рядов данных с использованием специализированных программных средств, позволяющих привести исходные данные в вид, обеспечивающий их корректную

обработку и анализ. В качестве других вопросов, требующих рассмотрения, автор выделяет 1) необходимость выполнения сопоставительного анализа результатов повторных наземных и спутниковых измерений на подземных хранилищах газа и нефтегазовых месторождениях с целью выделения быстро протекающие процессов, не связанных с землетрясениями и 2) необходимость разработки формализованного подхода к селекции типов подвижек на основе геометрической теории деформации с целью установления доминирующего типа аномалий за весь период наблюдений для каждого разлома.

Во второй главе диссертации детально анализируются структурные свойства временных рядов данных геодеформационных наблюдений с анализом операций, необходимых для выделения полезных сигналов. Рассмотрены отдельные примеры обработки и анализа результатов инструментальных светодальномерных наблюдений, полученных, в частности, на полигонах, расположенных в сейсмоактивных регионах (Ашхабадский и Камчатский регионы). В результате обработки большого объема данных Е.А. Фаттаховым было получено, что величина среднегодовых горизонтальных смещений не превышает 2,3 мм, что, вообще говоря, является непрогнозируемо малой величиной для таких объектов как Главный Копетдагский разлом и район контакта Тихоокеанской и континентальной Евразийской тектонических плит.

Весьма интересный результат получен Е.А. Фаттаховым при сопоставлении периодограмм смещений, вычисленных по данным светодальномерных измерений в Ашхабадском и Камчатском регионе, а именно: спектральный анализ, полученный с использованием метода наложения эпох, продемонстрировал отсутствие однозначно совпадающих периодов в спектрах горизонтальных движений. Это действительно, как это и отмечается в диссертации, может свидетельствовать о том, что определяющим фактором в формировании движений земной коры являются не глобальные, а региональные факторы.

Изучение в диссертации вертикальных смещений земной поверхности по результатам нивелирования поверхности в зоне Главного разлома Копетдага позволило Е.А. Фаттахову установить не только характерные отличия в движениях земной поверхности в пределах структурного блока и в зоне разлома, но также, что представляет отдельный интерес, корреляцию между временной структурой деформационного процесса и ходом выпадения осадков. Кстати, это является дополнительным подтверждением того, что роль локальных факторов в процессах формирования движения земной коры является весьма важной.

Большой объем работы выполнил Е.А.Фаттахов при обработке и анализе результатов наклономерных наблюдений, полученных системой геодинимических наблюдений на двух шельфовых нефтегазоконденсатных месторождениях Российского сектора Каспийского моря. Особо следует отметить, что при этом Е.А.Фаттахов применил оригинальный подход к подготовке данных, основанный на двухуровневой обработке исходных рядов с помощью хорошо зарекомендовавшей себя ранее программы WinABD. В результате автору удалось разработать оригинальную методику обработки рядов данных, причем на основе автоматизированного алгоритма, что представляет значительный интерес в данном случае для обеспечения безопасной эксплуатации и предупреждения опасных ситуаций при добыче углеводородов с платформ. Полученные данные по среднегодовым скоростям кренов и дифферентов исследуемых платформ на месторождениях им. Ю. Корчагина и им. В. Филановского позволили подтвердить безопасность их использования в условиях Северного Каспия.

В третьей главе диссертации Е.А.Фаттахов рассматривает особенности анализа результатов инструментальных наблюдений, выполненных на объектах, подвергающихся циклическому деформированию. В частности, Е.А.Фаттахов обработал данные по вертикальным движениям вдоль нивелирных профилей, организованных на геодинимическом полигоне ПАО «Татнефть», в результате чего была выделена зоны аномальных вертикальных смещений, которую допустимо рассматривать как разломную зону, характеризующуюся наличием современных движений. Одновременно были выделены особенности временной динамики вертикальных движений, которые по мнению автора отражают особенности разработки месторождения. По результатам сравнения данных, полученных независимо методом нивелирования и ГНСС, в работе сделан важный для практики вывод о том, что при качественном сходстве трендов амплитуды вертикальных движений по данным нивелирования и ГНСС, метод ГНСС существенно менее информативен по сравнению с традиционным методом нивелирования в основном в связи с высокими значениями среднеквадратических ошибок, в пределах которых находится величина вертикальных смещений.

Представляет значительный интерес данные, полученные Е.А.Фаттаховым при выполнении сравнительного анализа движений земной поверхности по результатам нивелирования в районе двух подземных хранилища газа (ПХГ), расположенных в сильно отличающихся геологидрогеологических условиях: Калужском ПХГ, расположенном в водоносном горизонте и Степновском ПХГ,

расположенном в выработанном пространстве нефтегазоконденсатного месторождения. Детальный анализ результаты измерений, выполненных по ряду профилей, пересекающих области ПХГ и выделенные на их территориях разломные зоны, позволил сделать важные в практическом плане выводы о характере деформаций свободной поверхности.

В частности, установлено, что в деформационных процессах в пределах ПХГ, расположенного в истощенной геологической структуре, явно преобладают деформации в окрестности разломных зон. В то время как на ПХГ, расположенном в обводненном массиве горных пород в основном проявляют себя «региональные» поднятия и оседания земной поверхности всей территории ПХГ.

В главе 4 диссертации Е.А.Фаттаховым представлены результаты анализа нивелирных наблюдений в зонах разломов, выполненного на основе методов геометрической теории деформаций. Предложенная в процессе выполнения исследований модификация подхода к геометрическому описанию локальных аномалий в вертикальных движениях земной коры в зонах разломов путем использования измерений в 5-ти пунктах (введение безразмерного так называемого F-параметра) позволило автору определить не только тип подвижки земной поверхности в зонах разломов ПХГ, но также его смену с течением времени. Так, было установлено, что для одной из разломных зон первоначально фиксируемый локальный изгиб (γ -аномалия) в разломной зоне сменился на однородный наклон, а затем на сдвиг (S-аномалия). Следует отметить, что достаточно простой и в то же время информативный метод несомненно будет востребован при ранжировании опасных по предрасположенности к сильным деформациям разломным зонам, особенно в районах, характеризующихся высокой динамикой деформаций.

В этой же главе Е.А.Фаттахов представил свой тензометрический анализ данных геодеформационных наблюдений, полученных на Камчатском и Копетдагском полигонах, по результатам которого были сделаны весьма интересные выводы:

1) в окрестности зоны субдукции (Камчатка) наблюдаются вариации угла между доминирующей осью деформации и главной осью сжатия, что свидетельствует об отсутствии монотонно пространственно выраженных движений земной коры. Это в свою очередь свидетельствует о том, что наряду с субдукционным фактором в формировании движений земной коры в этом районе в качестве важных необходимо рассматривать и другие факторы, например, магматического происхождения (вулканическая деятельность);

2) в окрестности Главного разлома Копетдага вариации угла между доминирующей осью деформации и главной осью сжатия определяются локальным деформационным процессом, в котором, по мнению автора, превалируют процессы, связанные с формированием очагов местных землетрясений.

Научная новизна диссертации.

1. На основе анализа данных инструментальных наблюдений показано, что в ряде случаев определяющими факторами в формировании движений земной коры являются региональные факторы, которые даже в случае наличия мощных тектонических нарушений в исследуемом районе превалируют над глобальными.

2. Продемонстрирована важность учета обводненности геологической среды при описании и прогнозировании опасных по предрасположенности к сильным деформациям участков земной коры при эксплуатации подземных хранилищ газа.

3. Разработан и апробирован новый подход к геометрическому описанию локальных аномалий в вертикальных движениях земной коры в зонах разломов путем использования результатов измерений в 5-ти пунктах, позволяющий устанавливать тип подвижки земной поверхности и его видоизменений со временем.

4. Изучена возможность и предложен алгоритм применения теории деформаций для анализа данных наземных геодезических измерений при установлении доминирующих типов аномалий вертикальных смещений в разломных зонах.

Практическая значимость диссертации

Развитые в диссертации подходы к обработке и анализу данных геодеформационных наблюдений реализованы на современном уровне на практических примерах, что существенно повышает вероятность их использования на практике при выборе участков для строительства и обеспечении долговременной безопасной эксплуатации промышленных объектов повышенного риска.

Обоснованность основных положений диссертации

В процессе проведения исследований, а также при изложении полученных результатов диссертант опирался на известные элементы и положения геофизики и геологии. Выполнен обзор существующих методов обработки и анализа длинных рядов геофизических данных. На большом объеме данных инструментальных наблюдений убедительно доказана возможность применения предложенного подхода для решения практических задач.

Представленные в диссертации результаты прошли апробацию на российских и международных конференциях, а также при рецензировании опубликованных статей, докладов и тезисов.

Основные замечания по диссертации

1. Недостаточно конкретизирована цель исследований, заявленная как «совершенствование технологии анализа и интерпретации...», формулировка актуальность исследований (с учетом важности исследований было бы желательно полнее обосновать актуальность работы с приведением конкретных примеров).

2. В формулировках защищаемых положений 1 и 3 следовало бы отобразить качественные, а лучше количественные характеристики результатов исследований. Формулировки типа «позволяют уточнять», «более достоверно» и «позволяют получать более адекватную оценку» становятся понятными только после детального ознакомления с работой.

3. Такое же замечание к формулировкам раздела «Теоретическая и практическая значимость работы».

4. В диссертации отсутствует хотя бы краткое описание технических характеристик измерительных каналов при нивелировании, светодальномерной регистрации, ГНСС, данные при использовании которых анализируются в диссертации.

К главе 2.

5. Ярко выраженное уменьшение амплитуды вариаций смещения поверхности по данным светодальномерных измерений на рис. 2.2 – 2.5 с $\sim 10-20$ мм в 1980 г. до $\sim 1-2$ мм в 2018 г. желательно было обсудить специально.

6. В тексте диссертации отсутствует хотя бы краткое обоснование разбивки временного ряда данных при анализе смещений (рис. 2.3-2.5).

7. При рассмотрении данных светодальномерных измерений акцент делается на результирующие показатели, полученные за весь период наблюдений, хотя табл. 2.1 и табл. 2.2 демонстрируют знакопеременный характер смещений по отдельным периодам измерений. Возможно, здесь следовало бы рассмотреть этот эффект детальнее.

8. Отсутствует заявленный в тексте график, демонстрирующий исходные ряды светодальномерных наблюдений, выполненных в Камчатском регионе. В тексте указан рис. 2.6. На самом деле рис. 2.6 демонстрирует схему расположения светодальномерных линий. На рис. 2.7 приводятся модифицированные ряды

наблюдений для Камчатского региона, что не позволяет напрямую провести их сравнение с данными, полученными в Копетдагском регионе.

9. Приведенные на рис. 2.8 и 2.9 периодограммы получены с использованием способа наложения эпох, однако при этом не описывается процедура расчета полученных периодограмм. Возможно, имело бы смысл построить график 2.9 в другом масштабе, что облегчило бы сравнение данных, полученных в Копетдагском и Камчатском регионах. Здесь же следует отметить, что замечание относительно того, что наличие спектральной составляющей с периодом 13 месяцев связано с региональными климатическими особенностями желательнее было пояснить (какими?).

10. Корреляция между временной структурой и временным ходом выпадения осадков на рис. 2.16 визуально просматривается. Однако для подтверждения этого факта следовало бы привести результаты вычисления коэффициента корреляции.

К главе 3.

11. При анализе вертикальных движений земной коры на нефтяном месторождении, разрабатываемого способом парогравитационного дренажа, получен разный характер вертикальных смещений вдоль профилей А-А (вдоль залежи) и В-В (вкрест месторождения): вдоль профиля А-А отмечается суперпозиция локального и пространственно распространенного изгиба, в то время как вдоль профиля В-В отмечен только локальный изгиб. Судя по номерам реперов нивелирной сети локальный изгиб на профилях А-А и В-В наблюдался, в частности, в окрестности одних и тех же реперов, например, реп. 1270 (к сожалению, положения реперов 1317, 1237, 1243, 1238, 1499 и 4615, попавших в зоны локального изгиба, на схеме рис. 3.1 не обозначены). В связи с этим непонятно, почему при используемом способе добычи давление повышается не только в пласте, но также в флюидонасыщенной среде разломной зоны в одном случае (пояснения автора относительно данных профиля А-А) и только в пласте в другом случае (профиль В-В).

12. Выводы, основанные на сопоставлении данных, характеризующих временной ход превышений реперов по результатам нивелирования и ГНСС (графики на рис. 3.7 – 3.9), следовало бы подкрепить, привлекая данные, касающиеся точности измерений при использовании соответствующих методов регистрации.

13. При описании результатов нивелирных наблюдений на подземных хранилищах газа (ПХГ) не приведены схемы расположения ПХГ, схемы нивелирных профилей и положения разломных зон, что существенно снижает информативность рис. 3.11, 3.12, 3.15 и 3.16, отражающих результаты измерений вдоль профилей, и

сделанных по ним выводов. Рисунки 3.13 и 3.17, относящиеся к анализу результатов повторных ГНСС наблюдений на ПХГ, ситуацию не проясняют.

14. При описании отличий в результатах анализа деформационных процессов на территориях ПХГ, расположенных в водоносном горизонте и в истощенной залеже, следовало бы оценить возможное влияние особенностей геологического строения участков.

К главе 4.

15. Приведенное на рис. 4.6 весьма интересное распределение вертикальных смещений земной поверхности вдоль нивелирного профиля (Камчатский геодинимический полигон), демонстрирующее ярко выраженный пульсационный и симметричный характер просадок на разломных зонах, было бы значительно более информативным при наличии легенды, поясняющей времена получения данных для каждой кривой.

16. Направления главных осей деформаций по данным Камчатского полигона определяется выбором источника возмущений: влиянием субдукции или вулканов. Не ясно как применять метод тензометрических розеток в случае, когда оба фактора действуют одновременно.

17. В соответствии с графиком рис. 4.13 автор делает вывод о том, что перед землетрясениями могут наблюдаться высокоамплитудные знакопеременные вариации угла между осями главных деформаций и осями локальной системы координат. Однако данные рис. 4.13 одновременно показывают, что на фоне отмеченного эффекта при землетрясениях с магнитудой 4,5; 4,8 и 5,9 более сильное землетрясение с магнитудой 6.5 таким эффектом практически не сопровождалось. Возможно, что для окончательного вывода требуется соответствующая статистика.

Замечания редакционного характера.

18. На графиках, демонстрирующих результаты анализа инструментальных наблюдений, отсутствуют планки погрешностей по оси ординат, что затрудняет восприятие сделанных выводов. Например, выводы, сделанные по графикам рис. 3.8 и 3.9, (стр. 82) относительно роли нивелирных и ГНСС данных в описании смещений были бы значительно более обоснованными в случае указания на графиках планок погрешностей.

19. Латинские буквы, представленные в основном курсивом, в ряде случаев обозначены прямым шрифтом (стр. 9 104, 105, 110, 114, 127);

20. Название Главного Копедагского разлома неоднократно приводится в тексте диссертации по разному: Передовой разлом Копетдага, Ашхабадский разлом;

21. На ряде графиков не приведены метки делений на оси абсцисс (рис. 4.4; 4.5; 4.7) и на оси ординат (рис. 2.14-2.16; 2.23; 2.24; 3.4; 4.11).

22. В тексте имеются стилистически некорректные формулировки: например, на стр. 8: «Улучшение методов анализа ... напрямую влияет на геотехническую безопасность зданий, сооружений и объектов ...»;

В заключение следует отметить, что перечисленные выше замечания не умаляют основных достоинств рассматриваемой диссертации и могут быть учтены в процессе продолжения более глубоких исследований по теме.

Общая оценка диссертационной работы

В диссертации собраны, обработаны и проанализированы уникальные по информативности и объему данные инструментальных наблюдений, выполненных за длительный период времени на наиболее интересных геодинамических полигонах и промышленных объектах.

Диссертация Е.А.Фаттахова представляет собой законченную научно исследовательскую работу, в которой решен ряд актуальных задач, связанных с развитием методов качественной и количественной интерпретации результатов длительных геодеформационных исследований. Используемые в диссертации методы, базируются на современных представлениях о структуре земной коры и смещениях среды в разломных зонах.

В диссертации Е.А. Фаттаховым развиты теоретические основы нового подхода к описанию смещений земной коры на длительных временных интервалах и их локальных особенностей в зонах тектонических разломов.

Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы находятся на уровне, отвечающем требованиям ВАК к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам.

Все защищаемые положения полностью раскрыты и обоснованы в тексте диссертации.

Автореферат и 14 публикаций (в т.ч. 11 - в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК) отражают основное содержание диссертационной работы. Основные научные положения докладывались на международных, российских и региональных научных конференциях и семинарах. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы декодирования наклономерных и акселерометрических данных для ЭВМ.

Тематика диссертации Е.А.Фаттахова в полной мере соответствует п.8 и п.12 Паспорта научной специальности 1.6.9. «Геофизика» (отрасль науки – физико-математические).

По своему содержанию, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертация "Развитие методов анализа длительных рядов геодеформационных наблюдений в сейсмоактивных и нефтегазовых регионах" соответствует всем критериям, указанным в Постановлении Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор Фаттахов Евгений Альбертович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика».

Я, Спивак Александр Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Главный научный сотрудник лаборатории приповерхностной геофизики
Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Института динамики геосфер РАН,
доктор физ.- мат. наук, профессор,
Почетный деятель науки и техники города Москвы

А.А. Спивак

(119334, Москва, Ленинский проспект, дом 38, корпус 1.
spivak@idg.ras.ru; Тел. 8-495-9397993; Факс: 8-499-1376511)

Подпись Спивака А.А. заверяю:
Ученый секретарь ФГБУН ИДГ РАН
канд. физ.-мат. наук



 Д.Н. Локтев