Отзыв

официального оппонента на диссертацию Сугаиповой Лейлы Супьяновны **«Разработка и исследование методов разномасштабного моделирования геопотенциала»**,

представленную на соискание учёной степени доктора технических наук

по специальности 25.00.32 – Геодезия

Актуальность. Основной целью диссертационной работы Сугаиповой Л.С. является «…разработка новой технологии моделирования геопотенциала, использующей для разных частей спектра базисные функции различной пространственной локализации и, вследствие этого, позволяющей теоретически неограниченно улучшать разрешающую способность и точность воспроизведения гравитационного поля Земли в соответствии с количественным и качественным ростом исходных данных». Несмотря на то, что на данный момент существует большое количество моделей гравитационного поля Земли, эта задача является вполне актуальной. С одной стороны, постоянно растут потребности геодезии и иных наук в повышении разрешающей способности и точности моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ). С другой стороны, появляются новые способы получения измерительной информации, отличающейся высокой точностью и глобальным покрытием Земли (например, спутниковая градиентометрия), также естественным образом происходит накопление наземных гравиметрических данных, причём в разных регионах накопление может отличаться существенно. Всё это в совокупности требует дальнейшего развития существующих и разработки новых подходов к созданию моделей ГПЗ, которые позволяли бы в полной мере использовать имеющиеся данные на глобальном и локальном уровнях с учётом их реальных подробности и точности. Ситуация усугубляется тем, что в нашей стране практически

отсутствуют работы, нацеленные на развитие направлений, исследованных в диссертации. Имеются ввиду проблемы использования спутниковой градиентометрической информации для уточнения среднечастотного диапазона ГПЗ и применения пространственно локализованных базисных функций (масштабирующих функций, вейвлетов, сферических радиальных базисных функций) для моделирования ГПЗ.

Новизна, теоретическая и практическая значимость результатов диссертации. Основная идея диссертационной работы состоит в том, что для построения модели, максимально близкой к реальному гравитационному полю Земли, необходимо сочетать использование шаровых функций для описания низко- и среднечастотной частей с пространственно локализованными базисными функциями для моделирования высокочастотной части. В диссертации можно выделить два направления исследований: одно посвящено вопросам использования спутниковой градиентометрической информации для отображения среднечастотного диапазона геопотенциала, другое нацелено на решение проблем моделирования региональных особенностей.

В первом направлении исследований автор использует тот факт, что градиентометрическая информация практически равномерно распределена в некотором шаровом слое на спутниковой высоте, и, следовательно, имеется возможность редуцировать её на любую сетку, удобную для дальнейшего гармонического анализа. В диссертации детально изучены различные возможности редуцирования исходных данных на единую среднеорбитальную сферу и создание на этой сфере регулярной сетки специального вида. Практически реализованный вариант основан на известной теореме Лагранжа и включает в себя специальную процедуру сглаживания неизбежных шумов по типу регуляризации.

Для последующего гармонического анализа предлагается воспользоваться последними достижениями математики в области теории выборок

наивысшей алгебраической точности на сфере – теоремой Макюэна-Вью и теоремой об оптимальной выборке (2014 год). Этот факт представляет особый научный интерес, поскольку для практического гармонического анализа по сферическим функциям упомянутые теоремы используются впервые. Теоретическую и практическую ценность составляют и проведенные численные эксперименты, направленные на сравнительный анализ четырёх теорем о выборке на сфере – двух указанных выше, а также классической теоремы Гаусса-Лежандра и менее известной теоремы Дрисколла-Хили – и данные на основе результатов рекомендации по их применению.

В конечном счёте, в диссертации теоретически обоснован и практически реализован подробный алгоритм моделирования геопотенциала в виде ряда по шаровым функциям до 250-ой степени по результатам спутниковой градиентометрии. Указанный алгоритм и соответствующий пакет программ реализован в ходе выполнения СЧ ОКР «Изготовление автоматизированного комплекса программ из состава АПК ГГСК первого этапа» в АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения».

Во втором направлении исследований в диссертации разработана методика регионального моделирования ГПЗ с помощью сферических радиальных базисных функций (СРБФ). Новизна и практическая ценность этой разработки состоят в том, что указанные базисные функции пространственно локализованы и их масштабом можно управлять применительно к специфике различных регионов Земли. В связи с этим подчеркнём, что вообще-то идея использования пространственно локализованных функций для моделирования ГПЗ в локальных районах не является абсолютно новой. Это отмечается и в самой диссертации. Достаточно вспомнить многочисленные работы, в частности, Института Физики Земли (ИФЗ РАН) по моделированию с помощью точечных масс. Однако дальнейшее развитие это направление получило, к сожалению, только в зарубежных работах.

Исследования, выполненные в обсуждаемой диссертации, существенно восполняют указанный недостаток и убедительно доказывают продуктивность СРБФ. При этом доказательства содержат не только теоретические выкладки, но и практическую реализацию разработанной процедуры на части территории РФ.

Помимо этого, получены новые модификации ядра Абеля-Пуассона и ядра Стокса, которые оказываются эффективными при их использовании в качестве масштабирующих функций и вейвлетов для локального анализа и синтеза геопотенциала и его трансформант. Особый интерес представляют новые пространственно локализованные функции с метрикой Махаланобиса, которые целесообразно использовать как базис при моделировании неоднородного гравитационного поля Земли. Применение метрики Махаланобиса решает проблему согласования региональных моделей на границах областей с различной структурой поля.

Продолжая идею использования пространственно локализованных базисных функций, в диссертации для восстановления квазигеоида по гравиметрической информации в ограниченной области предлагается заменить традиционное численное интегрирование аппроксимацией с помощью сферических радиальных базисных функций (СРБФ). При этом в качестве СРБФ целесообразно пользоваться предложенной автором модификацией ядра Стокса. Её особенностью является применение нового понятия «частотная характеристика оператора усечения ядра Стокса на внутреннюю зону определённого радиуса», которое позволяет автоматически отсекать неявное влияние внешней зоны при решении указанной задачи. Одно из преимуществ использования такого подхода состоит в том, что полученная аппроксимирующая конструкция позволяет вычислять аномалию высоты в любой нужной точке исследуемого региона без необходимости повторять всю процедуру заново для каждой точки, как это требуется при интегрировании.

Впечатляюще выглядит и разработанная в диссертационном исследовании итерационная методика уточнения нормального поля геопотенциала. Автор не предлагает всеобщий переход на новое нормальное поле, поскольку это, конечно, связано со слишком большими организационными трудностями. Однако нельзя не согласиться, что указанное в диссертации уточнённое нормальное поле геопотенциала позволяет существенно снизить влияние различного рода упрощений, обычно применяемых при решении краевой задачи геодезии.

Итак, заканчивая обсуждение второй части диссертации, связанной с пространственно локализованными базисными функциями, отметим, что перечисленные выше понятия и теоретические разработки являются новыми и одновременно очень практичными, поскольку представляют собой готовые к использованию алгоритмы решения конкретных задач. В результате мы получили вполне продуктивный инструмент моделирования тонкой структуры гравитационного поля Земли и решения других физической геодезии.

Общая оценка диссертации. Общий объем диссертации составляет 325 страниц. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографии и 2 приложений, включает 66 рисунков и 12 таблиц.

Работа написана на высоком теоретическом уровне и даёт решения важнейших задач физической геодезии. Основные достоинства проделанных исследований отмечены выше. Хочу добавить только ещё тот факт, что в диссертации сведён воедино и достаточно полно и методически продуманно изложен обширный теоретический материал, который полезен не только в процессе моделирования ГПЗ.

Обоснованность и достоверность результатов определяется корректным использованием понятий и методов различных математических и геодезических методов, большим количеством проведённых вычислительных

экспериментов и практической реализацией разработанных методов в рамках разнообразных НИР и ОКР.

Что касается недостатков, то в ходе рассмотрения представленной работы выявлено следующее.

1. Не изучена возможность уточнения длинных глобальных моделей геопотенциала способом, который базируется на использовании космической информации о рельефе земной поверхности высокого разрешения, обеспечивающей учет тонкой структуры гравитационного поля Земли без привлечения дополнительных гравиметрических данных.
2. Результаты проделанного в диссертации гармонического анализа по результатам спутниковой градиентометрии желательно было бы сравнить с высокоточной моделью GGMplus, обладающей почти глобальным покрытием и высокой разрешающей способностью.
3. В разделах 3.2 («Краевая задача физической геодезии») и 3.2.1 («Решение в локальной области») трудно отделить авторские результаты от известных.
4. Некоторые рисунки недостаточно чёткие, например, на рисунках 2.10, 2.11 на стр. 150 и 3.10 на стр. 250 плохо читается текст.
5. Не пояснён смысл кривой и знака перпендикулярности на рис.1.1 частотной и пространственной локализации, стр.29.

Однако, указанные недостатки не снижают общего положительного впечатления о диссертации как об исследовании, выполненном на высоком научном уровне и имеющем теоретическую и практическую значимость.

Материалы диссертации опубликованы в 26 печатных работах, из которых 18 составляют статьи в журналах из списка ВАК, и 1 работа издана в виде монографии. Кроме того, автор сделала доклады на 8 научно-технических конференциях, из которых 2 международные и 1 всероссийская.

Автореферат также отражает содержание диссертации достаточно полно.

Диссертационная работа «Разработка и исследование методов разномасштабного моделирования геопотенциала» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», и паспорту специальности П.1, а её автор Сугаипова Лейла Супьяновна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.32 – Геодезия.

Конешов Вячеслав Николаевич, /Конешов В.Н./
доктор технических наук, профессор,
заместитель директора, заведующий
отделением гравиинерциальных исследований «31» 08 2018 г.
Федерального бюджетного государственного
учреждения науки Институт физики Земли
имени О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН)
25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых
Адрес: Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1.,
комн. 408, тел.: 8 (499) 254-23-35.

Подпись заместителя директора
ИФЗ РАН В.Н. Конешова подтверждаю,
ученый секретарь ИФЗ РАН, к.ф.-м.н. /Погорелов В.В./