



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

23 НОЯ 2018

№ 11204 /

на №

от

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
Государственного бюджетного
учреждения науки Института
космических исследований
Российской академии наук,
член-корр. РАН




А.А. Петрукович

« ноября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Батова Алексея Владимировича
« Оценка негидростатических напряжений в недрах Марса по данным топографии и гравитационного поля », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Актуальность работы. Диссертация Батова А.В. подробно исследует проблему изучения напряженного состояния недр Марса, применяя имеющиеся современные данные топографии и гравитационного поля. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в рамках подготовки к проведению и обработки данных сейсмических экспериментов на Марсе.

Сейчас планируются установка одного трехкомпонентного широкополосного сейсмометра в миссии проект "InSight", проводимой НАСА; разрабатывается сейсмометр для проекта в международной кооперации Российского и Европейского Космических Агентств. Спецификой проведения сейсмического эксперимента на Марсе является установка только одного сейсмометра. В связи с этим, для



интерпретации результатов, такие дополнительные данные, как оценки напряженного состояния различных областей планеты и прогностическая локализация возможных очагов марсотрясений, имеют большое значение.

Вышесказанное отражает актуальность темы диссертации и ее междисциплинарный характер.

Целью работы Батова А.В. является получение детальной картины распределения негидростатических напряжений в недрах Марса по современным данным топографии и гравитационного поля планеты и выявление зон высоких значений напряжений сдвига на фоне растягивающих напряжений в недрах планеты как возможных очагов марсотрясений.

В первой главе изложено современное состояние исследуемой проблемы, дается обоснование применения статического метода (метода нагрузочных чисел) для решения поставленной задачи. Проводится сопоставление используемого метода с методом расчета напряжений в недрах Земли. Автор проводит детальный анализ данных топографии и гравитационного поля Марса (которые служат граничными условиями при решении задачи) и демонстрирует, что можно использовать любую из последних моделей гравитационного поля MRO120D и GMM-3, представленных в виде коэффициентов разложения по полиномам Лежандра только до 90 степени и порядка.

В главе 2 проводится построение тестовой модели внутреннего строения Марса. Корректировка имеющихся моделей проводится по существенно уточненным в 2016 году значениям момента инерции I и числа Лява k_2 , которые накладывают ограничения на модели внутреннего строения Марса. Важно отметить, что проблема хондритового состава Марса имеет важное значение для планетологии. В данной главе получен **важный результат**, подтверждающий возможность хондритового состава планеты для уточненных ограничений. Это отражено в первом защищаемом положении. Для полученных автором моделей приведены выборочные значения периодов собственных колебаний и оценки времени их затухания, что можно использовать для интерпретации данных сейсмического эксперимента. **Практическая применимость** результатов,

полученных в главе 2 – включение полученной тестовой модели в базу тестовых моделей внутреннего строения проекта InSight.

В главе 3 описывается метод расчета напряженного состояния недр Марса и допущения, применяемые при оценке негидростатических напряжений в недрах Марса. В данной главе отражена техническая задача (написание алгоритма и разработка программного продукта для расчета нагрузочных чисел Лява и напряжений на любой заданной глубине), которая не входит в защищаемые положения.

Глава 4 посвящена исследованию напряженного состояния недр Марса в зависимости от модели компенсации топографии аномальными массами в литосфере (двухуровневая или трехуровневая), реологического строения планеты (модели неоднородной упругости), толщины литосферы, а также выполнен анализ длинноволнового и коротковолнового поля напряжений.

Показано, что распределение напряжений растяжения-сжатия и максимальных касательных напряжений в литосфере Марса обнаруживает четкую корреляцию с поверхностными структурами планет. Длинноволновое поле не выявляет напряжений от конкретных структур, и показывает лишь доминирующую роль поднятия Фарсида в структуре изолиний поля напряжений. Для выявления мелкомасштабной структуры напряжений учитываются члены, начиная с седьмой гармоники.

В моделях с ослабленным слоем под литосферой, часть напряжений вытесняется в литосферу. Показано, что амплитуды напряжений приблизительно обратно пропорциональны толщине литосферы.

В данной главе **впервые рассмотрена** трехуровневая модель компенсации. Существенное различие распределения напряжений по глубине для моделей двух- и трехуровневой компенсации выявлено под областями Эллада и Аргир, для остальных областей различие величин напряжений составляет 5–10 процентов.

Важными результатами данной главы являются выполненные теоретические оценки напряженного состояния недр Марса: касательные напряжения в литосфере достигают 60, 80 и 100 МПа в зависимости от мощности литосферы (500, 300 и 150

км), соответственно. Сделан вывод, что напряжения в недрах Марса определяются толщиной литосферы для любой из рассмотренных моделей неоднородной упругости, и не зависят от выбора модели компенсации (двухуровневая или трехуровневая), за исключением областей крупных ударных кратеров Эллада и Аргир.

В главе 5 подробно проанализированы напряжения под основными топографическими структурами и оценено поле напряжений в области посадки миссии InSight. Как возможные локальные очаги марсотрясений, выделены районы, где имеют место одновременно максимальные сдвиговые напряжения и растягивающие напряжения.

Локализация зон возможных очагов марсотрясений, обусловленных высокими значениями напряжений сдвига на фоне растягивающих напряжений в литосфере Марса, расположенных под ударными бассейнами Эллада и Аргир, равнинами Ацидалийское море, Аркадия и долиной Маринера, является **важным результатом пятой главы.**

Несомненная **практическая значимость** работы состоит в возможности применения полученных результатов при анализе сейсмических данных.

Диссертационная работа Батова Алексея Владимировича основана на результатах, полученных **лично автором** при численном моделировании напряженного состояния недр Марса при использовании имеющихся данных гравитационного поля и топографии. Автором составлены алгоритм и программный продукт, выполняющие все необходимые расчеты, выполнен анализ полученных значений негидростатических напряжений в недрах Марса, а также проведена локализация зон повышенных значений напряжений.

В качестве замечаний к работе можно отметить следующее:

1) Задача имеет четкую математическую постановку. Однако решение получено опираясь на некоторые допущения. Одним из таких допущений является предположение об определенных уровнях компенсации топографии Марса аномальными массами, расположенными в упругой литосфере. Желательно было бы пояснить, почему является допустимым сделать предположение, что в Марсе

существуют два уровня сосредоточения аномалий – рельеф планеты и граница коры-мантия.

2) На рис. 1 не отмечены величины на вертикальной шкале, приведено только одно значение.

Данные замечания не снижают качества и высокой оценки работы.

Диссертация Батова Алексея Владимировича выполнена на актуальную тему – исследование напряженного состояния недр Марса используя данные топографии и гравитационного поля. Представленные исследования напряженного состояния литосферы на разных глубинах и выявление областей сосредоточения высоких сдвиговых и растягивающих напряжений представляют несомненный интерес для определения локальных очагов возможных марсотрясений, что актуально в связи с планируемым сейсмическим экспериментом на Марсе в 2018 и 2020 годах.

Автореферат диссертации точно передает основные положения диссертации Батова А.В. Основные результаты по теме исследования опубликованы в 5 статьях в журналах из списка ВАК и были представлены на различных российских и международных конференциях, семинарах и заседаниях.

Диссертация соответствует критериям, установленным в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842) для ученой степени кандидата наук, а ее автор Батов Алексей Владимирович достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Главный научный сотрудник отдела "Физики планет и малых тел Солнечной Системы" Института,

д.ф.-м.н.



Леонид Васильевич Ксанфомалити

Отзыв рассмотрен и обсужден на заседании отдела 53 ИКИ РАН "Физики планет и малых тел Солнечной Системы", одним из основных направлений научно-исследовательской деятельности которого являются Исследования физических

характеристик планет с помощью автономных приборных комплексов, 26 октября 2018 г., протокол № 11 и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Заведующий отделом 53

"Физики планет и малых тел Солнечной Системы"

д.ф.-м.н.,

член-корр. РАН



Олег Игоревич Кораблев

Подписавшие отзыв сотрудники согласны на обработку персональных данных и включение их в материалы, связанные с работой диссертационного совета.

Подписи сотрудников Института О.И. Кораблева и Л.В. Ксанфомалити заверяю.

Ученый секретарь Института



А.М. Садовский