

Отзыв на диссертацию Е.Н. Слюта

«Особенности гравитационной деформации малых тел Солнечной системы в зависимости от их химического и минерального состава», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа Е.Н. Слюта посвящена одной из фундаментальных проблем сравнительной планетологии и космохимии - проблеме перехода обоснованно выделенных им и противопоставленных им малых к планетным телам Солнечной системы, принципиальную границу между которыми автор обосновывает. Это различие определяется их массой, а также их химическим и минеральным составом. Автор даже указывает, при каких размерах тела оказываются в той или иной группе.

К классу малых тел автор относит малые спутники планет, астероиды, кометы и малые объекты из пояса Койпера, т.е. все твердые объекты Солнечной системы, которые имеют неправильную форму и которые из-за своей недостаточной массы так и не стали планетными телами. К классу планетных тел автор относит твердые тела Солнечной системы, которые, напротив, имеют шарообразную форму.

Казалось бы, банальная мысль, но и постановка и решение её делаются впервые. Прозевали, хотя к проблеме подходили очень давно, о чем сказано в специальном разделе. Но на современном уровне предложенная классификация и терминология были обоснованы автором еще в начале 1990-х гг. И хотя сама идея представленной работы и рассматриваемой проблемы как, казалось бы, уже давно и, я бы даже сказал, настойчиво висела в воздухе, тем не менее, работ, посвященных рассматриваемой проблеме и опубликованных за последние несколько десятков лет, насчитываются единицы. Возможно, это объясняется тем, что данные по составу, морфологии и массе малых тел в необходимом качестве и количестве

появились лишь в последние один-два десятилетия. Конечно, прежде всего, это данные с автоматических межпланетных станций.

Субъективно я обращаю особое внимание на первую главу - историю вопроса. Она написана в лучших традициях, идущих от В.И. Вернадского и Б.Л. Личкова, в работах которых рассматриваемая ими проблема оказывалась в главном русле науки, в данном случае между геологией и астрономией. Автор в свете диалектичности конкурирующих направлений планетологии – термального и гравитационного, поставил противоречие между ними и сумел решить проблему. Эта глава очень полезна, она демонстрирует важность решенных в работе задач на фоне работ предшественников, которые, не в обсуждении частных вопросов, а в подходе к проблеме закончились на Б.Л. Личкове полевка тому назад. Показано, что после указанного перерыва действительно было сделано автором диссертации впервые. Не случайно в работе значительное место уделено Борису Леонидовичу Личкову, который впервые сформулировал постановку задачи на современном уровне и фактически является основоположником рассматриваемой проблемы в ее современном виде. Это не только подчеркивается автором в тексте главы, но и в качестве эпиграфа к работе взята цитата из работы Б.Л. Личкова. Подобный обзор и исторический анализ рассматриваемой проблемы сделан впервые после Б.Л. Личкова. Эта глава делает всю выполненную работу и представленную диссертацию концептуально связной и логически завершенной. Более того, по серьезности подхода, полноте охвата материала и выходе в современность, глава эта могла бы стать диссертацией по истории науки, что, повторяю, оказывается в традициях, идущих от В.И.Вернадского.

Малые тела Солнечной системы в диссертации рассматриваются не как астрономические, а как геологические объекты, которые обладают своей геологической и геохимической историей, химическим и минеральным составом, физико-механическими и реологическими свойствами. Поэтому работа носит междисциплинарный характер. В ней сочетаются три аспекта – анализ наблюдательных данных, теоретические построения и экспериментальная часть.

Глава вторая посвящена анализу формы малых тел Солнечной системы в зависимости от размеров, массы и состава. Рассматриваются три класса малых космических тел: силикатные астероиды, отвечающие по составу обыкновенным и углистым хондриоам, металлические астероиды, а также малые ледяные спутники планет-гигантов и койперовские объекты, объединяющие кометы и так называемые трансплутоновые объекты из пояса Койпера.

Малые тела не рассыпаются потому, что в условиях собственного гравитационного сжатия обладают своими, определенными пределами прочности и текучести, зависящими от состава этих тел. Их форма есть результат столкновений, импактного процесса, т.е. результат механического дробления и экскавации и, наконец возможного полного разрушения: находятся же осколки Луны на Земле. Получается что по форме они как правило, мало отличаются, как друг от друга, так и от булыжников мостовой, что говорит о преобладании прочностных свойств. Глава эта представляет собой чрезвычайно насыщенное новейшим материалом исследование, поэтому проведенное с оригинальных позиций и потому обладающее большой степенью новизны. Она может рассматриваться как оригинальная работа.

Третья глава посвящена аналитическому решению задачи гравитационной деформации двухосного вытянутого эллипсоида на основе классической линейной теории упругости. Тензорный анализ напряжений и деформаций в горных породах и в геотектонике и геодинамике разработан французской школой Пуарэ и Николя. Однако автор на основе линейной теории упругости, применяемой для решения двумерных плоских задач, впервые решил трехмерную пространственную задачу для описания напряжений, вызванных гравитационным потенциалом космических тел. Подобная задача впервые поставлена и впервые решена; просто вся проблема, поставленная в диссертации, оказалась нова. Автор впервые показал применимость классической линейной теории упругости для оценки напряжений в реальных природных трехмерных объектах. Получено

аналитическое решение оценки величины и распределения напряжений в реальных малых телах, со своими упругими и реологическими свойствами, составом, плотностью, размерами, формой и массой.

Созданная методика может стать аналитическим инструментом для оценки многих других параметров малых тел Солнечной системы. Она может быть использована и при решении задач борьбы с метеоритно-астероидной опасностью.

В четвертой главе автор оценивает основные параметры гравитационной деформации малых тел различного состава. На основе анализа большого объема фактического наблюдательного и экспериментального материала, а также с привлечением полученного аналитического решения в первом разделе этой главы рассматриваются особенности состава и реологических свойств малых ледяных тел. Анализ параметров гравитационной деформации и оценка предела текучести для реального состава малых ледяных тел показан на примере наблюдаемого перехода между самым крупным среди малых ледяных тел в Солнечной системе спутником Сатурна Гиперионом, и самым маленьким ледяным планетным телом спутником Сатурна Мимасом. Обоснованно с привлечением экспериментальных данных сделано важное предположение и вывод, что наблюдаемый переход для ледяных тел в системе Сатурна обусловлен критической массой тела и величиной предела текучести твердого льда при низких температурах, а не термальным эффектом, т.е. разогревом и плавлением льда в результате каких-либо внешних или внутренних факторов.

В этой же главе подробно рассматривается состав и физико-механические и реологические свойства кометных ядер и некоторых койперовских объектов. Как и в случае малых ледяных тел, автором была сделана оценка физико-механических и реологических свойств для реального состава рассмотренных объектов из пояса Койпера. Было обнаружено, что койперовские объекты обладают самой низкой прочностью и самым низким пределом текучести в Солнечной системе. Пожалуй, впервые дается объяснение наблюдаемого дефицита или отсутствия кометных ядер

диаметром крупнее 60 км, связанное с резким увеличением предела прочности в зависимости от массы и размеров кометных ядер, поскольку такая зависимость должна оказывать значительное влияние на параметры разрушения родительских тел и, соответственно, на численность вторичной популяции. Привлекает внимание и метод оценки плотности одного из объектов из Пояса Койпера на основе полученного аналитического решения, когда это невозможно сделать никакими другими существующими на сегодня методами.

В разделе, посвященном составу, физико-механическим и реологическим свойствам и анализу параметров гравитационной деформации металлических астероидов хотелось бы отметить прежде всего, важный и вполне обоснованный вывод о том, что с момента своего образования в виде отдельных тел металлические астероиды не подвергались разогреву выше 400°C и тем более не подвергались частичному или полному плавлению. Этот вывод хорошо согласуется с данными, полученными другими методами и другими авторами, ссылки на которых в диссертации приводятся. Также доказательно и обоснованно сделано предположение о том, что исследованные железные метеориты никогда не подвергались гравитационной деформации и, следовательно, они никогда не были частью массивного железного ядра. Этот важный и независимый вывод фактически дополнил уже известные химические и геохимические аргументы против гипотезы происхождения железных метеоритов и астероидов из железного ядра дифференцированного родительского тела.

Раздел четвертой главы, посвященный силикатным малым телам, как мне кажется, один из наиболее интересных и результативных. Это понятно, ибо астероиды С-типа, состоящие из углистых хондритов, составляют около 56% всех астероидов в главном поясе, а астероиды S-типа, состоящие из обыкновенных хондритов – около 20%, т.е. в целом на оба этих типа приходится почти 80% объектов астероидного пояса, а аналог вещества их доступен для непосредственных экспериментов. Проведено комплексное сравнительное исследование физико-механических свойств обыкновенных и

углистых хондритов. Благодаря оригинальной экспериментальной методике получено более 100 измерений в одном относительно небольшом образце метеорита, что позволило описать трехмерное распределение предела прочности в одном образце. Неожданной оказалась сильная анизотропия физико-механических свойств в обыкновенных хондритах, что при дальнейших петроструктурных исследованиях на других объектах может дать далеко идущие выводы об условиях образования и существования хондритов.

Полученные в экспериментах данные положены в основу анализа параметров гравитационной деформации малых силикатных тел, что в свою очередь позволило оценить критический размер и массу малых силикатных тел, после превышения которой эти тела должны подвергнуться гравитационной деформации. При этом, используя полученный аналитический инструмент, автор пришел к выводу, что астероид Веста, по-видимому, действительно подвергался сильному разогреву и, возможно, даже частичному или полному плавлению. Но, что особенно интересно, автор утверждает, что в настоящее время на остывшей Весте такая, казалось бы обязательная черта планетной эволюции, как изостатическая компенсация, уже не работает. Т.е. почти шарообразная форма Весты – это всего лишь память или реликт бурного и горячего планетного прошлого, теперь остывшего и холодного малого тела.

Общий итог проведенных обширных исследований в заключительной части диссертации представлен в виде общего вывода, в котором также впервые в зависимости от химического и минерального состава, физико-механических и реологических свойств вещества выделяются пять основных групп малых тел Солнечной системы, которые характеризуются индивидуальными параметрами гравитационной деформации.

Как и ко всякой подобной обширной и оригинальной работе имеется ряд замечаний.

1. Во 2 главе на графике распределения формы S-астероидов в зависимости от массы тел в области небольших масс наблюдается явный

дефицит объектов. Кроме того, в их распределении все-таки создается впечатление наличия некоторой зависимости формы от массы.

2. Во 2 главе сравнивается форма малых тел различного состава и форма фрагментов метеоритов. Быть может, следует разделить описание формы фрагментов метеорита, которые образуются при разрушении метеороида в атмосфере Земли от описания формы малых тел, которые формируются в результате длительной эволюции при столкновении с другими метеороидами. Или обосновать это объединение.

3. Приложение к главе 3, размещенное в конце диссертации, во-первых, кажется чересчур рыхлым и объемным, во-вторых, в тексте приложения наблюдается явный дефицит комментариев и пояснений. А в тексте диссертации практически отсутствуют ссылки на приложение.

4. В главе 4 говорится о сильной анизотропии физико-механических свойств объектов, но предположений о её природе автор сделать не решился.

5. В этой же главе автор показал, что рассмотренные физико-механические данные так же, как и современные данные по химическому составу, скоростям охлаждения и другие, являются серьезным аргументом против гипотезы происхождения железных метеоритов и металлических астероидов из железного ядра. Этот неожиданный вывод вызывает естественный вопрос: а как же они тогда образовались? Тут еще большее поле для грядущих малообоснованных гипотез, чем отвергаемая гипотеза об их происхождении из ядра астероида.

Сделанные замечания ни в коей мере не умаляют достоинств рассматриваемой работы. Сложный материал изложен достаточно четко и ясно. Бросается в глаза легкий стиль изложения. Вся диссертация написана ярко и интересно. На протяжении всей работы прослеживается глубокая увлеченность соискателя, как проблематикой, так и непосредственным объектом исследований. Получены и доказательно обоснованы важные выводы, которые позволяют не только лучше понять эволюцию и процесс формирования малых тел Солнечной системы различного состава, не только ставят новые вопросы, но и указывают новые методы и пути решения этих

Работа соискателя с избытком соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Е.Н. Слюта заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук. В соответствии с новыми правилами ВАК, я рекомендую данную работу на соискание степени доктора геолого-минералогических наук, защита которой должна осуществляться обычным установленным порядком уже после утверждения степени кандидата геолого-минералогических наук.

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры литологии и
системных исследований литосферы
РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

П

П.В. Флоренский

119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1 РГУ нефти и газа им.
И.М. Губкина.

Тел.: +7(499)233-92-76

E-mail.ru: rgulithology@gubkin.ru



Л. В. Прохорова
начальник отдела кадров
М. М. Мамкина