

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Белобородова Дениса Евгеньевича «Геодинамические условия проявления грязевого вулканизма Керченско-Таманской области», представленной на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика.

Диссертация Д.Е. Белобородова посвящена актуальной теме – изучению геодинамических условий проявления грязевого вулканизма Керченско-Таманской области, расположенной на сочленении периклинальных поднятий Горного Крыма и Большого Кавказа. Практическая значимость работы связана с активностью вулканов, которая может негативно повлиять на экологические условия региона, его сельскохозяйственное и почвенное состояние и на оценку безопасности инженерных сооружений различного типа (Tingay M., 2015).

Автор считает, что систематического изучения грязевых вулканов не проводилось. Относительно мощные нелитифицированные литологически контрастные глинисто-терригенные отложения плиоцен-четвертичного возраста, подверженные развитию безкорневых структур и вулканических построек центрального типа сложно исследовать традиционными методами. По этой причине дискуссионными остаются проблемы строения вулканов и механизма функционирования, в частности определение глубинности грязегенерирующих камер и особенностей транспорта грязевой брекчии вместе с газодинамическими процессами.

Для решения задач применяются различные методы: структурно-морфологический, оптический (петрографическое описание шлифов), рентгенодифракционный и микросейсмического зондирования (Собисевич А.Л. и др., 2015). Специально для исследований Белобородовым Д.Е. разработан методический подход «Анализ изменения скоростей упругих волн при термическом воздействии». Автором диссертации проводились полевые наблюдения, в ходе которых изучались морфолого-кинематические особенности разрывов и трещиноватости, отбирались образцы сопочной брекчии. Ряд грязевых вулканов исследованы в полевых условиях методом микросейсмического зондирования в сотрудничестве с коллегами ИФЗ РАН.

Содержание работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, 5 приложений, списка литературы и списка опубликованных работ. Общий объем работы составляет 215 страниц, 62 рисунка и 2 таблицы. Список литературы содержит 144 наименования. Введение включает перечень обычных для диссертаций ключевых разделов: актуальность, цель, задачи, защищаемые положения и др. разделы.

В первой главе рассматривается введение в проблематику грязевого вулканизма на основе анализа литературных данных. Рассматривается история изучения вулканизма, геологического развития Керченско-Таманской области и приводится оценка современного состояния неотектонической изученности. Обзор позволил сформулировать проблемы и задачи исследо-

ваний и методы их решения. Отмечается, что в Керченско-Таманской области максимум вулканической деятельности приходится на чокракское и сарматское время (среднемиоценовое время), минимум характерен для современной эпохи.

Вторая глава посвящена обзору методов и подходов с целью исследования геодинамических условий проявления грязевого вулканизма. Для этого автор привлекает разные методы, среди которых метод структурно-кинематических и тектодинамических исследований полей напряжений. В его основе лежит парагенетический анализ (Лукьянов, 1965, 1991; Расцветаев, 1987) локальных (трещиноватость сопочной брекчии) и региональных (ЗКД) дизъюнктивных структур. Метод микросейсмического зондирования, направленный на определение глубин расположения грязевулканических каналов (Горбатиков и др., 2008) с учетом геохимического и минералогического анализа. Автором был разработан *новый перспективный подход* «Анализ изменения скоростей упругих волн при термическом воздействии». Сутью подхода является многостадийное нагревание унифицированных образцов со стандартным шагом 50⁰С с последующим ультразвуковым измерением скорости продольной волны. Исследование нацелено на изучение петрофизических свойств сопочной брекчии. Автором активно используется структурно-морфологический метод с целью выявления ЗКД, поскольку к этим зонам и к узлам пересечения нарушений приурочен грязевой вулканизм. К работе привлечены оптический метод (изготовление и описание шлифов) и рентгенодифракционный анализ направленные на определение минералогического и литологического состава сопочной брекчии для выявления особенностей структуры и текстуры глинистой брекчии.

В третьей главе анализируется трещиноватость грязевых вулканов (сопочной брекчии) и карбонатных пород неогенового возраста, вмещающих и подстилающих эту брекчию.

В сопочной брекчии различаются разнотипные по морфологии трещины: концентрические и радиальные (центрального типа), продольные (вдоль течения) и литогенетические (хаотичные). Последние могут группироваться в кулисообразные зоны трещин отрыва и нередко согласовываться с тектоническими нарушениями, отражающими региональные поля напряжений. Локальные центры дегазации и грифоны также выстраиваются линейно согласно региональным структурным зонам. В то же время автор отмечает, что сопочная брекчия разновозрастна, при этом указывает, что ее формирование, возможно, происходило в условиях изменяющихся полей напряжений.

Трещиноватость вмещающих и подстилающих пород связана с диапировыми часто надразломными антиклиналями – деформациями сжатия и растяжения. Различается послойная трещиноватость, жилы, отрывы и разнотипные зеркала скольжения: взбросовые, сбросовые и сдвиговые. В сопочной брекчии развита различно ориентированная литификационная (диагенетическая) трещиноватость. По мнению автора, разнотипная трещиноватость отражает исто-

рию формирования диапировых антиклиналей как сложных структур сжатия с проявлением поперечных сжатию сбросо-взбросовых поясов вращения.

В четвертой главе рассмотрены особенности строения наиболее крупных грязевых вулканов Керченско-Таманской области: Джау-Тепе, Пекло Азовское и др. Вулканические постройки рассматриваются по морфологии, геологическому строению и структурному положению. В приповерхностной зоне вулканы, как правило, приурочены к диапировым антиклиналям (деформации сжатия), вдавленным синклиналям, региональным зонам концентрации деформаций (ЗКД), линеаментам (зоны повышенной трещиноватости и малоамплитудных разрывов) и к узлам пересечения этих нарушений.

Крупные вулканы являются глубинными и относятся к структурам центрального типа. Их формы разные: коническая, плоская и озерная. Корни (очаги) вулканов могут находиться на глубинах более 10 км (Шнюков Е.Ф., 1992), где тяготеют к погребенной осевой зоне Горнокрымской и Большекавказской миоценовой складчатости и ее ступенеобразному погружению в направлении краевых прогибов. Источником сопочной брекчии часто являются породы мезозойского возраста – нижнего мела, возможно, нижней и средней юры. Как правило, над относительно глубинным очагом развивается система более мелких очагов. Менее крупные вулканы находятся вне осевой зоны складчатости и ее сопряжения с прогибами. Для них является характерным образование широких грязевулканических полей с глинистой брекчией олигоцен-миоценового (майкопского) возраста.

Пятая глава посвящена оценке структурного положения грязевых вулканов в системе разнопорядковых структур Керченско-Таманской области. Вулканы соотносятся со структурно-тектонической зональностью.

В положении вулканов автор выделяет четыре разнопорядковых структурных уровня. Первый уровень – это узел пересечения субширотной структуры сжатия Горнокрымского и Большекавказского поднятий, как сегментов строения протяженного Средиземноморского подвижного пояса, и поперечной Керченско-Таманской зоны. Последняя ограничена с севера и с юга краевыми прогибами: Индоло-Кубанским, Сорокина и Туапсинским соответственно. Грязевой вулканизм сосредоточен в основном в Керченско-Таманской зоне (прогиб или конседиментационное поднятие?). Ко второму уровню относятся поперечные (антикавказские) поднятия, которые характеризуются как флексурно-разрывные зоны. Поднятия сопряжены с более широкими, но относительно неактивными синклинальными опусканиями. На этом уровне грязевой вулканизм приурочен к антиклинальным структурам. Третий уровень отвечает диапировым антиклиналям, дополненным сдвиговыми деформациями, – зонам транспрессии. К нему приурочен глубинный и приповерхностный вулканизм. Четвертый уровень – это узлы пересечения продольных и поперечных проницаемых зон, к которым тяготеют вулканические сопки, сальзы и грифоны.

Автором выполнены петрофизические (на основе ультразвука) исследования скоростей продольных волн грязевой брекчии с целью получить данные об очагах вулканов. Метод разработан автором и базируется на оценке изменения скоростей упругих волн в образцах сопочной брекчии в процессе многократного поэтапного нагрева. Благодаря этим исследованиям были выделены очаги, различающиеся по геологическому строению, минералогическому составу и структурно-тектонической зональности. Согласно этим исследованиям, грязевые вулканы были разделены на три группы: Керченскую, Таманскую и Предкавказскую.

Шестая глава посвящена исследованию минералогии и литологии глинистых брекчий Керченско-Таманской области на основе рентгенодифракционного анализа (РФА) и петрографического описания шлифов. Рентгенодифракционный анализ, связанный с изучением минералогического состава глинистых брекчий, выявил, что во многих вулканах в этих отложениях присутствуют аутигенные минералы майкопской серии. Петрографическое описание шлифов показало, что они являются полимиктовыми, кварц-полевошпатовыми полиагрегатными обломочными породами с матриксом глинистых минералов. Для некоторой части глинистых брекчий характерен вещественный состав с меньшей ролью майкопских толщ, а в некоторых случаях минералы этой толщи вообще отсутствуют. В последнем случае такой состав брекчий характерен для окраинной части Керченско-Таманской грязевулканической области, прилегающей к складчатому сооружению Большого Кавказа: грязевые вулканы Шуго, Гладковский, Семигорский и др.

В заключение автор диссертации подводит итог выполненным исследованиям, указывая, что все поставленные задачи выполнены и цель работы достигнута. В общем заключается, что грязевой вулканизм является зональным и проявлен как закономерный результат разнопорядковых (разноглубинных) разноориентированных и разновозрастных деформационных режимов, относящихся эпохе неотектонических движений.

В качестве **достоинств** работы отмечу следующее:

Автором диссертации применен комплексный подход в изучении грязевулканических структур, что, является крайне необходимым, когда территория закрыта от прямых наблюдений по сравнению с горно-складчатыми областями. Соискателем разработан и успешно применен *новый подход*, связанный с изучением изменений скоростей продольных волн в зависимости от термических воздействий на породу. На его основе создан единый каталог петрофизических характеристик сопочной брекчии и оценена глубинность грязегенерирующих очагов.

Автором сделаны и описаны литологические шлифы, создана уникальная шлифотека в качестве базы данных для дальнейшего системного изучения грязевого вулканизма. Существенным оказалось применение оптического и рентгенодифракционного методов для изучения вещественного (минералогического и литологического) состава сопочной брекчии, осо-

бенностей ее структуры и текстуры, что позволило определить особенности транспорта брекчии.

Методологической основой работы является объективное, на мой взгляд, представление о сочетании в себе изучение и самого явления грязевого вулканизма, и особенностей современных деформаций, как результата воздействия грязевулканических явлений на геологическую среду (с. 44). Такой подход позволил автору выделить радиальную и концентрическую трещиноватость, связанную с вулканами центрального типа, и литификационную (диагенетическую, контракционную) трещиноватость. Тектонические дислокации также рассматриваются как разнотипные, поскольку отмечается, что региональные дизъюнктивы не всегда согласуются с локальными нарушениями. Это может указывать на разные источники напряжений. Автор это хорошо понимает – им выделено четыре разномасштабных структурных уровня и на этой основе районировать вулканические постройки.

С удовлетворением отмечу, что в диссертации много разных хорошо выполненных в цвете рисунков. Мне думается что это усиливает положительное отношение к проделанной работе.

В конце своего отзыва перечислю **замечания** к работе.

Не совсем ясно, осевая складчатая зона (мел-миоценовая) межпереклиальной Керченско-Таманской области и бескорневые структуры, выраженные диапирами антиклиналями и вдавленными синклиналями, выполненными плиоцен-четвертичными отложениями – это разные структурные планы? В диссертации показано, что складчатые структуры осевой зоны (створа) не продолжают прямо к рельефу земной поверхности. Значит ли это, что геодинамические условия формирования бескорневых структур Керченско-Таманского поперечного прогиба (зоны), отличаются от более ранних условий, связанных с образованием складчатой зоны Крыма и Кавказа?

В Керченско-Таманской области зоны концентрации деформаций (ЗКД) в силу их равномерности, упорядоченности и прямолинейности (ортогональности и диагональности) очень похожи на распределение систем планетарной трещиноватости в свое время детально изученной С.С. Шульцем (1964) (см. глава 5). ЗКД с равным успехом пересекают разнотипные по условиям формирования складчатые структуры Горного Крыма, Большого Кавказа и платформенные структуры равнинной Тамани и всхолмленной Керчи. Неясно происхождение такой упорядоченной сетки зон концентрации деформаций, наложенной на разнотипный по строению и происхождению субстрат.

Автор пишет о парагенезе зон трещиноватости, который демонстрируется на круговых диаграммах. Но на них не показаны ЗКД, региональные и локальные дислокации, с которыми согласуются линейно ориентированные грифоны, центры дегазации и т.д. (см. главу 3). Т. е. эти дислокации – это единственный факт, указывающий на связь с грязевулканической актив-

ностью, которые логично было бы изобразить на диаграммах. На картах и схемах это далеко не очевидно (см. рис. 60).

Приведенные замечания ни в коей мере не умаляют бесспорного достоинства диссертации, которая представляет собой законченную самостоятельную научно-квалификационную работу. Цели и задачи работы решены полной мере. Автореферат дает полное представление о диссертационной работе. Принципиальные положения, включая защищаемые положения, опубликованы в рецензируемых научных изданиях и апробированы на конференциях различного уровня. По теме диссертации опубликовано 35 работ, в т. ч. 7 статей в рецензируемых изданиях (журналах), 3 из которых входят в перечень ВАК.

Таким образом, диссертация Белобородова Дениса Евгеньевича выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение задачи оценки геодинамических условий проявления грязевого вулканизма Керченско-Таманской области, имеющей существенное научное значение в аспекте происхождения вулканизма и его роли в геодинамической эволюции исследуемой области. Практическая значимость связана с решением экологических проблем и обеспечения безопасности инженерных сооружений.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Д.Е. Белобородов достоин присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник, исполняющий обязанности зав. лабораторией неотектоники и эндогенной геодинамики Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, доктор геолого-минералогических наук В. Макаев Владимир Михайлович Макаев

15 марта 2022 г.

Адрес: 101000, Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2, а/я 145. Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Тел. раб. (495)607-4614; e-mail: makeev@geoenv.ru

Подпись В.М. Макаева заверяю



ПОДПИСИ <u>Макаева В.М.</u>
Заверяю: начальник отдела кадров ИГЭ РАН <u>В. Вербовская</u>
<u>«16» марта 2022 г.</u>