

На правах рукописи



Белобородов Денис Евгеньевич

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЯВЛЕНИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА
КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН) в лаборатории физики землетрясений и неустойчивости горных пород

Научный руководитель:

Тверитинова Татьяна Юрьевна,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры региональной геологии и истории Земли Геологического Факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится _____ г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д.002.001.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), по адресу 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д.10, стр.1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте института www.ifz.ru. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при министерстве образования и науки Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru и на сайте ИФЗ РАН.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в двух экземплярах, просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д.10, стр.1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета Владимиру Анатольевичу Камзолкину.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

В.А. Камзолкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Данная работа посвящена решению актуальной задачи – изучению геодинамических условий проявления грязевого вулканизма Керченско-Таманской области. Эта задача определяется назревшей необходимостью выявления связи грязевого вулканизма Керченско-Таманской области с тектоническими и геодинамическими процессами. Систематического изучения этой связи и роли грязевого вулканизма в эволюции и тектоническом развитии региона не проводилось.

Сложной задачей является изучение внутреннего строения и механизма функционирования грязевулканических очагов. Прямые способы изучения внутреннего строения грязевых вулканов не применимы, приходится привлекать нестандартные методы исследований, такие как метод микросейсмического зондирования, позволяющий определить морфологию и строение подводного канала, форму и размеры грязегенерирующих камер (очагов) (Собисевич, Тверитинова и др., 2015; Собисевич, Долов и др., 2015). Особенно острым и дискуссионным является вопрос глубинности так называемых корней грязевых вулканов – системы подводных каналов, осуществляющих транспорт грязевулканической брекчии вместе с газовой-водными флюидами.

Цели и задачи работы:

Цель работы состояла в создании общей схемы структурно-тектонических элементов Керченско-Таманской области с грязевым вулканизмом как ее закономерным элементом.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить геологическое и тектоническое строение Керченско-Таманской грязевулканической области с привлечением литературных данных и проведением полевых работ;
2. Провести изучение главных элементов грязевулканических структур: грязевых вулканов, вдавленных синклиналей, грязевулканических объектов и вмещающих кайнозойских осадочных толщ;
3. Провести изучение грязевулканических очагов, как структур высшего порядка с применением комплексных методов, позволяющих расширить знания о строении подводных каналов грязевых вулканов;
4. Провести анализ полученных данных и построить на их основе схему структурно-тектонических элементов Керченско-Таманской области, в том числе и грязевулканических объектов.

Фактический материал и методы исследований.

Для решения поставленных задач на территории Керченско-Таманской области в ходе полевых работ 2015-2018 гг. автором было проведено геолого-структурное изучение грязевулканических очагов и вмещающих их геологических структур, включающих антиклинальные складки, грязевые вулканы, вдавленные синклинали и вмещающие их толщи; отобраны образцы и составлены коллекции сопочной брекчии и вмещающих горных пород.

Для определения структурного положения грязевого вулканизма автором был проведен структурно-морфологический анализ всей Керченско-Таманской области и анализ тектонического районирования: выделение различно ориентированных зон концентрации деформаций различного кинематического типа, в которые грязевые вулканы входят как закономерный элемент.

Для изучения строения подводных каналов ряда грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической области проводились геофизические исследования с применением метода

микросейсмического зондирования, в сотрудничестве с коллективом лаборатории фундаментальных проблем экологической геофизики и вулканологии ИФЗ РАН.

Защищаемые положения:

1. Положение грязевых вулканов Керченско-Таманской области определяется сочетанием главных разнопорядковых широтных складчато-разрывных диапировых и секущих их сдвигораздвиговых структур в межпериклиальной зоне Горно-Крымско-Больше-Кавказского сооружения.

2. Грязевые вулканы, выраженные на поверхности морфоструктурами центрального типа положительной и отрицательной морфологии, являются частью сложных систем пронизываемых каналов разгрузки сопочной брекчии, расположенных в узлах пересечения деформационных зон (зон концентрации деформаций) различного кинематического типа.

3. Трещиноватость вмещающих грязевулканические постройки кайнозойских деформированных толщ отражает сложную многостадийную историю формирования диапировых антиклиналей и осложняющих их складчато-разрывных структур.

4. Зональность распространения грязевых вулканов в системе региональных структур (орогенов Горного Крыма и Большого Кавказа и разделяющей их межпериклиальной области), выявленная ультразвуковыми исследованиями сопочной брекчии, подтверждает связь корней грязевых вулканов с региональными деформационными зонами.

Научная новизна выполненных исследований заключается в следующем:

1. Получена качественно новая информация о грязевых вулканах на основании комплексирования структурно-морфологических, геолого-структурных, структурно-геофизических, геохимических методик и подходов.
2. Получены новые структурно-геологические, структурно-кинематические, геофизические, литологические, минералогические и петрофизические данные, позволяющие комплексно проанализировать положение грязевого вулканизма в общей системе новейшей и современной тектоники межпериклиальной Керченско-Таманской области.
3. Построена новая структурно-кинематическая схема Керченско-Таманской области, на которой выделены различно ориентированные зоны концентрации деформаций различного кинематического типа, в системе которых грязевые вулканы являются закономерным элементом деформированных кайнозойских комплексов.
4. В рамках данного исследования разработан новый подход изучения сложных многокомпонентных глинисто-пластичных горных пород и осадков с использованием ультразвукового зондирования при многостадийном нагревании.
5. Создана уникальная коллекция сопочной брекчии грязевых вулканов Керченско-Таманской области и шлифов.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Результаты структурно-геологических исследований, полученные в ходе настоящей работы, позволяют существенно уточнить понимание грязевого вулканизма как одного из главных факторов новейшей тектоники Керченско-Таманской области.

Составленная коллекция сопочной брекчии и шлифов послужит основой для создания базы данных для дальнейшего изучения грязевого вулканизма Керченско-Таманской области.

Установленные в результате работы общие закономерности структурного положения грязевых вулканов могут стать основой для разработки геолого-структурной модели грязевого вулканизма Керченско-Таманской области.

Разработанный и примененный подход «контроль изменений скоростей упругих волн при термическом воздействии в пластичных (глинистых) горных породах» может быть использован для создания единого каталога петрофизических характеристик сопочной брекчии, который станет основой для качественного определения глубинности корневых систем грязевых вулканов.

Личный вклад автора:

Автор в течение полевых сезонов 2015-2019 гг. выезжал как в составе исследовательских научных групп (2015, 2016 гг.), так и самостоятельно (2017, 2018, 2019 гг.) на геологические объекты Керченско-Таманской области с целью изучения геологии грязевулканической провинции Керченского и Таманского полуостровов. В процессе полевых работ автором диссертации были собраны коллекции сопочной брекчии ряда грязевых вулканов, минералогические и литологические коллекции. Также автор исследовал структуры и объекты грязевого вулканизма и вмещающих пород, изучив, в общей сложности свыше 30 полевых точек наблюдений (12 Керченский полуостров, 20 Таманский полуостров и Краснодарский край) с привлечением результатов ряда различных методов (структурно-кинематического, петрофизического, петрографического, минералогического) автор лично получил новые данные о строении подводящих каналов грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической области. На основе составленных коллекций были сделаны и проанализированы шлифы, проведены анализы минералогического состава сопочной брекчии (рентгенодифракционный анализ). Разработан, апробирован и применен новый оригинальный подход исследования изменений скорости продольной волны в сопочной брекчии в зависимости от температурных колебаний. На основе этого подхода были получены результаты, анализ которых позволил выявить зональность грязевулканических очагов Керченско-Таманской области.

Апробация работы и публикации:

По теме диссертации автором опубликовано 36 научных работ, в том числе 7 статей в ведущих рецензируемых журналах (4 из которых входят в перечень ВАК), 21 статей в научных сборниках и трудах конференций и 6 тезисов докладов.

Результаты структурно-геологических и петрофизических исследований, полученные в ходе настоящей работы, были представлены на Всероссийских и международных конференциях, совещаниях, школах и семинарах в 25 докладах: III школе-конференции «Гординские чтения» (Москва, ИФЗ РАН, 2015), X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, ПГНИУ, 2017), Конференции молодых ученых и аспирантов (Москва, ИФЗ РАН, 2017, 2018, 2019), V Всероссийской конференции «Полевые практики в системе высшего образования» (респ. Крым, учебно-научная база СПбГУ «Крымская», 2017), VII Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, ИГЕМ РАН, 2017), XVIII, XIX, XX Международной конференции «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле» (Москва, п. Борок, ИФЗ РАН, ГО «Борок», 2017, 2018, 2019, 2020), III Международной геолого-геофизической конференции «Современные технологии изучения и освоения недр Евразии» ГеоЕвразия-2020 (Москва, 2020), V, VI молодежной тектонофизической школе-семинаре (Москва, ИФЗ РАН, 2017, 2019), Пятой

тектонофизической конференции «К столетию М.В. Гзовского» (Москва, ИФЗ РАН, 2020), L, LI Тектоническом совещании (Москва, МГУ, 2018, 2020), Семинаре «Система планета Земля» (Москва, МГУ, 2018), Годичной конференции ИИЕТ РАН (Москва, ИИЕТ РАН, 2018), XI научных чтениях, посвященных памяти профессора М.В. Муратова (Москва, МГРИ, 2018), III, IV Международной научно-практической конференции «Инновации в геологии, геофизике и географии» (Севастополь, МГУ, 2018, 2019), IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, ИГМ СО РАН, 2018), Всероссийской конференции «Геодинамика. Геомеханика и геофизика» (Алтайский край, стационар «Денисова пещера», ИНГГ СО РАН, 2019), XIII Российском семинаре по технологической минералогии «Минералого-технологическая оценка твердых полезных ископаемых, проблемы рудоподготовки и обогащения минерального сырья» (Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020).

Объем и структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, 5 приложений, списка литературы и списка опубликованных работ по теме диссертации. Общий объем работы составил 213 страниц, 61 рисунок и 2 таблицы. Список литературы содержит 159 источников.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность коллегам и старшим товарищам, оказывавшим помощь, содействие, поддержку в подготовке данной работы и проведении исследований, и в первую очередь, своему научному руководителю, к.г.-м.н. Т.Ю.Тверитиновой за руководство, плодотворное сотрудничество, мудрые наставления и постоянную поддержку всеми возможными средствами.

Автор искренне признателен директору ИФЗ РАН д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН С.А. Тихоцкому и директору ГО Борок д.ф.-м.н. С.В. Анисимову за безусловную поддержку в проведении большого количества анализов на рентгеновском дифрактометре ГО Борок.

Также автор выражает признательность к. ф.-м.н. М.А. Красновой и Н.А. Егорову за тесное и плодотворное сотрудничество и дружескую позитивную атмосферу.

Автор благодарит н.с. М.А. Матвеева за высокопрофессиональные петрографические описания шлифов и м.н.с Н.А. Афиногенову за высококачественные профессиональные исследования на рентгеновском дифрактометре.

В особенности автор признателен сотрудникам лаб. фундаментальных проблем экологической геофизики и вулканологии д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН А.Л. Собисевичу, к.ф.-м.н. Р.А. Жосткову, к.ф.-м.н. Д.В. Лиходееву и к.ф.-м.н. Д.А. Преснову за бесценный геофизический опыт, плодотворное сотрудничество и насыщенные совместные полевые работы.

Автор очень тепло благодарит свою супругу за бесценную эмоциональную и моральную поддержку и создание благоприятных условий, способствующих написанию данной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Введение в проблематику

В разделе 1.1, представленном в виде экскурса во времени, показан вклад исследователей в изучение геологического строения Керченско-Таманской области, в общем, и геологии грязевого вулканизма региона. Указывается, что основной вклад в развитие представлений о геологии грязевого вулканизма внесли советские геологи, изучающие перспективные нефтяные и газовые месторождения

Керченского и Таманского полуостровов. Отмечен огромный вклад в изучение геологии региона ведущих геологов СССР И.М. Губкина, Н.Б. Вассоевича, В.В. Белоусова, Л.А. Яроцкого и многих других. Представлены имена и коллективы современных исследователей, активно участвующих в изучении геологии региона, указана ведущая роль в исследовании грязевого вулканизма Керченско-Таманской области академика НАН Украины Е.Ф. Шнюкова.

Раздел 1.2 посвящен геологической характеристике Керченско-Таманской области. В нем приводятся данные о стратиграфии горных пород на исследуемой территории и их взаимоотношениях, дается краткий палеогеографический очерк. *Отмечается, в частности, что уже с начала среднего миоцена на Таманском полуострове начали проявляться процессы глиняного диапиризма и формироваться антиклинальные зоны, а в сармате уже активно действуют подводные грязевые вулканы.* В итоге, подчеркивается, что Керченско-Таманской области в силу особенностей геологического развития, условий осадконакопления, характерных тектонических обстановок присущ грязевой вулканизм

Раздел 1.3 написан в основном по литературным данным последних десятилетий. Он посвящен краткому обзору накопленной информации по тектоническому изучению Керченско-Таманской области в аспекте грязевого вулканизма как элемента геодинамических процессов. Приведены данные современных исследований, полученных на основе современных методов исследований. Дана краткая характеристика и анализ представленной информации. Отражены представления о роли грязевого вулканизма в тектонических процессах большого спектра гипотез и моделей.

В разделе 1.4 приводится постановка задачи и план ее решения с использованием различных методов и подходов. Делается вывод о том, что на основе накопленных литературных данных, на базе современных представлений о тектоническом строении региона и с применением комплексных подходов и методик возможно построение схемы структурно-тектонических элементов Керченско-Таманской области, в том числе и грязевулканических объектов.

Глава 2. Методики исследований геодинамических условий проявления грязевого вулканизма Керченско-Таманской области

Вторая глава посвящена обзору применявшихся в данном исследовании методик и подходов. Основная проблема изучения геодинамических условий проявления грязевого вулканизма в Керченско-Таманском регионе заключается в особенностях геологического строения, главной из которых является преимущественно глинисто-терригенный состав молодых кайнозойских отложений. Значительная часть осадочных толщ нелитифицирована или слабо литифицирована, поэтому применение традиционных методик, позволяющих получить фактическую картину роли грязевого вулканизма в общей неотектонической структуре региона, не представляется возможным. В связи с этим предложен и применен комплекс современных методик и подходов широкого геологического спектра.

Основную роль играет методика структурно-кинематических и тектодинамических исследований – специальная методика парагенетического кинематического анализа дизъюнктивных структур (Лукьянов, 1965, 1991; Расцветаев, 1987), позволяющая определять основные кинематические особенности дизъюнктивных структур разных направлений в их взаимосвязи. Выявляемые с помощью анализа геолого-съёмочных, геофизических, структурно-геоморфологических и структурно-геологических данных региональные дизъюнктивные системы далеко не всегда отвечают элементарным геологическим разрывам. Это могут быть зоны повышенной трещиноватости, флексурно-складчатые зоны или сложно построенные складчато-разрывные системы, для которых используется предложенный Г.Д.Ажгиреем термин «*зоны концентрации деформаций*», обозначающий наиболее общий тип дизъюнктивных систем регионального ранга (Ажгирей, 1967).

Для изучения структурных особенностей грязевых вулканов и их приуроченности к региональным тектоническим зонам парагенетический структурный метод используется на двух структурных уровнях. Исследуется общее распределение складчато-разрывных структур в региональном плане, а в пределах некоторых конкретных грязевулканических построек также изучается трещиноватость сопочной брекчии и вмещающих горных пород.

Для определения глубины заложения корневой системы грязевых вулканов используется ряд традиционных подходов, а также метод микросейсмического зондирования:

Учет стратиграфического уровня по наличию в грязевулканической брекчии «твердых выбросов» – обломков древних горных пород;

Учет распределения зон пересечения линейных неоднородностей как возможных грязевулканических каналов;

Структурно-геофизический метод – метод микросейсмического зондирования.

Многими исследователями (Шарданов, 1962; Шнюков и др., 1986, 1992, 2005 и др.) приводились данные о наличии в сопочной брекчии грязевых вулканов обломков пород различного, в том числе и «домайкопского» возраста, что косвенно указывает на наличие глубоких корней грязевых вулканов. Современные исследователи (Дубинина, 2013; Киквадзе и др., 2014; Лаврушин и др., 1996, 2003, 2005; Тевелев, 1996, 2018; и др.) полагают, что главным источником грязевулканических растворов является глинисто-терригенная толща майкопской серии, и большинство грязевых вулканов в пределах Керченско-Таманской области характеризуется майкопским материалом в брекчии. По всей видимости, в домайкопских глинистых толщах, например, мезозойского возраста могут развиваться зоны флюидоактивного вещества.

Структурно-морфологический анализ дает возможность устанавливать распределение зон концентрации деформаций в плане. Четкая приуроченность грязевулканических построек к антиклинальным структурам, расположенных вдоль них с определенным шагом, логично объясняется наличием взаимно пересекающихся крутопадающих зон различных направлений, определяющих формирование проницаемых каналов. Вместе с тем есть и узлы пересечения крутопадающих зон концентрации деформаций и глинистых «ослабленных» толщ, на пересечении с которыми формируются главные грязевулканические очаги.

Современный метод микросейсмического зондирования позволяет получить данные о глубине расположения грязевулканических каналов крупных грязевых вулканов. Метод микросейсмического зондирования применяется для выявления преимущественно вертикальных геологических неоднородностей до глубины около 30-35 км (Горбатиков и др., 2008). Полученные с помощью этого метода распределения спектральных амплитуд микросейсмического шума вдоль профилей, пересекающих вулканическую постройку, дают представительную информацию о глубинности крупных грязевулканических построек.

Новый, перспективный подход, разработанный при изучении сопочной брекчии грязевых вулканов Керченско-Таманской области, по нашему мнению, позволяет получить новые данные о зональном расположении грязевых вулканов. В работе он носит название: «Анализ изменения скоростей упругих волн при термическом воздействии». В основе разработанного подхода лежит многостадийное нагревание унифицированных образцов со стандартным шагом 50°C с последующим ультразвуковым измерением скорости продольной волны. Метод основан на измерении времен пробега упругих волн, возбуждаемых в исследуемом образце серией повторяющихся упругих импульсов в ультразвуковом диапазоне частот.

Одной из существенных частей работы явилось изучение вещественного состава сопочной брекчии – оптический метод (изготовление и описание шлифов) и рентгенодифракционный анализ. Данные методы позволяют получить подробную, качественную и количественную информацию о

минералогическом и литологическом составе сопочной брекчии, особенностях структуры и текстуры горной породы.

Глава 3. Тектоническое районирование Керченско-Таманской области. Положение грязевых вулканов в системе разнопорядковых структур Керченско-Таманской области

В третьей главе предлагается тектоническое районирование Керченско-Таманской области с учетом распределения грязевулканических структур разного ранга. В работах исследователей грязевого вулканизма многократно отмечалось, что грязевой вулканизм связан с развитием позднекайнозойских отложений и новейших тектонических движений (Лимонов, 2004; Холодов, 2002; Шнюков и др., 2005). Такие условия наиболее ярко выражены в Керченско-Таманской межпериклиальной зоне, расположенной в створе поднятий складчатых сооружений Горного Крыма и Большого Кавказа. Зона ограничена с севера Индоло-Кубанским, и с юга Сорокина и Туапсинским краевыми прогибами, и включает поперечный Керченско-Таманский прогиб (рис. 1).

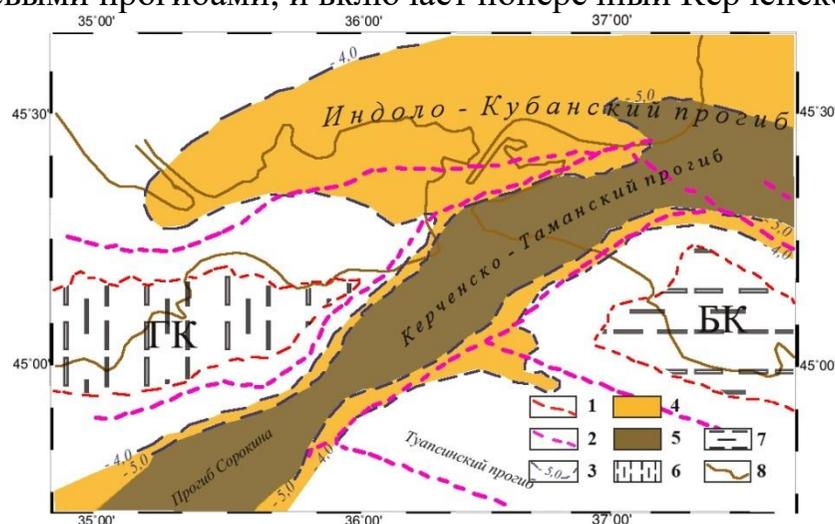


Рисунок 1. Тектоническая схема Керченско-Таманской области. Условные обозначения: 1 – Границы распространения майкопской серии; 2 – Главные разломы и зоны разломов; 3 – Изогипсы подошвы майкопской серии, км; 4 – Распространение майкопской серии мощностью до 4 км; 5 – Распространение майкопской серии мощностью до 5 км; 6 – Горно-складчатое сооружение Горного Крыма; 7 – Горно-складчатое сооружение Большого Кавказа; 8 – Граница Керченского и Таманского полуостровов. Аббревиатуры: БК – Большой Кавказ, ГК – Горный Крым.

В Керченско-Таманской грязевулканической области современный грязевой вулканизм проявляется формированием в разрезах кайнозойских отложений систем выраженных в рельефе структур центрального типа положительной и/или отрицательной морфологии, при извержении и излиянии на поверхность дегидратированной пульпы, превращающейся в полностью или частично литофицированную горную породу – так называемую *сопочную брекчию*.

Проявления грязевого вулканизма, в основном, соответствуют по площади распространения майкопской серии, что указывает на ведущую роль в формировании грязевулканических процессов именно глинистых толщ майкопа. Однако, проявления грязевого вулканизма отмечаются только в межпериклиальной зоне и не выявлены в краевых прогибах на удалении от нее. При этом, грязевые вулканы известны за пределами развития майкопской серии, на периклиналях складчатых сооружений (Белобородов, 2017). Условие наличия майкопа является важным, но не определяющим.

К основным структурным элементам грязевого вулканизма Керченско-Таманской области относят собственно грязевые вулканы в многообразии форм, структуры «вдавленных синклиналей» (по Шнюкову: «ископаемые кальдеры оседания, заполненные толщей осадочных пород»), антиклинальные

вулканами. Обычно внутри этой структуры располагается субизометричная синклиналь. Вероятно, эти системы можно рассматривать как крупные грязевулканические постройки центрального типа, выраженные центральной синклинальной депрессией и внешним кольцом диапировых антиклиналей, большинство которых сопровождается структурами грязевых вулканов.

Аналогично Керченской части Керченско-Таманской области в Таманском сегменте выделяются группы ЗКД широтной, северо-восточной, северо-западной и субмеридиональной ориентации. Широтные ЗКД представлены антиклинальными зонами сжатия; из двух групп диагональных зон системы северо-восточной ориентировки отражают деформацию сжатия и левого сдвига, северо-западной – сжатия и правого сдвига; меридиональные системы представлены структурами растяжения (рис.3).

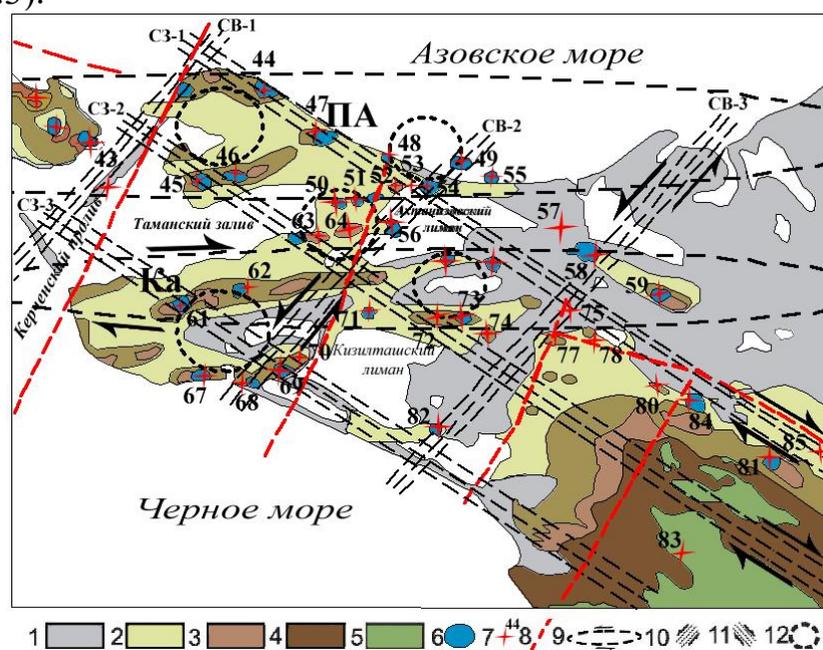


Рисунок 3. Основные структурно-тектонические элементы Таманской части Керченско-Таманской грязевулканической области на основе схематической геологической карты по (Шнюков и др., 1986). Условные обозначения: 1–5 – поля развития разновозрастных отложений: 1 – квартал, 2 – плиоцен, 3 – олигоцен–миоцен (майкопская серия), 4 – палеоцен–эоцен; 5 – мел; 6 – поля четвертичных сопочных брекчий; 7 – грязевые вулканы и их номера по (Шнюков и др., 2005); 8 – крупнейшие флексурно-разрывные зоны; 9–11 – предполагаемые зоны концентрации деформация сжатия и сдвига: 9 – широтные зоны сжатия с элементом сдвига, 10 – левосдвиговые зоны, 11 – правосдвиговые зоны; 12 – структуры центрального типа. ПА – Приазовская широтная ЗКД, Ка – Карабетовская широтная ЗКД.

Широтные зоны концентрации деформаций представлены линейными системами преимущественно субширотных антиклиналей. Главными наиболее крупными из широтных ЗКД Таманского полуострова являются Приазовская (ПА) в его северной и Карабетовская (Ка) в средней части полуострова.

На Таманском полуострове четко выделяются ЗКД северо-западного простирания. Основой структурного плана северо-западной ориентировки является непосредственно само складчатое сооружение Северо-Западного Кавказа. Его продолжение к северо-западу определяет каркас Таманского п-ова, четко очерчивая его северо-восточное и юго-западное ограничения, а также определяя особенности его внутреннего строения, в том числе границы распространения областей грязевого вулканизма.

На Таманском полуострове также отчетливо выражены структурные элементы поперечные орогену Северо-Западного Кавказа – северо-восточного простирания и тесно с ними связанные субмеридиональные. Поперечными зонами Таманская часть Керченско-Таманской области отделяется

от соседних структур (складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа и Керченской части Керченско-Таманской области), а также сама делится на Западно-Таманский и Восточно-Таманский блоки с разным уровнем эрозионно-денудационного среза.

Закономерности распределения грязевых вулканов в системе структур межпериклиальной Керченско-Таманской области отражают их приуроченность к узловым структурам пересечения продольных (субширотных) и поперечных (субмеридиональных) флексурно-разрывных зон различного порядка.

Зона в целом – узел пересечения региональных структур – Крымско-Кавказского орогена и зоны поперечных погружений.

Внутреннее строение Керченско-Таманской области определяется двумя структурными взаимно перпендикулярными планами – широтной системой складчатых структур субширотной ориентировки и поперечной системой блоков с различным эрозионно-денудационным срезом, разделенных субмеридиональными флексурно-разрывными зонами.

Сложные антиклинальные зоны представляют сочетание кулисно расположенных простых диапировых антиклиналей, что отражает транспрессивную деформацию вдоль крупных антиклинальных зон.

Распределение в системе региональных тектонических структур грязевулканических построек закономерно. Крупные грязевые вулканы Керченско-Таманской области связаны с крупнейшими и наиболее глубокими по заложению структурными элементами региона – осевой зоной Горно-Крымско–Больше-Кавказского сооружения, а также краевыми граничными ступенеобразными градиентными зонами при переходе к краевым прогибам. Эти крупнейшие структуры выражены на поверхности сложно построенными диапировыми антиклиналями, пересеченными различно ориентированными поперечными и диагональными градиентными флексурно-разрывными зонами. В Керчи это зоны: Приазовская, Парпачская и Юго-Западной равнины; на Тамани – Приазовская и Карабетовская. Именно они ответственны за глубинный грязевой вулканизм, проявленный крупнейшими сложными грязевулканическими постройками центрального типа.

Грязевые вулканы за пределами осевой части межпериклиальной зоны характеризуются меньшими размерами вулканических построек, но вместе с тем проявлением более широких грязевулканических полей, что связано с тем, что зарождение грязевулканических очагов происходит здесь главным образом на уровне майкопской серии.

Процессы грязевого вулканизма Керченско-Таманской области структурно обусловлены сочетанием разнопорядковых структур региона, включающих северную часть Черноморской впадины и южную часть Скифской плиты и Восточно-Европейской платформы в полосе, захватывающей восточную часть складчатого сооружения горного Крыма и западную часть складчатого сооружения Большого Кавказа (Белобородов, Тверитинова, 2018).

Первый структурный уровень. Керченско-Таманская область – региональный узел пересечения субширотной структуры сжатия Средиземноморского подвижного пояса (Горный Крым – Большой Кавказ) и поперечной зоны кинематически разнородных структур, выраженных как отрицательными (сам Керченско-Таманский поперечный прогиб, Восточно-Черноморская глубоководная впадина), так и положительными структурами на Скифской плите и в южной части Восточно-Европейской платформы. Проявление грязевого вулканизма сосредоточено в основном непосредственно в Керченско-Таманском прогибе, а также в Черноморской глубоководной впадине, и отвечает области развития майкопской серии. Майкопская серия развита более широко, но грязевой вулканизм сопровождает ее только в относительно узкой межпериклиальной поперечной зоне. При удалении от нее вдоль складчатых сооружений Горного Крыма и Большого Кавказа грязевой вулканизм исчезает – его проявлений нет ни в Западно-Кубанском, ни в Индольском прогибах. Это значит, что фактором грязевого вулканизма являются не только майкопские отложения. Вместе с тем проявление грязевого

вулканизма выходит за пределы межпериклиналильного поперечного прогиба непосредственно на периклинали осевых зон (Юго-Западная равнина Крыма и Семигорская зона Северо-Западного Кавказа). Из этого следует, что структурой, активизирующей грязевулканические процессы, является непосредственно сама осевая зона, в том числе и в межпериклиналильной части.

Второй структурный уровень. Межпериклиналильная зона характеризуется четким проявлением двух главных структурных планов. Крупными поперечными (антикавказскими) структурами – флексурно-разрывными зонами субмеридионального простирания – она делится на несколько блоков, характеризующихся определенным уровнем эрозионно-денудационного среза, отличающимся от уровня соседнего блока. Каждый блок представляет собой систему крупных относительно узких активно развивающихся антиклинальных структур сложного строения, разделенных более широкими просто построенными относительно неактивными синклиналильными пространствами. Общий структурный план отражает условия поперечного к складкам субмеридионального сжатия. Грязевой вулканизм приурочен практически всегда только к сложным антиклинальным структурам.

Третий структурный уровень. Каждая антиклинальная структура сложного строения является зоной сдвиговых деформаций – деформация сжатия дополняется сдвиговой деформацией. В таких транспрессивных зонах четко распознаются системы левых и правых кулис, отвечающих соответственно правосдвиговому и левосдвиговому структурам. Положение отдельных антиклиналей в антиклинальных зонах явно определяется влиянием поперечных структур, выраженных линеаментными флексурно-разрывными системами. Большинство антиклиналей представляют собой диапировые складки, в формировании которых определяющую роль играют глины майкопской серии. Вместе с тем система антиклиналей продолжается в зону, где майкопская серия выходит на поверхность или даже уже просто отсутствует. То есть майкопская серия только благоприятствует развитию диапировых структур в зонах зарождения антиклиналей вследствие совершенно другого фактора другой, более глубинной природы. Процессы грязевого вулканизма характерны для большинства антиклиналей – с ними связаны действующие или уже недействующие грязевые вулканы, или выявляется сложная зона развития положительных и отрицательных субизометричных структур, указывающих на наличие аномального структурного узла в пределах линейной зоны. И здесь отмечается важнейшая роль майкопской серии, сильно активизирующей процессы грязевого вулканизма. Но проявления грязевого вулканизма характерны для антиклиналей с более глубоким уровнем эрозионно-денудационного среза, где горных пород майкопской серии уже нет, но в разрезе присутствуют более глубокозалегающие глинистые толщи кайнозойского и даже мезозойского возраста.

Четвертый структурный уровень – уровень грязевулканических построек. Грязевые вулканы имеют различную морфологию – от простых грязевулканических построек до сложно устроенных грязевулканических полей с многочисленными небольшими сопками, сальзами и грифонами. Распределение малых грязевулканических структур в пределах сложного вулкана закономерно (это узлы решетки), т.е. положение грязевулканических построек подчиняется системе продольных и поперечных проницаемых зон.

Глава 4. Особенности строения грязевых вулканов

Рассмотрены позиция, морфология и геологические особенности некоторых наиболее крупных грязевых вулканов Керченско-Таманской области: Джау-Тепе, Джарджава (Керченский полуостров), Пекло Азовское, Карабетова гора, Шуто (Таманский полуостров).

Все грязевые вулканы, несмотря на некоторые отличия по своему внешнему облику, имеют ряд схожих черт. Морфологически это локальные структуры центрального типа.

Грязевые вулканы – структуры центрального типа. В рельефе грязевые вулканы выражены крупными положительными (Джау-Тепе, Джарджава, Карабетова гора) или отрицательными (Пекло Азовское, Шуто) структурами. Морфология грязевых вулканов разнообразна – от крупных конических построек сложного строения, формирующихся в условиях излияния или выдавливания грязекаменных масс, до плоских грязевулканических полей и солончковых озерных котловин при слабом проявлении (частичном или полном отсутствии излияний сопочной брекчии) грязевого вулканизма при дегазации в широкой области. Импульсивный характер грязевулканического процесса приводит к проседанию и обрушению кровли над опустошенными очагами и формированию структур "вдавленных синклиналей". Этот процесс осуществляется в случае подводных извержений на фоне процесса нормального осадконакопления.

Важнейшая, но не определяющая роль майкопской серии. Общим практически для всех вулканов Керченско-Таманской области является их связь с зоной развития глинистых толщ майкопской серии. Но роль майкопских отложений в формировании грязевых вулканов не определяющая. По данным микросейсмического зондирования сами вулканы являются частью сложной системы проницаемых каналов разгрузки сопочной брекчии, основного продукта грязевого вулканизма. По данным геохимических, литологических исследований, источником сопочной брекчии являются глинистые толщи, существенную часть которых составляют отложения майкопской серии. Тем не менее, в покровных и жерловых фациях сопочной брекчии встречаются обломки песчано-глинистых, известняковых и пр. разностей, датируемых разным возрастом, в том числе мезозойским. Это значит, что корневые зоны грязевых вулканов опускаются гораздо ниже уровня майкопской серии (на глубины до 10 км и более), т.е. связаны с глубинными каналами, по которым, вероятно, происходит выделение газов (Шнюков, 2005 и др.). При пересечении каналами уровня майкопской серии происходит активизация глинистого вещества, что усиливает и грязевулканические процессы.

Структурная позиция грязевых вулканов. Все грязевые вулканы приурочены к протяженным линейным антиклиналям диапирового характера. Ориентировка антиклиналей незначительно меняется от северо-восточной до запад-северо-западной, но подавляющее большинство подобных структур организованы в субширотные зоны концентрации деформаций сжатия.

Положение грязевых вулканов в пределах диапировых антиклиналей в линейных субширотных зонах сжатия определяется также еще одним дополнительным фактором – наличием в этих местах поперечных или диагональных к антиклиналям структур линейamentного характера, отражающих наличие соответствующих ослабленных зон отрывного типа в виде зон повышенной трещиноватости и малоамплитудных отрывов.

Наиболее крупные грязевые вулканы Керченско-Таманской области связаны с наиболее глубокими крупнейшими структурными элементами региона – осевой зоной Горно-Крымско – Больше-Кавказского сооружения и ее ближайшими граничными ступенеобразными градиентными зонами при переходе к краевым прогибам, выраженными на поверхности сложно построенными диапировыми антиклиналями. Именно они ответственны за глубинный грязевой вулканизм, проявленный крупнейшими грязевулканическими постройками центрального типа, с источником сопочной брекчии в глинистых толщах нижнего мела, а возможно и нижней – средней юры.

Увеличение количества грязевых вулканов вне этой главной зоны, меньшие размеры их вулканических построек с проявлением более широких грязевулканических полей связано с тем, что основным уровнем зарождения грязевулканических очагов явился уровень главным образом майкопской серии.

Глава 5. Трещиноватость грязевых вулканов и вмещающих горных пород

Результаты изучения трещиноватости и молодых дизъюнктивов в сопочной брекчии грязевых вулканов и вмещающих их геологических объектов рассмотрены на примере некоторых грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической области: Шуто, Карabetова гора, пекло Азовское (Тамань), Булганак, Джау-Тепе, Джарджава (Керчь) (рис. 4).

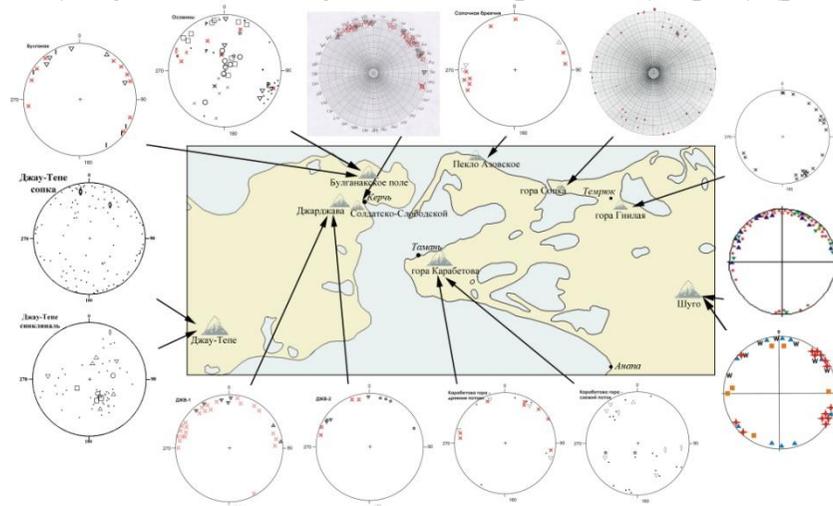


Рисунок 4 Схема изучения трещиноватости сопочной брекчии грязевых вулканов и сопочных полей, а также вмещающих и перекрывающих их горных пород – преимущественно, карбонатных (известняк, мергели) неогенового возраста Керченско-Таманской области.

По результатам анализа замеренной в сопочной брекчии и вмещающих и подстилающих горных породах рамы, замеров трещиноватости различного кинематического типа, сделаны выводы по ее (трещиноватости) распределению и условиям формирования.

Трещиноватость сопочной брекчии грязевых вулканов. В локальных грязевулканических постройках центрального типа преобладают структуры, характерные для пластических горных пород при течении из центра извержения: концентрические "пластичные" валики сжатия и формирующиеся при усыхании грязевулканических масс радиальные (по течению) системы трещин отрыва. Вместе с тем, распределение отрывных структур не хаотично. Часто они концентрируются в характерные зоны сдвиговых деформаций с доминирующим направлением зон, которое отражает структурные направления вмещающих и подстилающих горных пород рамы. Зона сдвиговых деформаций выглядит как эшелонированная система структур отрыва. Направления сдвиговых перемещений в выделенных зонах отвечают региональным полям напряжений, выявляемым по структурам разрушения вмещающих толщ.

Локальные центры дегазации и грифоны также выстраиваются линейно, в цепочки, соответствующие по ориентировке региональным структурным направлениям.

В протяженных потоках сопочной брекчии выражены парагенезы структур течения; сами потоки ориентированы в соответствии с направлениями региональных структур, играющих роль своеобразного каркаса для направления течения грязевулканического потока.

Различный характер распределения дизъюнктивных структур разновозрастных покровов и потоков сопочной брекчии сложных полифазных грязевых вулканов указывает на изменения напряженного состояния при формировании грязевулканической постройки (рис.5).

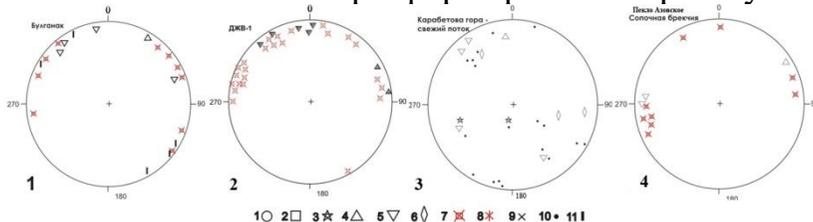


Рисунок 5 *Трещинные структуры разрушения в сопочной брекчии грязевулканических полей и потоков грязевых вулканов Керченско-Таманской области: 1. Грязевулканическое поле Булганакского грязевулканического очага; 2. Грязевой вулкан Джарджава; 3. Грязевулканическое поле грязевого вулкана Карabetова Гора; 4. Грязевой вулкан Пекло Азовское. Условные обозначения: 1 – взбросы; 2 – сбросы; 3 – сбросо-взбросы; 4 – правые сдвиги; 5 – левые сдвиги; 6 – сдвиги; 7 – отрывы; 8 – жилы; 9 – элементы залегания слоистости; 10 – немые трещины; 11 – цепочки грязевулканических центров.*

Трещиноватость вмещающих и подстилающих горных пород рамы. Все грязевые вулканы связаны с тектонически активными зонами сжатия – диапировыми, часто надразломными антиклиналями. Складчатые диапировые структуры фиксируются быстро меняющимися ориентировками слоистости от пологого падения до субвертикального. В литологически разнообразных толщах при этом развиваются структуры разрушения различного кинематического типа. Характерно формирование взбросо-сбросовых поясов вращения, включающих зеркала скольжения с различным углом наклона, но близкого простирания (обычно они субпараллельны простиранию диапировой складки) со взбросовыми или сбросовыми перемещениями. Часто роль таких структур выполняют послонные трещины на разнонаклонных крыльях. Слоистость нарушена преимущественно поперечными к ней двумя главными системами трещин вкрест ее простирания (преимущественно крутопадающие структуры отрывного типа) и вдоль простирания (разнонаклонные трещины, дополняющие сбросо-взбросовый пояс вращения на крыльях складчатых структур).

Большинство трещинных структур несут признаки сдвиговых смещений. На участках пологих залеганий слоистости в местах наличия компетентных горных пород характерны субпослойные зеркала скольжения, свидетельствующие о концентрации смещений на резких литологических контактах (рис.б).

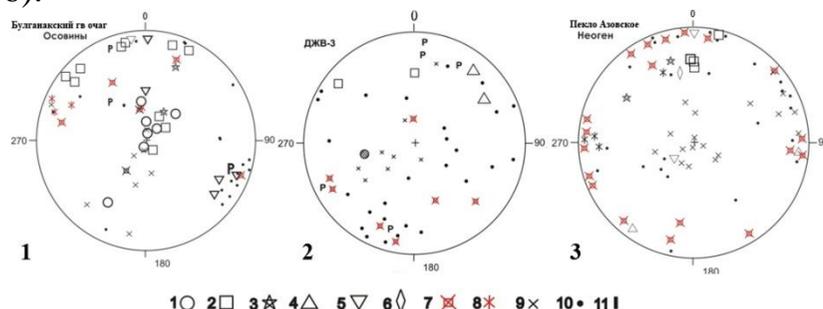


Рисунок 6 *Трещинные структуры разрушения в вмещающих горных породах грязевых вулканов Керченско-Таманской области: 1. Неогеновые известняки на крыльях складки Булганакского грязевулканического очага. Осовины.; 2. Карбонатные горные породы вдавленной синклинали грязевого вулкана Джарджава; 3. Глинисто-терригенные толщи (N_{1-2}) на крыльях складки грязевого вулкана Пекло Азовское. Условные обозначения: 1 – взбросы; 2 – сбросы; 3 – сбросо-взбросы; 4 – правые сдвиги; 5 – левые сдвиги; 6 – сдвиги; 7 – отрывы; 8 – жилы; 9 – элементы залегания слоистости; 10 – немые трещины; 11 – цепочки грязевулканических центров.*

Несмотря в целом на неблагоприятные объективные условия проявления дизъюнктивных структур в сопочной брекчии грязевулканических построек, применение актуалистического и парагенетического подходов к изучению рассматриваемых объектов и их окружения позволяет получить структурную информацию, указывающую на условия зарождения и формирования грязевулканических структур.

Трещиноватость вмещающих и подстилающих пород грязевых вулканов отражает историю формирования диапировых антиклиналей как сложных структур сжатия с проявлением поперечных сжатию сбросо-взбросовых поясов вращения, в том числе со структурами покровного типа на литологических контрастах, систем различно ориентированных сдвигов, а также поперечных направлению сжатия систем отрывов.

В сопочной брекчии грязевых вулканов развита различно ориентированная контракционная трещиноватость преимущественно отрывного типа, отражающая особенности деформации сопочной брекчии при грязевулканическом процессе. Неравномерность распределения отрывов отражает не только особенности течения потока, но и особенности структуры подстилающих и вмещающих горных пород рамы. Кинематические особенности включающих структуры отрыва зон сдвиговых деформаций указывают на влияние процесса структурообразования при формировании грязевого вулкана действующих полей тектонических напряжений.

Таким образом, трещиноватость вмещающих грязевулканические постройки кайнозойских деформированных толщ и сопочных брекчий отражает сложную многостадийную историю формирования диапировых антиклиналей и осложняющих их складчато-разрывных и грязевулканических структур. Контракционные трещины сопочной брекчии соответствуют особенностям структуры грязевых вулканов и динамики их развития, а также косвенно указывают на структурную организацию вмещающих грязевулканические каналы породных массивов.

Глава 6. Петрофизические исследования сопочной брекчии Керченско-Таманской области

Для решения практической задачи: «Получить данные о литологическом и минералогическом составе сопочной брекчии грязевых вулканов как об источнике информации формирования очагов», были проведены лабораторные исследования скоростной характеристики продольной волны в сопочной брекчии. Для решения этой задачи был разработан подход «контроль изменения скоростей продольных волн сопочной брекчии при термовоздействии». Изменения скоростей упругих волн в образцах сопочной брекчии измерялись в процессе многократного поэтапного нагрева. Ультразвуковые исследования образцов сопочной брекчии со всех вулканов проводились по одной и той же схеме: скорости продольных волн измерялись ежедневно многократно, измерения были разделены периодами прогрева. Прогрев горной породы проводился в течение 6 часов, температура прогрева ежедневно увеличивалась на 50°C с последующим постепенным охлаждением до комнатной температуры при контроле относительной влажности воздуха в помещении. Температура прогрева изменялась от 24 до 1100°C. В ходе четырехлетних исследований была получена информация о петрофизических свойствах сопочной брекчии некоторых грязевых вулканов Керченско-Таманской области, систематизирована для формирования обобщающих выводов (рис.7).

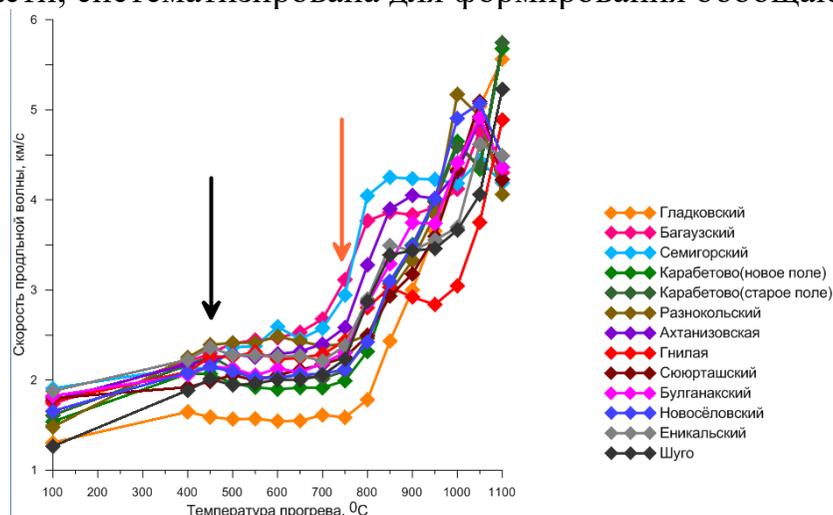


Рисунок 7. Изменение скорости продольной волны в процессе нагрева. Стрелками указаны начальные этапы изменений вещества сопочной брекчии при нагреве.

Было выделено и проанализировано несколько этапов изменения скорости:

I этап нагрева. Интервал 24-400°C

Нагрев до 100°C для всех образцов сопочной брекчии обусловил увеличение скорости продольных волн, а также увеличение декремента поглощения. Это обусловлено потерей свободной, не связанной воды.

100-400°C Образцы теряют межслоевую воду глинистых минералов смешаннослойной группы (иллит, монтмориллонит и др.). Повышение температуры прогрева приводит к дальнейшему росту скорости продольных волн. Скорость в среднем возрастает на 30% от первоначальной.

II этап нагрева. Интервал 450-750°C. Химически связанная вода начинает удаляться при температуре 450°C сначала медленно, а затем ускоряется при 600°C. Процесс сопровождается увеличением пористости вещества (Зайонц, Кордонская, 1966). Изменение скорости от температуры принимает обычный характер, т.е. скорости продольных волн падают с ростом температуры.

III этап нагрева. Интервал 800-1100°C. Потеря химически связанной воды заканчивается при температуре 800 °C. Начинается процесс перекристаллизации вещества. Увеличивается скорость расплавления минералов низких температур плавления и диссоциации карбонатов, сульфидов, сульфатов и восстановления окислов железа. Растет аморфная фаза вещества (Афиногенова и др., 2020). Наблюдается существенный рост скорости продольных волн в 1,5 – 2 раза.

Выделенные типы изменений скоростей продольной волны от нагрева позволили обособить измеряемые образцы на 3 группы (рис. 8), которые по нашему предположению, можно отнести к различным очагам грязевулканического материала.

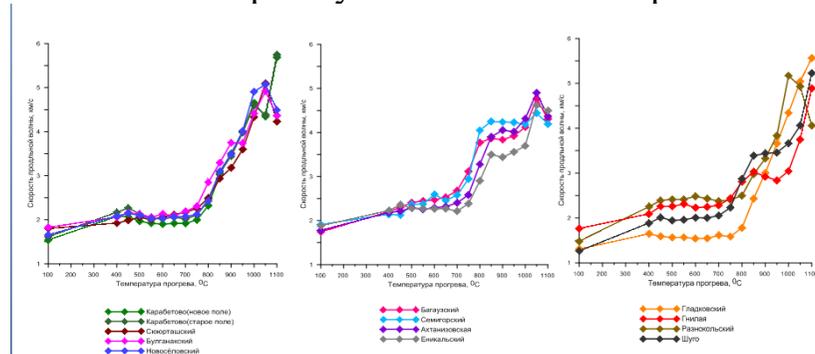


Рисунок 8. Группы, обобщающие все сходные признаки всех температурных интервалов. Первая группа, грязевые вулканы: Карабетова гора; Сююрташский; Булганакский; Новосёловский. Вторая группа: Бугазский; Семигорский; Ахтанизовская сопка; Еникальский. Третья группа: Гладковский; Гора Гнилая; Разнокольский; Шуго.

Рассматривая выделившиеся группы по признаку характера изменения скоростей продольных волн, а также по территориальной обособленности, литологическому и минералогическому составу можно сформулировать признаки распределения групп.

1. Изменение скоростей продольных волн в сопочной брекчии при применении подхода «контроль изменения скоростей продольных волн сопочной брекчии при термовоздействии» зависят от литологического и минералогических составов сопочной брекчии.
2. Полученные параметры изменения скоростей продольных волн указывают на определенную зональность в их распределении: они группируются в три области: «Керченскую», «Таманско-Кавказскую» и «Предкавказскую» (рис.9).
3. Важнейшее значение имеет контур по средней Таманско-Кавказской области («Таманско-Кавказский»), объединяющей грязевые вулканы различного типа, что естественно вызывает предположение о влиянии на свойства сопочной брекчии структурно-тектонического фактора, определяющего единство зоны Кавказского орогена и его продолжения в Керченско-Таманский поперечный прогиб. Косвенно это указывает на влияние на грязевулканический процесс глубинных источников.

4. Наиболее различными параметрами характеризуется Предкавказская зона, что возможно связано с тем, что грязевулканический процесс происходит здесь на контакте орогена и его платформенного обрамления (Скифская плита, в фундаменте которой широко распространены магматические комплексы).
5. Относительно близкие параметры по изменению скоростей продольных волн в «Керченской» и «Таманско-Кавказской» зонах указывают на то, что формирование грязевых вулканов в близосевой зоне новейших орогенов (Горно-Крымского и Больше-Кавказского) и в межпериклинальной между ними области определялось влиянием сходных процессов: современной активностью крупнейших (а соответственно имеющих вероятно глубинные корни) тектонических структур региона, в которых происходит активизация флюидодинамических потоков, способствующих развитию грязевого вулканизма.

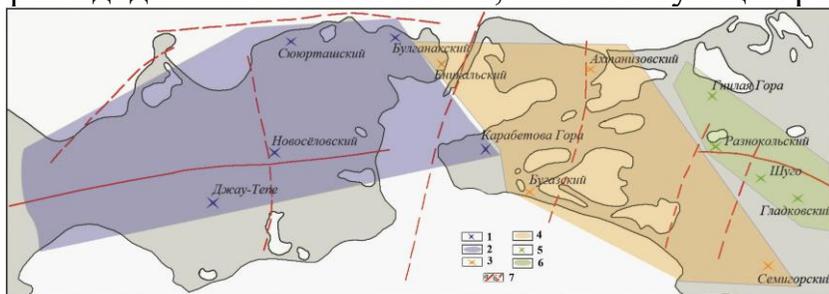


Рисунок 9. Зональность Керченско-Таманской грязевулканической области по результатам исследований. 1 – Грязевые вулканы «Керченской зоны»; 2 – «Керченская зона» распространения грязевых вулканов; 3 – Грязевые вулканы «Таманско-Кавказской зоны»; 4 – «Таманско-Кавказская зона» распространения грязевых вулканов; 5 – Грязевые вулканы «Предкавказской зоны»; 6 – Зона распространения грязевых вулканов «Предкавказской зоны»; 7 – Разломы а – достоверные, б – предполагаемые.

Характер кривых зависимости скоростей продольных волн при нагревании сопочной брекчии является закономерным результатом, зависящим от условий формирования грязевулканических очагов, геологических, минералогических и тектонических.

Характер кривых зависимости скоростей продольных волн при нагревании является уникальным для каждого грязевулканического очага и может, в дальнейшем, стать одной из характеристик изучения вещественного состава, наряду с минералогическими и химическими анализами.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что Керченско-Таманская грязевулканическая область имеет зональность в распределении грязевулканических очагов, зависящую от влияния процессов в осевой зоне новейших орогенов и на их продолжении в разделяющий межпериклинальный прогиб.

Глава 7. Минералогия и литология сопочных брекчий Керченско-Таманской области

По результатам вещественных анализов (РФА) и изучением шлифов были получены минералогические и литологические составы сопочных брекчий ряда грязевых вулканов Керченско-Таманской области. Выделены общие для всех изученных разновидностей сопочной брекчии компоненты – кварц 40-60%, полевой шпат (преимущественно альбит и анортит) до 20 % и минералы глин. Более подробный анализ дает возможность соотнести минеральный состав сопочной брекчии с минералогическим составом горных пород майкопской серии. Сопочную брекчию можно охарактеризовать как *полимиктовую, кварц-полевошпатовую полиагрегатную обломочную горную породу с матриксом глинистых минералов.*

В изученных шлифах часто проявлена динамика выделения сопочной брекчии, например, флюидальная текстура, однонаправленное расположение зерен (чешуек) глинистых минералов, что также является особенностью данной горной породы. Собранный материал позволяет охарактеризовать минералогический и литологический состав сопочной брекчии, как сходный для большинства грязевых вулканов, так и различный для грязевых вулканов окраинной части Керченско-Таманской грязевулканической области, прилегающей непосредственно к Керченско-Таманской области со стороны складчатого сооружения Большого Кавказа (грязевые вулканы Шуго, Гладковский, Семигорский и др.). Вероятно, это различие связано с существенно меньшей ролью майкопских толщ (для грязевого вулкана Семигорский их отсутствием) в генерации флюидонасыщенного поставляемого вещества (глинистой пульпы). Текстура, выраженная в шлифах, позволяет определить особенности динамических режимов работы грязевых вулканов – грязевые вулканы Шуго, Разнокольский.

Заключение

Подводя итог данному исследованию, можно констатировать, что все поставленные задачи выполнены, а цель работы достигнута. В ходе исследования получены новые результаты, сделан ряд выводов:

Современное геодинамическое развитие Керченско-Таманской области тесным образом связано с процессом грязевого вулканизма, который проявлен в регионе как закономерный результат разноориентированных разновозрастных деформационных режимов;

Грязевые вулканы Керченско-Таманской грязевулканической области встроены в сложно построенную систему взаимодействия зон деформаций, являясь как обязательным признаком взаимодействия этих зон, так и результатом активного неотектонического процесса;

Изучение трещиноватости структур грязевого вулканизма позволяет получить достоверную информацию о развитии глиняных диапиров и о сопряженных с ними складчато-разрывных структур;

Грязевые вулканы группируются зонально по признаку изменения скоростных характеристик продольных волн в сопочной брекчии, что является подтверждением связи грязевых вулканов с зонами концентрации деформаций.

В работе представлен результат полевой, камеральной и экспериментальной работы в течение нескольких лет. Проанализированы и систематизированы результаты по геологии, литологии, парагенетическому анализу, структурной геологии, неотектонике, геофизике (метод микросейсмического зондирования), петрофизике (подход: «контроль изменений скоростей упругих волн при термическом воздействии»).

Предложены и применены комплексные мультидисциплинарные методы для решения поставленных задач. Разработан и успешно применен новый авторский подход по изучению изменений скоростей продольных волн в сопочной брекчии в зависимости от термических воздействий.

Создана уникальная коллекция сопочной брекчии Керченско-Таманской грязевулканической области, сделаны и описаны литологические шлифы, создана уникальная шлифотека, собрана актуальная информация о структурно-геологическом и тектоническом состоянии Керченско-Таманской области.

На основе парагенетического анализа составлена разнопорядковая схема структур Керченско-Таманской грязевулканической области.

В результате, получена зональность грязевых вулканов в пределах Керченско-Таманской грязевулканической области, обоснованная петрофизическими и литолого-минералогическими методами.

Собранные данные позволят уточнить неотектоническую обстановку, структурировать грязевулканические процессы в пределах Керченско-Таманской грязевулканической области. Обширная база собранных и систематизированных данных (геологических, тектонических, геофизических, литолого-минералогических, петрофизических) дает возможность углубленно и направленно проводить исследования по различным аспектам неотектонического развития региона и связи с грязевым вулканизмом.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Собисевич А.Л., Тверитинова Т.Ю., Лиходеев Д.В., **Белобородов Д.Е.**, Дударов З.И., Долов С.М., Преснов Д.А., Пузич И.Н. Глубинное строение грязевого вулкана Джарджава в пределах Южно-Керченской антиклинальной структуры // Вопросы инженерной сейсмологии, 2015, Т.42 №2, С.73-80
2. Преснов Д.А., Жостков Р.А., Лиходеев Д.В., **Белобородов Д.Е.**, Дударов З.И., Долов С.М. Новые данные о глубинном строении грязевого вулкана Джау-Тепе // Вулканология и сейсмология. № 3., Москва, 2020, С. 34–45.
3. Скрыпицына Т. Н., **Белобородов Д. Е.**, Флоринский И. В. Грязевой вулканизм Таманского полуострова по данным дистанционного зондирования и геоморфометрического моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. № 5., Москва, 2020, С. 532–540.
4. Егоров Н. А., Краснова М. А., **Белобородов Д. Е.**, Матвеев М.А, Афиногенова Н.А. Акустические исследования глинистых пород в процессе термального метаморфизма // Геофизические исследования. № 1., Москва, 2021, Т. 22, С. 68–87.

Прочие публикации:

1. Тверитинова Т. Ю., **Белобородов Д. Е.**, Лиходеев Д. В. Грязевые вулканы в структуре Керченского полуострова // Электронный научно-образовательный журнал Динамическая геология. № 1, Москва, 2020, С. 38–54
2. Тверитинова Т. Ю., **Белобородов Д. Е.** Грязевые вулканы в неотектонической структуре Таманского полуострова // Электронный научно-образовательный журнал Динамическая геология. № 2, Москва, 2020, С. 157-186
3. Казначеев П.А., **Белобородов Д.Е.**, Майбук З.Ю., Матвеев М.А, Афиногенова Н.А. О возможности лабораторного выделения стадий и условий высокотемпературного обжига сопочной брекчии при помощи метода акустической эмиссии // Наука и технологические разработки. Т. 98, № 2., Москва, 2019, С. 5–24.
4. Kaznacheev P. A., **Beloborodov D. E.**, Maibuk Z.-Y. Y., Matveev M.A., Afinogenova N.A. Laboratory possibility for revealing stages and conditions of high-temperature firing of mud breccia using acoustic emission et al. // Seismic Instruments. Vol. 56, no. 4. 2020. P. 399–410.
5. Presnov D.A., Zhostkov R.A., Likhodeev D.V., **Beloborodov D.E.**, Dudarov Z.L., Dolov S.M. New evidence for the deep structure of the Dzhau-tepe mud volcano // Journal of Volcanology and Seismology. Vol. 14, no. 3. 2020. P. 166–176.
6. Skrypitsyna T.N., Florinsky I.V., **Beloborodov D.E.**, Gaydalenok O.V. Mud volcanism at the Taman Peninsula: Multiscale analysis of remote sensing and morphometric data // Remote Sensing. Vol. 12, no. 22. 2020. # 3763.

Материалы и тезисы докладов:

1. **Белобородов Д.Е.** Некоторые особенности Керченско-Таманской области как элемента Керченско-Таманской межпериклинальной зоны и проблемы происхождения грязевых вулканов // Материалы X Международно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, 2017, Т.1, С.

2. **Белобородов Д.Е.,** Егоров Н.А., Краснова М.А. Новый петрофизический подход в изучении сопочной брекчии грязевых вулканов // Сборник тезисов "IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле", И.: ИПЦ НГУ, Новосибирск, 2018, С.57-59

3. **Белобородов Д.Е.,** Егоров Н.А., Краснова М.А. Исследования скоростей и затухания продольной волны в образцах сопочной брекчии Керченско-Таманских грязевых вулканов при воздействии высоких температур // Девятнадцатая международная конференция "ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ" Материалы конференции. И.: ИГЕМ, Москва, 2018, С.36-38

4. **Белобородов Д.Е.,** Егоров Н.А., Краснова М.А. Некоторые особенности изменения скоростей продольной волны в сопочной брекчии (Керченско-Таманская грязевулканическая область) при воздействии высоких температур // Двадцатая международная конференция "ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ" Материалы конференции. И.: ИГЕМ, Москва, 2019, С.30-33

5. **Белобородов Д.Е.,** Егоров Н.А., Краснова М.А. Контроль изменений скоростей упругих волн при термическом воздействии в пластичных (глинистых) породах // Труды III Международной геолого-геофизической конференции и выставки ГеоЕвразия 2020 Современные технологии изучения и освоения недр Евразии. Т. 1, И.: ООО ПолиПРЕСС Тверь Москва, 2020, С. 182–185

6. **Белобородов Д.Е.,** Егоров Н.А., Краснова М.А. Новый экспериментальный подход к изучению характеристик упругих волн в пластичных породах и осадках // Двадцать первая международная конференция "ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ" Материалы конференции. И.: ФГУП Издательство «Наука», Москва, 2020, С.31-34

7. **Белобородов Д.Е.,** Егоров Н.А., Краснова М.А., Матвеев М.А., Афиногенова Н.А. Новые данные о петрофизических и минералогических изменениях в сопочной брекчии при термальных воздействиях // Двадцать первая международная конференция "ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ" Материалы конференции. И.: ФГУП Издательство «Наука», Москва, 2020, С.35-37

8. **Белобородов Д.Е.,** Тверитинова Т.Ю. Сравнение тектонических и геологических обстановок некоторых грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической провинции // Материалы Пятой Всероссийской конференции «Полевые практики в системе высшего образования», ООО "Издательство ВВМ" Санкт-Петербург, 2017, С.144-146

9. **Белобородов Д.Е.,** Тверитинова Т.Ю. Трещинные структуры грязевых вулканов и вмещающих толщ Керченско-Таманской грязевулканической области // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы шестой молодежной тектонофизической школы-семинара. М.: ИФЗ, Москва, 2019, С.77-83

10. **Белобородов Д.Е.,** Тверитинова Т.Ю. Складчатые и разрывные структуры Керченско-Таманской межпериклинальной зоны, контролирующей грязевой вулканизм. // Материалы I Тектонического совещания ПРОБЛЕМЫ ТЕКТониКИ И ГЕОДИНАМИКИ ЗЕМНОЙ КОРЫ И МАНТИИ, Москва, ГЕОС, 2018, Т.2, С.237-241

11. **Белобородов Д.Е.,** Тверитинова Т.Ю. Особенности грязевого вулканизма Керченского полуострова // Сборник тезисов "IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле", И.: ИПЦ НГУ, Новосибирск, 2018, С.54-56

12. **Белобородов Д.Е.,** Тверитинова Т.Ю. Связь нефтегазоносности и грязевого вулканизма в Керченско-Таманской зоне // Материалы 3-й Международно-практической

конференции «Инновации в геологии, геофизике и географии», Изд. «Перо», Москва, 2018, С.20-22

13. **Белобородов Д.Е.**, Тверитинова Т.Ю. О косвенных признаках наличия у грязевых корней грязевых вулканов Керченско-Таманской межпериклинальной зоны // Материалы семинара Система – планета Земля, Изд. ЛЕНАНД, Москва, 2018, С.370-378

14. **Белобородов Д.Е.**, Тверитинова Т.Ю. Структурное положение грязевых вулканов межпериклинальной Керченско-Таманской зоны // Материалы ЛП Тектоническое совещание Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Т. 1. Изд. ГЕОС, Москва, 2020, С. 65–69.

15. Казначеев П.А., **Белобородов Д.Е.**, Майбук З.Ю., Матвеев М.А, Афиногенова Н.А. Исследование процесса термической литификации сопочной брекчии методом акустической эмиссии // Двадцатая международная конференция Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: Материалы конференции. ИГЕМ РАН Москва, 2019, С. 130–134.

16. Преснов Д.А., Антонов А.Н., **Белобородов Д.Е.**, Жостков Р.А., Лиходеев Д.В., Шабалина А.С. Сейсмоакустические технологии в задачах мониторинга глубинного строения подводных вулканов // Труды XIV Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики» Санкт-Петербург, И.: ЛЕМА СПб, 2018, С.408-411

17. Преснов Д.А., **Белобородов Д.Е.**, Долов С.М., Дударов З.И., Жостков Р.А., Лиходеев Д.В. Трехмерное строение грязевого вулкана Джау-Тепе по данным микросейсмического зондирования // Тезисы докладов научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, 2016, С.54

18. Преснов Д.А., **Белобородов Д.Е.**, Жостков Р.А., Лиходеев Д.В. Возможность использования дисперсии скорости поверхностной волны для изучения глубинного строения грязевых вулканов // Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: Тезисы докладов и программа Конференции. ИФЗ РАН, Москва, 2017, С.59

19. Собисевич А. В., **Белобородов Д. Е.** История изучения Керченско-Таманской грязевулканической провинции // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. Годичная научная конференция, 2018, Изд. Янус-К Москва, 2018., С. 491–494.

20. Собисевич А.Л., Дударов З.И., Лиходеев Д.В., Долов С.М., **Белобородов Д.Е.**, Преснов Д.А. Новые данные о глубинном строении грязевого вулкана «Пекло Азовское» (Россия, Краснодарский край, Таманский полуостров) // Материалы 10-й Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных» ГС РАН, Республиканский центр сейсмологической службы при Национальной академии наук Азербайджана, 2015, С.308-311

21. Тверитинова Т.Ю., Долов С.М., Дударов З.И., **Белобородов Д.Е.** Грязевой вулкан Пекло Азовское: положение в региональной структуре, поверхностное проявление, особенности строения канала дегазации // Материалы III школы-семинара «Гординские чтения» ИФЗ РАН, Москва, 2015, С.119-123

22. Тверитинова Т.Ю., **Белобородов Д.Е.**, Симонов Д.А., Брянцева Г.В. К проблеме возраста грязевых вулканов Керченского полуострова // Материалы Международной молодежной научно-практической конференции «Инновации в геологии, геофизике и географии-2019», Изд. «Перо», Москва, 2019, С.136-138

23. Тверитинова Т.Ю., **Белобородов Д.Е.** О косвенных признаках наличия глубоких корней у грязевых вулканов Керченско-Таманской межпериклинальной зоны // Система "Планета Земля": 200 лет со дня кончины Михаила Богдановича Баркляя-де-Толли (1761-1818). Сборник трудов участников ежегодного семинара «Планета Земля», Изд. ЛЕНАНД, Москва, 2018, С.370-378

24. Тверитинова Т.Ю., **Белобородов Д.Е.** Структурная обусловленность грязевого вулканизма Таманского полуострова // Пятая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. “Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле” Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием, 5-9 октября 2020 г., г. Москва. М.: ИФЗ. 2020, С.284-291

25. Presnov D.A., Likhodeev D.V., Zhostkov R.A., **Beloborodov D.E.** Different approaches in using surface waves data to image volcanoes structure on the example of Taman peninsula shelf // European Seismological Commission 36th General Assembly. Malta. 2018. P.530-531