

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 2022

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 имени М. В. Ломоносова.

Официальные оппоненты: **Макеев Владимир Михайлович** – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, И.О. зав. лабораторией эндогенной геодинамики и неотектоники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геоэкологии им. Е. М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН).

Соколов Сергей Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории неотектоники и современной геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Российской академии наук (ГИН РАН).

Ведущая организация: **Акционерное общество «Южное научно-производственное объединение по морским геологоразведочным работам» (г. Геленджик).**

Защита диссертации состоится 31 марта 2022 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д.002.001.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта 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. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации 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 « ____ » февраля 2022г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
Кандидат геолого-минералогических наук



В.А. Камзолкин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы:

Работа посвящена решению актуальной задачи – изучению геодинамических условий проявления грязевого вулканизма Керченско-Таманской области, что определяется назревшей необходимостью выявления связи этого интереснейшего явления с тектоническими и геодинамическими процессами в регионе. Систематического изучения грязевого вулканизма с целью выявления его роли в эволюции и тектоническом развитии региона не проводилось.

Сложной задачей является изучение внутреннего строения и механизма функционирования грязевулканических очагов. Прямые способы изучения внутреннего строения глубоких частей грязевых вулканов не применимы, в связи с чем приходится привлекать нестандартные методы исследований, такие как метод микросейсмического зондирования, позволяющий определять морфологию и строение подводющего 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 подводящих каналов, осуществляющих транспорт грязевулканической брекчии вместе с газово-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 ее достижения необходимо было решить следующие задачи:

- Изучить геологическое и тектоническое строение Керченско-Таманской грязевулканической области с привлечением литературных данных и проведением полевых работ;
- Провести изучение главных элементов грязевулканических структур: грязевых вулканов, вдавленных синклиналей, грязевулканических объектов и вмещающих кайнозойских осадочных толщ;
- Провести изучение трещиноватости грязевулканических построек и вмещающих и подстилающих их толщ;
- Провести изучение грязевулканических очагов, как структур высшего порядка с применением комплексных методов, позволяющих расширить знания о строении подводящих каналов грязевых вулканов;
- 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. Особое внимание было уделено изучению трещиноватости сопочной брекчии грязевых вулканов и вмещающих их комплексов 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 подводящих 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. Трещиноватость вмещающих грязевулканические постройки кайнозойских деформированных толщ отражает сложную многостадийную историю формирования диапировых антиклиналей и осложняющих их складчато-разрывных структур.
2. Грязевые вулканы – часть системы сложных пронизываемых каналов разгрузки сопочной брекчии, выраженных на поверхности структурами центрального типа положительной и отрицательной морфологии; источником сопочных брекчий являются разновозрастные глинистые толщи, в первую очередь майкопской серии, но и более древние меловые и даже юрские песчано-глинистые образования, попадающие в пронизываемые каналы.
3. Положение грязевых вулканов Керченско-Таманской области определяется сочетанием главных разнопорядковых широтных складчато-разрывных диапировых и секущих их сдвигораздвиговых структур в межпериклиналиной зоне Горнокрымского и Большекавказского сооружений.

Научная новизна выполненных исследований заключается в следующем:

- Получена качественно новая информация о грязевых вулканах на основании комплексирования структурно-морфологических, геолого-структурных, структурно-геофизических, геохимических методик и подходов.
- 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 межпериклиналиной Керченско-Таманской области.
- Построена новая структурно-кинематическая схема Керченско-Таманской области с выделением разноориентированных зон концентрации деформаций различного кинематического типа, в системе которых грязевые вулканы являются закономерным структурным элементом деформированных кайнозойских комплексов.
- В рамках данного исследования разработан новый подход к изучению сложных многокомпонентных глинисто-пластичных горных пород и осадков с использованием ультразвукового зондирования при многостадийном нагревании.
- 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 грязевулканические объекты Керченско-Таманской области с целью изучения геологических особенностей их строения и положения в региональной структуре Керченского и Таманского полуостровов. В процессе полевых работ автором исследованы грязевые вулканы Керченского (12 объектов) и Таманского (20 объектов) полуостровов. Проведено изучение трещиноватости грязевулканической брекчии и вмещающих и подстилающих их структур; собраны минералогические и литологические коллекции сопочной брекчии ряда грязевых вулканов. 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 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 данные, анализ которых позволил выявить зональность грязевулканических очагов Керченско-Таманской области.

Апробация работы и публикации:

По теме диссертации автором опубликовано 35 научных работ, в том числе 7 статей в ведущих рецензируемых журналах (3 из которых входят в перечень ВАК), 21 статья 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» (Республика 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, XXI, XXII Международной конференции «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле» (Москва, п. Борок, ИФЗ РАН, ГО «Борок», 2017, 2018, 2019, 2020, 2021), III Международной геолого-геофизической конференции «Современные технологии изучения и освоения недр Евразии» ГеоЕвразия-2020 (Москва, 2020), V, VI, VII молодежной тектонофизической школе-семинаре (Москва, ИФЗ РАН, 2017, 2018, 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), 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) и других.

Объем и структура диссертации:

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, 5 приложений, списка литературы и списка опубликованных работ по теме диссертации. Общий объем работы составил 215 страниц, 62 рисунка и 2 таблицы. Список литературы содержит 144 источника.

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 многочисленных 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 целом, и геологии грязевого вулканизма региона в частности. 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 о геологии и тектонике региона, полученные на основе современных методов исследований. Дана краткая характеристика и анализ представленной информации. Представлен широкий спектр гипотез и моделей роли грязевого вулканизма в тектонических процессах.

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 не литифицирована 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. Во-первых, с позиций парагенетического анализа дизъюнктивных структур изучалась трещиноватость сопочной брекчии грязевых вулканов и вмещающих их комплексов горных пород. Во-вторых, было проанализировано общее распределение складчато-разрывных структур в региональном плане.

Для определения глубины заложения корневой системы грязевых вулканов используется ряд традиционных подходов, включающий *Учет стратиграфического уровня по наличию в грязевулканической брекчии «твердых выбросов» – обломков древних горных пород; Учет распределения зон пересечения линейных неоднородностей как возможных грязевулканических каналов, т.к. на глубину грязевулканических очагов косвенно указывает размер тектонических структур, к которым приурочены грязевые вулканы; а также Структурно-геофизический метод микросейсмического зондирования.*

Многими исследователями (Шарданов, 1962; Шнюков и др., 1986, 1992, 2005 и др.) приводились данные о наличии обломков пород различного, в том числе и «домайкопского» возраста сопочной брекчии грязевых вулканов, 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. Но присутствие в глинистой брекчии обломков домайкопских горных пород вместе с некоторыми другими факторами, указывающими на развитие более глубоких («подмайкопских») процессов, все-таки может свидетельствовать о развитии зон флюидоактивного вещества в домайкопских глинистых толщах.

Структурно-морфологический анализ дает возможность устанавливать распределение зон концентрации деформаций в плане. Четкая приуроченность

грязевулканических построек, расположенных вдоль антиклинальных структур 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°С с последующим ультразвуковым измерением скорости продольной волны. Метод основан на измерении времен пробега упругих волн, возбуждаемых в исследуемом образце серий 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 этой горной породы.

Глава 3. Трещиноватость горных пород, слагающих структуры 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: Шуго, Карabetова гора, пекло Азовское (Тамань), Булганак, Джау-Тепе, Джарджава (Керчь) (рис. 1).

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

Трещиноватость сопочной брекчии грязевых вулканов. В локальных грязевулканических постройках центрального типа преобладают структуры, характерные для пластичных горных пород при течении из центра извержения: концентрические "пластичные" валики сжатия, чередующиеся с продольными к ним ложбинами. Наиболее характерными дизъюнктивными структурами трещинного уровня являются формирующиеся при усыхании грязевулканических масс трещины отрывного

типа. При течении грязевулканической массы формируются преимущественно продольные (вдоль течения) трещины. В случае наличия центра извержения – радиальные системы трещин отрыва.

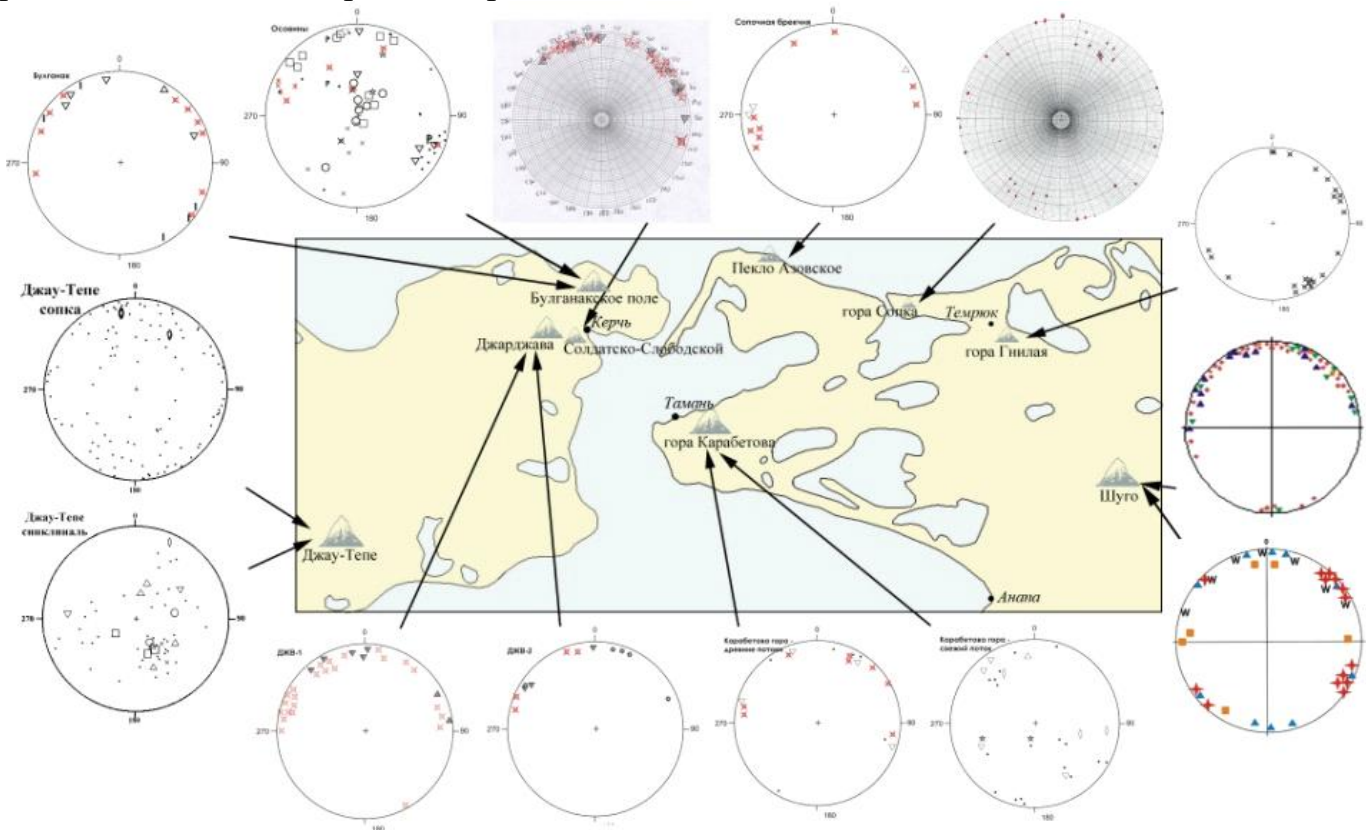


Рис. 1. Схема изучения трещиноватости сопочной брекчии грязевых вулканов и сопочных полей, а также вмещающих и подстилающих их горных пород – преимущественно, карбонатных (известняк, мергели) неогенового возраста Керченско-Таманской области.

При формировании широкого площадного покрова литогенетические трещины ориентированы в различных направлениях. Вместе с тем статистическое распределение структур отрывного типа оказывается не хаотичным. Часто отрывы концентрируются в характерные зоны сдвиговых деформаций, в пределах которых они расположены кулисообразно. Зона сдвиговых деформаций выглядит как эшелонированная система структур отрыва. Преобладающая ориентировка зон концентрации трещин отрыва в сопочной брекчии отвечает структурным направлениям вмещающих и подстилающих горных пород рамы. 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.2).

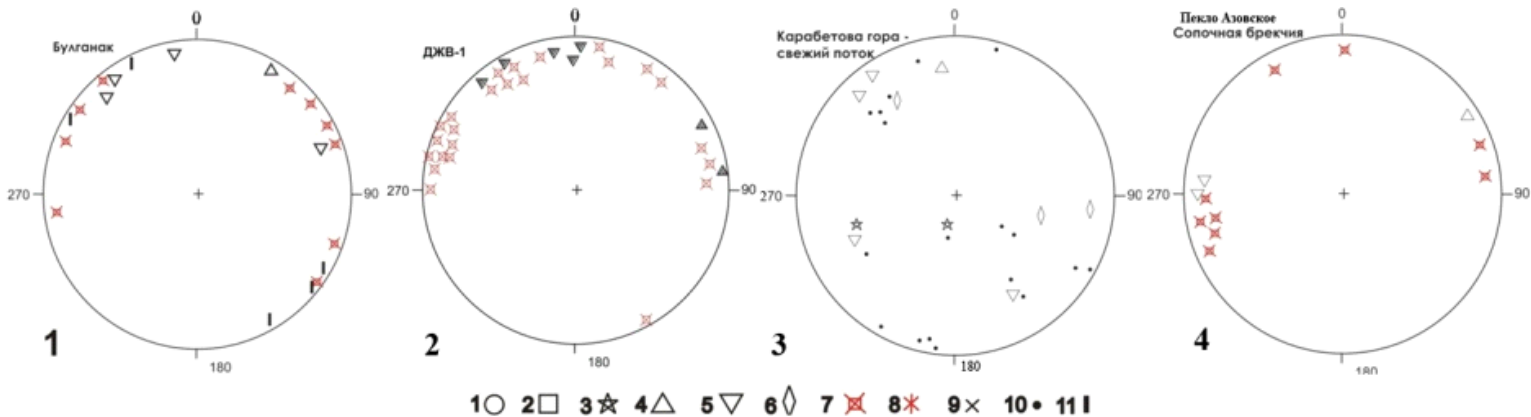


Рис. 2.Трещинные структуры разрушения в сопочной брекчии грязевулканических полей и потоков грязевых вулканов Керченско-Таманской области: 1. Грязевулканическое поле Булганакского грязевулканического очага; 2. Грязевой вулкан Джарджав; 3. Грязевулканическое поле грязевого вулкана Карabetова Гора; 4. 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 диапировыми, часто надразломными антиклиналями, являющимися тектонически активными зонами сжатия. 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: системы субпослойной трещиноватости, различно ориентированные первично литогенетические трещины отрывного типа ортогональные слоистости, структуры растяжения (жилы и отрывы) и зеркала скольжения стадии формирования складчатой структуры и наложенных процессов. Многочисленные зеркала скольжения – взбросы, сбросы, правые и левые сдвиги – отражают квазипластическую деформацию (смещение по различно ориентированным трещинам) породного массива при формировании складки и ее преобразовании. Часто зеркала скольжения образуют характерные взбросо-сбросовые пояса вращения, включающие взбросы и сбросы с различным углом наклона, но близкого простирания (обычно они субпараллельны простиранию диапировой складки). Часто роль таких структур выполняют послойные трещины на разнонаклонных крыльях. Среди структур растяжения выделяются две системы, ориентированные по падению и по простиранию слоистости. Формирование крутопадающих жил и отрывов, ориентированных по падению слоистости, связано с горизонтальным растяжением, поперечным главному сжатию, определившему формирование складки. Широко представлены также разнонаклонные жилы и отрывы вдоль простирания слоистости,

отражающие рост диапировой складки. Эти структуры дополняют сбросо-взбросовый пояс вращения на крыльях складчатых структур.

Многие трещинные структуры несут признаки сдвиговых смещений, указывающие на активное проявление горизонтальных стрессов при формировании складки. На участках пологих залеганий слоистости в местах наличия компетентных горных пород характерны субпослойные зеркала скольжения, свидетельствующие о концентрации смещений на резких литологических контактах (рис.3).

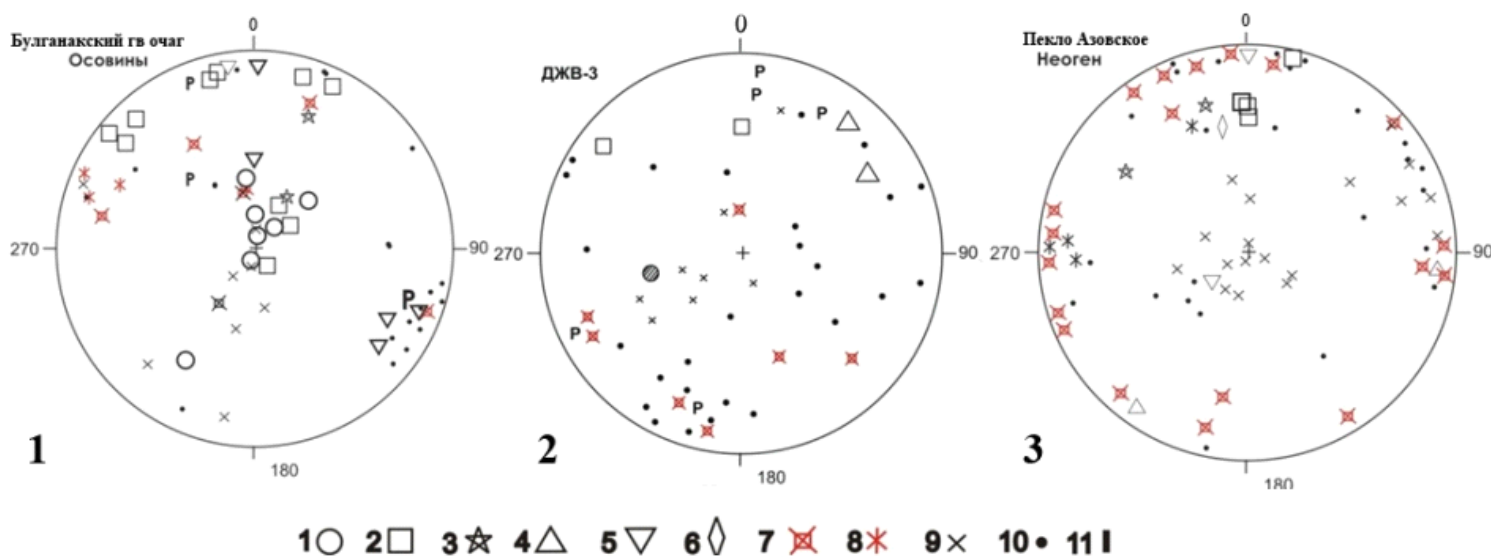


Рис. 3. Трещинные структуры разрушения во вмещающих горных породах грязевых вулканов Керченско-Таманской области: 1. Неогеновые известняки на крыльях складки Булганакского грязевулканического очага. Осовины; 2. Карбонатные горные породы вдавленной синклинали грязевого вулкана Джарджавы; 3. Глинисто-терригенные 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 на, в целом, 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 литификационная 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. Литификационные 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 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, Шуго (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, Шуго) структурами различного размера. Морфология грязевых вулканов разнообразна – от крупных конических построек сложного строения, формирующихся в условиях излияния или выдавливания грязекаменных масс, до плоских грязевулканических полей и солонководных 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 пронизываемых 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 организуются 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 линейного 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 Горнокрымского – Большекавказского 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. Тектоническое районирование Керченско-Таманской области. Положение грязевых вулканов в системе разнопорядковых структур Керченско-Таманской области

В пятой 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. 4).

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 майкопской серии. 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 глинистых толщ майкопской серии является важным, но не определяющим.

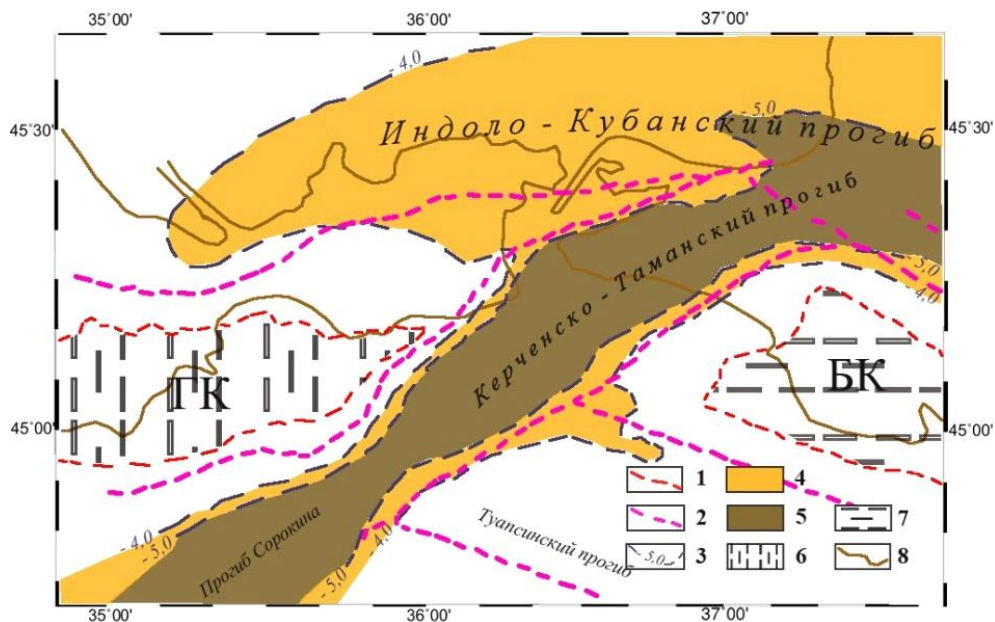


Рис. 4. Тектоническая схема Керченско-Таманской области. Условные обозначения: 1 – Границы распространения майкопской серии; 2 – Главные разломы и зоны разломов; 3 – Изогипсы подошвы майкопской серии, км; 4 – Распространение майкопской серии мощностью до 4 км; 5 – Распространение майкопской серии мощностью 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.

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 и синклинальные складки, разрывные нарушения, майкопские, под- и надмайкопские отложения (Шнюков и др., 1986; 2005 и др.).

Складчатые структуры межпериклиальной зоны продолжают систему складчатых структур горно-складчатых сооружений, то есть, закономерна вся система тектонических структур Крымско-Кавказской области, а, следовательно, необходимо попытаться понять общую структурную организацию региона и тектодинамические условия ее формирования. Для этого необходимо выделить здесь различно ориентированные зоны концентрации складчатых деформаций (ЗКД). В отличие от Керченского полуострова, обладающего довольно контрастным рельефом со скалистыми грядами неогеновых известняков, Таманский полуостров характеризуется более низким и сглаженным рельефом, вследствие чего значительная площадь

полуострова занята широкими протяженными лиманами. Большая часть суши связана с современными структурными поднятиями (диапировыми антиклинальными зонами), понижения между ними, в том числе занятые водными акваториями, – с современными структурными понижениями (синклинальными зонами).

Формирование Керченско-Таманской области связано с позднекайнозойским орогенным этапом развития территории, накоплением мощных толщ олигоцен-миоценовой глинистой майкопской серии и литологически контрастных плиоцен-четвертичных молассовых толщ.

В структуре Керченско-Таманской области выделяется система продольных антиклинальных структур и разделяемых ими синклинальных прогибов, нарушенная поперечными и косыми разрывными нарушениями. Антиклинальные складки в осевой зоне Керченско-Таманской области продолжают систему складчатых структур горно-складчатых сооружений, но в осадочном выполнении прогибов часто приобретают облик бескорневых конседиментационных структур.

На Керченском полуострове выделяются группы ЗКД широтной, северо-восточной, северо-западной и субмеридиональной ориентировки. Широтные ЗКД, представлены антиклинальными зонами сжатия; из двух групп диагональных ЗКД системы северо-восточной ориентировки отражают деформацию сжатия и левого сдвига, северо-западной – преимущественно правосдвиговую; в меридиональных зонах проявляются обстановки растяжения (рис. 5).

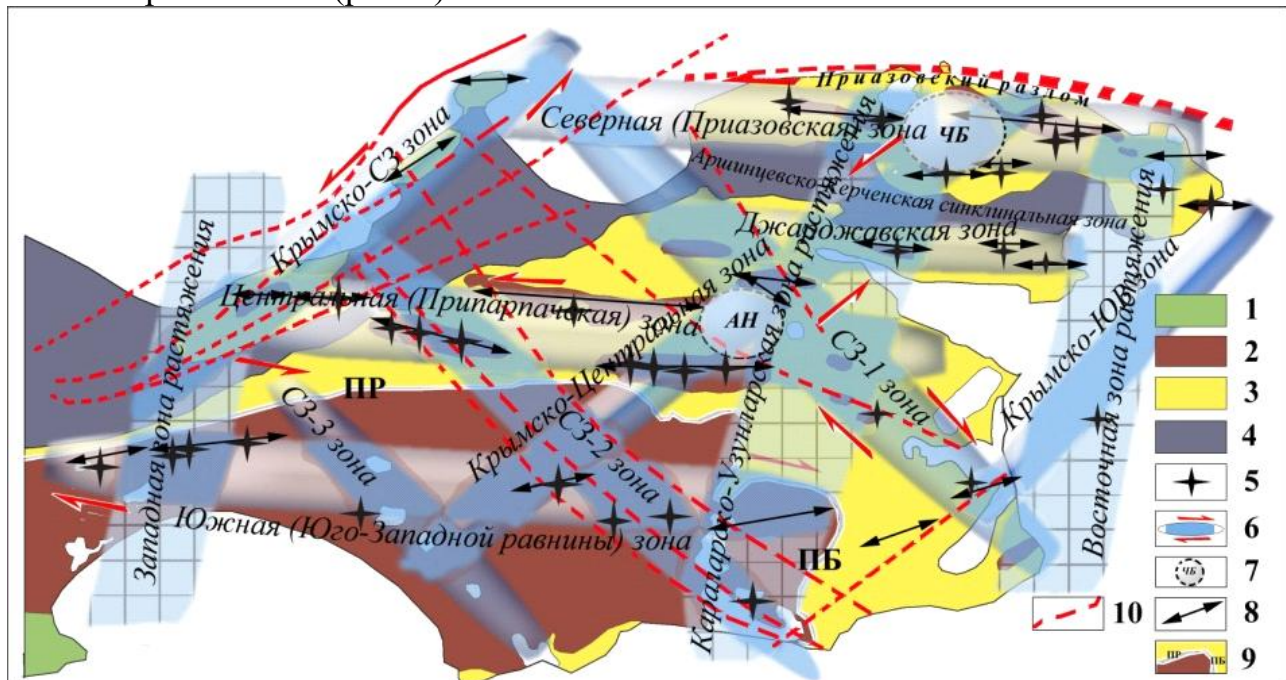


Рис. 5. Основные структурно-тектонические элементы Керченской части Керченско-Таманской грязевулканической области на основе схематической геологической карты по (Шнюков и др., 1986). Условные обозначения: 1 – домайкопские толщ; 2 – майкопская серия (поздний олигоцен–нижний миоцен); 3 – надмайкопские дочетвертичные образования (верхний миоцен-плиоцен); 4 – квартал; 5 – грязевулканические постройки; 6 – зоны концентрации складчатых деформаций; 7 – структуры центрального типа; 8 – ориентация осей антиклинальных складок; 9 – Парпацкий разлом: ПР – Парпацкий гребень, ПБ – Параболический гребень. 10 – разломы с карты по (Плахотный и др., 1989).

В пределах широтных ЗКД грязевулканические постройки иногда образуют «кольцевые структуры» – сложные надпорядковые системы антиклиналей, сопровождающихся грязевыми вулканами. Обычно внутри этой структуры располагается субизометричная синклиналь. Вероятно, эти системы можно рассматривать как крупные грязевулканические постройки центрального типа, выраженные центральной синклиальной 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.6).

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.

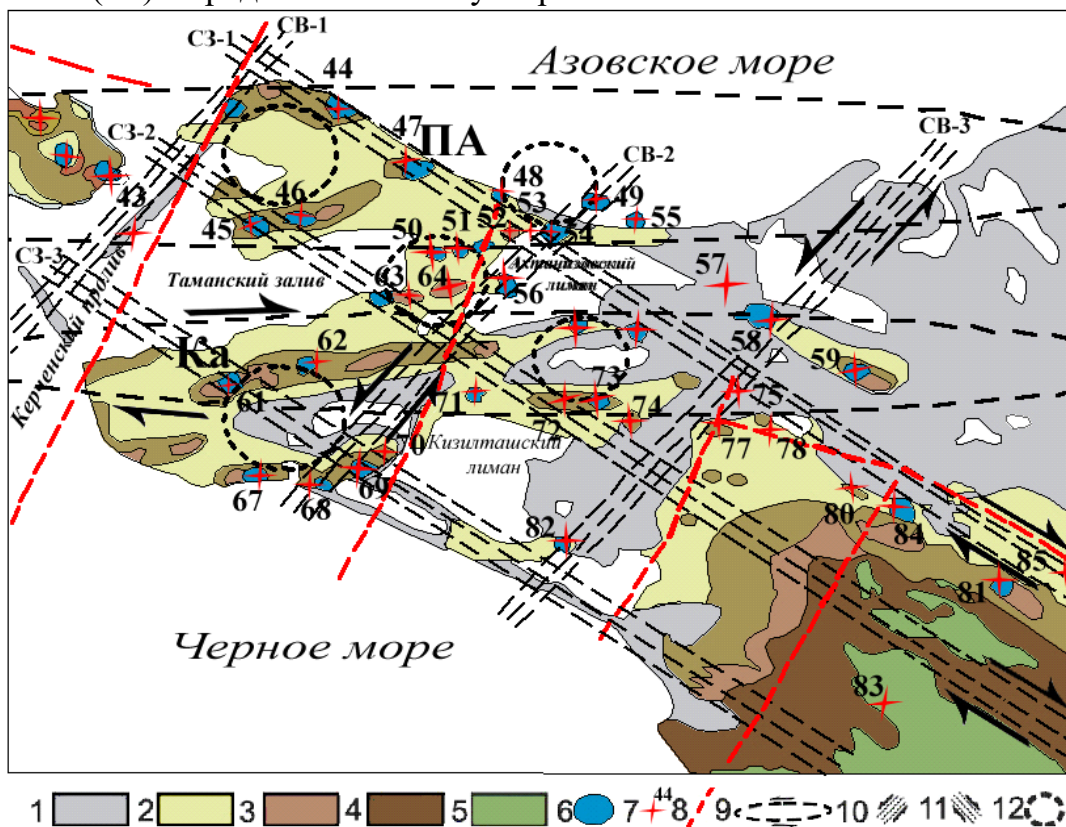


Рис. 6. Основные структурно-тектонические элементы Таманской части Керченско-Таманской грязевулканической области на основе схематической геологической карты по (Шнюков и др., 1986). Условные обозначения: 1–5 – поля развития разновозрастных отложений: 1 – квартал, 2 – плиоцен, 3 – олигоцен–миоцен (майкопская 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 деформации

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.

На Таманском полуострове четко выделяются ЗКД северо-западного простирания. Основной структурного плана северо-западной ориентировки является непосредственно само складчатое сооружение Северо-Западного Кавказа. Его продолжение к северо-западу определяет каркас Таманского полуострова, 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.

Таким образом, структуры Керченско-Таманской области, представленные зонами концентрации деформаций различного кинематического типа, образуют определенным образом организованную систему структур, в которой находят закономерное положение грязевулканические постройки, приуроченные к узлам пересечения субширотных (отражающих главный структурный план) и субмеридиональных (а также северо-западного и северо-восточного простирания) флексурно-разрывных зон (поперечных и диагональных к главному структурному плану области). Относительно более крупных и более мелких структурных элементов рассмотренные зоны концентрации деформаций представляют структуры "второго" структурного уровня. Структурой первого структурного уровня является Керченско-Таманская межпериклиналильная область в целом – 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 глубокоководная 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 глубокоководной впадине, и отвечает области развития майкопской серии. Майкопская серия развита более широко, но грязевой вулканизм сопровождает ее только в относительно узкой межпериклиналильной 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 периклиналили 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.

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 Горнокрымского–Большекавказского 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. На Керченском полуострове это зоны: Приазовская, Парпачская и Юго-Западной равнины; на Таманском полуострове – Приазовская и Карабетовская. Именно они ответственны за глубинный грязевой вулканизм, проявленный крупнейшими сложными грязевулканическими постройками центрального типа.

Грязевые вулканы за пределами осевой части межпериклинальной 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.

Сами грязевулканические постройки также отражают сложное строение и характеризуют четвертый структурный уровень. 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.

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°С с последующим постепенным охлаждением до комнатной температуры при контроле относительной влажности воздуха в помещении. Температура прогрева изменялась от 24 до 1100°С. В ходе четырехлетних исследований была получена информация о петрофизических свойствах сопочной брекчии некоторых грязевых вулканов Керченско-Таманской области, и систематизирована для формирования обобщающих выводов (рис.7).

Было выделено и проанализировано несколько этапов изменения скорости:

I этап нагрева. Интервал 24-400°С. Нагрев до 100°С для всех образцов сопочной брекчии обусловил увеличение скорости продольных волн, а также увеличение декремента поглощения. Это обусловлено потерей свободной, не связанной воды. 100-400°С. 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°С. Химически связанная вода начинает удаляться при температуре 450°С сначала медленно, а затем ускоряется при 600°С. 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°С. Потеря химически связанной воды заканчивается при температуре 800°С. 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.

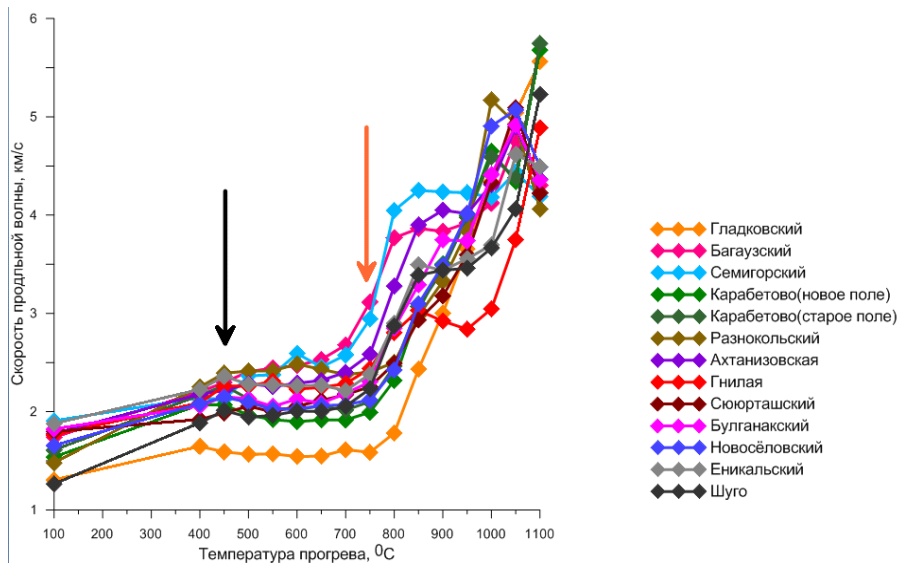


Рис. 7. Изменение скорости продольной волны в процессе нагрева. Стрелками указаны начальные этапы изменений вещества сопочной брекчии при нагреве.

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

- 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.
- Полученные параметры изменения скоростей продольных волн указывают на определенную зональность в их распределении: они группируются в три области: «Керченскую», «Таманскую» и «Предкавказскую» (рис.9).
- Важнейшее значение имеет контур по средней Таманской 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.
- 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).

- Относительно близкие параметры по изменению скоростей продольных волн в «Керченской» и «Таманской» зонах указывают на то, что формирование грязевых вулканов в близосевой зоне новейших орогенов (Горно-Крымского и Больше-Кавказского) и в межпериклинали между ними области определялось влиянием сходных процессов: современной активностью крупнейших (соответственно, имеющих глубинные корни) тектонических структур региона, в которых происходит активизация флюидодинамических потоков, способствующих развитию грязевого вулканизма.

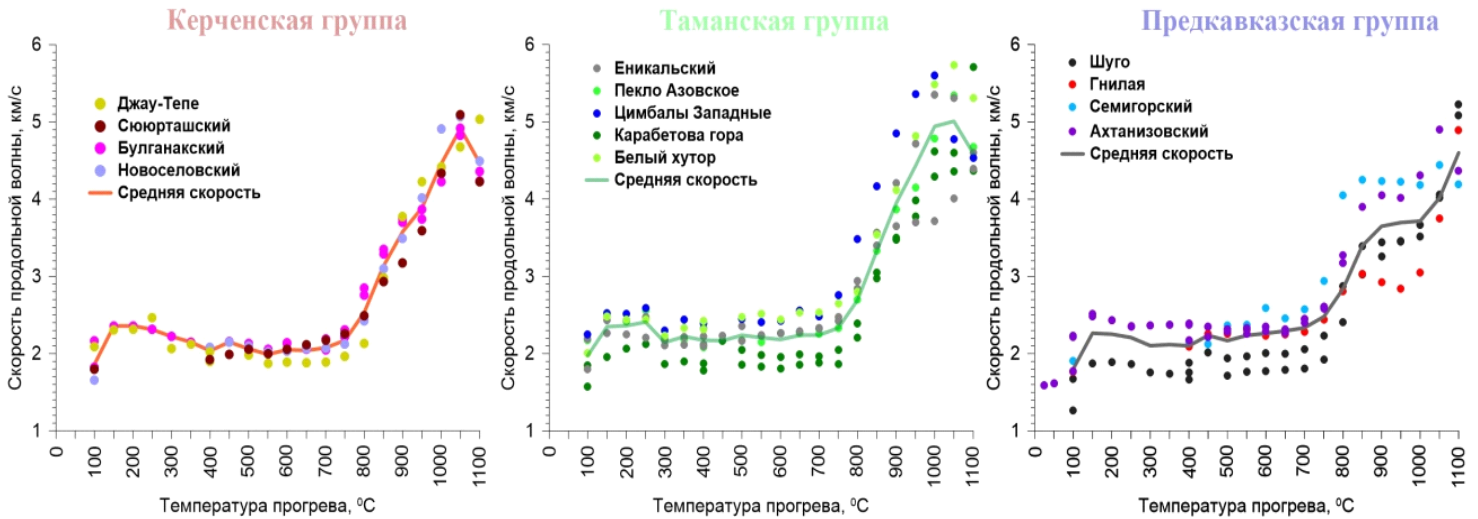


Рис. 8. Группы, обобщающие все сходные признаки всех температурных интервалов. Первая группа, грязевые вулканы: Джау-Тепе; Сююрташский; Булганакский; Новосёловский. Вторая группа: Еникальский; Пекло Азовское; Цимбалы Западные; Карабетова Гора; Белый Хутор. Третья группа: Ахтанизовская сопка; Семигорский; Гора Гнилая; Шуго.

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

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 разделяющей межпериклинали прогиб. Результаты исследований, представленных в главе 5, позволили построить структурно-кинематическую схему Керченско-Таманской области (рис.10).

Глава 6. Минералогия и литология сопочных брекчии Керченско-Таманской области

По результатам вещественных анализов (РФА) и изучением шлифов были получены минералогические и литологические составы сопочных брекчии 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.*

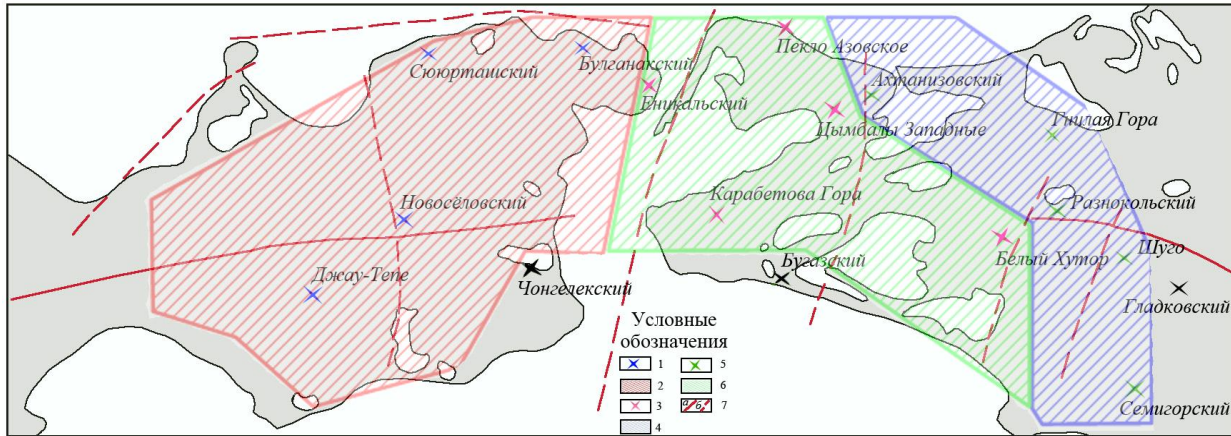


Рис. 9. Зональность Керченско-Таманской грязевулканической области по результатам исследований. 1 – Грязевые вулканы «Керченской зоны»; 2 – «Керченская зона» распространения грязевых вулканов; 3 – Грязевые вулканы «Таманской зоны»; 4 – «Предкавказская зона» распространения грязевых вулканов; 5 – Грязевые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

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.

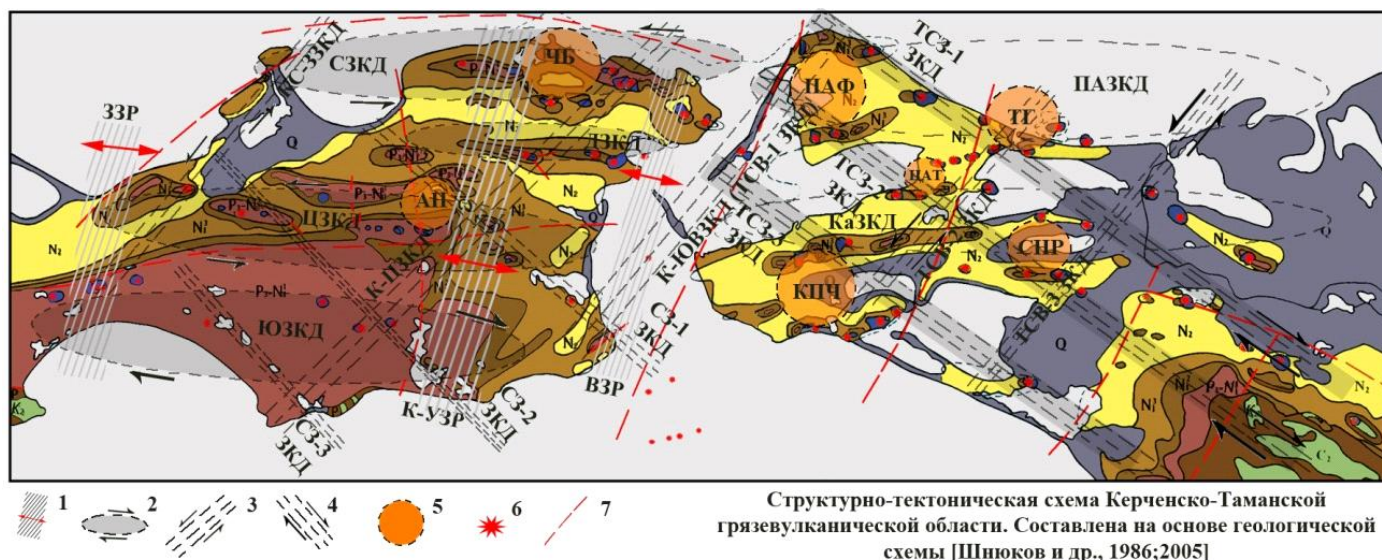


Рис. 10. Структурно-тектоническая схема Керченско-Таманской грязевулканической области. Геологическая основа по (Шнюков и др., 1986; 2005). 1 – Зоны растяжения Керченского полуострова; 2 – Зоны концентраций деформаций широтной и субширотной ориентировок со сдвиговой составляющей; 3-4 – Зоны концентраций деформаций северо-восточной (3) и северо-западной (4) ориентировок со сдвиговой составляющей; 5 – структуры центрального типа; 6 – грязевые вулканы; 7 – разломы.

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 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. 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. Я., 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. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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 "Изд-во 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 межпериклиальной зоны, контролирующие 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 межпериклиальной зоны // Материалы семинара Система – планета Земля, Изд. ЛЕНАНД, Москва, 2018, С.370-378

14. **Белобородов Д. Е.**, Тверитинова Т. Ю. Структурное положение грязевых вулканов межпериклиальной Керченско-Таманской зоны // Материалы LII Тектонического 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. Я., 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 Нац-ой 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 межпериклиналиной 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 // Europ. Seismolog. Commis. 36th General Assembly. Malta. 2018. P.530-531

Подписано в печать 25.01.2022 г.

Формат 64×84/16. Объем 1,5 усл. печ. л.

Тираж 120 шт. Заказ №

Отпечатано в ИАЦ ИФЗ РАН

123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1

Тел./факс: (499) 254 90 88.