

УДК 550.834, 550.344.56, 551.21

ФЛЮИДОПРОВОДЯЩИЕ СТРУКТУРЫ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ДЖАУ-ТЕПЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2022 г. З. И. Дударов^{1,*}, член-корреспондент РАН А. Л. Собисевич^{2,**}, Д. Е. Белобородов^{2,***}

Поступило 18.11.2021 г.

После доработки 07.12.2021 г.

Принято к публикации 08.12.2021 г.

Представлены результаты геолого-геофизических исследований грязевого вулкана Джау-Тепе, одного из наиболее активных центров сосредоточенной флюидной активности в пределах Керченско-Таманской грязевулканической провинции. По результатам собранных данных площадных геофизических исследований с помощью технологии низкочастотного микросейсмического зондирования и их обработки авторским программным комплексом Microseism Data Processor получено объемное представление о пространственном положении, характерных размерах и форме резервуаров накопления грязебрекчий, а также путей миграции глубинных флюидов. Выявлена приповерхностная камера накопления грязекаменного вещества на глубинах до 1 км и соотносимая к отложениям глини майкопской серии; выявлена форма канала поступления вещества. Полученная информация не противоречит обобщенной модели генерации и транспортировки флюидонасыщенного вещества в питающих системах грязевых вулканов. Новые данные дополняют полученные ранее результаты сейсморазведочных работ МОГТ на Северо-Вулкановской площади в ее сводовой части, осложненной субвертикальным питающим каналом грязевого вулкана.

Ключевые слова: грязевой вулкан Джау-Тепе, площадные геофизические исследования, глубинное строение, флюидопроводящие структуры

DOI: 10.31857/S2686739722040041

ВВЕДЕНИЕ

Керченско-Таманская грязевулканическая провинция является крупнейшей на территории современной России – более сотни грязевых вулканов, десятки из которых демонстрируют признаки разномасштабной активности. Несмотря на хорошую геологическую изученность территории, глубинные механизмы грязевулканической деятельности, неразрывно связанные с процессами холодной дегазации Земли, все еще остаются предметом фундаментальных научных исследований [19, 20]. Многообразие форм и масштабов проявления грязевого вулканизма [9], его генетическая связь с нефтегазоносностью, вопросами региональной геоэкологии и безопасности крупнейших инженерных сооружений в значительной

степени определяют актуальность и практическую значимость исследований этого, безобидного на первый взгляд, природного феномена [12, 15, 18].

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Грязевой вулкан Джау-Тепе расположен в центральной части Керченского полуострова, близ села Вулкановка (рис. 1).

Вулканическая постройка представляет собой несколько асимметричный конус с уплощенной вершиной высотой около 60 м над современным рельефом. Морфогенетически она может быть отнесена ко второму типу [17]: конусовидная, состоящая из перекрывающихся покровов грязебрекчий общей площадью около 1.5 км² и сформированная за счет периодического поступления на поверхность полужидких глинистых масс. Склоны вулкана прорезаны глубокими оврагами, а с северо-восточной стороны имеется паразитический грифон. В тектоническом отношении грязевой вулкан расположен в центральной части юго-западной равнины – восточном перикли-

¹Единая геофизическая служба Российской академии наук, Обнинск, Калужской области, Россия

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: zalim-dudar@yandex.ru

**E-mail: alex@ifz.ru

***E-mail: beloborodov@ifz.ru

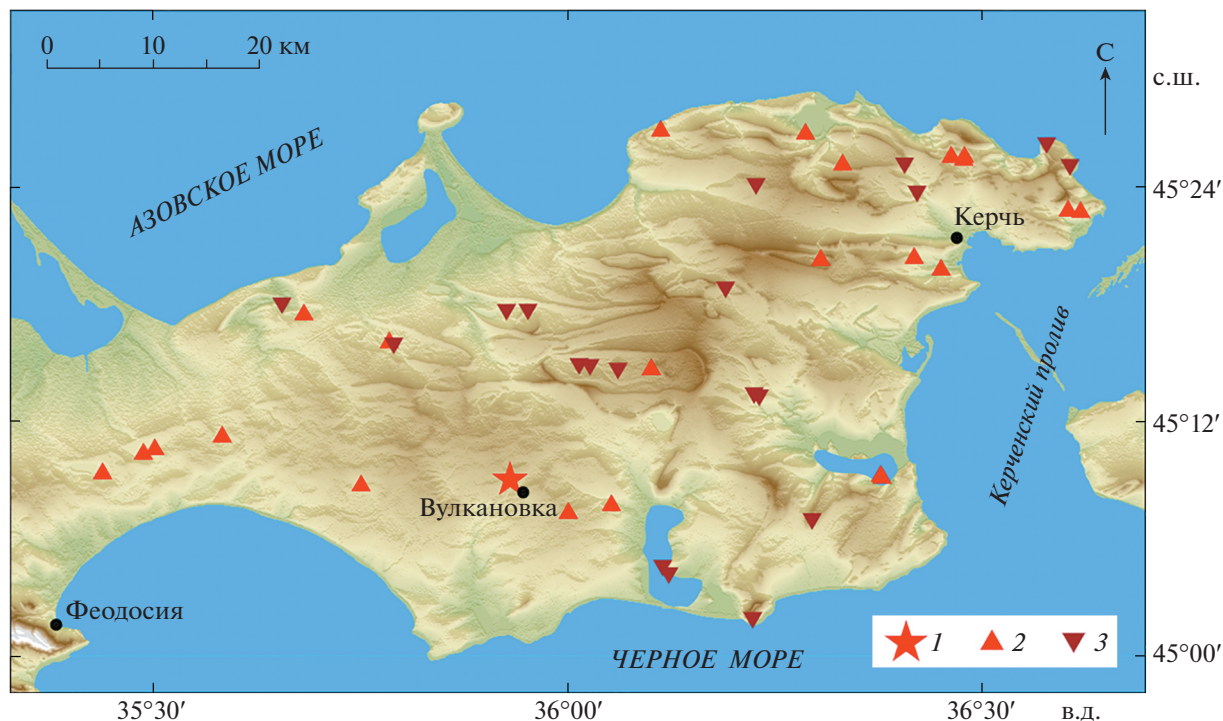


Рис. 1. Карта-схема Керченского полуострова: 1 – грязевой вулкан Джая-Тепе; 2 – действующие или активные на территории полуострова грязевые вулканы; 3 – неактивные грязевые вулканы.

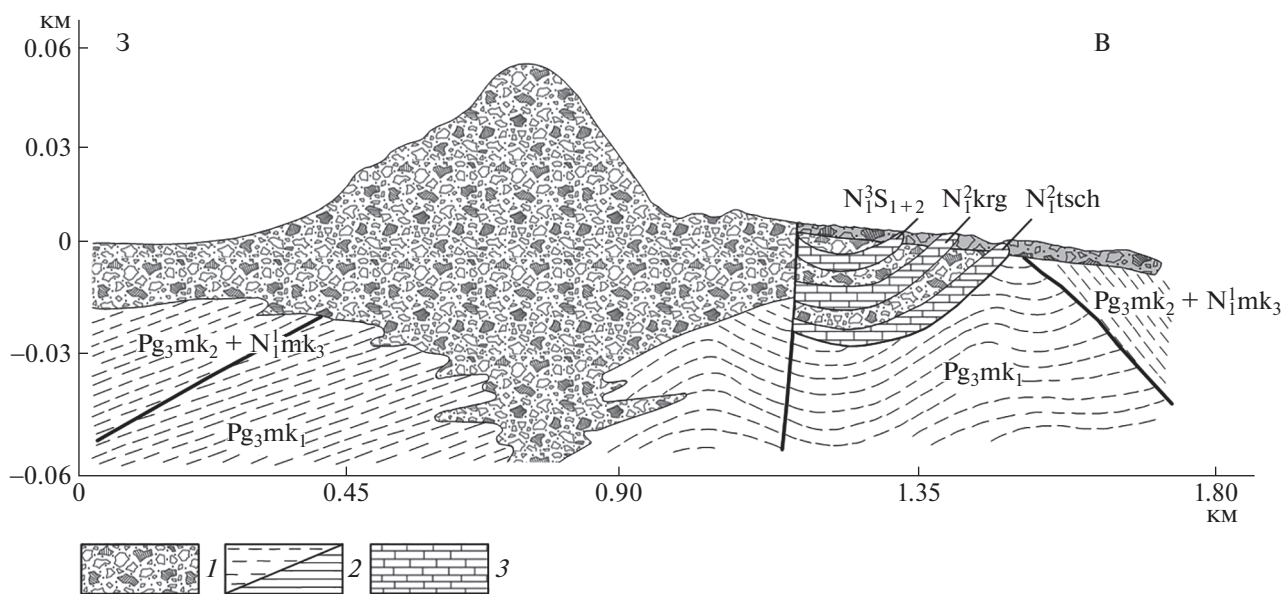


Рис. 2. Геологический разрез грязевулканической постройки Джая-Тепе вдоль близширотного профиля [14]: 1 – сопочная брекчия; 2 – глины сланцеватые; 3 – сарматские известняки. $N_1^3S_{1+2}$ – сарматский ярус; N_1^2krq – караганский горизонт; N_1^2tsch – чокракский горизонт; $N_1^1mk_3$, Pg_3mk_2 , Pg_3mk_1 – майкопская серия.

нальном замыкании Туакского антиклинория [14], на своде широтно ориентированной Вулкановской антиклинали [19], грязевулканическая постройка насажена на западную центриклираль вдавленной

синклинали, в которой на поверхность выведены отложения от чокрака до сармата [2].

Достаточно богата и разнообразна эруптивная история Джая-Тепе, с 1864 по 1942 г. были отме-

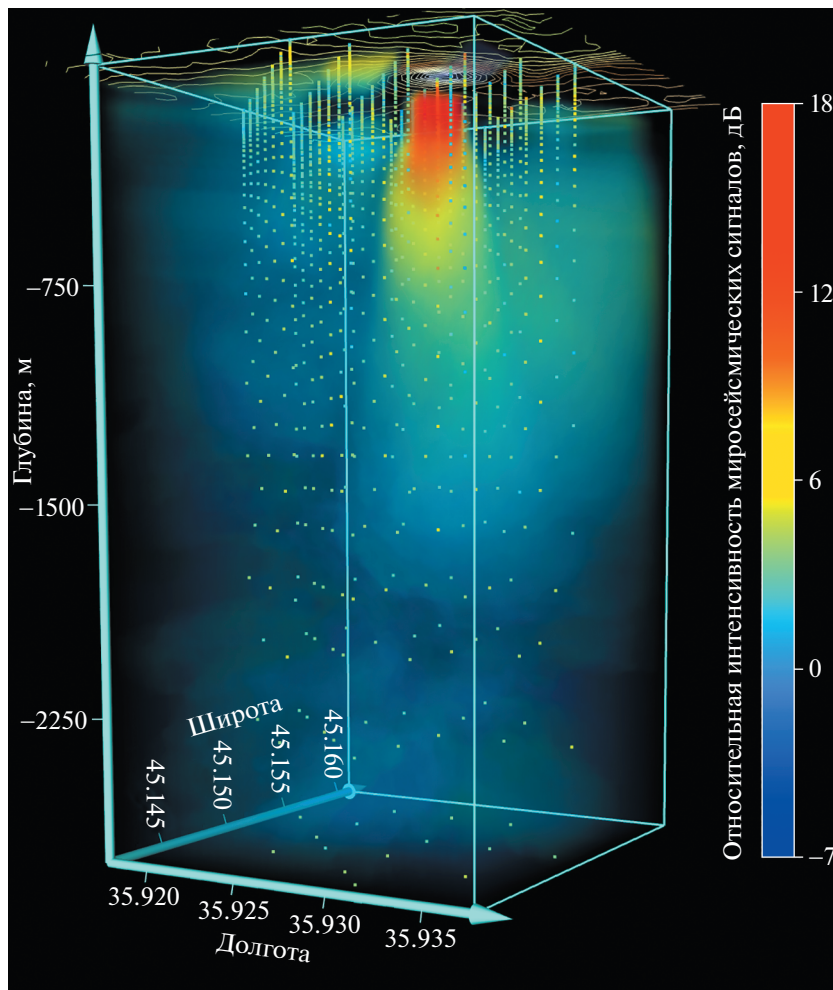


Рис. 3. Объемное представление результатов площадных геофизических исследований методом низкочастотного микросейсмического зондирования на грязевом вулкане Джау-Тепе. Увеличение интенсивности реакции среды (теплые тона) соответствует пониженным значениям скоростей поверхностных (S_v) волн и соответствует основным флюидонасыщенным структурам. Уменьшение реакции (холодные тона) свидетельствует о наличии непроницаемых консолидированных пород, для наглядности на рисунке показаны частично прозрачными.

чены семь эпизодов активизации, некоторые из них — интенсивные пароксизмы с выбросами брекчии на высоту до 50 м и возгоранием газа. При этом известны случаи однократных, относительно спокойных грязевулканических излияний в 1982 и 2004 г. Общий объем изверженных продуктов грязевого вулкана Джау-Тепе оценивается в 55 млн. куб. м (110 млн т) [19].

В советское время в окрестностях Джау-Тепе были выполнены многократные геолого-геофизические и сейсморазведочные работы с целью определения перспективности Вулканосейсмической нефтегазоносной площади [13]. Так, разведочным бурением было выявлено геологическое строение антиклинальной структуры, в ядре которой обнажаются нижнемайкопские глины, а крылья сложены нерасчлененной толщей глин средне- и верхнемайкопского возраста (рис. 2).

Видно, что строение антиклинали симметричное, а углы падения крыльев невелики. Одной из скважин, пробуренной на борту вдавненной синклинали, вскрыты известковистые глины среднего сармата с прослоями грязевулканических брекчий, подстилаемых батисифоновым горизонтом верхнего майкопа (нижнего миоцена). В стратиграфическом разрезе, главным образом, представлены отложения майкопской серии, до глубины 1 км — глинами жирными слоистыми в нижнем миоцене и глинами песчанистыми в олигоцене мощностью 1 км [13].

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Вслед за развитием пассивных способов сейсморазведки [Горбатов, 2006], в начале двухтысячных годов были получены новые данные о

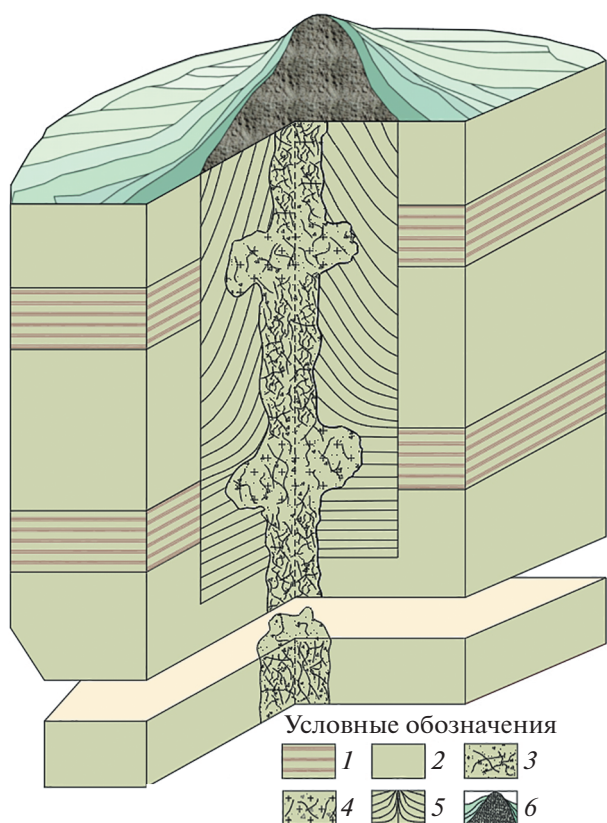


Рис. 4. Принципиальная схема генерации грязевых вулканов положительных форм Керченско-Таманской области [1]. 1 – пластичные глинистые толщи; 2 – относительно хрупкие осадочные породы; 3 – флюидопроницаемые зоны концентрации деформаций; 4 – потенциальный грязевулканический резервуар; 5 – формирующиеся структуры глиняного диапиризма; 6 – вулканическая постройка.

корневых питающих системах отдельных грязевых вулканов Таманского полуострова, что позволило связать особенности их глубинного строения с характером грязевулканической деятельности и построить ряд непротиворечивых геологоструктурных моделей [3, 11, 16].

Рассмотрим результаты площадных геофизических исследований, выполненных с участием авторов в 2015–2019 гг. методом низкочастотного микросейсмического зондирования [4], представляющим собой пассивный поверхностно-волновой способ сейсморазведки и наиболее хорошо зарекомендовавшим себя в деле изучения субвертикальных флюидонасыщенных неоднородностей земной коры [5, 8, 10, 14, 16].

В ходе площадных геофизических исследований вулканическая постройка и прилегающие территории были охвачены сеткой из 56 пунктов регистрации микросейсм с шагом 250 м, при этом опорная точка располагалась на удалении 8 км [14]. Проведена обработка массива эксперимен-

тальных данных, с использованием авторского программного комплекса Microseism Data Processor (MDP) [7]. Обработка и построение вертикальных геофизических разрезов для каждого пункта наблюдений, в соответствии с технологией низкочастотного микросейсмического зондирования сводилась к тому, что для каждой частоты зарегистрированного спектра вертикальной компоненты микросейсмического шума рассчитывались значения его интенсивности относительно опорной точки с последующей привязкой по глубине. При этом частота f связана с глубиной залегания неоднородности h и скоростью фундаментальной моды волны Рэлея $V_R(f)$ соотношением $h = k V_R(f)/f$, где k – коэффициент глубинной привязки [6]. Разрешающие способности метода по оценке [6] составляют по горизонтали $(0.25–0.3)\lambda$, а по вертикали $(0.3–0.5)\lambda$.

Таким образом, были построены вертикальные геофизические разрезы контрастности сейсмических скоростей для каждой измерительной точки по отношению к опорному пункту вдоль отдельных профилей, а также объемная модель флюидопроницаемых структур – системы питания грязевого вулкана (рис. 3).

Полученные результаты позволяют оконтурить флюидопроницаемые структуры, уверенно транслируемые на глубины 1500–2500 м и обеспечивающие доставку грязевулканического материала к дневной поверхности. Непосредственно под вулканической постройкой на глубинах до 1 км вероятнее всего залегает приповерхностный грязевулканический резервуар [14]. Новые данные позволяют ограничить его нижнюю границу на глубине ~750 м. Далее вглубь определяется флюидопроницаемая зона концентраций деформаций, являющаяся одним из условий формирования грязевого вулкана, наряду с наличием пластичных глинистых толщ [1] (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической провинции приурочены к антиклинальным структурам, осложненным разрывными нарушениями. Последние, в период активизации, являются агентами доставки вещества на дневную поверхность. Различия состава и реологических свойств в отдельных слоях осадочных толщ определяют условия формирования сложной многоуровневой системы грязевулканических резервуаров и проводящих каналов, и всей грязевулканической корневой системы вулкана. Таким образом, необходимыми и достаточными условиями для формирования грязевых вулканов, помимо наличия нелитифицированных глинистых толщ, являются: высокое пластовое давление, которое достигается при по-

гружении глин на определенную глубину, зоны концентрации деформации, выраженной системой активных разломов, а также присутствие сосредоточенных потоков глубинных флюидов (водорода, метана и других газов). Характер деятельности каждого конкретного грязевого вулкана во многом определяется особенностями строения питающей его системы перетока глубинных флюидов.

На вулкане Джау-Тепе впервые проведены площадные геофизические исследования методом микросейсмического зондирования, которые позволили с высокой точностью оконтурить в геологической среде субвертикальные флюидопроводящие неоднородности, ассоциированные с грязевулканическим резервуаром и проводящим каналом.

По полученной модели можно сделать вывод, что флюидопроницаемая зона концентраций деформаций уверенно транслируется до глубин 2.5 км и более, что позволяет говорить о глубинном грязевулканическом резервуаре, и не противоречит представлениям о закономерностях формирования крупных грязевых вулканов с положительной формой рельефа.

В целом глубинное строение Северо-Вулкановской площади было достаточно хорошо изучено сейсморазведкой МОГТ [13], кроме сводовой ее части, что естественно объясняется наличием субвертикального грязевулканического канала, недоступного для классической сейсморазведки. Таким образом, новые знания, полученные в ходе обработки данных площадного геофизического эксперимента, дополняют и расширяют наши представления о глубинном строении исследуемой территории. Впервые получено объемное представление о пространственной конфигурации субвертикальных флюидопроницаемых структур, обеспечивающих систему питания грязевого вулкана Джау-Тепе.

Несмотря на нетипичный состав газовой фазы, глубинное строение Джау-Тепе не обнаруживает радикальных отличий от родственных, как по геологическому строению, так и по тектонической позиции грязевых вулканов Тамани. В этой связи заслуживает внимания обобщенная модель генерации и транспортировки флюидонасыщенного вещества в питающих системах грязевых вулканов [1].

Полученные результаты расширяют наши представления об условиях формирования глубинных флюидопроводящих структур в западной части Керченско-Таманской грязевулканической провинции и призваны содействовать решению комплексной проблемы оценки эндогенных опасностей в южных регионах России.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственных заданий ИФЗ РАН и ФИЦ ЕГС РАН (№ 075-01471-22) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белобородов Д.Е., Тверитинова Т.Ю. Структурное положение грязевых вулканов межпериклиальной Керченско-Таманской зоны. // *Материалы ЛII Тектонического совещания “Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики” И.: “ГЕОС” Москва. 2020. Т. 1. С. 65–69.*
2. Белобородов Д.Е., Тверитинова Т.Ю. Трещинные структуры грязевых вулканов и вмещающих толщ Керченско-Таманской грязевулканической области // *Материалы шестой молодежной тектонофизической школы-семинара. М.: ИФЗ РАН, 2019. С. 77–83.*
3. Глинский Б.М., Собисевич А.Л., Фатьянов А.Г., Хайретдинов М.С. Математическое моделирование и экспериментальные исследования грязевого вулкана Шуго // *Вулканология и сейсмология. 2008. Т. 2. № 5. С. 69–77.*
4. Горбатилов А.В. Способ сейсморазведки. Патент РФ № 2271554 // *Бюл. изобр. 2006. № 7.*
5. Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Кораблев Г.Е. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирования среды с помощью микросейсм // *Физика Земли. 2008. № 7. С. 66–84.*
6. Горбатилов А.В., Цуканов А.А. Моделирование волн Рэлея вблизи рассеивающих скоростных неоднородностей. Исследование возможностей метода микросейсмического зондирования // *Физика Земли. 2011. № 4. С. 96–112.*
7. Дударов З.И., Кандохов З.М., Шевченко А.В. Программа обработки микросейсмических данных (Microseism Data Processor). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619864 от 17 октября 2013 г.
8. Жостков Р.А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л. Развитие метода микросейсмического зондирования // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 2. Вып. 26. С. 11–19.*
9. Каевцигер В.И., Слоцов И.Б., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Подводные грязевые вулканы Таманского полуострова (по данным гидролокационных исследований) // *Вулканология и сейсмология. 2016. № 4. С. 27–33.*
10. Лиходеев Д.В., Дударов З.И., Жостков Р.А., Преснов Д.А., Долов С.М., Данилов К.Б. Исследование глубинного строения вулкана Эльбрус методом

- микросейсмического зондирования // Вулканология и сейсмология. 2017. № 6. С. 28–32.
11. *Овсяченко А.Н., Собисевич А.Л., Сысолин А.И.* О взаимосвязи современных тектонических процессов и грязевого вулканизма на примере горы Карабетова (Таманский п-ов) // Физика Земли. 2017. № 4. С. 118–129.
 12. *Пасынков А.А., Вахрушев Б.А.* Грязевой вулканизм Керченского полуострова как негативный фактор строительства трассы “Керчь – Севастополь” // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. Том 2 (68). № 1. 2016. С. 110–122.
 13. *Приемышев Н.Н., Седельников А.Ф., Ивановский А.И. и др.* Отчет о сейсморазведочных работах МОГТ на Северо-Селезневской, Куйбышевской, Блоковой, Глазовской, Маякской, Юркинской, Борзовской, Булганакской, Вулкановской, Дубровской, Марьевской, Высоковской, Кореньковской, Краснопольской, Надвиговой и Поворотной площадях Индоло-Кубанского прогиба. Симферополь: Крымгеология, 1986. 170 л.
 14. *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. 2020. № 3. С. 34–45.
 15. *Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатииков А.В.* Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
 16. *Собисевич А.Л., Горбатииков А.В., Овсяченко А.Н.* Глубинное строение грязевого вулкана горы Карабетова. // ДАН. 2008. Т. 422. № 4. С. 542–546.
 17. *Холодов В.Н.* Грязевые вулканы: распространение и генезис // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 4. С. 5–27.
 18. *Шнюков Е.Ф., Маслаков Н.А.* Потенциальная опасность грязевого вулканизма для судоходства // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. № 2. С. 81–91.
 19. *Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А., Кутний В.А., Гусаков И.Н., Трофимов В.В.* Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2005. 176 с.
 20. *Якубов А.А., Ализаде А.А., Зейналов М.М. и др.* Грязевые вулканы Азербайджанской ССР. Атлас. Баку: Изд-во АН Азербайджанской ССР. 1971. 258 с.

FLUID-CONDUCTING STRUCTURES OF THE DZHAU-TEPE MUD VOLCANO BASED ON THE RESULTS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES

Z. I. Dudarov^{a,#}, Corresponding Member of the RAS A. L. Sobisevich^{b,##}, and D. E. Beloborodov^{b,###}

^a*Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Obninsk, Kaluga Region, Russian Federation*

^b*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: zalim-dudar@yandex.ru*

^{##}*E-mail: alex@ifz.ru*

^{###}*E-mail: beloborodov@ifz.ru*

The results of geological and geophysical studies of the Dzhau-Tepe mud volcano, one of the most active centers of concentrated fluid activity within the Kerch-Taman mud volcano province, are presented. Based on the results of the collected data of areal geophysical studies using low-frequency microseismic sounding technology and their processing by the author’s Microseism Data Processor software package, a three-dimensional representation of the spatial position, characteristic size and shape of mud-breccia accumulation reservoirs, as well as the migration routes of deep fluids was obtained. The near-surface chamber of accumulation of mud-stone substance at depths up to 1 km and correlated to the deposits of clays of the Maikop series was revealed; the form of the channel of the substance intake was revealed. The information obtained does not contradict the generalized model of generation and transportation of fluidized matter in the feeding systems of mud volcanoes. The new data complement the previously obtained results of seismic surveys of the common depth point method on the Severo-Vulkanovskaya Area in its arched part, complicated by the sub-vertical feeding channel of the mud volcano

Keywords: mud volcano Dzhau-Tepe, areal geophysical studies, deep structure, fluid-conducting structures