

УДК: 551.311.8
DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art46

ИЗУЧЕНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗОН СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ФЛЮИДНОЙ АКТИВНОСТИ В КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОЙ ГРЯЗЕВУЛКАНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е.
ИФЗ РАН, e-mail: alex@ifz.ru

Аннотация. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований зон сосредоточенной флюидной активности на территории Керченско-Таманской грязевулканической провинции, полученные в конце прошлого и начале нынешнего столетия. Показано, что новые геофизические методы позволяют более глубоко изучать особенности строения питающих систем отдельных грязевых вулканов, обнаруживать области промежуточного накопления флюидов и прослеживать пути их миграции, в том числе и за пределами осадочного чехла.

Ключевые слова: флюидная активность Земли, грязевой вулканизм, геофизические методы, глубинное строение, Керченско-Таманская грязевулканическая провинция.

DEEP STRUCTURE OF CONCENTRATED FLUID ACTIVITY ZONES STUDIES IN KERCH-TAMAN MUD VOLCANIC PROVINCE

Sobisevich A.L., Sobisevich L.E.
IPE RAS, e-mail: alex@ifz.ru

Abstract. The results of concentrated fluid activity zones theoretical and experimental studies in the territory of the Kerch-Taman mud volcanic province, obtained at the end of the past and the beginning of this century, are presented. It is shown that new geophysical methods make it possible to deeply study the structural features of the feeding systems of individual mud volcanoes, detect areas of intermediate accumulation of fluids and track their migration paths, also outside of the sedimentary cover.

Keywords: Earth fluid activity, mud volcanism, geophysical methods, deep structure, Kerch-Taman mud volcanic province.

Грязевой вулканизм – удивительное природное явление, которое до сих пор не получило исчерпывающего объяснения. Сегодня можно считать установленной связь

грязевого вулканизма с динамикой глубинных флюидов и наличием залежей углеводородов [Белоусов, Яроцкий, 1936; Федоров, 1939; Лебедева, 1962; Якубов и др., 1980; Шнюков и др., 1986]. На территории нашей страны активная грязевулканическая деятельность наблюдается в первую очередь в Керченско-Таманской грязевулканической провинции, являясь неотъемлемой частью современной эволюции флюидо-магматических систем Северного Кавказа [Собисевич и др., 2005].

Проблемы оценок пространственно-временных нестабильностей потоков природных газов Земли, особенно их восстановленных составляющих (H , CH_4 , CO), а также CO_2 , давно и активно обсуждаются в литературе. Чаще всего рассматриваются горячие (плутонические) модели дегазации Земли, в которых газовой-жидкому флюиду (в основном – H_2O и CO_2) отдается предпочтение. К проблемам «холодной» (углеродистой, в основном – метановой и водородной) дегазации планеты со всей её поверхности одним из первых в 1955 году обратился академик П.Н. Кропоткин. Позже, в 1970–1991 гг., они стали предметом многочисленных Всесоюзных совещаний. Исследования были в определённой степени стимулированы «Национальной программой прогноза землетрясений», принятой в СССР еще в 1978 г., а полученные результаты позволили решить ряд важных геохимических и геологических задач. За короткое время удалось выяснить масштабы эманаций с земной поверхности метана и водорода, а также нестабильностей хода во времени их изотопов; были изучены условия формирования эманационных полей как в асейсмичных, так и сейсмически активных регионах, которые включали весь южные и восточные районы нашей страны. Среди значительного количества публикаций по всему направлению следует особо выделить научные работы выдающегося геохимика, доктора геолого-минералогических наук Георгия Ивановича Войтова [Войтов и др., 2004, 2005], нашего коллеги, который до последних дней принимал участие в полевых работах ИФЗ РАН в Керченско-Таманской грязевулканической провинции (рис. 1).

Отметим, что глубинное строение Таманского полуострова по имеющимся материалам бурения и сейсморазведки позволяют лишь в общих чертах установить характерные глубины залегания пород различного возраста. Интервал глубин 4,5 – 9 км условно связывается с распространением меловых терригенно-карбонатных пород. Для терригенных, преимущественно глинистых нижнемеловых осадков нефтегазоносность установлена на многих месторождениях Предкавказья, в том числе и на Таманском

полуострове. Ниже, по всей видимости, залегают терригенные породы юры и переходный терригенно-карбонатный комплекс пермотриаса. Промышленная нефтегазоносность карбонатных отложений нижнего триаса доказана в Восточном Предкавказье, а притоки газа из нижнетриасовых известняков получены на западном погружении Майкопского поднятия. Следовательно, не исключена возможность их участия в генерации флюидов и в этом интервале глубин [Овсяченко и др., 2017].



Рис. 1. Доктор геолого-минералогических наук Г.И. Войтов ведёт отбор проб на одном из действующих грифонов грязевого вулкана Шуго (2002 г., экспедиция ИФЗ РАН, Керченско-Таманская грязевулканическая провинция, фото Л.Е. Собисевича)

Новые геофизические методы, основанные на использовании поверхностных волн и активно развивающиеся в настоящее время [Разин, Собисевич, 2012; Попов и др., 2013; Жостков и др., 2015, 2017; Преснов и др., 2017], в своей основе содержат разработанный в ИФЗ РАН метод низкочастотного микросейсмического зондирования [Горбатилов, 2005]. Именно этот метод был успешно применен нами для изучения глубинного строения нескольких грязевых вулканов, что позволило впервые проследить пути миграции и накопления флюидов до глубин порядка 20 км [Горбатилов, Собисевич и др., 2008; Горбатилов и др., 2008; Овсяченко и др., 2017].

Необходимо отметить, что теоретические основы метода в части восстановления скоростной структуры геофизической среды по результатам измерений спектральных амплитуд микросейсм её поверхности до конца ещё не разработаны, а для геофизических

сред с горизонтальной слоистостью метод позволяет оценить лишь среднюю глубину залегания неоднородности [Яновская, 2017]. С другой стороны, субвертикальные неоднородности, обладающие высокой контрастностью по импедансу в сравнении с вмещающими породами, представляют собой едва ли не идеальный случай для применения метода микросейсмического зондирования. К подобным структурам относятся близвертикальные элементы магматических питающих систем активных вулканов [Собисевич, 2012; Лиходеев и др., 2017], интрузивные тела, зоны активных разломов [Рогожин и др., 2014], а также зоны сосредоточенной разгрузки глубинных флюидов, в том числе флюидопроницаемые структуры грязевых вулканов.

Наиболее интересные результаты были получены в ходе выполнения плановых полевых работ ИФЗ РАН на грязевых вулканах горы Карабетова и Шуго.

Поскольку грязевой вулкан Шуго является одним из наиболее известных и часто посещаемых туристами природных феноменов Таманского полуострова, то на современном этапе это обстоятельство позволяет фиксировать эпизоды и характер грязевулканической деятельности посредством опубликованных в открытом доступе фото и видеоматериалов. Последние свидетельствуют о преимущественно спокойном характере грязевых извержений с редкими пароксизмами. Напротив, вулкан горы Карабетова нередко демонстрирует взрывной характер извержений с выходом значительных объёмов газа (в основном – метана), иногда с возгоранием и разбросом фрагментированной брекчии [Богатилов, 2003].

Отмеченные различия в динамике эруптивного процесса естественно могут быть объяснены строением флюидной питающей системы двух грязевых вулканов.

В 2006 году с северо-запада на юго-восток через вулкан Шуго был выполнен геофизический профиль с применением метода микросейсмического зондирования и построен вертикальный разрез по контрастам сейсмических скоростей. Отметим, что полученные результаты дают достаточное представление о флюидо-динамических процессах во всем диапазоне глубин, охваченных геофизическим экспериментом (рис. 2).

Грязевой вулкан горы Карабетова расположен в пределах Карабетовской антиклинальной зоны и представляет собой достаточно обширное плато со следами крупных взрывных извержений [Шнюков и др., 1986; Богатилов и др., 2003; Собисевич и др., 2005; Тверитинова и др., 2015]. С 2007 по 2009 годы на этом объекте нами было выполнено три параллельных профиля тем же методом микросейсмического

зондирования, на рис. 3 приведен один из вертикальных разрезов, на котором выделяется относительно узкая, близвертикальная низкоскоростная область, ассоциируемая с насыщенными флюидами элементами питающей системы. Глубже 10 км контрасты сейсмических скоростей S-волн проявляются не так ярко, однако зону сосредоточенной разгрузки флюидов возможно проследить до глубин более 15 км, диапировое ядро обнаруживает крутое падение на север. Такое же положение в пространстве, вероятно, имеет зона разлома, с которой связана Карабетовская антиклинальная гряда.

Проведенные теоретические исследования процессов истечения вязкой газонасыщенной грязебрекчии для различных режимов извержения грязевого вулкана [Жостков, Собисевич, 2013], а также совместная интерпретация результатов экспериментальных геофизических исследований, изотопной и гидрохимической геотермометрии с последующим математическим моделированием позволяют получить комплексные оценки глубин залегания резервуаров жидких и газообразных грязевулканических флюидов [Ершов и др., 2015] и предложить рабочую гипотезу грязевулканической деятельности для исследуемого объекта.

На рис. 4 представлены результаты обработки данных трёх геофизических профилей, пересекающих антиклинальную структуру и приуроченную к ней вулканическую постройку в меридиональном направлении. В трех вертикальных геофизических разрезах по значениям контрастов сейсмических скоростей, оконтуривающим флюидопроницаемые породы проведена изоповерхность, дающая представление о пространственной конфигурации питающей системы грязевого вулкана.

На глубинах от 25 до 12 км прослеживается достаточно узкий питающий канал, переходящий выше в область промежуточного накопления грязебрекчии, которая затем вновь переходит в субвертикальный канал доставки продуктов извержения непосредственно к дневной поверхности. Условная граница между областью накопления и близповерхностным питающим каналом может быть отнесена к глубине порядка 5 км (на рис. 4 отмечена горизонтальным сечением массива данных сейсморазведки). Можно предположить, что поступление флюидонасыщенных масс из области промежуточного накопления в питающий канал в период подготовки и собственно извержения происходит неравномерно и может сопровождаться, в том числе и тектоническими смещениями по разлому. Эта структурная особенность глубинного строения грязевого вулкана горы Карабетова в значительной степени определяет взрывной характер его деятельности.

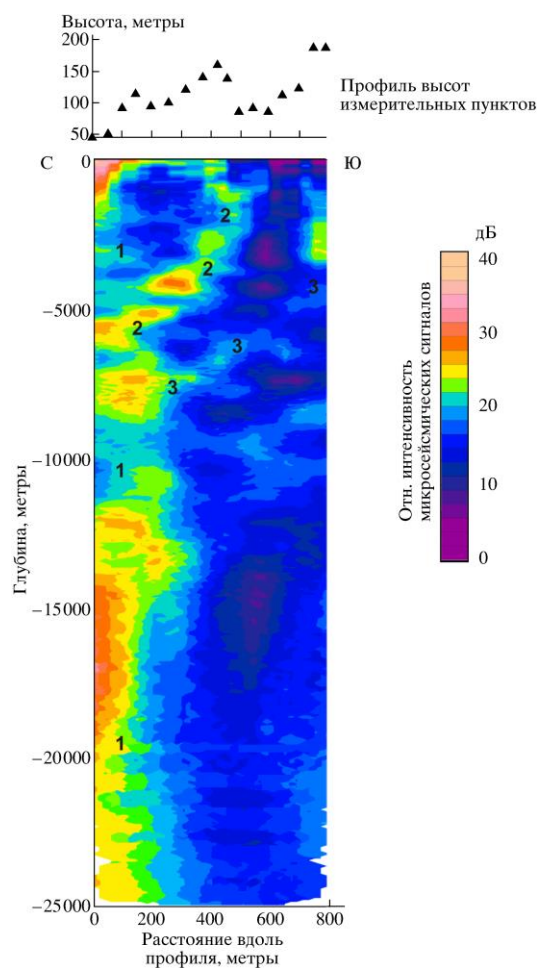


Рис. 2. Вертикальный геофизический разрез по контрастам сейсмических скоростей вдоль профиля северо-восточного простирания через грязевой вулкан Шуго. Тоновая шкала показывает относительную интенсивность реакции среды по разрезу на порождение Рэлеевских микро-сейсмических волн с различной глубиной проникновения. Увеличение относительной интенсивности реакции среды соответствует уменьшению сейсмических скоростей, в то время как уменьшение интенсивности соответствует увеличению сейсмических скоростей. Обозначения: 1 – зона пониженных скоростей, ассоциируемая с Ахтырским разломом; 2 – флюидопроницаемая зона пониженных скоростей, ассоциируемая с питающей системой вулкана Шуго; 3 – зона пониженных скоростей, ассоциируемая с Гладковским разломом [Горбатилов и др., 2008]

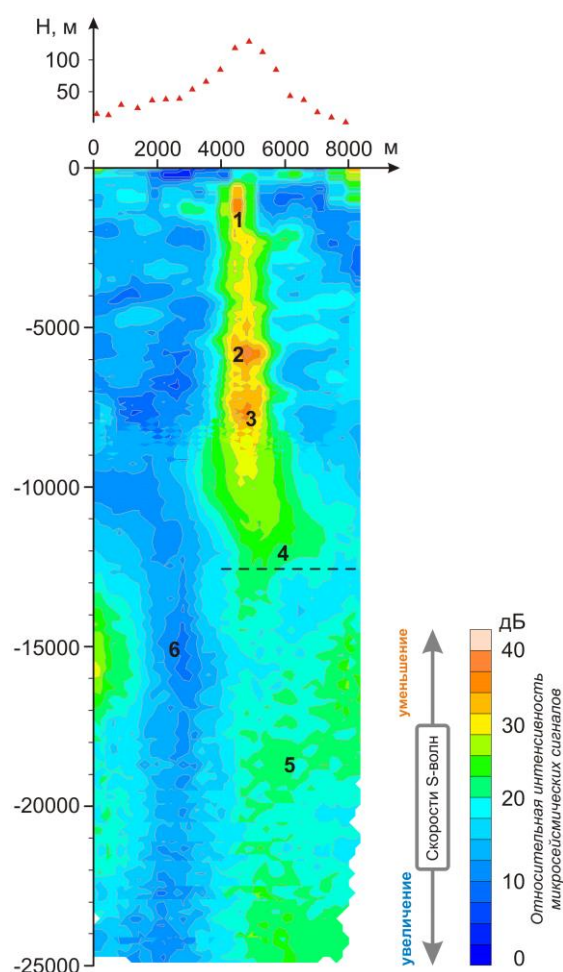


Рис. 3. Вертикальный геофизический разрез вдоль профиля через грязевой вулкан горы Карабетова. Обозначения: 1 – близповерхностная область накопления грязевулканических продуктов; 2, 3 – глубинные грязевулканические резервуары, 4 – область перехода к консолидированному фундаменту, 5 – глубинные флюидопроницаемые структуры, 6 – непроницаемые консолидированные породы. Над геофизическим разрезом показан профиль высот измерительных пунктов, условная система координат привязана к профилю. Тоновая шкала показывает относительную интенсивность реакции среды по разрезу на порождение Рэлеевских микросейсмических волн с различной глубиной проникновения. Увеличение интенсивности реакции среды соответствует пониженным значениям скоростей, уменьшение реакции – повышенным значениям скоростей S-волн [Собисевич и др., 2008]

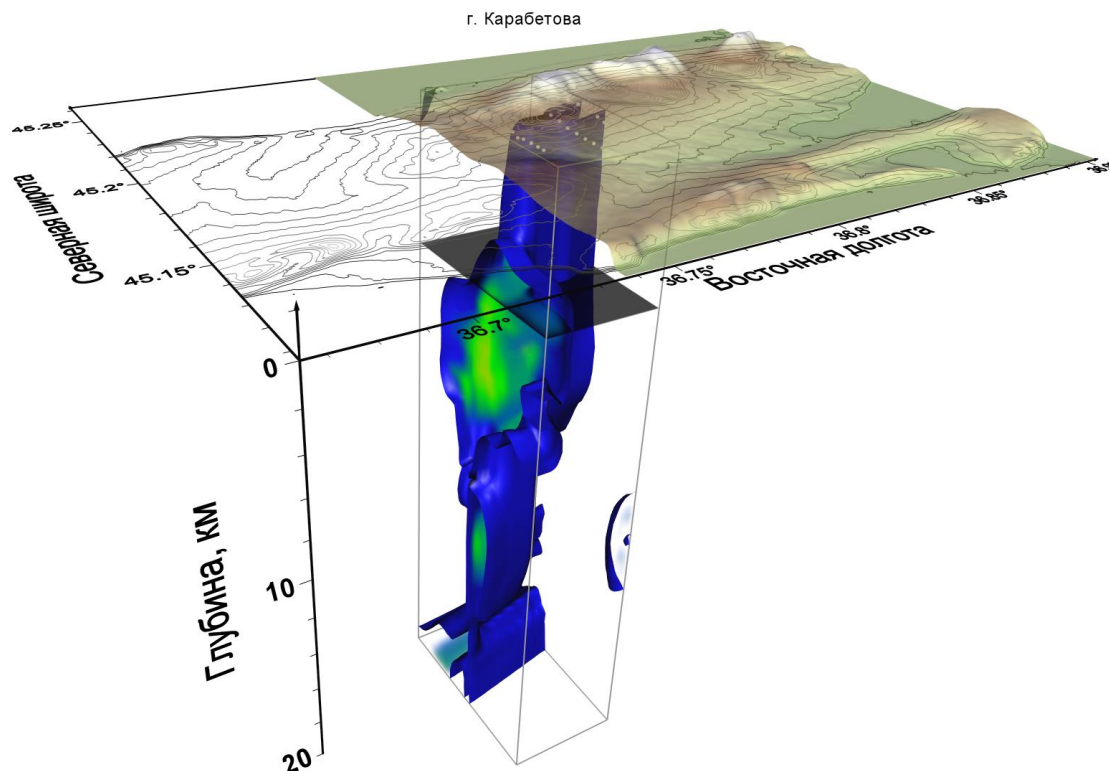


Рис. 4. Объемное представление флюидоподводящих структур грязевого вулкана горы Карабетова по результатам обработки трёх геофизических профилей [Собисевич, 2012]

Поскольку корни грязевого вулкана горы Карабетова уходят почти вертикально вниз до больших глубин, что не соответствует надвиговой модели строения грязевулканических структур Керченско-Таманского региона, то образование ядра Карабетовской антиклинали и одноименного грязевого вулкана можно интерпретировать как результат глубинных процессов – давления флюидов, проникающих вдоль относительно узкой зоны, и приводящего к разуплотнению и течению глин майкопской серии. Смятие неоген-четвертичных отложений в антиклинальную складку связывается в таком случае не столько с региональным сжатием, сколько с реакцией перекрывающих майкопскую серию осадков на давление проникающих из глубины разуплотненных подвижных масс [Овсяченко и др., 2017].

В то же время, отдельные элементы питающей системы проявляются в юго-восточной части вулканической постройки и действуют практически постоянно в режиме свободного истечения жидкой грязебрекчии (рис. 5).



Рис. 5. Грязепроявления в юго-восточной части горы Карабетова

Таким образом, геофизические данные о внутреннем строении грязевого вулкана горы Карабетова и их интерпретация совместно с геолого-геоморфологическими закономерностями формирования данного объекта, позволили установить взаимосвязь региональной геодинамики и флюидной активности, а также проследить пути миграции флюидов до глубин 15 – 25 км. Показано, что преимущественный характер извержений зависит от пространственной конфигурации и проницаемости структур питающей системы грязевого вулкана. Известно, что чередование мощных взрывных извержений и периодов относительного покоя (свободного истечения грязебрекчии) во многом определяется особенностями газогенерации в недрах [Войтов и др., 2004; 2005]. Дальнейшие комплексные геолого-геофизические полевые исследования, в том числе наблюдения за газовым и температурным режимами истечения грязевулканических продуктов могут подтвердить, уточнить, либо опровергнуть предложенную гипотезу.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-29-02046).

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.В., Яроцкий Л.А. Грязевые сопки Керченско-Таманской области. Условия их возникновения и деятельности. Л.-М.: ОНТИ. 1936. 154 с.
2. Богатилов О.А., Войтов Г.И., Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Науменко-Бондаренко И.И., Пузич И.Н., Коробейник Г.С. О пароксизмальном извержении грязевого вулкана горы Карабетова 6 мая 2001 г. (Таманская грязевулканическая провинция) // Доклады РАН. 2003. Т. 390. № 6. С. 805–808.
3. Войтов Г.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Пронин А.П., Микадзе Э.И., Науменко-Бондаренко И.И., Пузич И.Н. Эманиационные и изотопно-углеродные нестабильности грифонных газов грязевого вулкана Бугазский и сопряженных с ним тектонических структур (Таманская грязевулканическая провинция) // Докл. РАН. 2004. Т. 394. № 1. С. 85–88.
4. Войтов Г.И., Микадзе Э.И., Пузич И.Н. О генерации органических структур нефтяного ряда в свете механохимической модели синтеза в сейсмических процессах // Геохимия. 2005. № 6. С. 661–672.
5. Горбатилов А.В. Патент на изобретение RU № 2271554 «Способ сейсморазведки», дата приоритета 25.03.2005.
6. Горбатилов А.В., Собисевич А.Л., Овсяченко А.Н. Развитие модели глубинного строения Ахтырской флексурно-разрывной зоны и грязевого вулкана Шуго // Доклады РАН. 2008. Т. 421. № 5. С. 670 – 674.
7. Еришов В.В., Собисевич А.Л., Пузич И.Н. Глубинное строение грязевых вулканов Тамани по данным натурных исследований и математического моделирования // Геофизические исследования. 2015. Т. 16. № 2. С. 69 – 76.
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. Жостков Р.А., Преснов Д.А., Шуруп А.С., Собисевич А.Л. Сравнение микросейсмического зондирования и томографического подхода при изучении глубинного строения Земли // Изв. РАН. Серия физическая. 2017. Т. 81. № 1. С. 72–75.
10. Жостков Р.А., Собисевич А.Л. О движении флюидонасыщенной грязебрекчии в выводящих структурах грязевых вулканов // Геофизические исследования. 2013. Т. 14, № 4. С. 47 – 58.

11. *Лебедева Н.Б.* Условия и некоторые вопросы механизма образования глиняных диапиров Керченско-Таманской области // Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм формирования. М.: ИФЗ АН СССР. 1962. С. 219–239.
12. *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.
13. *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.
14. *Попов Д.В., Данилов К.Б., Жостков Р.А., Дударов З.И., Иванова Е.В.* Обработка данных по методу микросейсмического зондирования в программном комплексе «ДАК» // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 2. С. 44–57.
15. *Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С.* Метод пассивной томографической реконструкции глубинных неоднородностей морского дна // Ученые записки физического факультета Московского Университета 2017. № 5. С. 1750810-1 - 1750810-5.
16. *Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатиков А.В.* Эндогенные опасности Большого Кавказа. М.: ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
17. *Рогожин Е.А., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Тверитинова Т.Ю.* Структурная позиция и проблемы возникновения очагов грязевого вулканизма в позднеальпийском складчатом сооружении Северо-западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго) // Геология и геофизика Юга России. 2014. № 3. С. 89–115.
18. *Собисевич А.Л.* Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. М.: ИФЗ РАН. 2012. 510 с.
19. *Собисевич А.Л., Горбатиков А.В., Овсяченко А.Н.* Глубинное строение грязевого вулкана горы Карабетова // Доклады РАН. 2008. Т. 422. № 4. С. 542–546.
20. *Собисевич А.Л., Лаверова Н.И., Гурбанов А.Г., Пронин А.П. и др.* Сейсмоактивные флюидно-магматические системы Северного Кавказа и прилегающих территорий. Под редакцией академика Н.П. Лаверова. М.: ИФЗ РАН. 2005. 225с.
21. *Собисевич А.Л., Разин А.В.* Геоакустика слоистых сред. М: ИФЗ РАН. 2012. 210с.

22. *Тверитинова Т.Ю., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Лиходеев Д.В.* Структурная позиция и особенности строения и формирования грязевого вулкана горы Карабетова // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2015. № 2. С. 106–122.
23. *Федоров С.Ф.* Грязевые вулканы Крымско-Кавказской геологической провинции и диапиризм // Результаты исследования грязевых вулканов Крымско-Кавказской геологической провинции. М.: Изд-во АН СССР. 1939. С. 5–44.
24. *Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутний В.А.* Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. К.: Наукова думка. 1986. 152 с.
25. *Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев А.А. и др.* Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. Баку: Элм. 1980. 164 с.
26. *Яновская Т.Б.* К теории метода микросейсмического зондирования // Физика Земли. 2017. № 6. С. 18–23.