
<https://doi.org/10.15407/gpimo2020.02.066>

Л.Е. Собисевич, доктор техн. наук, главный научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1
E-mail: sobis@ifz.ru
ORCID 0000-0001-7496-0985

А.Л. Собисевич, доктор физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН, зам. директора,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1
E-mail: alex@ifz.ru
ORCID 0000-0003-4656-6694

ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАН ШУГО, ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЗМЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Большинство грязевых вулканов расположено вдоль крупных тектонических зон в пределах Альпийской и Центрально-Азиатской складчатых областей, Тихоокеанского подвижного пояса и рифтовых областей Атлантического и Индийского океанов. Одним из основных условий функционирования в земной коре подвижных поясов грязевулканических процессов являются дислоцированность и смятие в складки комплекса осадочных образований. Именно такие геологические условия определяют деятельность многих грязевых вулканов в пределах Керченско-Таманской грязевулканической провинции, в том числе и грязевого вулкана Шуго.

Многолетними исследованиями явления грязевого вулканизма, выполненными под руководством и при непосредственном участии академика Е.Ф. Шнюкова, созданы фундаментальные основы геолого-геофизического подхода к более глубокому пониманию условий формирования и механизмов деятельности вулканов Керченского и Таманского полуостровов. Настоящая работа посвящена результатам сейсмологических и геоакустических исследований вулкана Шуго, расширяющим наши представления об особенностях глубинного строения изучаемого объекта и способствующим дальнейшему развитию идей выдающегося учёного, академика НАН Украины Е.Ф. Шнюкова.

Ключевые слова: *грязевой вулканизм, глубинное строение, корневые структуры, поверхностные волны, микросейсм, сейсмический шум, флюидная активность.*

Цитування: Собисевич Л.Е. Собисевич А.Л. Грязевой вулкан Шуго, глубинное строение и механизмы деятельности. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2020. 16, № 2: 66–80. <https://doi.org/10.15407/gpimo2020.02.066>

Вулкан Шуго — один из крупнейших и, пожалуй, самых живописных грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической провинции. Расположен он на правом берегу одноименной речки в нескольких километрах к югу от станицы Варениковской. По мере приближения к вершине вулканической постройки, густо поросшей лесом, открывается вид на практически лишённое растительности сопочное поле и главный эруптивный центр, отчасти напоминающий фрагмент лунного пейзажа (рис. 1).

Деятельность вулкана Шуго, расположенного в пределах Ахтырской флексурно-разрывной зоны, отличается постоянной сменой активных (рис. 2) и спокойных (рис. 3) периодов в течение длительного времени, систематическим выбрасыванием газов и сопочной грязи с незначительным содержанием грубообломочного материала.

В тектоническом отношении восточная часть грязевулканической провинции расположена на участке погружения орогенных складчатых структур мегантиклинория Большого Кавказа под слабодислоцированный кайнозойский чехол Таманского и Западно-Кубанского прогибов.

Антиклинальные гряды Таманского полуострова в направлении с запада на восток меняют свое простираие с север-северо-восточного на субширотное, затем на северо-западное, окаймляя периклинальное замыкание Кавказа (рис. 4).

Северное крыло мегантиклинория Северо-Западного Кавказа, представленное Ахтырской флексурно-разрывной зоной образует структурную ступень, служащую переходом к впадине Западно-Кубанского прогиба. Слои отложений верхнего мела, палеогена и майкопской серии круто погружаются в сторону предгорного прогиба. Дизъюнктивными осложнениями флексуры северного склона являются разломы, выявленные в процессе геологических работ на Кавказе разными исследователями и подробно изученные геолого-геофизическими методами [4].

Вулкан приурочен к вершине одноименной антиклинальной складки, сложенной меловыми и кайнозойскими отложениями. Собственно, грязевулканическая постройка Шуго ассоциируется с разломом северо-восточного простираения. Это разлом выражен в рельефе и влияет на экзогенные процессы, юго-восточное крыло его поднято, правосдвиговая компонента проявляется в смещении



Рис. 1. Вид с северо-западной стороны кольцевого вала на сопочное поле вулкана Шуго

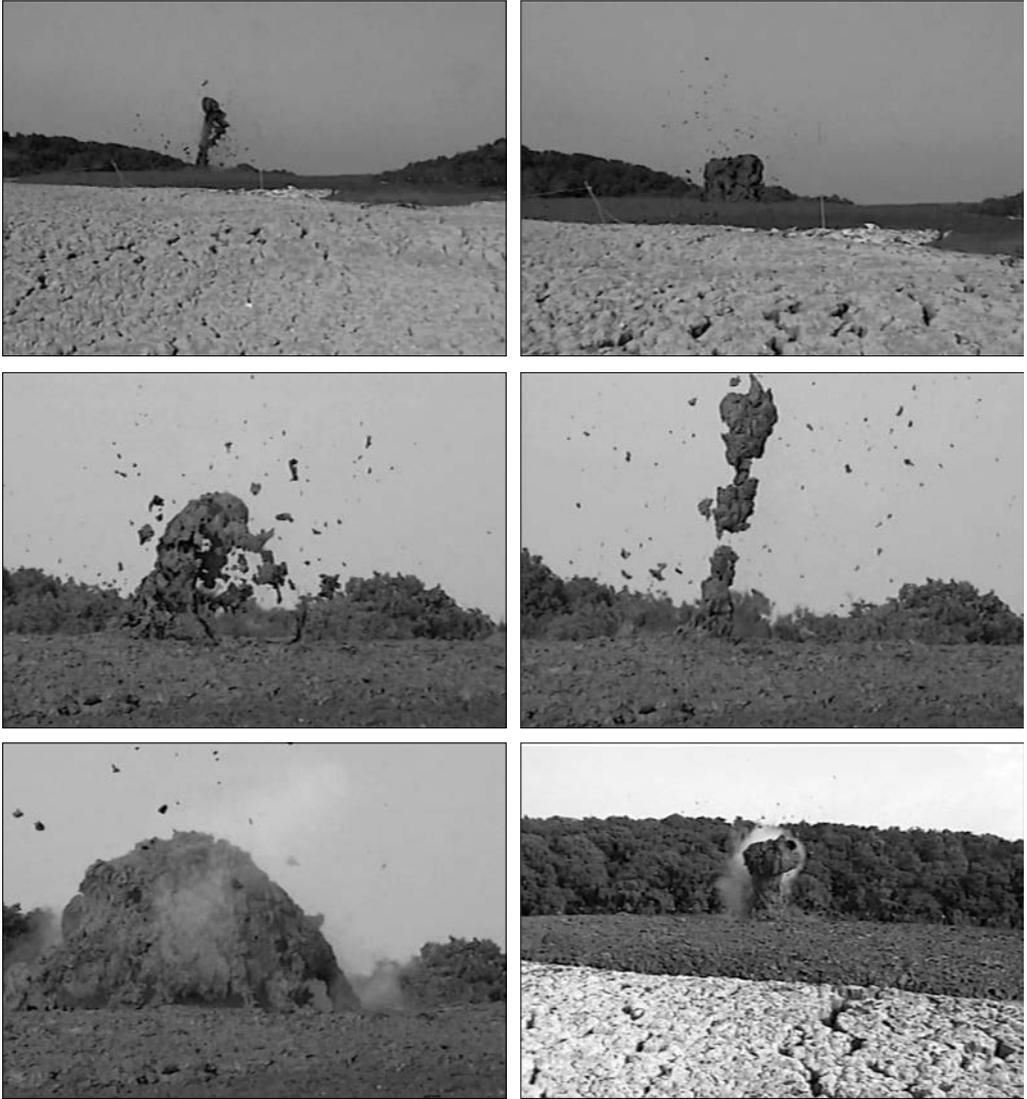


Рис. 2. Извержение грязевого вулкана Шуго в августе 2006 года. Выбросы глиняных масс сопровождаются интенсивными выходами порций газа, в основном — метана

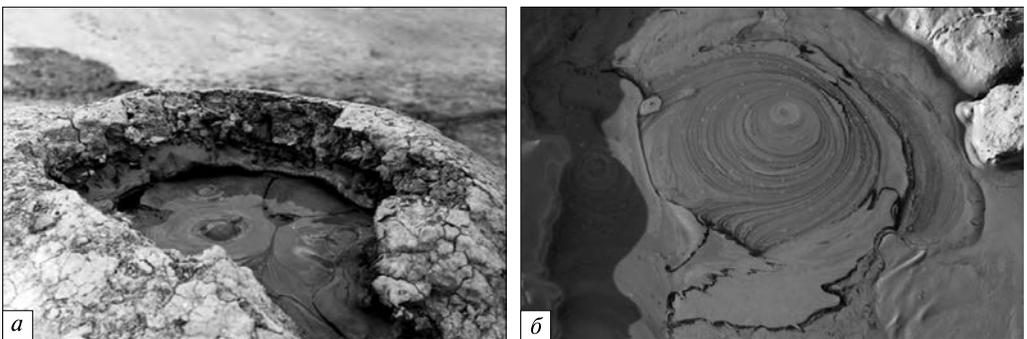


Рис. 3. Современные грязепроявления на вулкане Шуго, один из действующих конусов в западной части сопочного поля со следами сырой нефти в продуктах извержения, сопровождаемого периодическим выходом газовых пузырей диаметром до 15 см

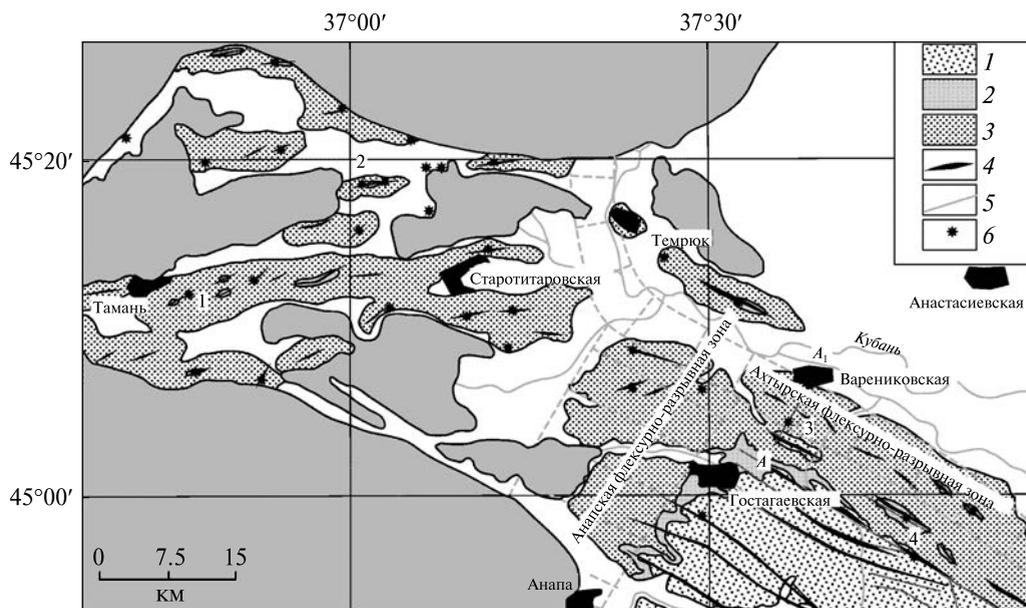


Рис. 4. Тектоническая схема Таманского полуострова и периклинального замыкания Северо-Западного Кавказа: 1 — мел-палеогеновые отложения; 2 — майкопская серия (олигоцен-миоцен); 3 — неогеновые отложения; 4 — оси антиклинальных складок; 5 — крупнейшие складчатые разрывные нарушения; 6 — грязевые вулканы: горы Карабетова (1); Западный Цымбал (2); Шуго (3); Гладковский (4). А—А₁ — линия геофизического профиля 2006 года [4]

кольцевого вала, ограничивающего кальдеру вулкана. Измеренная геоморфологическими методами скорость горизонтальных смещений в голоцене составляет 3,7—5 мм/год, вертикальных — 0,7—1 мм/год [7].

Вершинный кратер размером 230—280 м, округлой формы и похожий на кальдеру проседания, окружен кольцевым валом высотой 20—30 м. Последний прорван в нескольких местах потоками грязевых брекчий на востоке и юго-востоке, где естественным образом сформировалась балка, обеспечивающая снос накапливаемого изверженного материала (рис. 5).

Внутренняя часть кратера заполнена в основном свежей светло-серой сопочной брекчией с многочисленными глиняными потоками и целым рядом действующих конусов, извергающих разжиженную грязь и газ (см. рис. 3).

Принимая во внимание практически непрерывный характер деятельности вулкана в совокупности с транспортной доступностью и относительной удалённостью его от крупных объектов инфраструктуры, было принято решение о проведении экспериментальных работ с привлечением методов и средств активной сейсмологии [1]. В 2006 году силами комплексной геолого-геофизической экспедиции ИФЗ РАН, ИВМиМГ СО РАН и КубГУ в натуральных условиях была опробована технология активного вибросейсмического мониторинга глубинных флюидонасыщенных структур. Этот эксперимент был призван содействовать изучению условий трансформации волновых полей на геологических структурах при прохождении продольных профилей на траверсах “вибратор — регистрирующая сейсмостанция — грязевой вулкан” и “вибратор — вулкан — регистрирующая сейсмостанция” (рис. 6).

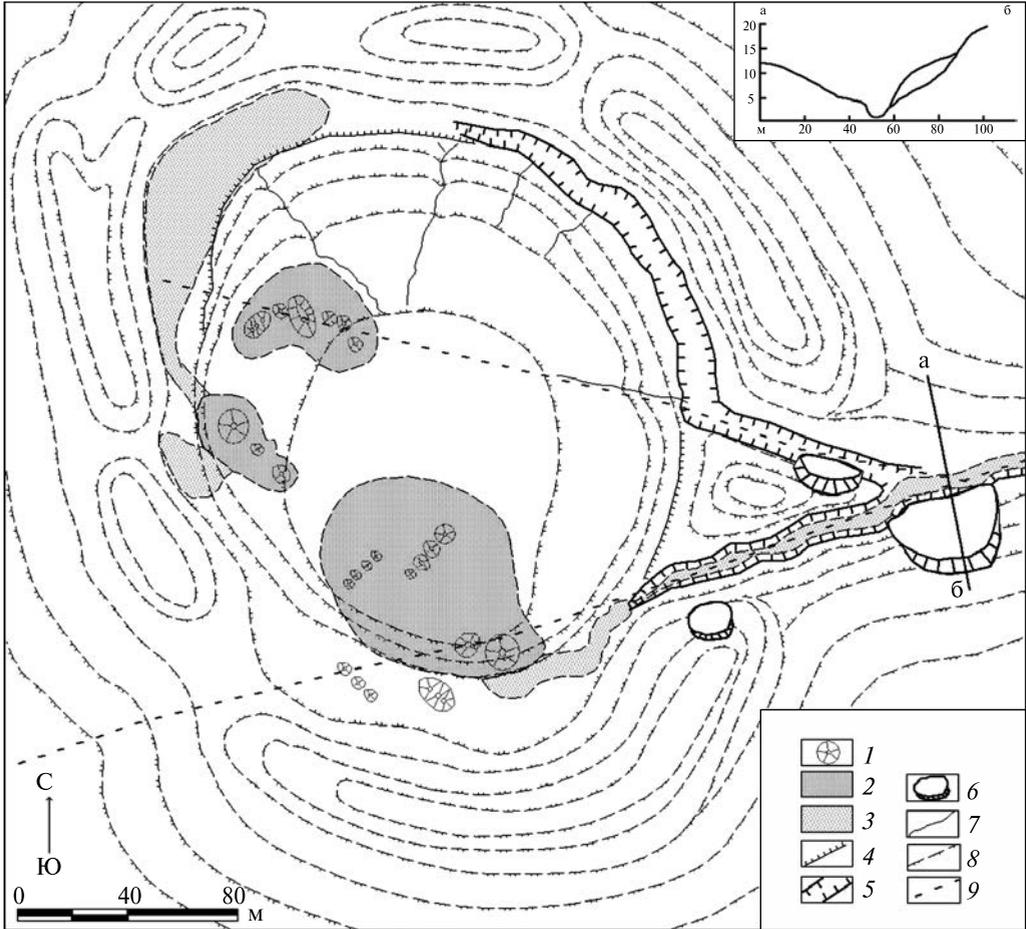


Рис. 5. Схема привершинной части грязевого вулкана Шуго: 1 — действующие грифоны и салзы; 2 — отдельные грязевые сопки; 3 — излияния сопочной брекчии; 4 — кольцевые сбросы, выраженные свежими уступами; 5 — крутые борта балок с активным эрозионным врезом; 6 — оползни; 7 — сухие русла; 8 — условные горизонталы рельефа; 9 — активные разрывы, выраженные в рельефе [8]

Путем перемещения сейсмического вибрационного источника (рис. 7) вдоль указанных траверсов (рис. 6) производилось зондирование геологической среды сериями вибровоздействий. Одновременная регистрация сигналов осуществлялась на заранее подготовленных пунктах расстановки сейсмических датчиков, а количество повторяющихся сеансов зондирований в каждом пункте установки вибратора было выбрано с учётом помехоустойчивости вибрационных сейсмограмм. Вычисление вибрационных сейсмограмм $f(m)$ производилось в соответствии с алгоритмом [2]:

$$f(m) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^L \sum_{n=0}^{N-1} x_n^{(i)} \cdot S_{n-m}, m = 0, K M; i = 1, K L, \quad (1)$$

здесь M — число дискретных отсчетов вибрационной сейсмограммы, L — число усреднений, $S(t_n)$ — опорный сигнал с линейной частотной модуляцией вида $S(t) = a(t) \cos(2\pi f_0 t + \beta t^2/2)$, параметрами которого являются $a(t)$ — огибаю-

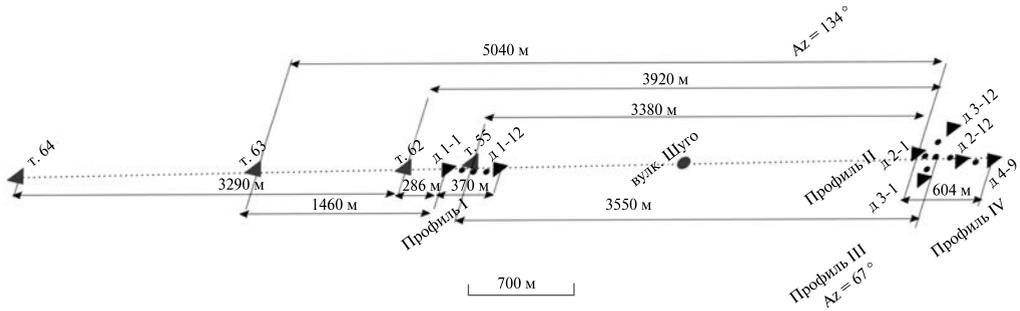


Рис. 6. Схема расстановок сейсмического вибратора и датчиков в активном эксперименте на вулкане Шуго: т. 55, т. 62, т. 63, т. 64 — точки зондирования, Д 1—1 — Д 1—12 — сейсмические группы, профили I—IV — линии расстановки сейсмических групп [2]



Рис. 7. Источник сейсмических сигналов вибрационный “СВ — 10/180” на точке 62

шая, f_0 — начальная частота развёртки, β — скорость развёртки по частоте, равная $\beta = (f_{max} - f_0)/T$, где f_{max} — максимальная частота, а T — длительность развёртки.

При проведении эксперимента были заданы следующие величины: $f_0 = 10$ Гц, $f_{max} = 64$ Гц, $T = 60$ с. На рис. 8 показаны примеры регистрации вибрационных сейсмограмм, характеризующиеся достаточным для анализа волновых форм соотношением сигнал/шум. Другой важной характеристикой вибросейсмических сигналов являются спектрально-временные характеристики, алгоритм вычисления которых имеет следующий вид:

$$F(\omega_k, t_q) = F(k, q) = \sum_{n=0}^{N-1} x_{n+q} \exp(-j2\pi kn/N), \quad (2)$$

где $n = 0, 1, \dots, N_1 - 1$, $q = 0, 1, \dots, N_2 - 1$; $N_1 \cdot N_2 = N$; $N = T/\Delta t$, T — общее время анализа, Δt — интервал квантования исходных сигналов. В качестве последовательностей x_{n+q} в одном случае использовались исходные сигналы, регистрируемые со стороны входа системы регистрации сейсмических сигналов, в другом — вибрационные сейсмограммы $\bar{r}(m)$. По результатам активного сейсмоакустического эксперимента были выявлены характерные особенности волновых структур в окрестности вулканической постройки и оценен вклад наведенных волно-

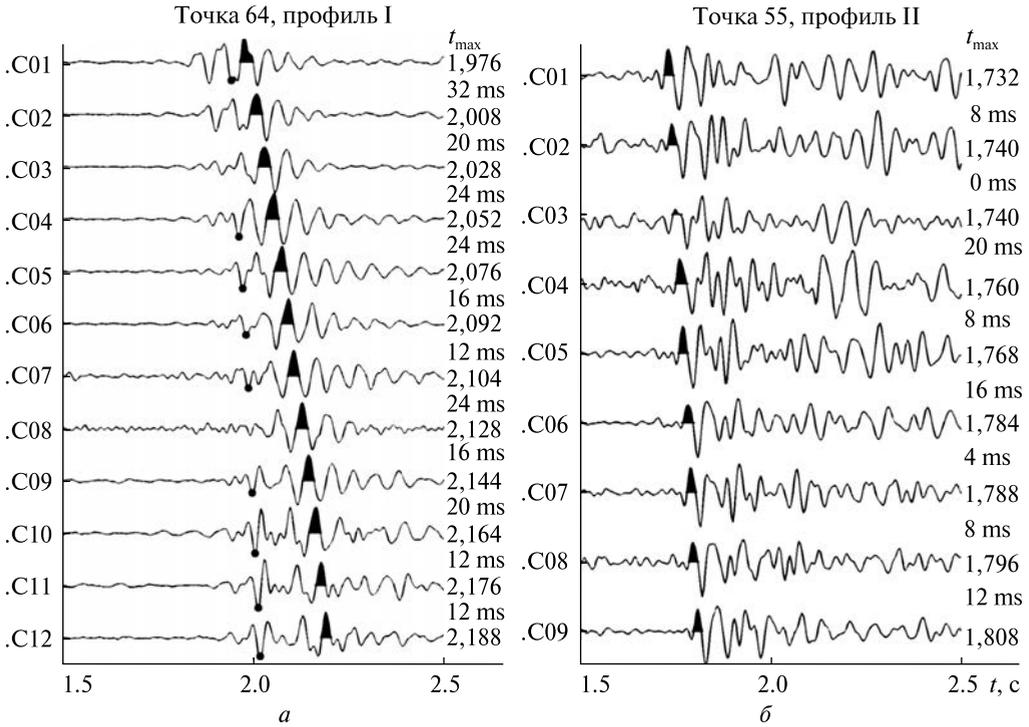


Рис. 8. Вибрационные сейсмограммы, зарегистрированные на профиле I (а) и II (б) [2]

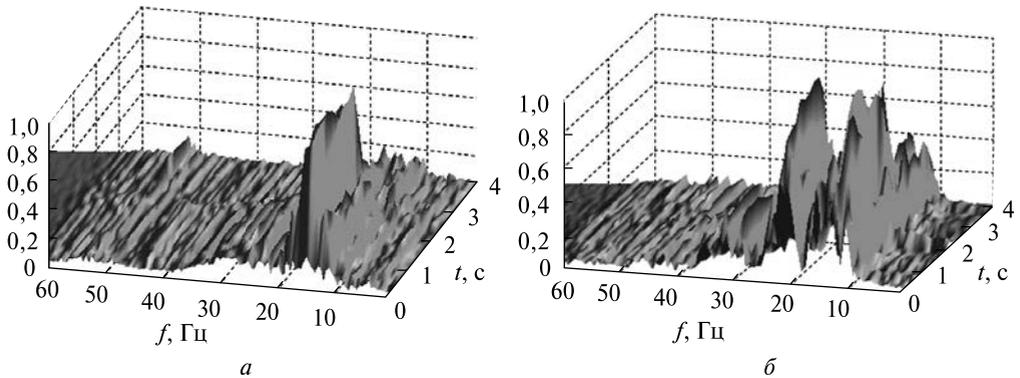


Рис. 9. Спектрально-временные функции вибрационных сейсмограмм для расстояний “вибратор-приемник”: а — $R = 3500$ м (профиль I); б — $R = 3600$ м (профиль II) [2]

вых процессов в параметры регистрируемых сейсмических полей. Кроме того, удалось построить скоростной разрез геологической среды в районе вулканической постройки до глубин 3–4 км.

Наиболее характерные особенности сейсмоакустических волновых полей проявились в обогащении спектра регистрируемых сигналов в связи с прохождением сейсмических колебаний через геологическую среду, осложнённую флюидопроницаемой питающей системой вулкана (рис. 9, б). Для сравнения на рис. 9, а представлена спектрограмма волновых процессов, регистрируемых перед вулканом. Во временной области это приводит к появлению на вибрационных

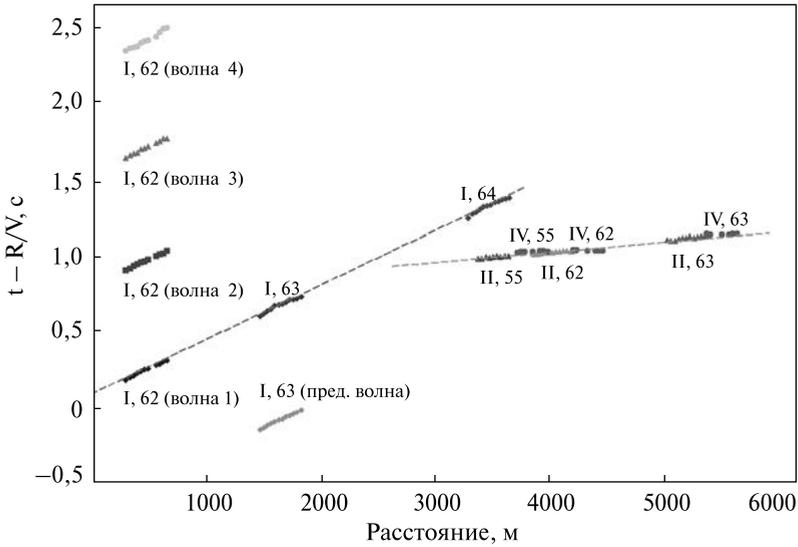


Рис. 10. Редуцированные годографы волн для профилей I, II, IV и точек зондирования 55, 62, 63, 64 [2]

сейсмограммах вслед за головными волнами хаотически распределенных вторичных волн (см. рис. 8, б). При этом наблюдается увеличение длительности преобладающей части сейсмограмм до 1,5–2,0 с вместо 0,3 с, полученных в первом случае.

Подобные эффекты представляется возможным связать с трансформацией излучаемых сигналов на нелинейных структурах геологической среды в условиях распространения сейсмических волн во флюидонасыщенных образованиях, какими являются питающие каналы грязевых вулканов.

Редуцированные годографы головных сейсмических волн (скорость редукции $V = 4550$ м/с), полученные по данным вибросейсмического зондирования, имеют хорошо выраженные линейные зависимости “время—расстояние” в диапазонах 300–5000 м (рис. 10).

Первому годографу I, полученному на профиле “вibrator-приемник-вулкан”, соответствует кажущаяся средняя скорость 1740 м/с, которая с точностью 0,5 % повторяется на разных участках зондирования. Второму годографу, охватывающему профили II, IV и соответствующему схеме расстановки “вibrator-вулкан-приемник” (т.е. вулкан оказывается между источником и приемником), с точностью до 3 % соответствует кажущаяся скорость 3400 м/с. Оба годографа получены на основе использования вибрационных сейсмограмм с хорошо выраженными вступлениями головных волн [2].

В процессе проведения активного мониторинга вулканической постройки и окружающей геологической среды обнаружены геодинамические эффекты, которые связаны с реакцией грязевыводящих каналов и других флюидонасыщенных структур в теле вулканической постройки на вибрационное воздействие. Грязепроявления в центре вулкана и на периферии при длительном активном сейсмическом воздействии обнаруживают пространственную анизотропию.

По данным академика Е.Ф. Шнюкова [16, 17, 18] подводные каналы грязевых вулканов определяются сейсмическими методами на глубинах 7–10 км.

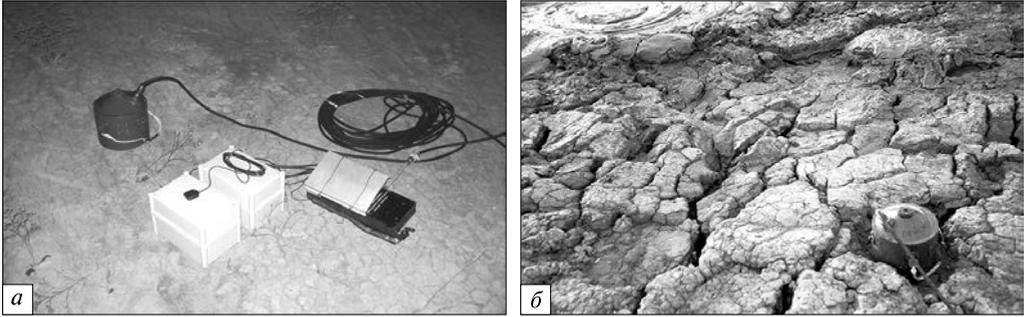


Рис. 11. Геоакустическая информационно-измерительная система у подножия сопки им. Г.И. Войтова (слева) и в непосредственной близости у грифона “Центральный” вулкана Шуго

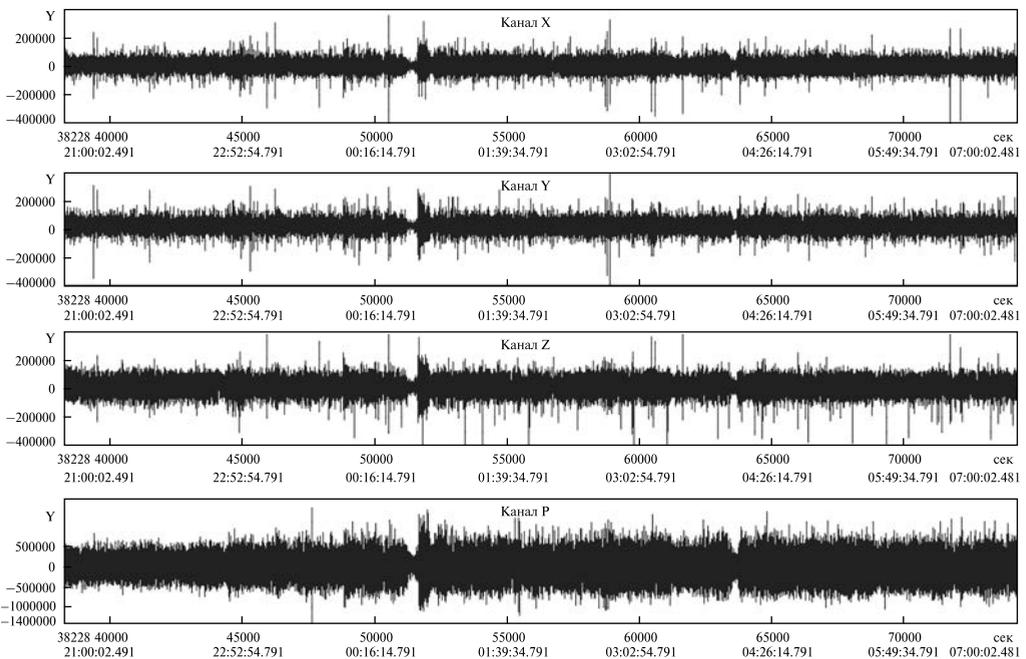


Рис. 12. Запись сейсмоакустического шума у центрального грифона, отчетливо видны моменты “запирания” питающей системы вулкана в 00:30 и в 03:40

Увлекающие брекчию газы в процессе подъёма к поверхности и определяют, скорее всего, процессы формирования дилатантных структур и трансформации сейсмических и акустических полей в окрестности вулканической постройки [11]. В этой связи представляют интерес результаты сейсмоакустического эксперимента, в котором были зарегистрированы геофизические процессы, характеризующие динамические особенности флюидного режима в питающей системе вулкана. Данные получены с использованием мобильной информационно-измерительной системы регистрации геоакустической информации (рис. 11), разработанной в Институте многопроцессорных систем Таганрогского радиотехнического университета под руководством академика И.А. Каляева.

В зарегистрированном геодинамическом процессе, отражающем режим функционирования питающих каналов вулкана Шуго (рис. 12), удаётся выде-

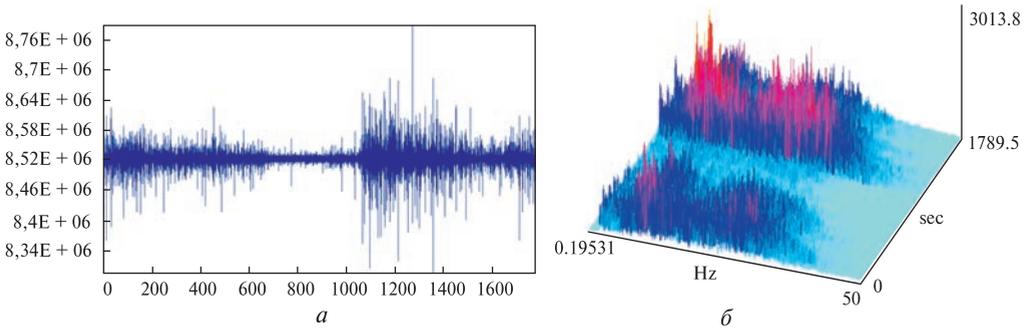


Рис. 13. Фрагмент записи (слева) и соответствующая ему спектрограмма (справа), отражающие структуру сейсмических шумов в момент “запирания” питающей системы вулкана Шуго

лечь характерные флюктуации геоакустического поля, в частности отчетливо заметны моменты временной “закупорки” флюидоподводящих каналов. Первый из них длительностью около 10 минут отмечен в 00:30, аналогичное явление повторилось около 4 часов утра (см. рис. 12). Объяснение подобных аномальных явлений в деятельности грязевулканических камер и выводящих каналов вулканических структур следует искать в изменении пластового давления в грязевулканическом очаге, которое на вулкане Шуго растёт за счёт поступающих глубинных флюидов. При этом осуществляется интенсивная интеграция парциальных давлений и относительная гомогенизация всех составляющих, включенных в систему. Представление о динамике флюидного процесса в теле вулканической постройки можно составить из рассмотрения рис. 12 и 13.

В момент прекращения функционирования вулкана удается наблюдать резкое снижение уровня сейсмических шумов. На некоторое время он уменьшился до фоновых значений, характерных для данного региона. Процесс установления “нормального” уровня сейсмоакустического шума, свойственного данному периоду жизни вулкана, происходит довольно быстро, в течение 10–12 мин. Скорее всего, за этот промежуток времени в камере и выводящих каналах режим течения грязебрекчии и транспортирующих брекчию флюидов стабилизируется на прежнем уровне, который может быть охарактеризован как своего рода релаксационные автоколебания.

Если выразаться образно, то можно сказать, что вся разломно-блоковая структура грязевого вулкана напоминает большой природный “орган”, через резонансные “трубы” (выводящие каналы разного масштаба) которого прокачиваются флюиды, увлекающие грязебрекчию. В духовых музыкальных инструментах акустические волны, как правило, являются стоячими. Однако в обоих случаях режим автоколебаний существенным образом связан с особыми свойствами вещества, извергаемого грязевыми вулканами. В органной трубе особым свойством обладают вихревые структуры на язычке свистка. В геофизической среде особыми являются свойства самого вещества волновода, горизонтальные и вертикальные движения под действием тектонических сил, которые и порождают наблюдаемые в эксперименте волновые формы.

Анализируя внутреннее строение вулкана, удастся объяснить причины взрывных извержений, которые связаны в первую очередь с закупоркой основного выводящего канала, что и привело к прекращению деятельности централь-

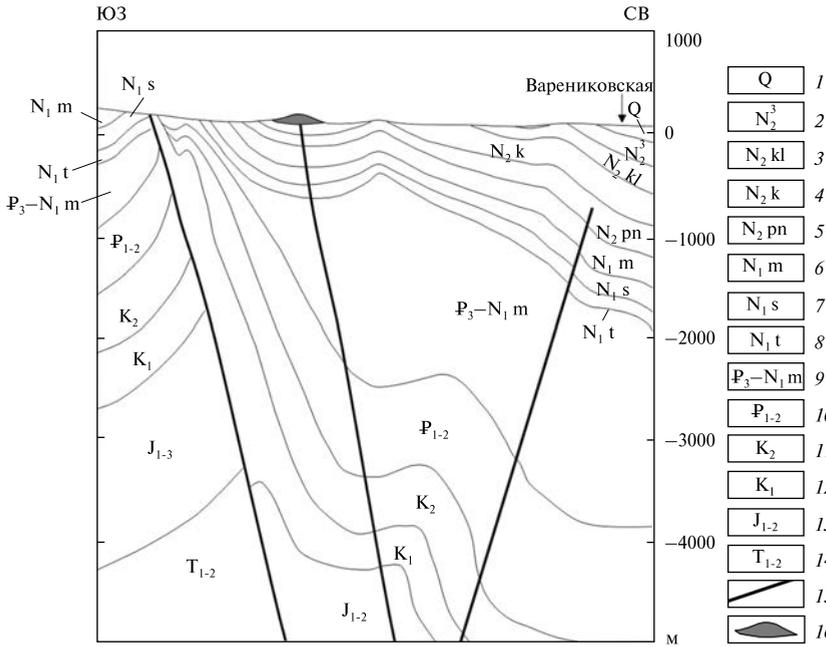


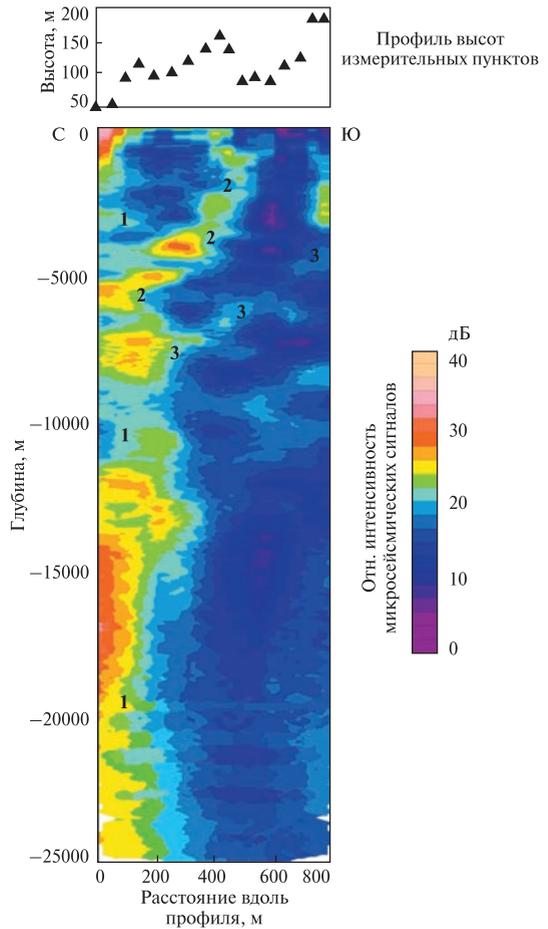
Рис. 14. Геологический разрез через грязевой вулкан Шуго и прилегающие структуры [8]: 1 — четвертичные отложения, конгломераты, глины, пески, суглинки; 2 — верхний плиоцен, пески, глины, галечники; 3 — куяльницкий ярус, глины с редкими прослоями алевролитов; 4 — киммерийский ярус, алевролиты, глины, в основании песчаники с бурями железняками; 5 — понтический ярус, глины с прослоями известняков, алевролитов и конгломератов; 6 — меотический ярус, глины с прослоями известняков; 7 — сарматский ярус, глины с прослоями мергелей и известняков; 8 — тортонский ярус, глины с прослоями мергелей, известняков и песчаников; 9 — майкопская толща, битуминозные глины с конкрециями сидерита; 10 — палеоцен-эоцен, глины, алевролиты, мергели с прослоями известняков и песчаников; 11 — верхний мел, алевролиты, мергели, известняки, песчаники; 12 — нижний мел, глины, песчаники, алевролиты с линзами и конкрециями сидерита; 13 — нижняя, средняя юра, глинисто-алевритовые отложения с прослоями песчаников, известняков и кварцевых порфиров; 14 — нижний, средний триас, массивные, рифогенные и плитчатые известняки, глинистые сланцы; 15 — разрывные нарушения; 16 — отложения грязевого вулкана Шуго

ного кратера, зафиксированного сейсмическими методами. Затем последовало повышение давления флюидов непосредственно в очаге и, как следствие, в окружающих дилатантных структурах. Высокое давление и явилось тем спусковым механизмом, который снова открыл пути поступления флюидов в главный выводной канал. Однако, форма, размеры и пространственное расположение элементов глубинной питающей системы вулкана Шуго до недавнего времени были оконтурены достаточно приблизительно.

Для наполнения верхней части геофизического разреза геологическим содержанием использованы данные о залегании мел-неогеновых отложений, наблюдаемых на поверхности в этом районе. В результате экстраполяции геологических данных в недра, с определенной долей условности построен разрез через прилегающие к вулкану Шуго структуры (рис. 14).

На поверхности, к юго-западу от Шуго, осевая часть мегантиклинория сложена толщами верхнего мела, палеогена и неогена. Здесь они образуют диапиро-

Рис. 15. Разрез по контрастам сейсмических скоростей вдоль профиля, который проходил через вулканическую постройку вулкана Шуго. Увеличение относительной интенсивности реакции среды соответствует уменьшению сейсмических скоростей и наоборот. 1 — зона пониженных скоростей, ассоциируемая с Ахтырским разломом; 2 — зона пониженных скоростей, ассоциируемая с питающим разломом вулкана Шуго; 3 — зона пониженных скоростей, ассоциируемая с Гладковским разломом [4]



вую Гладковскую складку с крутым северо-восточным крылом. В этой части изучаемой структуры мел-палеогеновые отложения интенсивно деформированы и выжаты на поверхность, а ядро складки прорвано разломом, прослеженным на глубину порядка 20 км. К ядру складки приурочен Гладковский грязевой вулкан. Грязевой вулкан Шуго приурочен к синклиналильному понижению, расположенному непосредственно северо-восточнее Гладковской антиклинали. Ядро синклинали разорвано разломом, который является подводным каналом для вулкана Шуго. К юго-западу от постройки Шуго, неогеновые отложения смяты в симметричные антиклинали, для которых характерно сокращение мощностей отложений к сводам, вплоть до полного выклинивания отдельных горизонтов и выраженность в современном рельефе в виде положительных форм.

Под северным крылом мегантиклинория кристаллический фундамент, по данным МОВЗ, погружен до глубины 10–12 км. Геологические данные позволяют достроить под меловыми толщами ниже-среднеюрский карбонатно-терригенный комплекс, остальной объем до фундамента занимают толщи промежуточного переходного комплекса пермо-триаса. Именно в этих неоднородных разломно-блоковых структурах поле напряженности, которое формирует области сжатия и растяжения, представляется крайне сложным.

В августе — сентябре 2006 года в районе вулкана Шуго были проведены плановые геолого-геофизические исследования, включающие работы по глубинному зондированию основных вулканических структур. На этот раз был применен пассивный способ сейсморазведки, основанный на использовании метода низкочастотного микросейсмического зондирования [3]. Метод основан на инверсии амплитудного-частотного пространственного распределения микросейсмического поля и базируется на предположении, что вертикальная компонента

микросейсмического шума в низкочастотном диапазоне определяется преимущественным вкладом фундаментальных мод поверхностных волн Рэлея. Профиль геофизических исследований показан на рис. 4 (линия А — А₁), а результирующий вертикальный разрез по контрастам сейсмических скоростей — на рис. 15. Тёплыми тонами оконтурены области пониженных значений сейсмических скоростей, соответствующих более трещиноватым и флюидонасыщенным структурам.

Полученный геолого-геофизический разрез не противоречит ранее установленным особенностям строения грязевых вулканов [15, 17]. Обращает на себя внимание близповерхностный флюидный резервуар, структурно приуроченный к синклинали складке и повторяющий общие черты этой структуры. Последнее обстоятельство, видимо, обуславливает поступление флюидов к вулкану Шуго в соответствии с механизмом артезианского источника. Довольно ярко выделяются источники флюидов в диапазоне глубин 3500—5000 м. Исследования на вулкане Шуго позволили изучить не только глубинное строение непосредственно грязевого вулкана, но и уточнить глубинную структуру Ахтырской флексурно-разрывной зоны [11].

Таким образом, впервые было выполнено активное зондирование вулканической постройки, изучены условия взаимодействия вибросейсмических полей с телом вулканической постройки и окружающей геологической средой. Зарегистрированные в активном эксперименте структурные изменения динамических характеристик волновых полей позволяют на новом уровне подойти к анализу условий генерации наведенных волновых процессов в теле вулканической постройки грязевого вулкана.

Установлено, что очаг грязевого вулкана представляет собой тело дилатантного типа, сложенное глинами, реже — песками, часто содержащими большое количество твердых обломков вмещающих пород и разжиженных гомогенизированными газоводными флюидами. Формирование очагов на больших глубинах происходит, по-видимому, за счет саморазвития элизионных систем и может при благоприятных обстоятельствах стать питательной средой для корневых структур и выводящих каналов, составляющих основу современных грязевулканических построек.

Получен ряд новых экспериментальных результатов, отражающих динамику развития извержения и внутреннее строение вулкана. Подтверждено влияние геологических неоднородностей на формирование фонового микросейсмического поля. Определены закономерности этого влияния и опробован, по сути, своеобразный вид сейсмической разведки, использующий в качестве зондирующего сигнала фоновые колебания земной поверхности.

Разработаны теоретические и экспериментальные основы перспективного облика систем мониторинга состояния грязевых вулканов, в том числе и с применением мощных вибросейсмических источников.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С., Геза Н.И., Глинский Б.М., Еманов А.Ф., Кашун В.Н., Ковалевский В.В., Манштейн А.К., Михайленко Б.Г., Селезнев В.С., Сердюков С.В., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Соловьев В.М., Хайретдинов М.С., Чичинин И.С., Юшин В.И. Активная сейс-

- мология с мощными вибрационными источниками. Отв. ред. Г.М. Цибульчик. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал “Гео” Издательства СО РАН, 2004. 387 с.
2. Глинский Б.М., Собисевич А.Л., Хайретдинов М.С. Опыт активного мониторинга сложно построенных геологических структур (на примере грязевого вулкана Шуго). *Докл. Академии наук*. 2007. Т. 413, № 3. С. 398—402.
 3. Горбатов А.В. Патент на изобретение RU № 2271554 “Способ сейсморазведки”, дата приоритета 25.03.2005. Бюл. изобр. 2006. № 7.
 4. Горбатов А.В., Собисевич А.Л., Овсяченко А.Н. Развитие модели глубинного строения Ахтырской флексурно-разрывной зоны и грязевого вулкана Шуго. *Докл. Академии наук*. 2008. Т. 421, № 5. С. 670—674.
 5. Ершов В.В., Еловский Е.В., Пузич И.Н. Закономерности распределения редкоземельных элементов в грязевулканических водах. *Докл. Академии наук*. 2019. Т. 488, № 1. С. 71—73.
 6. 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.
 7. Овсяченко А.Н. Проявления молодой тектонической активности в структуре грязевых вулканов Тамани и Северо-Западного Кавказа. Современные методы геолого-геофизического мониторинга природных процессов на территории Северного Кавказа. Москва: ИФЗ РАН, 2005. С. 235—248.
 8. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Лутиков А.И., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Горбатов А.В. Эндогенные опасности Большого Кавказа. Москва: ИФЗ РАН, 2014. 256 с.
 9. Собисевич А.Л., Жостков Р.А. О движении флюидонасыщенной грязебрекчии в выводящих структурах грязевых вулканов. *Геофизические исследования*. 2013. Т. 14, № 4. С. 46—56.
 10. Собисевич А.Л. Современные проблемы математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Москва: ИФЗ РАН, 2013. 510 с.
 11. Собисевич А.Л., Разин А.В. Геоакустика слоистых сред. Москва: ИФЗ РАН, 2012. 210 с.
 12. Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Тверитинова Т.Ю. О грязевом вулканизме в позднелпийском складчатом сооружении Северо-Западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго). *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2014. № 2 (36). С. 80—93.
 13. Собисевич А.Л., Суетнова Е.И., Жостков Р.А. Эволюция газогидратных скоплений в зонах глубоководных грязевых вулканов. *Вулканология и сейсмология*. 2019. № 2. С. 45—51.
 14. 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 Джарджав в пределах Южно-Керченской антиклинальной структуры. *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2015. Т. 42, № 2. С. 73—80.
 15. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис. Грязевулканические провинции и морфология грязевых вулканов. *Литоология и полезн. ископ.* 2002. № 1. С. 227—241.
 16. Шнюков Е.Ф., Науменко П.И., Лебедев Ю.С. и др. Грязевой вулканизм и рудообразование. Киев: Наук. думка, 1971. 332 с.
 17. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. Киев: Наук. думка, 1986. 152 с.
 18. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006. 176 с.

Статья поступила 15.03.2020

Л.Е. Собісевич, доктор техн. наук, головний науковий співробітник
Федеральна державна бюджетна установа науки Інститут фізики Землі
ім. О.Ю. Шмідта РАН
123242, Москва, вул. Велика Грузинська, 10, буд. 1
E-mail: sobis@ifz.ru
ORCID 0000-0001-7496-0985

О.Л. Собісевич, чл.-кор. РАН, доктор фіз.-мат. наук, заст. директора
Федеральна державна бюджетна установа науки Інститут фізики Землі
ім. О.Ю. Шмідта РАН
123242, Москва, вул. Велика Грузинська, 10, буд. 1
E-mail: alex@ifz.ru
ORCID 0000-0003-4656-6694

ГРЯЗЬОВИЙ ВУЛКАН ШУГО, ГЛИБИННА БУДОВА ТА МЕХАНІЗМИ ДІЯЛЬНОСТІ

Більшість грязьових вулканів розташовані вздовж великих тектонічних зон в межах Альпійської та Центрально-Азійської складчастих областей, Тихоокеанського рухомого поясу і рифтових областей Атлантичного та Індійського океанів. Однією з основних умов функціонування в земній корі рухомих поясів грязьовулканічних процесів є дислокованість і змінання в складки комплексу осадових утворень. Саме такі геологічні умови визначають діяльність багатьох грязьових вулканів в межах Керченсько-Таманської грязьовулканічної провінції, зокрема і грязьового вулкана Шуго.

Багаторічними дослідженнями явищ грязьового вулканізму, виконаними під керівництвом і за безпосередньої участі академіка Є.Ф. Шнюкова, створені фундаментальні основи геолого-геофізичного підходу до глибшого розуміння умов формування та механізмів діяльності вулканів Керченського і Таманського півостровів. Стаття, що присвячена результатам сейсмологічних і геоакустичних досліджень вулкану Шуго, розширює наші уявлення про особливості глибинної будови досліджуваного об'єкту і сприяє подальшому розвитку ідей видатного вченого, академіка НАН України Є.Ф. Шнюкова.

Ключові слова: *грязьовий вулканізм, глибинна будова, кореневі структури, поверхневі хвилі, мікросейсми, сейсмічний шум, флюїдна активність.*

L.E. Sobisevich, Dr. Sci. (Techn.), Principal Scientific Researcher
Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow
10, build. 1, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow, Russia, 123242
E-mail: sobis@ifz.ru
ORCID 0000-0001-7496-0985

A.L. Sobisevich, Junior Member of RAS, Dr. Sci. (Phys.- Math.), Deputy Director
Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Moscow
10, build. 1, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow, Russia, 123242
E-mail: alex@ifz.ru
ORCID 0000-0003-4656-6694

MUD VOLCANO SHUGO, DEPTH STRUCTURE AND MECHANISMS OF ACTIVITY

Most mud volcanoes are located along large tectonic zones within the Alpine and Central Asian folded regions, the Pacific mobile belt and rift regions of the Atlantic and Indian oceans. One of the basic conditions for the functioning of the mobile crust of mud volcanic processes in the earth's crust is the location and creasing into folds of the complex of sedimentary formations. It is these geological conditions that determine the activity of many mud volcanoes within the Kerch-Taman mud volcanic province, including the mud volcano Shugo.

Long-term studies of the phenomenon of mud volcanism, carried out under the guidance and with the direct participation of Academician Ye.F. Shnyukov created the fundamental foundations of a geological and geophysical approach to a deeper understanding of the conditions of formation and mechanisms of activity of the volcanoes of the Kerch and Taman Peninsulas. This work is devoted to the results of seismological and geoacoustic studies of the Shugo volcano, expanding our ideas about the features of the deep structure of the studied object and contributing to the further development of the ideas of the outstanding scientist, academician of the National Academy of Sciences of Ukraine Ye.F. Shnyukov.

Keywords: *mud volcanism, deep structure, root structures, surface waves, microseisms, seismic noise, fluid activity.*