

3D ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЛИЗПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ДАШГИЛЬ

Саламов А.М., Мухтаров А.Ш., Маммадов В.А.

Институт геологии и геофизики НАНА

AZ1143, г.Баку, просп. Г.Джавида, 119: avazsalamov@mail.ru

3D GEOPHYSICAL MODEL OF NEAR SURFACE STRUCTURE OF THE DASHGIL MUD VOLCANO

Salamov A.M., Mukhtarov A.Sh., Mammadov V.A.

Geology and Geophysics Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Cavid ave., Baku, AZ1143: avazsalamov@mail.ru

Keywords: mud volcano, structure, crater, throat, geophysical investigations, Vertical Electrical Sounding (VES), model, temperature, gradient, heat flow

Summary. The article discusses the results of geophysical studies (electrical, geothermal and gravimetric) conducted in the crater area of some mud volcanoes. Despite the shallow depth (up to 200 m) of electrical exploration, in combination with other methods, they provide a convincing insight into the structure of the studied area (the crater zone of the Dashgil mud volcano). A joint analysis of these results suggests the existence of subvertical zones in the cross-section with physical properties differing from the ones of the rocks characterizing the environment. Roots (an area where erupting fluids are accumulated) and channels of mud volcanoes are defined as decompressed objects. Fluids that carry heat from the deeper areas to the surface constantly leak through these channels. Therefore, the channels of mud volcanoes relative to the surrounding rocks are distinguished by high temperatures and temperature gradients. On the surface, thermal anomalies are noted only with the activation of volcano or its eruption. The three-dimensional model built based VES (Vertical Electrical Sounding) results allows visually assuming this assumption. According to the VES data, a supposed lithographic-geophysical section was plotted allowing distinguishing the layers of breccia of each eruption case.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Грязевые вулканы относятся к одним из интересных геологических явлений и широко развиты на территории Азербайджана (в Южно-Каспийской мегавпадине).

Некоторые вулканы-гиганты, особенно часто встречающиеся в пределах Азербайджана, имеют высоту 400-450 м, площадь их кратерного поля достигает 900-1000 м², а общий объем твердых выбросов в момент извержения иногда превышает 2400 млн.м³. Особо крупных размеров достигают грязевые вулканы Алятской гряды – Торагай, Беюк Кянизадаг, Дашгиль, Готурдаг, Айрантекен, Кара-кюре, Солахай и др. (Якубов и др., 1971; Холодов 2012).

В районе распространения грязевых вулканов преобладает умеренно-теплый климат полупустынь и сухих степей с сухим летом. Среднегодовая температура составляет +14,6°C. В лет-

нее время поверхность почвенного покрова нагревается до 46-47°C.

Тепловой поток в таких областях ниже континентального среднего значения этого параметра. На этом фоне выделяются локальные положительные аномалии температурного поля. К регионам с низкими значениями теплового потока относятся Черноморская и Южно-Каспийская впадины, Таманский полуостров, Западно-Туркменская впадина, Мексиканский залив и др. (Mukhtarov, 2003; Мухтаров и Адыгезалов, 1997; Смирнов, 1980; Hamza et al., 2006; Kopf et al., 2009; Mukhtarov et al., 2003). Это свидетельствует об особой роли грязевых вулканов в формировании теплового поля региона, заключающейся в том, что грязевые вулканы являются проводящими зонами для флюидов из глубинных горизонтов на поверхность и мощными каналами выноса тепла.

Геологический фон

Четвертичные отложения в рассматриваемом регионе распространены довольно широко и покрывают мощным чехлом всю территорию Гобустанской области. Морские четвертичные отложения в осевой полосе прогибов залегают согласно на подстилающих отложениях без существенных следов размыва, почти не затронуты складчатостью и в большинстве случаев залегают на размытых поверхностях отложений абшеронского яруса. Литологически они представлены прибрежно-мелководными грубообломочными, реже песчано-алевритовыми образованиями, глинами, ракушняками, местами дислоцированными под углом 40-50°. В отрицательных формах рельефа выше них лежат галечники, гравелиты, конгломераты, грубозернистые пески и плохо отсортированные породы с прослоями глин и ракушнякав.

На юго-востоке их замещают песчано-алевритовые и глинистые отложения с многочисленными прослоями грязевулканической брекчии. Стратиграфически выше них залегают слабо дислоцированные грубообломочные и песчаные, а на востоке – песчано-алевритовые образования с прослоями глин. Еще выше располагаются отложения, представленные песчано-ракушечными и ракушечными фациями, которые на востоке замещаются глинисто-алевролитовыми образованиями и глинами с прослоями песков. Завершают разрез четвертичных отложений суглинки и песчано-ракушечные образования. Мощность четвертичных отложений в пре-

делах Гобустана колеблется в больших пределах и местами достигает первых сотен метров (Ализаде и др., 1978).

По степени дислоцированности и структурному стилю четвертичные отложения существенно отличаются от подстилающих комплексов пород. Они образуют самостоятельный структурный подэтаж и отделены от подстилающих образований региональным перерывом и несогласием. Эти области в четвертичном периоде пережили более интенсивные и мощные тектонические движения.

Иной характер и направленность четвертичные тектонические движения имели в соседней Южно-Каспийской впадине. На преобладающей территории впадины в течение всего четвертичного периода преобладали процессы погружения и накопления осадков.

Площадь исследования

Площадь геофизических исследований расположена на юго-западной окраине Абшеронского полуострова. Здесь в области кратера грязевого вулкана Дашгиль (включая зону распространения грифонов, две грязевые сальзы) несколько раз (в разные годы, начиная с 1990 года) проводились температурные исследования. Измерения температуры производились полутораметровыми зондами в грифонах и на краю сальзы.

В 2018 году на этой площади по десяти профилям впервые проводились полевые электро-разведочные работы методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) (рис.1).

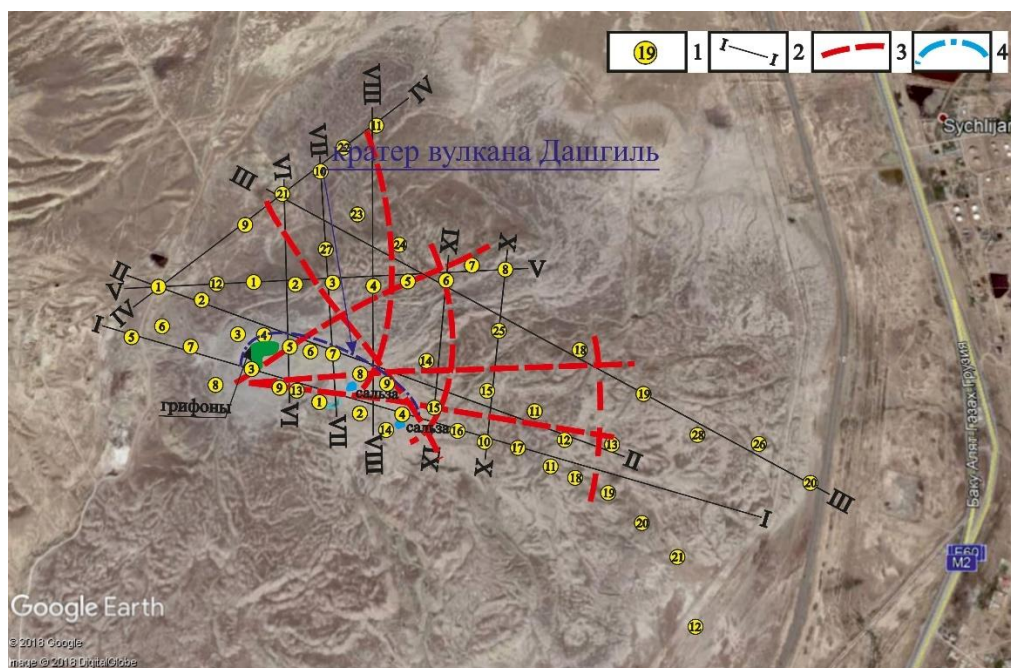


Рис. 1. Площадь исследования. Схема расположения геофизических профилей
1 – точки ВЭЗ и их номера; 2 – линии геофизических профилей; 3 – предполагаемые разрывные нарушения, выявленные по данным ВЭЗ; 4 – предполагаемая зона кратера

Методика исследований и интерпретации

Температурные замеры на грязевых вулканах производились с помощью специальных термозондов длиной 1,5 м. Зонд состоит из металлической трубки диаметром 15 мм. Термочувствительным элементом (датчиком температуры) является терморезистор, который расположен внутри теплопроводящей (медной) головки в конце зонда.

Калибровка терморезисторов производится перед полевыми работами в лабораторных условиях с использованием термостата и ртутного термометра с точностью 0,01°C.

При полевых исследованиях зонд внедряется в рыхлый грунт на определенную глубину. В этом положении выдерживается 30 минут для установления температуры среды, после чего производится измерение температуры.

Полевые электроразведочные работы выполнены по десяти профилям с применением четырехэлектродной симметричной установки АМНВ.

Для определения глубины залегания горизонтальных границ раздела и удельных электрических сопротивлений отдельных слоев по совокупности значений ρ_k , полученных при измерениях с различными установками, построена новая модель расчета, основанная на введении следующих упрощающих предположений о характере распределения тока в горизонтально-слоистой среде при размещении электродов на дневной поверхности:

- замеряемая величина ρ_k характеризует разрез до некоторой глубины H , целиком определяемой соотношением между размерами приемной (MN) и питающей (AB) линий, причем при $MN \ll AB$ величина H составляет $AB/2$ (практически MN должен быть не более 0,1 AB);

- величина ρ_k определяется только вертикальной составляющей плотности тока, т.е. представляет собой некоторую осредненную электрическую характеристику среды в вертикальном направлении, зависящую от удельных электрических сопротивлений ρ_i каждого слоя, причем “вклад” в величину ρ_k каждого ρ_i зависит от мощности данного слоя h_i (Галин, 1989; Попов и др., 1990).

Принятые допущения позволяют сконструировать следующую простую формулу, устанавливающую соответствие между совокупностью значений ρ_i, h_i многослойного разреза и величиной ρ_k :

$$\rho_k = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} = \sum_{i=1}^n h_i \rho_i / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n h_{i,m} = H_{i,m}$ – глубина залегания подошвы n -ого слоя.

Поскольку согласно принятому допущению величина H_i полностью определяется соотношением между MN и AB и, следовательно, является

известной, формула (1) может быть использована для решения обратной задачи – определения параметров геоэлектрического разреза по совокупности значений ρ_k , полученных при различных размерах измерительной установки. Действительно, имея ряд последовательных значений ρ_{ki} и H_i ($i=1, 2, \dots, n$), можно последовательно определить h_i и ρ_i , т.е. мощность и удельное сопротивление каждого слоя.

Значит для любого i -го слоя

$$h_i = H_i - H_{i-1} \quad \text{или} \quad h_i = (AB/2)_i - (AB/2)_{i-1} \quad (2)$$

Для вычисления кажущегося электрического сопротивления ρ_k использовалась формула:

$$\rho_k^i = k_{\text{вез.}i} \frac{\Delta U_{i,m} B}{I_{i,m} A}, \quad (3)$$

а удельное электрическое сопротивление отдельных слоев определялось с помощью формулы (4), когда $\rho_i > \rho_{i-1}$ (Галин, 1989; Попов и др., 1990).

$$\rho_i = [\rho_{ki}(AB/2)_i - \rho_{ki-1}(AB/2)_{i-1}] / [(AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}] \quad (4)$$

А в случае $\rho_{i-1} > \rho_i$ применяется формула (5) (Попов и др., 1990; Саламов и др., 2015)

$$\sum_k^i \rho_i = \frac{\{[(\frac{AB}{2})_i - (\frac{AB}{2})_{i-1}] * \rho_{ki-1} * \rho_{ki}\}}{[\rho_{ki-1} * (\frac{AB}{2})_{i-1} - \rho_{ki} * (\frac{AB}{2})_i]}. \quad (5)$$

В отличие от палеточной интерпретации кривых ВЭЗ в данной работе применяется математическая интерпретация формулами (4) и (5). Выражения (2), (3) и (4) являются основными расчетными формулами в предлагаемом способе определения параметров геоэлектрического разреза по данным ВЭЗ для установок с $MN \ll AB$.

Как следует из формул (2), (4) и (5), использование предложенной модели обеспечивает возможность определения мощности и удельного электрического сопротивления любого слоя независимо от параметров вышележащей толщи.

Принимая во внимание вышеизложенное, с целью детального расчленения разреза и более точного определения глубины залегания отдельных литологических разновидностей количество измерений в одной точке наблюдения увеличено в четыре раза. В результате проведенных опытных измерений методом ВЭЗ были приняты следующие размеры питающей AB/2 и приемной MN/2 линий соответственно (в метрах) AB/2 = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 10; 12; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 24; 26; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 36; 38; 38; 40; 40; 42; 44; 46; 48; 50; 50; 52; 54; 56; 58; 60; 63; 66; 69; 72; 72; 75; 75; 78; 81; 84; 87; 90; 90; 93; 93; 96; 99;

102; 105; 108; 111; 114; 117; 120; 125,125; 130,130; 135; 140; 145; 150; 155; 160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 195; 200, 200 и $MN/2=0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 1; 0,3; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1,2; 1,2; 2, 2, 2, 2, 2,3; 2,3; 2,3; 3; 3; 3; 3; 3,5; 3,5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5,7; 5,7; 7; 7; 7; 7; 7,9; 7,9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9,12; 9,12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12,15$.

Увеличение количества измерений на одной точке наблюдения позволило выявлять мало-мощные слои в геологическом разрезе (Галин, 1989; Попов и др., 1990; Саламов и др., 2015; Электроразведка..., 2005).

Для полевых измерений использовалась аппаратура АМС-1 с рабочей частотой 4,88 Гц. Измерительная установка ориентирована по направлению северо-запад – юго-восток.

Обсуждение результатов исследования

Измерение температуры производилось в зоне кратера, где главным образом происходят процессы тепломассопереноса при постоянной грифонно-сальзовой деятельности грязевого вулкана. Результаты показали, что температура приповерхностной части грунта обычно близка к температуре приповерхностного воздуха. Тем не менее, удалось обнаружить, что тепловое поле в кратерной части грязевых вулканов преимущественно контролируется тепломассопотоком по выводящим каналам грифонов и сальз.

Обычно измерения температуры производились на двух и более уровнях в интервале глубин 0,5-1,5 м, а при измерении внутри грифона иногда глубина достигала 16 метров и более. Это

давало возможность определить температурные градиенты в области кратера грязевого вулкана.

Изучение распределения температурных градиентов по глубине и по площади, а также на отдельных грязевых вулканах позволяет судить об их термальной активности. В табл. 1 приведены некоторые результаты определения температурного градиента в приповерхностных слоях области кратера некоторых грязевых вулканов, произведенного во второй половине октября 1992 года. Интересно, что, за исключением грязевого вулкана Хамамдаг, получены положительные градиенты температур, свидетельствующие о поступлении тепла из глубины на поверхность.

При замерах, сделанных 29 июня 2006 года на грязевом вулкане Дашгиль, получены совсем другие результаты. На этот раз градиенты температуры в большинстве случаев оказались отрицательными, что указывает на перенос тепла с поверхности на глубину. Это нормальное явление в летнее время, когда температура на поверхности достигает 30°C, а температура «нейтрального слоя» составляет около 15°C. Зимой температура поверхности оказывается ниже 10°C и температурный градиент меняет знак. Кратерная зона грязевого вулкана характеризуется множеством активных грифонов и сальз. Поэтому приповерхностный градиент температуры в этой зоне контролируется флюидопотоком по жерлу вулкана. В активные периоды грифонно-сальзовой деятельности увеличивается поток флюидов (тем самым и поток тепла) из глубины, и приповерхностный градиент температуры может менять знак под влиянием этого потока тепла.

Таблица 1

Грязевой вулкан	Градиент температуры				Плотность ТП (среднее), мВт/м ²
	Значения, К/м (°С/м)		n	Интервал глубины, м	
	min/max	Средний			
Бахар*	16,66/19,94	17,25(в области кратера) 9,85(вне кратера)	3 1	0,5 - 1,0 0,5 - 0,7	23,29·10 ³ 13,3·10 ³
Дашгиль	1,58/3,58	2,55	3	0,5 - 1,0	34,42·10 ²
Айрантекен	1,82/5,84	3,31	6	0,5 - 1,0	44,68·10 ²
Чеильдаг	0,18/2,12	1,24	5	0,5 - 1,0	16,74·10 ²
Агзыбир	0,08/1,04	0,58	10	0,5-1,5	78,3·10 ¹
о. Зенбил*	10,5/21,25	15,62	4	0,5-1,5	21,09·10 ³
о. Харе-Зиря	0,07/2,42	0,87	7	0,5-15,0	11,75·10 ²
Хамамдаг	-2,76/0,09	–	14	0,5-12,0	–
Отманбоздаг	2,35/6,67	3,51	6	0,6-1,5	47,38·10 ²

*) Примечание: замеры температуры на грязевом вулкане Бахар производились через 13 суток, а на грязевом вулкане о. Зенбил – через два месяца после извержения

Результаты температурной съемки в кратерной области грязевых вулканов показали, что поверхностное распределение температуры для некоторых из них описываются концентрическими изотермами с одним центром, а для других характерны максимумы температуры в области кратера. По этим данным можно судить о том, что форма выводного канала у различных грязевых вулканов различная. Выводной канал некоторых грязевых вулканов (например, Отман-Боздага, Кейреки и др.) не разветвляется у поверхности. У других (например, Локбатана, Бахара, Дашгиля и т.п.) канал разветвляется, образуя множество грифонов, сальз и т.п. Поэтому распределение температуры в кратере различных грязевых вулканов отличается друг от друга (Мухтаров и Адыгезалов, 1997; Kadirov, Mukhtarov, 2004; Mukhtarov, 2003; Mukhtarov et al., 2003).

Результаты электроразведочных работ также подтвердили это предположение. Интерпретация данных ВЭЗ показала, что кажущееся сопротивление горных пород, слагающих геологический разрез площади исследования, меняется в интервале 1-14 Ом·м, а удельное электрическое сопротивление – 0,1-35 Ом·м. По этим данным можно обнаружить близвертикальные зоны с низким электрическим сопротивлением, которые предположительно соответствуют жерлу и выводящим каналам и иногда разветвляются вблизи поверхности (рис. 2а).

В результате проведенных исследований методом ВЭЗ по профилями I-I...X-X (рис. 1) были построены разрезы кажущегося электрического сопротивления ($\rho_{к.э.с}$) и геоэлектрические разрезы по значениям удельного электрического сопротивлений ($\rho_{у.э.с}$), которые затем были преобразованы в предполагаемый литолого-геофизический разрез (рис. 2а).

Как было отмечено, площадь исследования покрыта грязевулканическими отложениями. В литолого-геофизических разрезах прослеживаются три слоя, мощность которых меняется примерно от 3,0 до 130 м. По данным геофизических исследований мощность этих отложений по площади составляет в среднем 50-60 м, у.э.с. – 2-8 Ом·м на ЮВ, а на СЗ – 10-15 Ом·м. В составе этих отложений имеются обломки разных литологических разновидностей, таких как песчаники, гравий, глины и др. (рис. 2б).

Предполагаемые физические, физико-химические и физико-механические параметры грязевулканической брекчии на площади исследования меняются в среднем в следующих пределах: у.э.с – $\rho=2,1-8,7$ Ом·м, плотность – $\gamma_i=1,62-1,89$ т/м³, плотность под водой – $\gamma_{гв}=0,52-$

1,01 т/м³, плотность скелета – $\gamma=1,13-1,57$ т/м³, естественная влажность – $W_i=29,5-39,8\%$, полная влагоемкость – $W_o=29,1-53,4\%$, поры, заполненные водой – $W_n=40,2-45,3\%$, коэффициент водонасыщения – $K_w=0,6894-0,8240$, пористость – $n=40,9-69,5\%$, глинистость – $G=38,1-54,1\%$, пластичность – $t=15,4-20,3\%$ (Оленченко и др., 2015).

В подошве вулканической брекчии прослеживается пласт, составленный из глин мощностью примерно 40-130 м, которые являются коренными отложениями с у.э.с. 3-10 Ом·м и выходят в юго-восточной части площади на дневную поверхность (ВЭЗ № 21-12). В северо-западной части профиля кровля этого пласта залегает на уровне минус 16 м по абсолютным отметкам, в районе жерла вулкана – минус 20 м, а на юго-восточном окончании профиля – минус 3 м. Снизу первый пласт мощностью 35-80 м с у.э.с. 10-25 Ом·м прослеживается по всему разрезу профиля, в литологическом отношении предположительно составленный из глин с прослойками песков.

В интервале исследованных глубин обнаруживается субвертикальная зона с низким у.э.с. 0,2-1,3 Ом·м (что соответствует легко проницаемым породам), которую можно считать выводящим каналом грязевого вулкана Дашгиль (рис. 2а, 3). Помимо этого, при интерпретации профилей ВЭЗ выделяется ряд разрывных нарушений, отраженных на рис. 1 и 2а.

Результаты проведенных геофизических исследований позволяют предполагать, что после завершения осадконакопления в морских условиях произошло семь извержений грязевого вулкана Дашгиль (по «Каталогу ...» – шесть (Алиев и др., 2009)). Предполагается, что в периоды извержений после каждого излияния брекчии ее поверхность высыхает и отвердевает быстрее, чем подошва, и в подошве каждого слоя брекчии остается неотвердевший легко проницаемый слой с у.э.с. 0,2-1,3 Ом·м. В дальнейшем при каждом новом извержении происходит проникновение жидкой фазы продуктов извержения в эти легко проницаемые зоны (рис. 2с). Предполагаемые физические, физико-химические и физико-механические параметры слоев, составленных из сопочной брекчии, отличаются друг от друга. Это дает основание предполагать, что каждое очередное извержение грязевого вулкана происходит из разных пластов, расположенных на разных глубинах и характеризующихся различным литологическим составом (рис. 2с).

На основе данных малоуглубинной электроразведки составлена 3D модель кратерной области грязевого вулкана Дашгиль (рис. 3). На ри-

сунке выделяется субвертикальная низкоомная область – предполагаемый канал грязевого вулкана, который расщепляется с приближением к поверхности. Одному из них на поверхности соответствует поле грифонов, а другому – сальза. У.э.с. этой субвертикальной зоны составляет 0,2-1,3 Ом·м. Возможность существования подобной легко проницаемой субвертикальной зоны под кратером грязевого вулкана отмечалась

еще и в более ранних геотермических и гравиметрических работах (Mukhtarov et al., 2003; Kadirov and Mukhtarov, 2004).

Результаты настоящих исследований позволили показать, что кратер и выводящие каналы грязевого вулкана Дашгиль расположены на участке пересечения разнонаправленных разрывных нарушений, что отражено на вышеприведенных рисунках (рис. 1, 3).

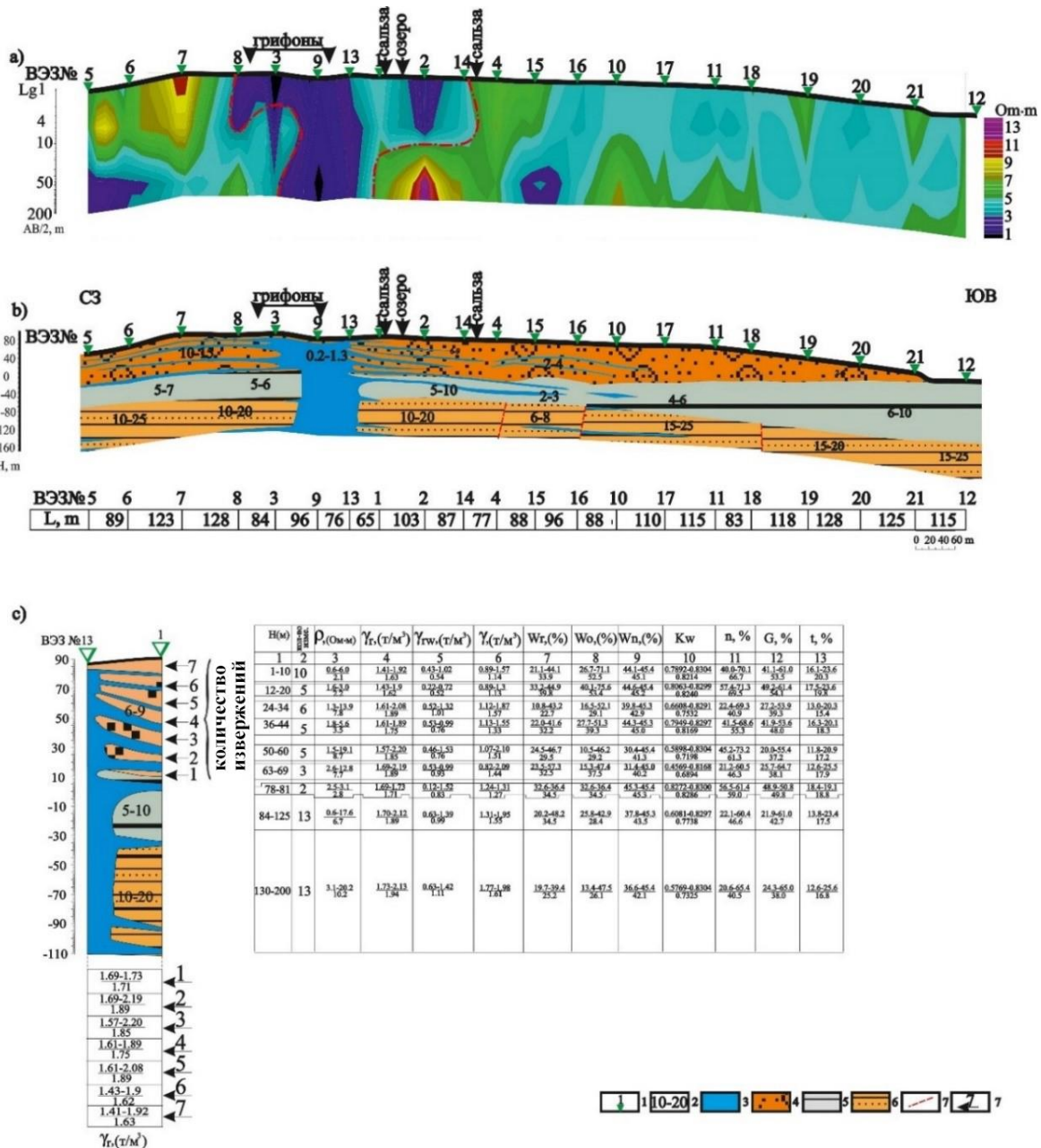


Рис. 2. Разрезы кажущегося электрического сопротивления (а) и предполагаемый литолого-геофизический (б), составленный по данным ВЭЗ по профилю I-I.

1 – номера точек ВЭЗ; 2 – удельное электрическое сопротивление пород, слагающих геологический разрез; 3 – грязевулканические флюиды, проникающие через жерло грязевого вулкана; 4 – грязевулканическая брекчия; 5 – глины; 6 – глины, чередующиеся с мелкозернистыми слабоцементированными песками; 7 – предполагаемые разрывные нарушения, выявленные по данным ВЭЗ

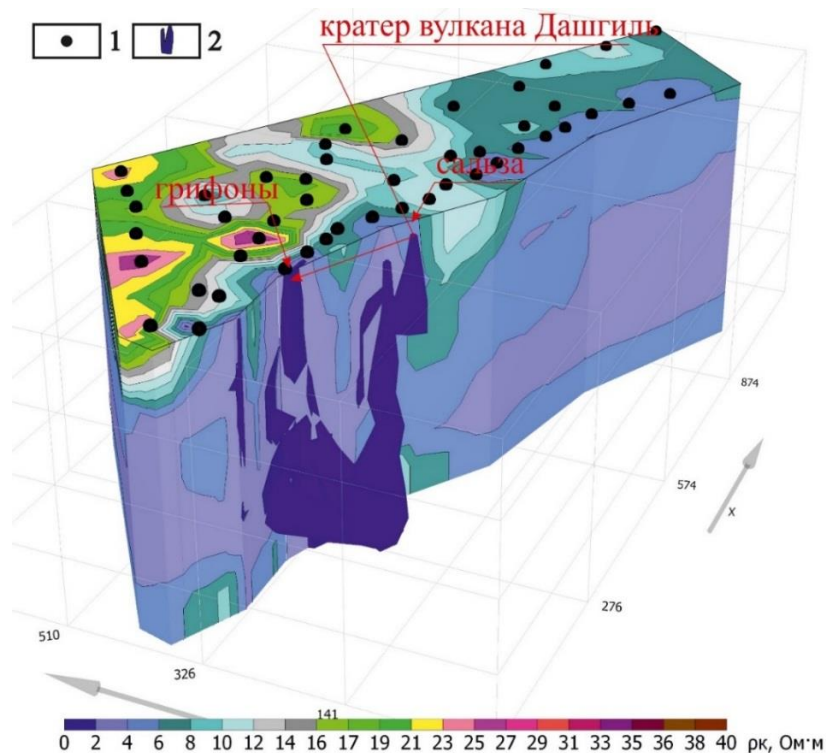


Рис. 3. 3D модель грязевого вулкана Дашгиль.
1 – точки ВЭЗ; 2 – предполагаемые выводящие каналы вулкана

Заключение

В заключении можно отметить, что грязевые вулканы – это геологические объекты, которые выделяются на поверхности Земли не только своими внешними, морфологическими признаками, но и геофизическими полями. На гравитационном поле они выявляются гравитационными минимумами. Корни (область, где накапливаются извергаемые флюиды) и каналы грязевых вулканов определяются как разуплотненные объекты (Kadirov and Mukhtarov, 2004). По этим каналам постоянно просачиваются флюиды, которые переносят тепло из глубинных участков на поверхность. Поэтому каналы грязевых вулканов характеризуются высокими относительно окружающих пород температурами и температурными градиентами. На поверхности тепловые аномалии отмечаются только при активизации деятельности вулкана или при его извержении. Эти данные подтверждаются результатами электро-разведочных исследований. На 3D модели выде-

ляется расположенная под грифонами и сальзами субвертикальная зона с физическими свойствами (низкоомные, с низкой плотностью и высокой проницаемостью), отличными от окружающих пород. Таким образом, грязевой вулкан состоит из основного глубинного теплового очага (5-10 км), насыщенного флюидами очага извержения (3-6 км), а также некоторых промежуточных очагов, соединенных между собой выходящим на поверхность субвертикальным выводящим каналом с высокой флюидопроницаемостью (Мухтаров и Адыгезалов, 1997). Верхний двухсотметровый участок этого канала выявлен в результате исследований авторов методом ВЭЗ и показан на трехмерной модели (рис. 3).

Благодарности

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF KEPTL-2-2015-1(25)-56/31/2.

ЛИТЕРАТУРА

- Али-заде С.А., Байрамов А.А., Мамедов А.В., Ширинов Н.Ш. Геология четвертичных отложений Азербайджана. Элм. Баку, 1978, 159 с.
Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Рахманов Р.Р. Каталог извержений грязевых вулканов Азербайджана (1810-2007 гг.). Nafta-Press. Баку, 2009, 110 с.
Галин Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики.

REFERENCES

- Aliyev Ad.A., Guliyev I.S., Rakhmanov R.R. Catalog of eruptions of mud volcanoes of Azerbaijan (1810-2007). Nafta-Press. Baku, 2009, 110 p. (in Russian).
Alizadeh S.A., Bayramov A.A., Mammadov A.V., Shirinov N.Sh. Geology of Quaternary sediments of Azerbaijan. Elm. Baku, 1978, 159 p. (in Russian).
Electrical survey. Textbook on electrical exploration practice for

- Недра, 1989, 114 с.
- Мухтаров А.Ш., Адыгезалов Н.З. Термальный режим грязевых вулканов Восточного Азербайджана. Труды Института геологии АН Азербайджана, № 26, Баку, 1997, с. 221-228.
- Оленченко В.В., Шнюков Е.Ф., Гаськова О.Л., Кох С.Н., Сокол Э.В., Бортникова С.Б., Ельцов И.Н. Динамика извержения грязевого вулкана на примере сопки Андрусова (Булганакский грязевулканический очаг, Керченский полуостров). ДАН, Т. 464, № 2, 2015, с. 214-219.
- Попов Е.А., Тен К.М., Фунтиков Г.Н., Селяков В.И., Глушко С.П. Методические рекомендации по использованию ВЭЗ для детального расчленения разреза при решении геологических и инженерно-геологических задач. Ротапринт. Москва, 1990, 52 с.
- Саламов А.М., Кадыров А.Г., Саламов Ф.А., Пашаев Т.Р. Исследование оползня в Хызынском районе Азербайджана методом вертикального электрического зондирования. Инженерные изыскания, № 5-6, 2015, с. 50-56.
- Смирнов Я.Б. Тепловое поле территории СССР (пояснительная записка к картам теплового потока и глубинных температур в масштабе 1:10000000). ГУГК. Москва, 1980, 150 с.
- Холодов В.Н. Грязевые вулканы: распространение и генезис. Геология и полезные ископаемые Мирового океана, № 4, Москва, 2012, 5-27 с.
- Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. В.К.Хмелевский, И.Н.Модин, А.Г.Яковлев (под ред.). Научный мир. Москва, 2005, 311 с.
- Якубов А.А., Ализаде А.А., Зейналов М.М. Атлас грязевых вулканов Азербайджанской ССР. Элм. Баку, 1971, 258 с.
- Hamza V.M., Cardoso R.R., Ponte Neto C.F. Global heat flow: fantasy and facts. Sixth Intern. Meeting "Heat flow and the structure of the lithosphere", Bykov near Pilsen, Czech Republic, 2006, 24 p.
- Kadirov F.A., Mukhtarov A.Sh. Geophysical fields, deep structure, and dynamics of the Lokbatan mud volcano. Izvestiya, Physics of the Solid Earth, V. 40, № 4, 2004, pp. 327-333.
- Kopf A., Stegmann S., Delisle G. et al. In situ cone penetration tests at the active Dashgil mud volcano, Azerbaijan: Evidence for excess fluid pressure, updoming, and possible future violent eruption. Marine and Petroleum Geology, V. 26, 2009, pp. 1716-1723.
- Mukhtarov A. Heat transfer by fluids of mud volcanoes and hydrothermal processes. Proceedings of the 38th Conference of Societe Internationale des Techniques Hydrothermales and the 56th Annual Meeting of the Balneological Society of Japan. Beppu, Japan, 2003, pp. 295-300.
- Mukhtarov A., Kadirov F., Guliyev I., Lerche I. Temperature evolution in the Lokbatan mud volcano crater (Azerbaijan) after the eruption of 25 October 2001. Energy Exploration & Exploitation, V. 23, № 3, 2003, pp.187-207.
- Olenchenko V.V., Shnyukov E.F., Gaskova O.L., Kokh S.N., Sokol E.V., Bortnikova S.B., Eltsov I.N. Dynamics of eruption of mud volcano sopka Andrusova (Bulganak mud volcanic focus, Kerch peninsula). Doklady AS, V. 464, № 2, 2015, pp. 214-219 (in Russian).
- Popov E.A., Ten K.M., Funtikov G.N., Selyakov V.I., Glushko S.P. Guidelines for the use of VES for the detailed dissection of the section in solving geological and engineering-geological problems. Rotaprint. Moscow, 1990, 52 p. (in Russian).
- Salamov A.M., Kadirov A.G., Salamov F.A., Pashayev T.R. Investigation of the landslide in the Khizi region of Azerbaijan by the method of Vertical Electrical Sounding. Inzhenerniye izyskaniya (engineering survey), № 5-6, 2015, pp. 50-56 (in Russian).
- Smirnov Ya.B. Thermal field of the USSR territory (explanatory note to the maps of heat flow and deep temperatures on a scale of 1: 10,000,000). GUGK. Moscow, 1980, 150 p. (in Russian).
- Yakubov A.A., Alizadeh A.A., Zeynalov M.M. Atlas of mud volcanoes of the Azerbaijan SSR. Elm. Baku, 1971, 258 p. (in Russian).

3D ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЛИЗПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ДАШГИЛЬ

Саламов А.М., Мухтаров А.Ш., Маммадов В.А.

Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана,
AZ1143, г.Баку, просп. Г.Джавида, 119; avazsalamov@mail.ru

Резюме. В статье рассматриваются результаты (электроразведочных, геотермических и гравиметрических) геофизических исследований, проведенных в кратерной области некоторых грязевых вулканов. Несмотря на малую глубину (до 200 м) электроразведочных работ, в комплексе с другими методами они дают убедительное представление о строении рассматриваемого участка земной коры (зоне кратера грязевого вулкана Дашгиль). Совместный анализ этих результатов позволяет

предполагать существование в разрезе субвертикальных зон, физические свойства которых отличаются от свойств пород, характеризующих окружающую среду. Корни (область, где накапливаются извергаемые флюиды) и каналы грязевых вулканов выделяются как разуплотненные объекты. По этим каналам постоянно просачиваются флюиды, которые переносят тепло из глубинных участков на поверхность. Поэтому каналы грязевых вулканов относительно окружающих пород выявляются высокими температурами и температурными градиентами. На поверхности тепловые аномалии отмечаются только при активизации деятельности вулкана или при его извержении. Эти данные подтверждаются результатами электроразведочных исследований. Трехмерная модель, построенная по результатам ВЭЗ (вертикального электрического зондирования), позволяет визуально отобразить это предположение. По данным ВЭЗ также составлен предполагаемый литолого-геофизический разрез, позволяющий выделять слои сопочной брекчии каждого извержения.

Ключевые слова: *грязевой вулкан, структура, кратер, жерло, геофизические исследования, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), модель, температура, градиент, тепловой поток*

DAŞGİL PALÇIQ VULKANI SƏTHƏ YAXIN STRUKTURUNUN 3D GEOFİZİKİ MODELİ

Salamov A.M., Muxtarov A.Ş., Məmmədov V.A.

AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu

AZ1143, Bakı, H.Cavid prosf., 119: avazsalamov@mail.ru

Xülasə. Məqalədə bəzi palçıq vulkanlarının krater sahəsində aparılan geofiziki (elektrik kəşfiyyatı, geotermik və qravimetrik) tədqiqatların nəticələrinə baxılır. Elektrik kəşfiyyat işlərinin kiçik dərinlikdə (200 m-ə qədər) aparılmasına baxmayaraq, onlar başqa üsullarla birlikdə yer qabığının baxılan sahəsinin (DaşgİL palçıq vulkanının krater zonasının) quruluşu haqda əsaslı təsəvvür verir. Palçıq vulkanlarının kökləri və kanalları (püskürmə materiallarının toplandığı əsas həcm-məkan) sıxlığı az olan parçalanmış məsaməli obyekt kimi seçilir. Flüidlər daima bu kanallar boyunca süzülərək səthə çıxır və dərin layların istiliyini səthə daşıyır. Buna görə də palçıq vulkanlarının kanalları ətraf süxurlara nisbətən yüksək temperatur və temperatur qradienti ilə seçilir. Alınan nəticələrin birgə təhlili kəsilşdə xassələri vulkanın çıxış kanallarının fiziki xassələrinə uyğun olan, lakin ətraf süxurların fiziki xassələrindən fərqlənən subşaquli zonaların mövcud olmasını fərz etməyə imkan verir. Şaquli Elektrik Zondlamanın (ŞEZ) nəticələri əsasında qurulmuş üçölçülü model bu fərziyyəni vizual əks etdirməyə imkan verir. Həmçinin ŞEZ-in məlumatları əsasında hər püskürmənin brekçiya layını ayırmağa imkan verən fərz edilən litoloji-geofiziki kəsilş qurulmuşdur.

Açar sözlər: *palçıq vulkanı, struktur, krater, vulkan boğazı, geofiziki tədqiqatlar, Şaquli Elektrik Zondlaması (ŞEZ), model, temperatur, qradient, istilik seli*