

УДК 553.21/24 + 552.08.53

© 1995 г. ЛАДЫГИН В. М., РЫЧАГОВ С. Н.

**ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВУЛКАНА БАРАНСКОГО,
о-в ИТУРУП: БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА И ИНТЕНСИВНОСТЬ
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕРОЖДЕНИЯ
ПОРОД ПО ПЕТРОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Петрофизические свойства пород гидротермальной системы вулкана Баранского, в той или иной степени затронутых гидротермально-метасоматическими процессами, определяются в основном их первичным составом, структурой и стратиграфической неоднородностью разрезов. Другие изученные гидротермальные системы (Паужетская, Мутновская и др. Южной Камчатки) отличаются высоким перерождением пород и соответственно низкими значениями большинства петрофизических параметров. Гидротермально-метасоматическое перерождение вулканитов Баранского существенно или полностью меняет их физико-механические параметры только в трещинно-брекчиевых зонах, областях перехода жидкость — пар, приконтактных частях субинтрузивного тела диоритов. Элементы структуры гидротермальной системы (горсты, относительно опущенный блок, тектоно-магматические поднятия, экзоконтакты субинтрузивного тела, зоны вскипания гидротерм, верхний водоносный горизонт и верхний водоупор) отличаются контрастными петрофизическими свойствами. В вертикальных разрезах центральной части гидротермальной системы установлена система горизонтов (блоков) мощностью 50—150 и 1—5 м с резко различными петрофизическими свойствами пород; это обстоятельство может служить основанием для постановки проблемы иерархичности геологических образований.

HYDROTHERMAL SYSTEM OF THE BARANSKY VOLCANO, ITURUP ISLAND: BLOCK STRUCTURE AND INTENSITY OF HYDROTHERMAL-METASOMATIC ALTERATION OF ROCKS BASED ON PETROPHYSICAL DATA, by L a d y g i n V. M. * and R y c h a g o v S. N. ** Hydrothermal-metasomatic processes have an influence on rocks of hydrothermal system of the Baransky volcano. Petrophysical properties of these rocks are mainly determined by their initial composition, structural and stratigraphic heterogeneity of cross-sections. The other studied hydrothermal systems (Pauzhetskaya, Mutnovskaya, etc. of the Southern Kamchatka) have large rock alteration and, accordingly, low values of the majority of petrophysical parameters. Hydrothermal-metasomatic alteration of Baransky volcanites change their physical-mechanical parameters only in fissure-breccia zones, areas of liquid-vapor transition, near-contact parts of sub-intrusive body of diorites. Elements of hydrothermal system structure (horsts, relatively subsided block, tectono-magmatic uplifts, exocontacts of subintrusive body, boiling zones of hydrotherms, upper water-bearing horizon and upper water confining stratum) have contrast petrophysical properties. System is defined of horizons (blocks) with thickness of 50—150 and 1—5 m having sharply different petrophysical properties of rocks in vertical cross-sections at the central part of the hydrothermal system. It might be a reason to study a problem of hierarchy of geological formations.

(Received February 10, 1994)

*Moscow State University, Leninskie Gory, B-234, 119899, Moscow, Russia

**Institute of Volcanology, Peiropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Настоящая работа продолжает цикл публикаций, посвященных различным аспектам деятельности высокотемпературной гидротермальной системы вулкана Баранского, о-в Итуруп (Южные Курильские острова). В более ранних работах рассмотрены: строение литосферы и геотермального района в центральной части о-ва Итуруп [3, 4]; состав вод [6] и геологическая структура гидротермальной

системы вулкана Баранского [9]; некоторые особенности структуры проницаемости в связи с необычным поведением ртути в недрах геотермального месторождения Океанское — центральной части гидротермальной системы [12]; состав и зональность гидротермально измененных пород [5, 10]; температурный и минералого-геохимический режимы в недрах системы [11]. В настоящей работе, не повторяя опубликованных в 1993—1994 гг. данных, авторы показали изменение петрофизических свойств исходных пород и метасоматитов в связи с формированием геологической блоковой структуры гидротермальной системы. Таким образом, реализуется задача, поставленная в работе [7]: с помощью анализа вариаций петрофизических показателей пород изучить структуру гидротермальной системы во взаимосвязи всех ее основных элементов — пород, зон разрывных нарушений, метасоматических фаций, водоупоров и водоносных горизонтов, зон вскипания гидротерм, геохимических барьеров и других составляющих.

Под петрофизическими свойствами понимается комплекс показателей физико-механических свойств пород, определяемый лабораторными методами: объемная и минеральная плотности (соответственно Δ и ρ , г/см³); водопоглощение (W , %); скорость продольных (V_p , км/с) и поперечных (V_s , км/с) волн в сухом и водонасыщенном состоянии; прочность на сжатие и растяжение ($R_{сж}$ и R_p , МПа) также в сухом и водонасыщенном состоянии; магнитная восприимчивость ($\chi \cdot 10^{-3}$ СИ). Вычисляются общая пористость η (%), коэффициент Пуассона μ , модуль Юнга E (МПа) и другие параметры. Предыдущие исследования авторов [7] показали, что именно этот комплекс петрофизических показателей позволяет судить о степени гидротермально-метасоматической переработки вулканических пород.

Петрофизические исследования выполнены на образцах более чем из 10 скважин центральной части гидротермальной системы и скв. 50, расположенной за пределами объекта (в г. Курильске) [9]. Определения петрофизических параметров по стандартным методикам [1, 8] проведены на цилиндрических образцах с соотношением высоты и диаметра основания, равным единице ($H - D = 40$ мм). Величина водопоглощения измерялась после семи дней замачивания. Скорости продольных и поперечных волн определены прибором ДУК-6В с частотой 700 кГц на образцах с плотностью $>1,8-2,0$ г/см³. Измерения V_p проводили также на приборе УКБ-1М с частотой 100 кГц для группы туфов плотностью $<1,8$ г/см³ вследствие их большой пористости и значительного поглощения упругих волн. Прочность пород измеряли на прессах ПСУ-125 и ПДМ-10/91, а магнитную восприимчивость — на капометре типа КТ-5. С целью изучения причин изменения параметров использованы минералогический и петрографический анализы, рентгеноструктурные и термогравиметрические исследования, некоторые образцы просмотрены в сканирующем электронном микроскопе. Все исследования проведены на кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ им. М. В. Ломоносова и в Институте вулканологии ДВО РАН.

Предварительный анализ петрофизических свойств пород гидротермальной системы вулкана Баранского¹ показал резкое различие свойств эффузивов и обломочных пород. Среди последних авторы выделяют туфы и туффиты, попавшие в зону влияния высокотемпературных (до 300° С и, вероятно, выше) гидротерм, а также отложения, подвергшиеся катагенетическим региональным преобразованиям (при литификации отложений лебединской свиты, расположенных за пределами гидротермальной системы). В связи с этим в поле петрофизических параметров выделены: эффузивные, экструзивные, интрузивные и обломочные породы и их гидротермально измененные разновидности.

Эффузивные, экструзивные и интрузивные породы. В глубоких разрезах гидротермальной системы среди пород этой группы выделяются [9] мощные

¹ Рычагов С. Н., Главатских С. Ф., Гончаренко О. П. и др. Отчет по теме «Эволюция гидро-термалитов в структуре гидротермальной системы кальдеры вулкана Баранского, о. Итуруп». Петропавловск-Камчатский, 1992. Фонды ПГО «Сахалингеология».

потоки лав и экструзии дацитового — андезитового состава в верхней части разреза (до глубины 300 м) и маломощные потоки эффузивов и дайки андезитового и андезитобазальтового состава, а также тела микродиоритов в нижней части разреза (300—1200 м).

Андезитодациты и андезиты верхней части разреза находятся в разных метасоматических зонах, но это, по-видимому, мало повлияло на их петрофизические свойства (табл. 1). У них разнообразные, но относительно низкие величины плотности (2,39—2,65 г/см³) при высоких значениях скоростей упругих волн ($V_p = 4,4 \dots 5,1$ км/с), модуля Юнга ((43. . . 64) • 10³ МПа), прочности ($R_{сж} = 109. \dots 195$ МПа) и магнитной восприимчивости ((8. . . 23) • 10⁻³ СИ). Падение ряда показателей свойств андезитов на интервале 256—273 м обусловлено их интенсивным брекчированием и последующим изменением цемента и, отчасти, обломков брекчии. Дробление пород — один из решающих факторов изменения и петрофизических параметров: четко выделяются подошвы лавовых потоков, эндоконтакты даек, силлов, экструзий. Здесь снижены значения V_p , $R_{сж}$, χ , реже — Δ .

Изменение петрофизических параметров более основных эффузивных и интрузивных пород нижней части разрезов связано с двумя противоположными тенденциями. С одной стороны, гидротермальные процессы разрушают связи между породообразующими минералами, выщелачиваются отдельные зерна плагиоклазов и темноцветных; это уменьшает значения петрофизических параметров (водопоглощение растет). С другой стороны, выполнение пор и пустот хлоритом, кальцитом и другими гидротермальными минералами уплотняет эффузивы и «улучшает» их петрофизические свойства. Водонасыщение этих пород относительно большое (в среднем 1—4%), обусловлено широко развитой тонкой трещиноватостью: заметно увеличение скорости упругих волн на 0,4 км/с при водонасыщении образцов. Проницаемость андезитов и андезитобазальтов достигает 0,13 мД. В целом не отмечается уплотнения или упрочнения лав и субинтрузивных андезитобазальтов с глубиной. Лишь микродиориты экзоконтактовой зоны предполагаемого крупного диоритового тела [9] обладают наибольшими плотностью и скоростью продольных волн из всех вскрытых бурением пород: 2,74—2,85 г/см³ и 5,5—5,7 км/с соответственно.

Колебание значений петрофизических параметров эффузивов в разрезе «фоновой» скважины 50 невелико, за исключением интервала 640—650 м (табл. 1). Это, по-видимому, объясняется тем, что вулканические и вулканогенно-осадочные породы лебединской свиты за пределами гидротермальной системы вулкана Баранского не подверглись воздействию новейших тектонических и гидротермальных процессов.

Пирокластические и вулканогенно-осадочные породы. В структуре гидротермальной системы наиболее широко распространены различные туфы и туффиты (в верхней части разреза и за пределами системы). Для исследования петрофизических свойств отобраны образцы с размером обломков до 20 мм. В агломератовых туфах и туфоконгломератах изучены свойства обломков и цемента. Цемент состоит из пепла, вулканического стекла и мелких (до 22 мм) обломков. По размерам обломков, слагающих породы, отложения разбиты на четыре группы: 1) псефитовую; 2) мелкопсефитовую; 3) псаммитовую; 4) алевритовую.

Породы групп 1—3 за пределами гидротермальной системы, в верхних частях разрезов (до глубины 850 м), обладают низкими значениями плотности и скорости упругих волн, а также высоким водопоглощением (табл. 2). Это, вероятно, обусловлено тем, что отложения лебединской толщи здесь, согласно петрографическим исследованиям, недостаточно литифицированы, а воздействие поровых растворов при относительно низких температурах вмещающих пород (60—65° С на глубине 800—850 м по данным термокаротажа скважин) невелико. Обломочная часть пород плохо сцементирована, отчетливо видна комковатая текстура (рис. 1, а). По границам обломков развиты тонкие пленки гидрослюд, хлорита, открытое поровое пространство достигает 50% объема породы (рис. 1, б). Наиболее плотными

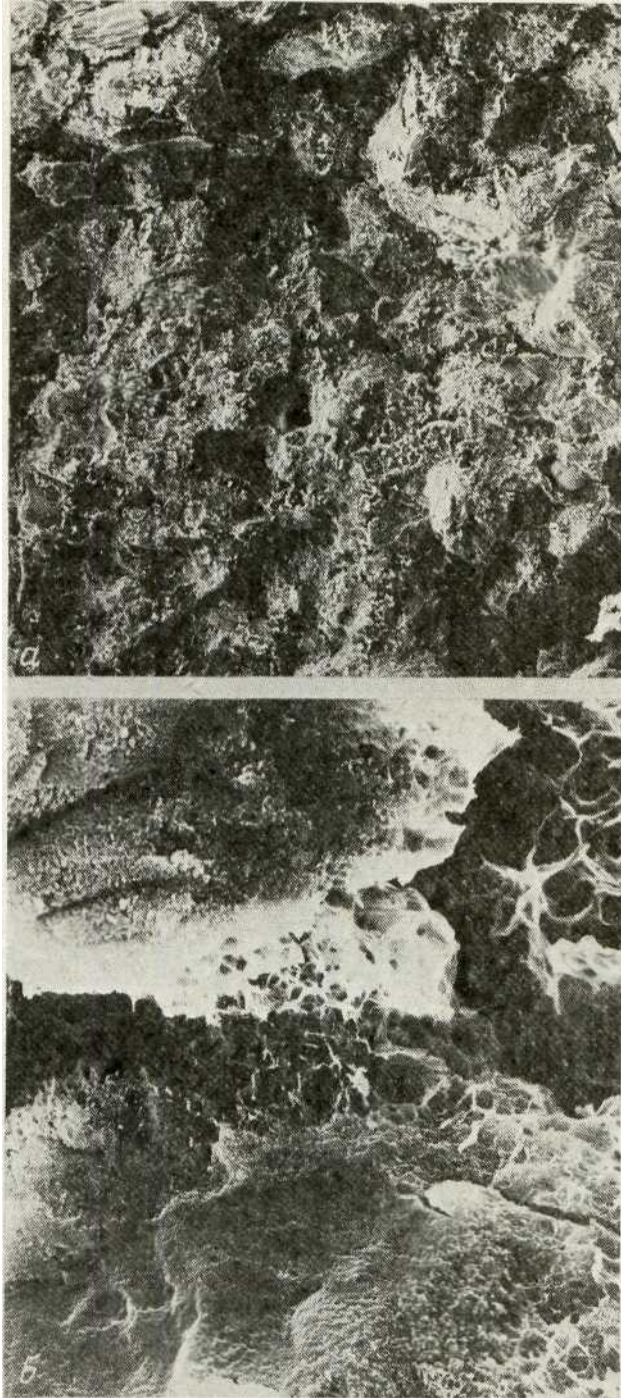


Рис. 1. Электронные сканирующие снимки обр. 50-21 (а) и 50-28 (б): псаммитовый андезитовый туф-туффит, скв. 50; а — 40X, б — 1200X

Петрофизические свойства эффузивных и интрузивных пород гидротермальной системы вулкана Баранского (сверху вниз по основным разрезам) и «фоновой» скважины 50

Таблица 1

Номера скважины и образцов	Глубина отбора проб, м	Порода	Мощность тела, м	Δ , г/см ³	W, %	V_p , км/с		V_s , км/с	μ	E, МПа	$R_{сж}$, МПа	R_p , МПа	$\kappa \cdot 10^{-3}$ СИ
						C	B						
54-4	52,0	Андезит	42—59	2,57	1,0	4,4	4,0	2,85	0,15	43	130	—	9,8
54-7	71,0	»	70—79	2,61	0,6	5,0	5,2	2,90	0,30	57	195	—	11,0
54-137	73,6	»	70—79	2,46	1,8	5,05	5,1	2,80	0,29	48	136	—	18,0
54-138	74,5	»	70—79	2,50	1,7	5,1	5,2	3,15	0,21	58	158	—	23,0
54-6	77,2	»	70—79	2,49	1,4	4,8	4,95	2,90	0,22	51	125	11	8,0
54-149	258,0	Андезитодацит	256—273	2,39	3,4	4,05	4,3	—	—	—	70	—	15,0
54-150	266,0	»	256—273	2,65	0,9	5,1	5,1	3,2	0,19	64	190	19	27,0
54-100	407,0	Андезитобазальт	407—407,8	2,74	0,4	4,85	5,4	2,90	0,24	51	223	17	42,0
54-102	418,0	»	418—423	2,65	1,3	4,2	4,55	2,80	0,16	44	152	—	42,0
54-105	441,0	»	441—443	2,66	0,8	4,8	5,3	2,95	0,17	57	150	—	31,0
54-24	525,5	Андезит	524—526	2,54	2,3	4,5	5,05	2,80	0,23	49	100	—	6,0
54-115	623,0	Андезитобазальт	622—623	2,58	4,0	4,85	—	—	—	—	—	—	10,0
54-631	631,0	»	629—632	2,67	1,2	4,8	5,25	2,75	0,16	52	168	18	11,0
54-117	645,0	»	645—647	2,45	2,3	4,35	4,55	2,95	0,12	45	147	—	36,0
54-124	840,0	»	840—841	2,74	0,2	5,5	5,70	3,35	0,22	73	—	—	34,0
54-1020	1020,0	Микродиорит	1019—1021	2,85	0,1	5,5	5,6	3,20	0,25	73	205	20	23,0
84-159	1053,0	»	1051—1053	2,66	1,4	4,55	5,05	2,95	0,14	52	139	—	2,0
8K-6	36,0	Андезитодацит	32—85	2,58	1,8	4,4	5,15	—	—	—	163	10	5,0

Примечание. Здесь и далее: С — значение V_p в сухом состоянии, В — в водонасыщенном.

Таблица 1 (окончание)

Номера скважины и образцов	Глубина отбора проб, м	Порода	Мощность тела, м	Δ , г/см ³	W, %	V_p , км/с		V_s , км/с	μ	E, МПа	$R_{сж}$, МПа	R_p , МПа	$\times 10^{-3}$ СИ
						С	В						
8К-7	64,7	»	32—85	2,74	0,6	5,0	5,45	2,75	0,29	55	243	—	9,7
8К-10	104,5	Андезит	104—104,7	2,50	3,2	5,4	5,55	—	—	—	162	—	15,9
8К-11	107,4	Андезитодацит	104,7—117	2,60	1,0	4,35	4,95	2,55	0,23	42	122	—	12,5
8К-32	399,5	Андезит	399—400	2,69	0,7	5,0	5,25	2,7	0,30	55	206	—	20,0
8К-479	479,0	»	478—479,5	2,56	2,0	4,5	5,15	2,65	0,24	50	107	7	16,8
8К-489,5	489,5	Андезитобазальт	489,5—490,5	2,76	0,1	5,25	5,6	2,75	0,30	55	191	—	18,4
55-9	352,0	»	350—360	2,75	0,1	5,4	5,6	3,05	0,27	64	256	27	19,0
57-9	292,0	Андезит	290—295	2,44	3,6	2,95	3,75	—	—	—	36	—	0,05
58-5	195,0	Базальт	138—287	2,88	0	5,85	5,85	2,95	0,31	71	270	—	16,0
59-400	400,0	Андезит	399—400	2,63	2,1	4,65	4,9	2,6	0,30	42	185	—	12,0
64-6	540—550	»	540—550	2,70	0,3	4,9	5,4	—	—	—	196	—	12,0
65-5	72,0	Андезитобазальт	70—75	2,77	0,2	5,15	5,5	—	—	—	232	—	2,0
50-7	640,0	Андезит	640—650	2,45	1,0	3,1	4,3	1,85	0,22	21	104	7	15,0
50-8	643,0	»	640—650	2,76	0,1	5,45	5,45	2,8	0,32	57	300	—	12,0
50-41	1140,5	»	1139—1141	2,67	0,3	4,8	—	2,7	0,27	49	219	—	13,0
50-51	1325,5	»	1325,5—1326	2,61	1,5	4,6	4,95	2,9	0,20	50	224	27	14,0
50-61	1379,0	»	1378—1379	2,54	1,2	2,8	4,2	—	—	—	147	—	12,0

Таблица 2

Изменение свойств туфов и туффитов с глубиной за пределами гидротермальной системы

Группа пород	Интервал, м	A , г/см ³	W , %	V_p , км/с*	$R_{сж}$, МПа
1	800—850	1,88	13	1,50	31
	>850	2,27	4,3	2,05	41
2	до 800	1,57	19,5	1,45	19
	800—850	1,96	10,5	1,60	31
3	>850	2,21	6,4	1,70	43
	До 850	1,93	10,9	1,70	45
	>850	2,28	5,5	2,50	63

* .5 сухом состоянии.

Таблица 3

Изменение свойств пород лебединской толщи в связи с наличием или отсутствием кальцита

Группа пород	Наличие кальцита	Глубина, м	A , г/см ³	W , %	V_p , км/с		$R_{сж}$, МПа
					С	В	
1	Есть	1485	2,29	3,4	1,90	2,95	38
	Нет	1565	2,26	6,5	2,75	3,40	63
2	Есть	1470	2,26	3,5	1,80	2,75	35
	Нет	1596	2,16	7,9	1,65	2,25	48
3	Есть	1494	2,34	3,9	2,55	3,20	56
	Нет	1585	2,17	8,0	2,10	2,45	56

и прочными являются алевроитовые разности туффитов: средние значения $\Delta = 2,31$ г/см³, $W=4,0$ %, $V_p = 3,25$ км/с, $R_{сж}=145$ МПа (рис. 2).

Из числа вторичных минералов, широко распространенных в разрезе лебединской толщи, существенное влияние на петрофизические свойства пород оказывает кальцит. Он сообщает туфам и туффитам большую плотность и жесткость, но меньшую прочность (табл. 3), хоть роль его различна в зависимости от того, замещает он обломки пород и минералы или заполняет трещины и поры. Установлены существенно большие значения скоростей упругих волн в водонасыщенных образцах по сравнению с сухими образцами. Это свидетельствует о том, что для пород характерна высокая открытая микротрещиноватость и микропористость. Кальцит замещает цемент, реже выполняет пустоты. До глубины 1000 м по цементу туфов и туффитов широко развиты смектиты. Вследствие этого основная масса пород сохраняет высокую открытую микропористость. Глубже 1000 м наиболее проявлена хлоритизация основной массы, отложения уплотняются, но в целом комковатая текстура пород сохраняется, по-видимому, за счет их слабой литификации.

Таким образом, вулканогенно-осадочные породы лебединской толщи до воздействия на них интенсивных гидротермальных процессов (т. е. в данном случае за пределами гидротермальной системы) обладают высокими коллекторскими свойствами.

Наименее измененные обломочные вулканические породы в пределах гидротермальной системы имеют средние показатели петрофизических параметров для каждого типа исходных пород и незначительные отклонения от этих средних значений (табл. 4).

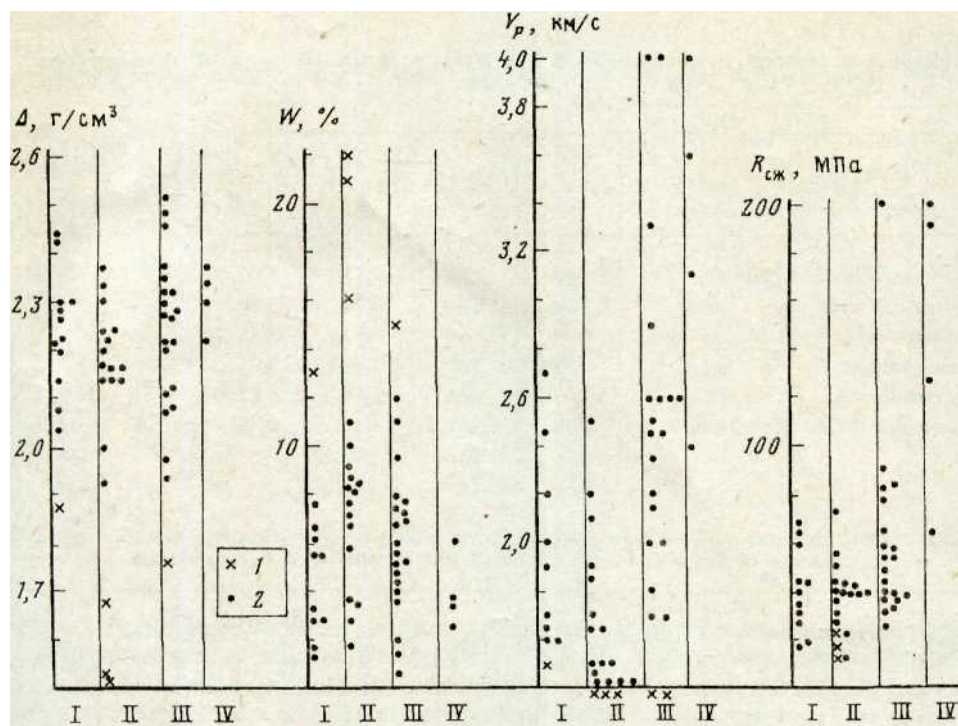


Рис. 2. Распределение петрофизических параметров вулканогенно-осадочных пород разреза скв. 50 в зависимости от размерности обломков: I — псефитовой, II — мелкопсефитовой, III — псаммитовой, IV — алевритовой; 1 — образцы отобраны в интервале глубин 0—850 м; 2 — образцы из интервалов глубин 850—1600 м

Наивысшими показателями свойств обладают интрузивные туфы, минимальными — туффиты (под интрузивными туфами авторы понимают интрузивные брекчии [9]).

Гидротермально-измененные породы. Обломочные вулканические и вулканогенно-осадочные породы, подвергаясь воздействию гидротермально-метасоматических процессов, в той или иной степени (не всегда однозначно) меняют свои петрофизические свойства (табл. 5).

Наибольшее разуплотнение псефитовых туфов происходит в зоне кислотного выщелачивания: на месте разрушенных первичных минералов образуются опал, алузит, гидроокислы железа, галлуазит. Внутри зоны наблюдается деление пород на две подтолщи (до 40 и 40—100 м) с резко различными астрофизическими свойствами (табл. 6).

В основании верхней подтолщи туфы существенно уплотнены, а в целом она соответствует зоне сернокислотного выщелачивания. Нижняя подтолща, более плотная и однородная, представляет собой зону гидрокарбонатного выщелачивания [10]. Уплотнение псефитовых туфов верхней подтолщи и высокая их плотность в кровле нижней — все это, вероятно, связано с эффектом экранов — в данном случае субпластовых тел андезитодацитов (см. литологическую колонку скв. 54 [9]). Глубина уплотняющего воздействия на туфы таких экранов достигает 2—3 м.

Псаммитовые туфы в зоне кислотного выщелачивания имеют близкие к псефитовым туфам показатели. Здесь также наблюдается уплотнение пород на контакте с субпластовыми телами андезитодацитов. По-видимому, структурно-текстурные особенности и состав пород не оказывают существенного влияния на изменение показателей петрофизических свойств в этой зоне.

Таблица 4

Петрофизические свойства типов обломочных пород глубокого разреза (до 1200 м) гидротермальной системы

Порода	Δ , г/см ³	W, %	V_p , км/с		$R_{сж}$, МПа	$\chi \cdot 10^{-3}$ СИ
			С	В		
Туффит мелкообломочный	1,80	13,5	2,15	1,90	19	0,3
Псаммитовый туф	1,88	10,4	2,70	2,65	25	9,4
Пемзовый псефо-псаммитовый туф	1,98	11,0	2,55	3,25	62	5,1
Туфоконгломерат	2,10	8,7	2,90	3,05	36	5,2
Псефитовый туф	2,15	6,9	3,60	3,85	68	8,2
Интрузивный псефо-псаммитовый туф	2,46	3,6	4,10	4,45	104	0,5

Таблица 5

Петрофизические свойства типов обломочных пород глубокого разреза гидротермальной системы в зависимости от характера воздействия на них гидротермальных растворов

Порода	Гидротермально-метасоматическая зона	Интервал, м	Δ , г/см ³	W, %	V_p , км/с		$R_{сж}$, МПа	$\chi \cdot 10^{-3}$ СИ
					С	В		
Псефитовый туф	Кислотного выщелачивания	40	1,70	12,9	3,0	3,10	34	8,8
		80—100	2,10	6,6	3,5	3,65	25	17,0
	Жидкость — пар Высокотемпературных пропилитов	550—600	2,29	6,4	3,85	3,95	118	14,0
		640—780	2,40	3,7	3,85	4,15	118	10,0
		780—1040	2,31	5,0	3,80	4,15	75	7,1—0,5
Туфоконгломерат	Среднетемпературных пропилитов	1040—1200	2,24	7,5	3,45	3,60	50	0,5
		410—440	1,98	11,3	2,85	—	26	3,1
		470—540	2,13	7,9	2,80	2,75	37	4,6
Пемзовый туф	Жидкость — пар Низкотемпературных пропилитов	550—600	2,20	7,7	3,30	3,55	55	4,6
		120	1,48	23,0	1,30	1,30	28	7,0
		180—190	1,73	15,0	1,30	—	10	11,0
Псаммитовый туф	Высокотемпературных пропилитов Кислотного выщелачивания	700—710	2,15	8,4	3,15	3,30	—	0,4
		55—70	1,80	10,0	3,05	3,10	—	19,1
Интрузивный туф	Низкотемпературных пропилитов Высокотемпературных пропилитов	150—250	1,88	10,4	2,60	2,45	—	7,8
		350—385	1,98	11,0	2,70	2,70	25	0,5
		1060—1200	2,46	3,6	4,40	4,45	104	0,5

Обломочные породы в зоне низкотемпературной пропилитизации обычно пористые, непрочные, трещиноватые и, следовательно, могут быть водовмещающими. В верхней части этой зоны породы интенсивно монтмориллонитизированы, трещины и крупные поры выполнены карбонатами, цеолитами, гидрослюдами, хлорит-сметитовыми образованиями, но микропористость туфов высокая, в частности за счет фрагментарного выщелачивания плагиоклазов (рис. 3). Низкотемпера-

Таблица 6

Изменение петрофизических свойств псефитовых туфов в зоне кислотного выщелачивания

Глубина отбора, м	Δ , г/см ³	W, %	V_p , км/с		$R_{сж}$ МПа		$\chi \cdot 10^{-3}$ СИ
			c	B	C	B	
31	1,76	22,4	3,05	—	34	—	5,6
32	1,58	12,1	3,10	3,15	29	—	12,4
32	1,57	15,0	3,00	3,00	28	19	2,5
32,5	1,62	9,3	—	—	—	—	—
33	1,60	12,0	3,05	3,15	23	—	6,3
39	1,70	16,2	2,30	2,30	35	—	18,6
39,5	2,09	3,3	3,55	3,85	55	49	7,7
80	2,19	3,5	4,10	4,45	—	—	19,0
87,5	2,06	7,2	3,45	3,45	21	—	18,0
88	2,06	7,2	3,35	3,45	20	—	19,0
98	2,06	8,4	3,15	3,30	35	—	12,0

турной пропилитизации подвержены пемзовые и псаммитовые туфы, туфоконг-ломераты и мелкообломочные туффиты. Все эти породы обладают в данной зоне низкими или самыми низкими значениями петрофизических свойств: высокой открытой пористостью и проницаемостью, нежесткими контактами между частицами ($V_p = 1,3 \dots 2,6$ км/с), часто размокают в воде. Породы неоднородны, особенно на контактах слоев и в пределах отдельных прослоев. Например, в горизонте псаммитовых туфов в скв. 54 на интервале 153—175 м чередуются плотные (2,01—2,25 г/см³) и пористые (1,63—1,80 г/см³) прослои мощностью 4—5 м.

Неоднородное распределение петрофизических свойств типично для туфокон-гломератов, расположенных в зонах низко-, средне- и высокотемпературной пропилитизации. При относительно высокой плотности пород скорости продольных волн водонасыщенных образцов то резко увеличиваются (прочность уменьшается), то уменьшаются. В первом случае образцы обладают повышенной микротрещиноватостью, во втором — одиночными крупными открытыми трещинами, идущими параллельно оси керна.

Показатели петрофизических свойств обломочных пород из зоны высокотемпературных пропилитов в целом однородны и высоки. Низкими значениями свойств отличаются пемзовые туфы, изначально наиболее рыхлые.

Породы из областей перехода жидкость — пар хотя и обладают средней плотностью 2,2—2,29 г/см³, но вследствие жестких контактов между обломками гидротермальной брекчии имеют высокие значения скоростей упругих волн (3,3—3,85 км/с), а также прочности на сжатие (до 120 МПа).

Обсуждение результатов

Петрофизические свойства пород гидротермальной системы вулкана Баранского, которые в той или иной степени затронуты гидротермально-метасоматическими процессами, определяются в основном их первичным составом, структурной и стратиграфической неоднородностью разрезов. Гидротермально-метасоматическое перерождение вулканитов существенно или полностью меняет их физико-механические параметры лишь на участках интенсивного воздействия парогидротерм: в трещинно-брекчиевых зонах, областях перехода жидкость — пар, приконтактных частях субинтрузивного тела диоритов. Туфы и (реже) андезиты и андезитобазальты лав и даек из приконтактных частей

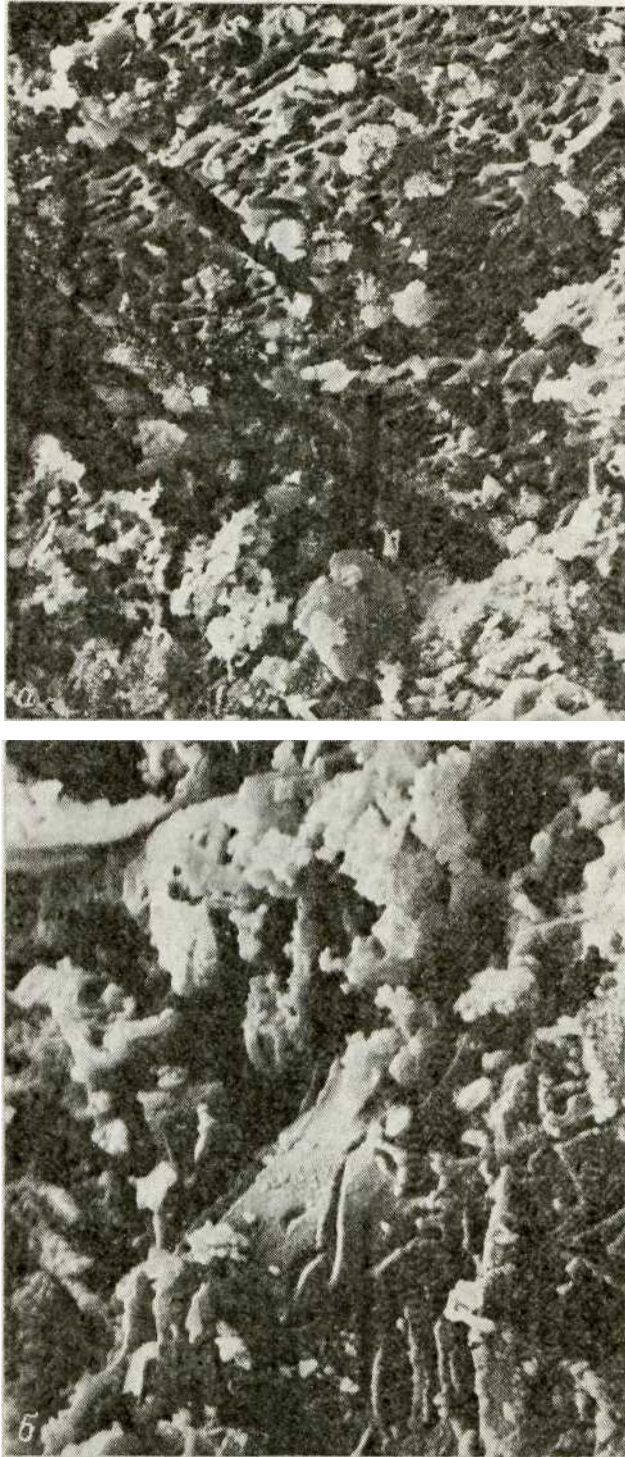


Рис. 3. Электронные сканирующие снимки обр. 54-132: мелкоцефитовый туф, скв. 54; *a* — 1000X, *б* — 3000X

Распределение средних значений петрофизических параметров пород в пределах геологических блоков центральной части гидротермальной системы Баранского

Порода	Геологический блок	Средние значения петрофизических параметров				
		Δ , г/см ³	W , %	V_p , км/с *	$V_{ск}$, МПа*	$\chi \cdot 10^{-3}$ СИ
Туффит мелкообломочный средней части ле-бединской свиты	I (6 значений)	1,54	14,9	1,85	8,8	2,62
	III (7 значений) II	1,75	14,4	2,03	15,1	1,24
	(8 значений)	1,85	13,3	2,28	39	0,4
Туф псе-фитовой кровли парусной свиты	I (6 значений)	2,03	10,8	2,43	20,1	3,3
	III (4 значения) II	1,97	11,0	2,9	24,1	2,9
	(5 значений)	2,38	4,2	3,87	118	15,3

* В сухом состоянии.

диоритовых тел переработаны в плотные, массивные кварц-эпидозиты и моно-кварциты; те же породы в трещинно-брекчиевых зонах — в разуплотненные аргиллизированные хлорит-цеолит-гидрослюдистые пропилиты или опал-каолинит-алунитовые метасоматиты; в зонах перехода жидкость — пар — в крепкие, плотные, но кавернозные кварц-адуляровые или кварц-адуляр-эпидот-пренил-вайрацитовые гидротермалиты с сульфидами. В то же время изучение петрофизических свойств пород гидротермальной системы вулкана Баранского показало, что отдельные петрофизические параметры, например магнитная восприимчивость пород, являются чуткими индикаторами направленности и интенсивности гидро-термально-метасоматических изменений уже на ранних этапах гидротермального процесса. По данным петромагнитного анализа Э. А. Молостовского и его соавторов, вулканиты гидротермальной системы вулкана Баранского содержат широкий спектр магнитных минеральных фаз с точками Кюри от 150 до 575° С. В хорошо изученной Паужетской системе (Южная Камчатка), где породы достигли высокой степени гидротермального перерождения, Э. А. Молостовским зафиксированы лишь две ферромагнитные фазы — реликтовый магнетит и (в качестве доминанта) новообразованный титаномagnetит с точкой Кюри 400° С [13]. В разрезах гидротермальной системы Баранского также на 1—2 порядка выше уровень естественной остаточной намагниченности пород и соотношения остаточной и индуктивной намагниченности (фактор Q).

В целом петрофизические данные и специальный петромагнитный анализ свидетельствуют о том, что интенсивность и, возможно, продолжительность перерождения пород в недрах гидротермальной системы Баранского (учитывая также другие данные [5, 7, 9—11]) по сравнению с таковыми гидротермальных систем Мутновской, Паужетской, Паратунской (Южная Камчатка) невелики. Породы сохраняют высокую намагниченность и относительно высокие значения большей части физико-механических параметров; тектонические зоны, в которых породы разрушены до дресвы, характеризуются значительным уровнем магнитности; зоны интенсивного выщелачивания магнитных минералов узки; слабой магнитностью выделяются лишь экзоконтакты субинтрузивных тел и кварц-адуляровые метасоматиты. Эти данные могут свидетельствовать в пользу сделанного ранее вывода о нахождении гидротермальной системы Баранского на прогрессивном этапе развития [5, 9]. Высокая степень переработки пород в нижней части горста

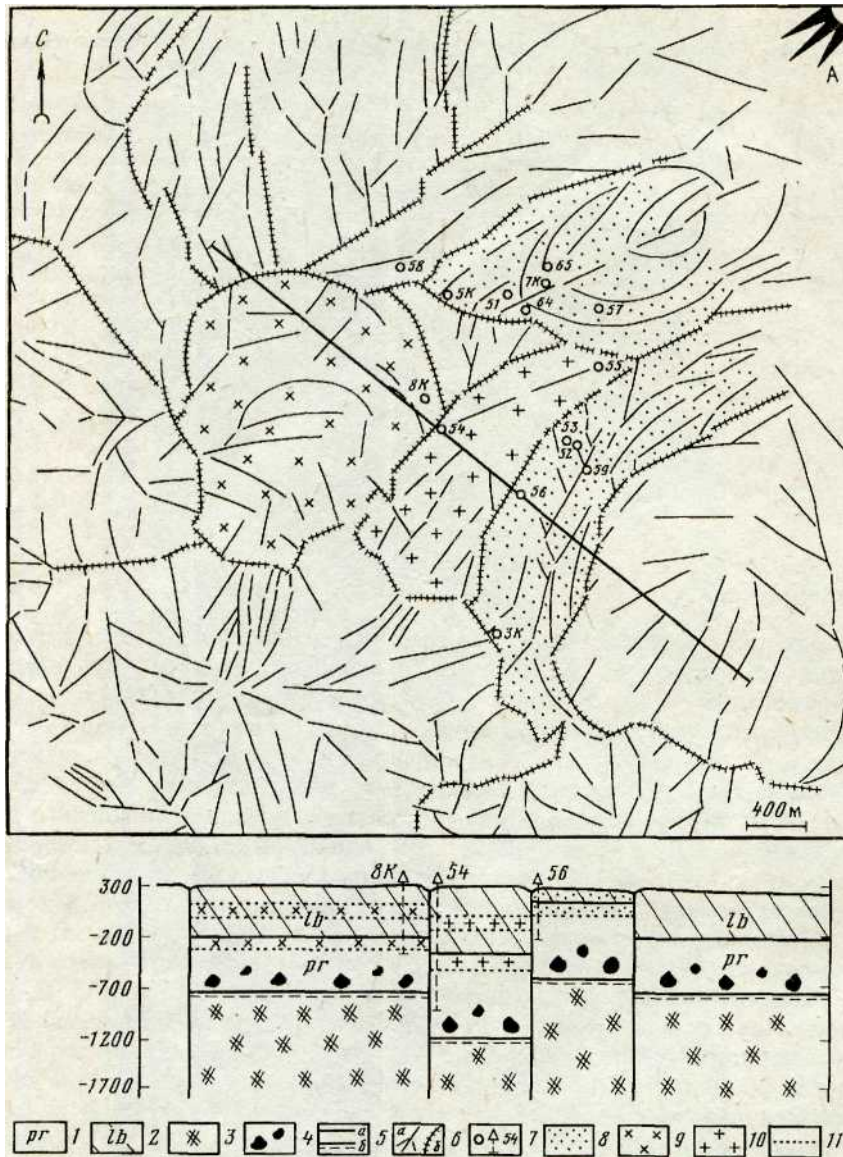


Рис. 4. Блоковая структура гидротермальной системы вулкана Баранского по петрофизическим данным. На геологической основе, опубликованной ранее [9, 10], показаны блоки, выделенные на примере петрофизического анализа двух типов отложений: мелкообломочных туффилов средней части лебединской толщи и псефитовых туфов кровли парусной свиты (см. разрез). А — положение вершины вулкана Баранского. 1 — парусная свита: лавы и туфы андезитового состава; 2 — Лебединская свита: туфогенно-осадочные отложения андезитобазальтового и андезиодацитового состава; 3 — предполагаемое субинтрузивное тело диоритового состава; 4 — интрузивные туфы (брекчии); 5 — литологические (а) и интрузивные (б) границы; 6 — тектонические нарушения (а) и границы тектонических блоков (б); 7 — скважины колонкового бурения на плане и на разрезе; 8—10 — блоки пород с различными значениями петрофизических параметров (8 — низкими, 9 — средними, 10 — высокими; значения водонасыщенности и магнитной восприимчивости, как правило, обратные — см. табл. 7); 11 — границы выделенных по петрофизическим данным блоков на разрезе (в качестве примера)

Кипящая Речка (разрез скв. 3К) скорее всего не свидетельствует о наличии здесь следов древнего гидротермального изменения пород (реликтов гидротермальных минералов не обнаружено), а является следствием приуроченности этого блока к тектонически активному участку — зоне пересечения разрывного нарушения Кипящая Речка с региональным тектоническим нарушением, проходящим по р. Серной [9].

Изучение распределения петрофизических параметров показало, что породы различных геологических и гидрогеологических структур характеризуются разными петрофизическими свойствами. Породы зон горстов в целом обладают более низкими значениями плотности, прочности, скоростей продольных и поперечных волн, чем аналогичные породы опущенного блока и тектоно-магматических поднятий. Высокими значениями и однородным распределением большинства параметров отличаются приконтактные части субинтрузивных тел диоритов — полосы окварцованных интрузивных туфов мощностью до 800 м во всех блоках геотермального месторождения. Зоны перехода жидкость — пар, имеющие форму линз-пластин и образованные в осевых частях термовыводящих разрывных нарушений [2], также выделяются большой плотностью, прочностью и полным отсутствием магнитных минералов, т. е. наиболее низкой k из всех пород в пределах гидротермальной системы. Породы зон перехода жидкость — пар других изученных современных и палеогидротермальных систем имеют аналогичные или очень близкие значения петрофизических параметров [7, 13].

Вулканогенные обломочные породы из зоны низкотемпературной пропилитизации отмечаются в целом как низкими значениями параметров петрофизических свойств (высокое водопоглощение), так и их резкими колебаниями, особенно для грубообломочных отложений. Породы с таким распределением петрофизических показателей соответствуют лебединской свите и верхней части парусной свиты, обладают высокими коллекторскими свойствами. По-видимому, эта часть разреза в интервале от 150 до 450 м может служить верхним водоносным горизонтом гидротермальной системы. Близкими значениями петрофизических свойств и столь же неоднородным распределением параметров характеризуются отложения верхнего водоносного горизонта Паужетского геотермального месторождения [7]: туфы и туффиты андезитодацитового состава нижне- и среднепаужетской подсвит. Предполагаемый нижний водоносный горизонт гидротермальной системы Баранского представлен плотными, но кавернозными кварц-эпидозитами, трещиноватыми и крупнопористыми в зонах тектонических нарушений, по которым происходит подъем высокотемпературного гидротермального флюида. Для верхнего водоупора (аргиллизированных лав и туффитов) типичен высокий уровень естественной остаточной намагниченности и устойчивые относительно высокие значения многих петрофизических параметров.

Следовательно, петрофизическими параметрами различаются породы следующих элементов структуры гидротермальной системы вулкана Баранского: горстов, тектоно-магматических поднятий и относительно опущенного блока, вскрытого глубокой скв. 54; экзоконтактной зоны субинтрузивного тела диоритов, являющейся, по-видимому, высокотемпературным нижним водоносным горизонтом; зон перехода жидкость — пар; верхнего водоносного горизонта, верхнего водоупора. Иллюстрацией к сказанному является рис. 4, где показано распределение средних значений петрофизических параметров в пределах основных геологических блоков геотермального месторождения Океанское на примере анализа двух типов отложений (табл. 7). Наименее плотными и прочными являются туффиты горстов (блок I). При этом туффиты, отобранные близ осевой зоны горста Кипящая Речка (скв. 59), обладают очень низкими средними значениями петрофизических параметров: $\Delta = 1,35 \text{ г/см}^3$, $W = 21\%$, $V_n(\text{сух.}) = 3,7 \text{ км/с}$, $R_{сж}(\text{сух.}) = 10,3 \text{ МПа}$, $\chi = 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ СИ}$. Это означает, что породы, слагающие осевые (и, возможно, краевые) зоны горстов, наименее плотные, а также пористые и трещиноватые. Аналогичная картина распределения петрофизических параметров отмечается и по результату анализа псефитовых туфов кровли парусной

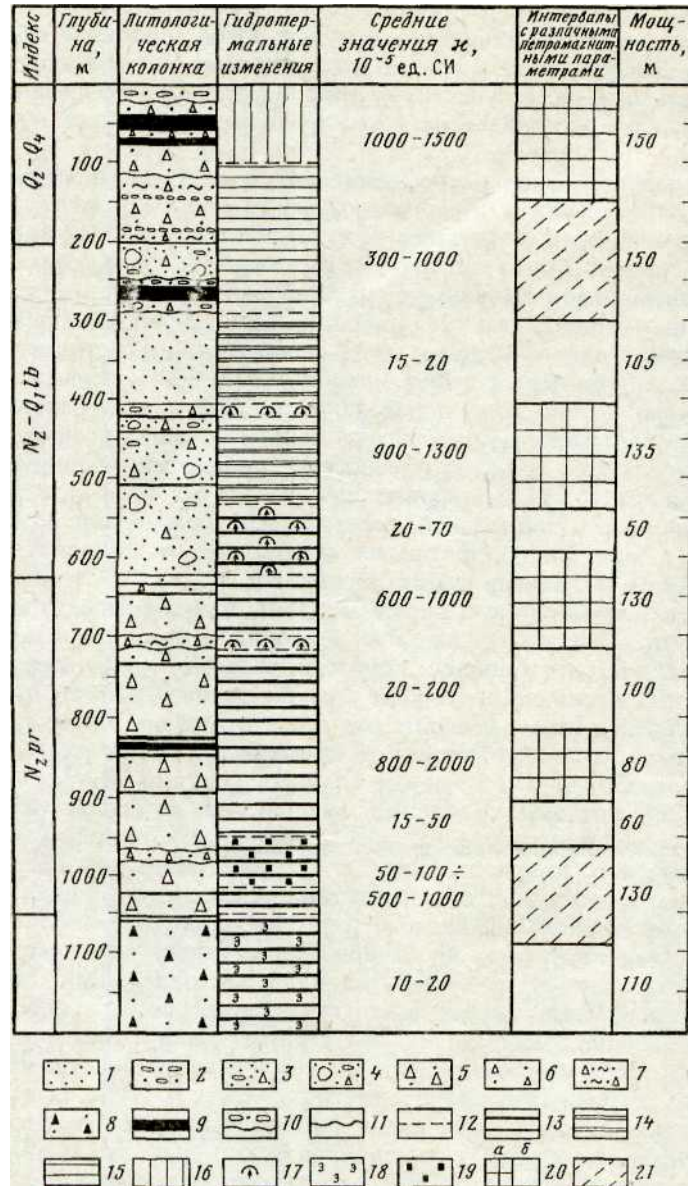


Рис. 5. Блоковая структура разреза скв. 54 по петромагнитным данным: 1 — алевролиты, песчаники и туфоалевролиты, туфопесчаники; 2 — галечники; 3 — туфогалечники; 4 — туфоконгломераты; 5 — туфы псефитовые андезитового и андезиодацитового состава; 6 — то же, псаммитовые туфы; 7 — игнимбриты и пемзовые туфы андезиодацитового до дацитового состава; 8 — интрузивные туфы (интрузивные брекчии); 9 — эффузивы, дайки и силлы андезитобазальтового и андезитового состава; 10 — грубообломочные делювиальные отложения; 11 — стратиграфические границы; 12 — зоны трещиноватости; 13 — высокосреднетемпературные пропилиты; 14 — средненизкотемпературные пропилиты; 15 — низкотемпературные пропилиты; 16 — опал-каолинит-алунитовые породы зоны кислотного выщелачивания; 17 — гидротермалиты зоны перехода жидкость — пар; 18, 19 — повышенное содержание в породах эпидота и сульфидов соответственно; 20 — блоки с различной намагнитченностью пород: а — высокой, б — низкой; 21 — блоки с промежуточными значениями петромагнитных параметров

свиты. Если туфы блоков I и III различаются, по-видимому, в основном типом трещиноватости и выполнением трещин, то туфы относительно опущенного блока II значительно более плотные и прочные. Границы блоков в плане на дневной поверхности подтверждены петрофизическим анализом пород из естественных обнажений и совпадают с границами тектонических блоков (рис. 4).

В пределах крупных тектонических блоков, различающихся, как показано выше, петрофизическими параметрами, наблюдается чередование горизонтов пород плотных, массивных с породами пористыми и трещиноватыми. Мощность горизонтов колеблется от 50—60 до 130—150 м. Внутри них также имеет место чередование горизонтов пород мощностью 1—5 м с резко различными петрофизическими свойствами. Эта особенность показана на примере распределения петромагнитных свойств пород только в вертикальных разрезах из-за ограниченного количества пробуренных скважин. Петромагнитные данные получены Э. А. Молостовским совместно с авторами настоящей работы. Разрез скв. 54 разбит на фрагменты с высокими ($\chi = (500 \dots 1000) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) и низкими ($\chi = (20 \dots 100) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) значениями намагниченности пород (рис. 5). Выделены также породы с промежуточными значениями петромагнитных параметров. Горизонты пород с высокой намагниченностью в целом более мощные, чем с низкой. Внутри первых и вторых фрагментов разреза также наблюдается чередование пород с резко различной намагниченностью.

Следовательно, в недрах геотермального месторождения Океанское существует система горизонтов (блоков?) двух-трех размерностей с резко различными петрофизическими свойствами пород. Эта система установлена во всех изученных вертикальных разрезах. Есть основания полагать, что подобная мозаично-блоковая структура имеет место и в горизонтальных сечениях, и, таким образом, по-видимому, в дальнейшем возможна постановка и решение проблемы картирования объемной иерархической блоковой структуры гидротермальной системы.

Выводы. 1. Петрофизические свойства пород гидротермальной системы вулкана Баранского, в разной степени затронутых гидротермально-метасоматическими процессами, определяются их первичным составом, структурной и стратиграфической неоднородностью разрезов. Другие изученные гидротермальные системы Южной Камчатки (Паужетская, Мутновская и др.), отличаются высоким перерождением пород и, соответственно, низкими значениями большинства петрофизических параметров.

2. Комплексные петрофизические данные свидетельствуют о том, что интенсивность и, возможно, продолжительность перерождения пород в недрах гидротермальной системы вулкана Баранского невелика, по сравнению с таковыми гидротермальных систем Южной Камчатки: Мутновской, Паужетской, Паратунской, а также свидетельствуют в пользу сделанного ранее вывода [5, 9] о нахождении гидротермальной системы Баранского на прогрессивном этапе развития.

3. Фрагменты структуры гидротермальной системы Баранского (горсты, тектоно-магматические поднятия, опущенный блок, экзоконтактовая зона субинтрузивного тела диоритов, по-видимому, являющаяся нижним высокотемпературным водоносным горизонтом; области перехода жидкость — пар, верхний водоносный горизонт и верхний водоупор) обладают контрастными петрофизическими свойствами пород.

4. В вертикальных разрезах гидротермальной системы установлено чередование горизонтов пород с контрастными петрофизическими свойствами: интервалы пород плотных и массивных (тип I) чередуются с интервалами метасоматитов пористых и трещиноватых (тип II). Движение метеорных вод и парагазовых флюидов, формирование зон вскипания гидротерм и геохимических барьеров и другие процессы происходят на интервалах типа II (разуплотненных) и на границах интервалов типа I.

Установлено также, что отмеченные горизонты типов I и II имеют две размерности: 50—150 и 1—5 м. Это обстоятельство может послужить основанием

для постановки и решения в будущем проблемы иерархичности геологических образований.

Авторы признательны своим коллегам Ю. В. Васильевой, О. П. Гончаренко, Н. С. Жатнуеву, А. Д. Коробову, Г. П. Королевой, Э. А. Молоствовскому, Я. А. Рихтеру, Н. М. Ульзутуеву за помощь в полевых исследованиях и первичной интерпретации материала; С. И. Вебер за подготовку образцов к исследованиям. Авторы благодарны В. И. Белоусову, И. Г. Завадскому, С. И. Набоко, А. Ф. Прядко, В. И. Пчелкину, способствовавшим постановке и проведению работ; С. И. Набоко, Ю. М. Стефанову, И. Ф. Делемену и всем специалистам, принявшим участие в обсуждении содержания статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 93-05-08240).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1973. 367 с.
2. Жатнуев Н. С., Рычагов С. Н., Миронов А. Г. и др. Пародоминирующая система и геохимический барьер жидкость — пар Верхнего термального поля Паужетского месторождения // Вулканология и сейсмология. 1991. № 1. С. 62—78.
3. Злобин Т. К. Строение литосферы в районе о-ва Итуруп по сейсмическим данным // Тихоокеанская геология. 1989. № 3. С. 33—41.
4. Злобин Т. К., Знаменский В. С. Геология и глубинное строение геотермального района (о-в Итуруп) // Геология руд. месторождений. 1991. № 4. С. 3—15.
5. Знаменский В. С. Гидротермально измененные породы Мутновского (Камчатка) и Кипящего (о-в Итуруп) геотермальных месторождений // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 5. С. 110—123.
6. Знаменский В. С., Никитина И. Б. Гидротермы центральной части острова Итуруп (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 44—65.
7. Ладыгин В. М., Рычагов С. Н., Васильева Ю. В. и др. Петрофизические свойства метасоматитов Паужетского месторождения парогидротерм (Ю. Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1991. № 6. С. 95—110.
8. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. М.: Недра, 1984. Т. 2. 438 с.
9. Рычагов С. Н. Гидротермальная система вулкана Баранского, о-в Итуруп: модель геологической структуры // Вулканология и сейсмология. 1993. № 2. С. 59—74.
10. Рычагов С. Н., Главатских С. Ф., Гончаренко О. П. и др. Температурная и минералого-геохимическая характеристика геотермального месторождения Океанское (о-в Итуруп) // Геология руд. месторождений. 1993. Т. 35. № 5. С. 405—418.
11. Рычагов С. Н., Главатских С. Ф., Гончаренко О. П. и др. Температурный режим вторичного минералообразования и структура температурного поля в недрах гидротермальной системы Баранского, о. Итуруп // Вулканология и сейсмология. 1994. № 6. С. 96—112.
12. Рычагов С. Н., Степанов И. И. Гидротермальная система вулкана Баранского, о. Итуруп: особенности поведения ртути в недрах // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 41—52.
13. Структура гидротермальной системы. М.: Наука, 1993. 298 с.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
Институт вулканологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию
15.02.1994