

УДК 550.836

**Р.И. Пашкевич, К.А. Павлов,
А.Ю. Веселко, Г.В. Попов**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НА АВАЧИНСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

Приведены результаты анализов химического состава вод р. Сухая речка и из скважин, пробуренных в окрестности Авачинского вулкана.

Ключевые слова: Авачинская геотермальная система, полный гидрохимический анализ, микрокомпонентный анализ, анализ.

В 2014–2015 гг. выполнялась научно-исследовательская работа по исследованию геотермальных ресурсов Авачинской группы вулканов [1]. В рамках данной работы для выявления возможной связи водотоков территории с термальными источниками в период 18.04.15–07.09.15 г. были взяты на анализ пробы воды р. Сухая речка, а также непосредственно из термометрических скважин 1РР и 3РР глубиной 10 м, пробуренных на Авачинской геотермальной системе. Из р. Сухая речка пробы отбирались в точках близких к термометрическим скважинам. Расположение термометрических скважин и станций гидрохимического опробования показано на рис. 1 (см. стр. 313).

Полный гидрохимический анализ выполнен в химико-технологической лаборатории ФГБУН НИГТЦ ДВО РАН, микрокомпонентный (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) — в ООО «Лаборатория спектральных исследований «СПЕКТРУМ», г. Москва, определения мышьяка и лития — в Аналитическом центре ФГБУН ИВиС ДВО РАН. Пробоподготовку для проведения микрокомпонентного анализа проводили в НИГТЦ ДВО РАН двумя способами: с консервированием и без консервирования. Выполнялось предварительное центрифугирование проб в течение 15 минут при 3800 – 4000 об/мин с последующим фильтрованием через

мембранный фильтр из политетрафторэтилена с диаметром пор 0,45 мкм, диаметром фильтра 25 мм и площадью фильтрования 3,9 см². Консервация выполнялась подкислением азотной кислотой (о.с.ч.) из расчета 0,1 мл концентрированной азотной кислоты на 10 мл пробы. На анализ направлялись пробы объемом 15 мл. Результаты анализов сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Сопоставление содержаний некоторых элементов в пробах воды из скважин и р. Сухая речка в период отбора 18–30 апреля 2015 г.

Аналит	скв. 1PR 18.04	скв. 3PR 30.04	р.Сухая речка 18.04			
по результатам полного гидрохимического анализа (мг/л)						
pH	8,79	6,92	7,31			
K ⁺	8,79	2,16	0,67			
Na ⁺	25,1	13,4	11,2			
Ca ²⁺	54,1	10,7	7,42			
Mg ²⁺	9,02	0,815	1,34			
Fe ²⁺	0,202	<0,05	<0,05			
Fe ³⁺	0,195	<0,05	<0,05			
F ⁻	0,9	0,15	0,15			
Cl ⁻	15,4	2,22	1,20			
HCO ₃ ⁻	200	46,9	41,0			
SO ₄ ²⁻	22,2	9,70	17,7			
H ₃ BO ₃	<0,46	0,48	<0,46			
H ₄ SiO ₄	21,4	44,4	40,0			
минерализация	365	135	122			
As	0,0073	<0,005	<0,005			
Li	0,032	<0,01	<0,01			
по результатам ICP-MS (мкг/л)						
		K*		K*		K*
Be	0,12	0,04	0,03	0,06	<0,008	<0,008
B	200	180	47	42	18	17
Al	8300	780	990	3740	20	20
Si	15300	6600	12600	15000	10800	9950
P	190	970	16	86	200	190

Окончание табл. 1

Аналит	скв. 1PR 18.04		скв. 3PR 30.04		р.Сухая речка 18.04	
V	10,7	4,4	2,9	6,2	17	16
Cr	0,96	0,24	0,23	0,63	<0,2	0,11
Mn	150	37	160	190	0,52	0,52
Co	2,3	0,25	0,95	1,9	0,02	0,02
Ni	1,7	0,71	2,8	3,2	0,02	0,13
Cu	37	12	21	41	0,59	0,66
Zn	19	4,8	8,3	25	1,7	5,7
Se	0,2	0,2	<0,2	<0,2	0,20	0,22
Rb	2,7	1,9	1,7	1,3	0,38	0,37
Sr	44	13	25	34	11,5	11,3
Mo	3,7	4,1	1,3	0,65	0,44	0,32
Ag	0,007	0,004	0,007	0,005	0,003	0,015
Cd	0,069	0,075	0,13	0,10	0,027	0,074
Sn	0,1	0,14	75	45	0,014	0,043
Sb	0,26	0,44	0,20	0,12	0,11	0,11
Cs	0,16	0,042	0,35	0,10	0,005	0,005
Ba	36	4,6	7,1	20,6	2,7	3
Tl	0,023	0,018	0,012	0,019	0,005	0,0009
Pb	0,84	0,17	0,43	0,76	0,030	0,056
U	0,086	0,039	0,014	0,034	0,007	0,006

Примечание. * – проба с консервацией подкислением азотной кислотой.

Из табл. 2 видно, что в воде р. Сухая речка преобладает Na, с содержанием от 5,60 до 12,4 мг/л. На верхних по течению станциях 101-1, 101-2, 102 воды имеют гидрокарбонатно-натриевый состав. Далее вниз по течению увеличивается концентрация SO_4^{2-} с ростом минерализации. Состав вод сменяется на гидрокарбонатно-сульфатно-натриевый вниз по течению. Со станции 106 по 111 возрастает концентрация Ca^+ . Состав вод на данном участке течения гидрокарбонатно-сульфатно-натриево-кальциевый. В целом по водотоку, концентрация гидрокарбонатов варьируется от 20,7 до 31,4 мг/л, сульфатов – от 2,31 до 15,4 мг/л, Na – от 5,6 до 12,4 мг/л, Ca – от 1,44 до 6,01 мг/л. По микрокомпонентному анализу в пробах отмечены значительные содержания Si (от 10,3 до 15,7 мг/л) и S (от 0,81 до 5,58 мг/л).

Сопоставление содержания некоторых элементов в пробах воды из скважины 3 PR и р. Сухая речка в период отбора 1-7 сентября 2015 г.

Аналит	№.№ проб, дата отбора												
	101-1 07.09	101-2 07.09	102 07.09	103 07.09	104 7.09	105 07.09	106 07.09	107 07.09	108 07.09	109 07.09	110 07.09	3PR 07.09	111 01.09
	по результатам полного гидрохимического анализа (мг/л)												
pH	7,42	7,42	7,66	7,55	7,57	7,50	7,50	7,46	7,41	7,46	7,14	6,74	7,35
K ⁺	1,53	<1	<1	1,64	1,0	<1	<1	<1	2,36	1,0	1,72	1,73	<1
Na ⁺	8,89	5,60	12,4	8,83	9,62	11,1	6,94	6,05	8,99	7,29	8,20	6,76	10,1
Ca ²⁺	2,06	1,56	1,44	4,81	3,01	3,44	5,05	4,54	4,95	3,92	4,58	5,89	6,01
Mg ²⁺	<0,5	<0,5	<0,5	0,91	0,65	0,72	1,20	1,06	0,95	0,89	0,85	1,44	0,621
Fe ²⁺	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe ³⁺	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
F ⁻	02,3	0,16	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	<0,1	<0,1
Cl ⁻	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,42	<1,0	1,42	1,42	1,42	<1,0	1,42	<1,0
HCO ₃ ⁻	21,1	20,7	30,6	29,6	29,6	30,6	29,6	29,6	30,1	29,6	28,4	30,0	31,4
SO ₄ ²⁻	3,07	2,31	8,84	13,5	11,9	10,8	9,99	10,4	10,4	9,99	10,8	7,68	15,4
H ₃ BO ₃	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46	<0,46
H ₄ SiO ₄	38,8	31,3	26,3	33,8	32,5	32,5	32,0	36,3	56,3	40,0	36,0	47,5	37,5
минерализация	80,0	65,9	56,4	95,9	90,6	92,7	110	92,3	117	95,6	92,1	106	102
	по результатам ICP-MS (мкг/л)												
Li	1,79	1,54	1,31	1,18	1,2	1,09	1,21	1,03	1,24	0,88	0,47	0,68	1,13
Na	9276,9	6519,1	10565,8	9267,4	8983,3	9162,3	9151,4	9038,9	9079,8	9298,2	9371,6	7460,4	10816,7
Mg	479,7	447,7	430,4	863,8	903,3	943,1	952,2	925,3	949,9	939,8	903,5	1574,2	1095

Al	67,4	187,7	130,8	30,5	38,2	81,6	76,5	58,3	108,6	181,4	41,8	7,85	958,2
Si	11335,5	10761,2	10322,2	11683,6	11762,7	11867,1	11924,4	11911,2	12076,1	11866,4	11488,2	15762,6	13599
P	477,2	240,9	243,4	193,5	174,4	159,3	176,3	152	159,6	90,7	60,8	<25,3	<25,3
S	4350,6	810,6	1159	4362,7	4060,2	3964,8	3932,1	4065,7	4013,6	4116,3	4281,5	2695,1	5580,9
K	330,3	265,4	290,2	543,9	497,7	599,8	616	1266,9	736,3	685,7	604	1235,2	760
Ca	4191	1869,1	1911,6	5582,4	5642,1	5710,8	5758,1	5662,8	5694,9	5340	4927,1	7111	5990,4
Ti	4,37	23,6	26,1	2,88	3,41	6,64	5,8	3,36	5,30	4,19	<0,8	<0,8	44,8
V	9,61	6,76	10,6	15,7	14,5	14,1	14,5	13,2	14,4	15,6	12,4	6,61	18,1
Mn	1,67	3,64	3,59	0,62	0,83	1,86	1,51	1,78	2,26	3,89	3,98	12,9	17,4
Fe	5,6	144,1	130,2	28,2	35,5	63,9	65,3	41,8	81,7	79,7	6,31	-	724
Co	0,057	0,06	0,074	0,026	0,018	0,041	0,023	0,043	0,034	0,036	0,021	0,088	0,24
Ni	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,81	<0,2
Cu	<0,5	1,66	1,89	<0,5	<0,5	1,24	1,01	1,52	2,78	3,34	1,76	11,5	14,9
Zn	8,33	8,02	5,66	3,74	3,89	18,8	6,75	10,1	8,88	7,04	5,58	14,5	8,12
As	5,45	2,39	2,79	3,83	3	3,19	3,27	3,16	3,43	3,08	<1,2	<1,2	<1,2
Rb	0,29	0,28	0,28	0,45	0,4	0,5	0,5	0,65	0,72	0,7	0,59	1,09	1,08
Sr	5,26	2,73	2,66	9,01	8,98	9,02	9,37	8,98	9,85	13	11,9	17,3	18,8
Mo	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,57	<0,1	0,4	0,28	0,39	0,34	<0,1	0,55
Cd	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,026	0,05	0,022	<0,008	<0,008	0,022
Sb	0,41	0,33	0,31	0,29	<0,06	0,3	0,16	0,3	0,27	0,33	0,38	0,19	0,31
Cs	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,044
Ba	12	6,64	5,08	5,94	6,19	4,63	6,08	5,85	5,89	6,58	5,66	7,32	12,3
Pb	19,5	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	0,2	<0,07	<0,07	<0,07	0,27
U	<0,003	0,007	0,0094	0,0074	0,0071	0,0059	0,0076	0,0072	0,006	<0,003	<0,003	<0,003	0,013

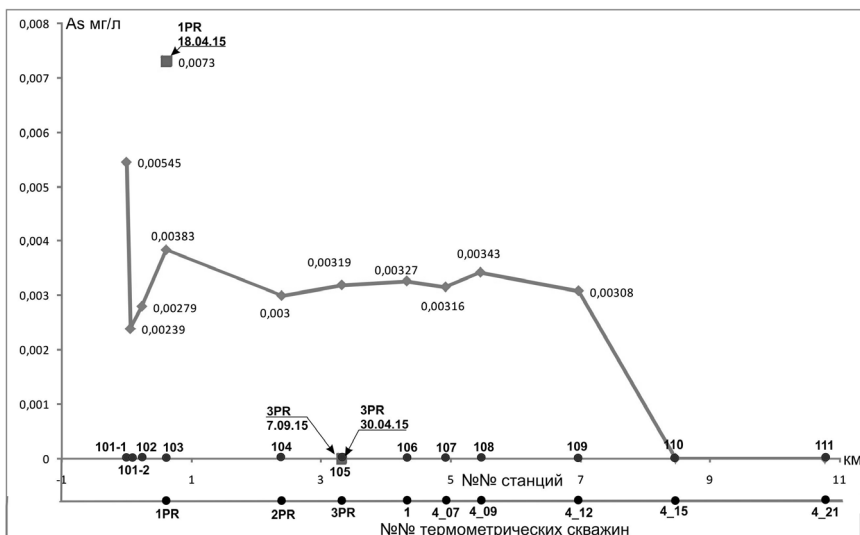


Рис. 2. Распределение As в водах р. Сухая речка и скважин

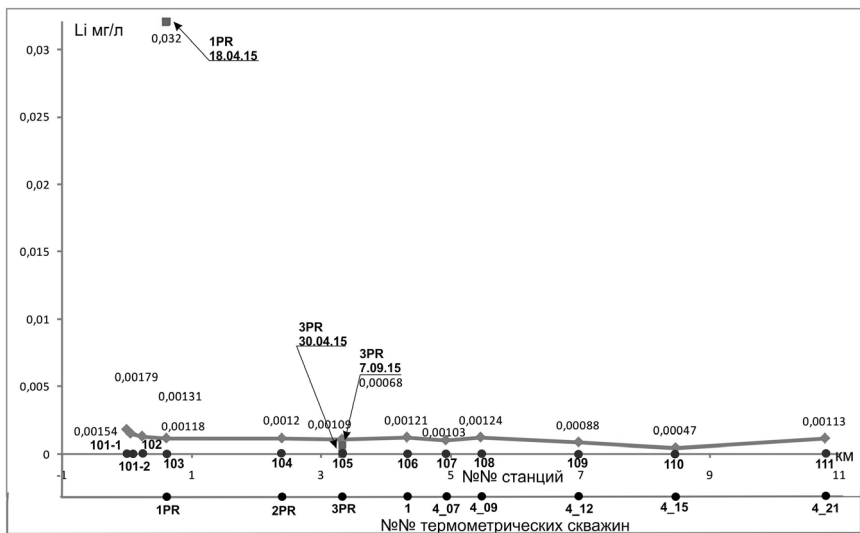



Рис. 3. Распределение Li в водах р. Сухая речка и скважин

Состав воды из скважины ЗРР схож по составу с пробами из р. Сухая речка и имеет гидрокарбонатно-натриево-кальциевый состав.

Результаты химического анализа проб воды из скважины 1PR и сравнение с химическим составом вод р. Сухая речка показывают отличительные концентрации некоторых химических элементов. В пробе в несколько раз большая концентрация гидрокарбонатов (200 мг/л), а также более высокое значение pH (8,79) и уровень минерализации (365 мг/л). Кроме того, повышено содержание Si, Al, Mn, As, Li и В относительно концентраций в водах р. Сухая речка. На рис. 2, 3 показано распределение As и Li по профилю, проведенному вдоль р. Сухая речка. Из рис. 2 видно, что содержание As в воде уменьшается с удалением от скважины 1PR вниз по течению. Как известно, термальные воды Камчатки содержат мышьяк, литий и бор. Для получения выводов о связи воды из скважины 1PR с возможными проявлениями термальных вод в районе, необходимо продолжить гидрохимические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пашкевич Р.И. и др. Отчет о научно-исследовательской работе: «Исследование геотермальных ресурсов Авачинской группы вулканов, полуостров Камчатка, Камчатский край». Фонды НИГТЦ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 2015, в 3-х тт., 787 с. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Пашкевич Роман Игнатьевич – доктор технических наук, директор, nigtc@kscnet.ru, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук,

Павлов Кирилл Алексеевич – научный сотрудник, nigtc@kscnet.ru, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук,

Попов Г.В. – аспирант, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, nigtc@kscnet.ru,

Веселко А.Ю. – аспирант, Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, nigtc@kscnet.ru.



UDC 550.836

RESULTS OF HYDROCHEMICAL RESEARCH PERFORMED ON AVACHA GEOTHERMAL SYSTEM

Pashkevich R.I., Doctor of Technical Sciences, Director, pashkevich@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, *Pavlov K.A.*, Research scientist, nigtc@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, *Popov G.V.*, Junior Research scientist, Graduate Student, nigtc@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, *Veselko A.Yu.*, Junior Research scientist, Graduate Student, nigtc@kscnet.ru, Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences.

Results of chemical composition analysis of water from stream «Sukhaya rechka» and from wells drilled in the vicinity of Avacha volcano are presented.

Key words: Avacha geothermal system, comprehensive hydrochemical analysis, micro-component analysis, analyte.

REFERENCES

1. Pashkevich R.I., i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote: «Issledovanie geotermalnykh resursov Avachinskoy gruppi vulkanov, poluostrov Kamchatka, Kamchatskiy kray (Report about scientifically-research work: "Investigation of geothermal resources of the Avachinsky group of volcanoes, Kamchatka Peninsula, Kamchatka Krai). Fondy NIGTC DVO RAN, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2015, v 3-h tt., 787 p.