

**В.В. Ершов, С.М. Олесик**

## **ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СОПОЧНОЙ БРЕКЧИИ ИЗ ГРИФОНОВ ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА \***

*В июле-августе 2009 г. произведен отбор 56 проб сопочной брекчии из четырех грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана. Элементный состав брекчии определялся параллельно двумя методами – рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС). Установлено, что результаты, полученные разными методами, не всегда хорошо согласуются между собой. С помощью методов математической статистики показано, что существуют различия в элементном составе брекчии из разных грифонов. Эти различия статистически достоверны для данных, которые получены обоими методами элементного анализа.*

*Ключевые слова: грязевой вулкан, сопочная брекчия, элементный состав, статистический анализ, о-в Сахалин.*

**Г**рязевой вулканизм – это своеобразное природное явление, представляющее большой интерес для геологов, геофизиков и просто любителей природы. В грязевых вулканах протекают процессы интенсивного переноса вещества и энергии из недр Земли на ее поверхность. При изучении грязевого вулканизма традиционно рассматривается ряд проблем, имеющих важное прикладное и фундаментальное значение – это, например, связь с нефтегазоносностью и региональной сейсмичностью, влияние эмиссии грязевулканических газов на общий баланс парниковых газов в атмосфере. Несмотря на то, что период изучения грязевого вулканизма составляет более 150 лет, многие вопросы деятельности грязевых вулканов до сих пор не получили исчерпывающего объяснения.

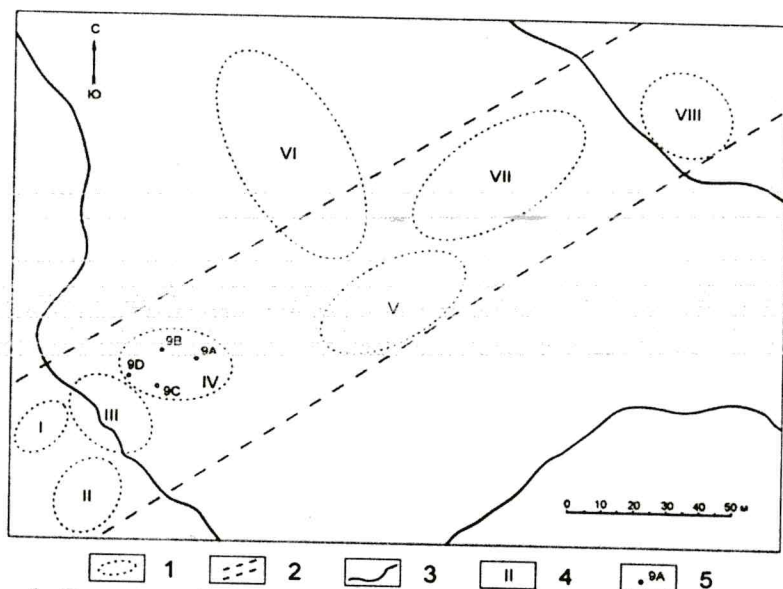
Одно из направлений исследований данного природного явления – это геохимия твердых, жидких и газообразных продуктов деятельности грязевых вулканов. Такие исследования необходимы, в частности, для решения вопросов об источниках

\*Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-05-31043\_мол\_а, ДВО РАН №№ 12-III-B-08-181, 13-III-B-08-009

грязевулканического вещества, а также физико-химических условий его образования и миграции. Для определения наличия или отсутствия связи грязевого вулканизма с другими природными процессами и явлениями необходимо изучение изменчивости различных геохимических параметров во времени. Все это подразумевает накопление больших массивов геохимических данных.

О-в Сахалин является единственным регионом на Дальнем Востоке России, где известны наземные грязевые вулканы. В последние годы Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН проводятся интенсивные исследования различных аспектов деятельности грязевых вулканов о-ва Сахалин [11]. Однако эти исследования слабо касались вещественного состава твердой фазы продуктов грязевулканической деятельности – так называемой сопочной брекчии. Согласно работе [2] под сопочной брекчией понимается песчано-глинистая порода с включениями обломков горных пород, которая образуется при извержениях грязевых сопков (вулканов). Похожее определение дано и в работе [17], где указано, что сопочная (грязевулканическая) брекчия состоит из смеси полужидкой глинистой массы с обломками разнотипных горных пород, оторванных из различных глубин. Наиболее крупным и активным среди грязевых вулканов о-ва Сахалин является Южно-Сахалинский грязевой вулкан. Химический состав сопочной брекчии Южно-Сахалинского грязевого вулкана изучен очень слабо. Из литературных данных известно всего 15 определений содержания некоторых элементов, выполненные в разные годы разными исследователями [7, 13, 16].

С 27 июля по 09 августа 2009 г. нами проводился ежедневный отбор проб свежей сопочной брекчии из четырех грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана (рис. 1). Пробы высушивались и растирались в фарфоровой ступке до порошкообразного состояния для последующих химико-аналитических исследований, которые проводились в «Межведомственном центре аналитического контроля состояния окружающей среды» при Дальневосточном федеральном университете (г. Владивосток). Элементный анализ каждой пробы выполнялся параллельно двумя методами – рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-АЭС).



**Рис. 1. Схема грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана, в которых проводился отбор проб сопочной брекчии летом 2009 г.:** 1 – границы грифонов групп; 2 – боковые ограничения полосы грифонов; 3 – границы грязевого поля после извержения 2001 г.; 4 – номер грифонов группы; 5 – местоположение и обозначения 2001 г.

Для первого метода использовался портативный рентгенофлуоресцентный спектрометр Innov-X Mobilab X-50 (Innov-X Systems Inc., США) – мобильная система для полевого экспресс-анализа элементного состава металлов, жидких и порошковых проб. Для второго метода использовался оптический эмиссионный спектрометр параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Разложение проб при использовании метода ИСП-АЭС осуществлялось с использованием фтористоводородной кислоты в сочетании с хлорной, азотной, серной кислотами. Отметим, что анализ выполнялся для воздушно-сухих проб. Поэтому нами для четырех случайно выбранных проб определено содержание влаги в пробе, которое колеблется в пределах от 3,02 до 3,85 %. В среднем содержание влаги в пробе равно 3,5 %, что ниже погрешности самого элементного анализа. Для пересчета на абсолютно-сухую пробу полученные нами результаты необходимо умножить на коэффициент 1,036.

Результаты элементного анализа методом ИСП-АЭС показывают, что концентрации некоторых элементов в пробах из разных грифонов сильно отличаются, например, для Fe, K, Ca, Cr, Mo и др. (табл. 1). Эти различия вполне могут быть вызваны случайными факторами – погрешностями анализа, неоднородностями проб и пр. Для того чтобы оценить степень отличия содержания элементов в пробах из разных грифонов, нами для каждого элемента вычислено среднее значение и доверительный интервал для него (табл. 1). Доверительный интервал построен на основе распределения Стьюдента для доверительной вероятности 0,95. Видно, что по многим элементам нет пересечения доверительных интервалов для всех четырех грифонов. Это позволяет предполагать, что обсуждаемые различия не случайны, то есть элементный состав сопочной брекчии в разных грифонах действительно различается.

В аналогичном виде представлены и результаты элементного анализа методом РФА (табл. 2). Здесь также видно, что имеются существенные отличия в содержании многих элементов. Причем, судя по доверительным интервалам для средних значений, наличие этих отличий также трудно объяснить только случайными факторами.

При сопоставлении результатов элементного анализа, полученных методами ИСП-АЭС и РФА видно, что содержание многих элементов в сопочной брекчии довольно сильно отличается. Например, содержание Fe, K, Ca, Ti, Sr в брекчии по методу РФА значительно выше, чем содержание этих же элементов в брекчии по методу ИСП-АЭС. Для таких элементов как Cr, Zn и Pb имеет место обратная ситуация – концентрация по методу РФА значительно ниже, чем по методу ИСП-АЭС. Мы полагаем, что степень доверия должна быть выше к результатам, которые получены по методу ИСП-АЭС. Мобильная рентгенофлуоресцентная система Mobilab X-50 предназначена, прежде всего, для экспресс-анализа элементного состава. По сравнению с ней оптический эмиссионный спектрометр ICPE-9000 представляет собой более чувствительный, надежный и стабильный прибор. Мощное программное обеспечение для ICPE-9000 позволяет проводить коррекцию влияний мешающих элементов, внесение поправок в результаты уже после измерений и т.п.

Таблица 1

Элементный состав сопочной брекчии из грифонов  
Южно-Сахалинского грязевого вулкана по методу ИСП-АЭС

Соержание, ppm	Грифон 9А	Грифон 9В	Грифон 9С	Грифон 9D
Al	67464 - 84861 77410 ± 3417	60616 - 82869 71432 ± 3480	54152 - 83219 70328 ± 4608	63820 - 84490 75715 ± 3887
Na	29137 - 58221 37183 ± 4543	25627 - 39933 31988 ± 2028	26961 - 40135 35179 ± 2336	30024 - 40667 33474 ± 1973
Fe	24143 - 35189 28256 ± 1887	14904 - 41655 24304 ± 3985	18896 - 31287 25247 ± 2167	24344 - 40161 35013 ± 2190
K	16322 - 39118 24385 ± 3219	11041 - 24520 17498 ± 2390	8277 - 23991 16766 ± 2442	14209 - 40023 23180 ± 3300
Mg	8408 - 13741 10326 ± 974	8393 - 11865 9977 ± 650	8329 - 13958 10921 ± 773	10112 - 12995 11110 ± 443
Ca	3272 - 5460 4481 ± 360	3934 - 8762 4919 ± 688	3163 - 6745 4484 ± 536	4888 - 15478 6744 ± 1484
Ti	4148 - 5043 4537 ± 165	3456 - 4583 4113 ± 180	3313 - 4925 4327 ± 215	4116 - 4910 4523 ± 150
S	1201 - 2128 1478 ± 141	1030 - 2173 1519 ± 186	1249 - 2449 1674 ± 212	1309 - 3478 1747 ± 315
P	490 - 3047 897 ± 408	610 - 2194 1437 ± 374	536 - 2604 1398 ± 449	513 - 2384 972 ± 378
Ba	430 - 1887 649 ± 209	391 - 644 518 ± 49	318 - 624 523 ± 50	397 - 659 553 ± 48
Mn	210 - 547 313 ± 52	225 - 514 311 ± 50	185 - 584 318 ± 63	290 - 482 410 ± 31
Li	214 - 267 236 ± 9	154 - 248 208 ± 16	181 - 275 243 ± 17	157 - 235 208 ± 13
Zr	111 - 196 174 ± 12	76 - 186 139 ± 21	74 - 190 141 ± 22	109 - 205 163 ± 18
Sr	129 - 182 154 ± 8	112 - 184 153 ± 12	103 - 184 151 ± 12	144 - 194 162 ± 9
Cr	37 - 102	29 - 320	41 - 332	47 - 155



Таблица 2  
 Элементный состав сопочной брекчии из грифонов  
 Южно-Сахалинского грязевого вулкана по методу РФА

Содержание, ppm	Грифон 9А	Грифон 9В	Грифон 9С	Грифон 9D
Fe	35032 - 42414 38350 ± 1185	31062 - 38946 35508 ± 1259	35327 - 40725 37930 ± 873	38764 - 47961 43536 ± 1278
K	29531 - 35461 32613 ± 886	27003 - 33181 30505 ± 1058	30010 - 33017 31644 ± 570	28676 - 36053 32892 ± 1116
Ca	5763 - 7933 6602 ± 316	5854 - 7781 7031 ± 331	5614 - 7678 6780 ± 323	6466 - 9146 7599 ± 393
Ti	5257 - 6332 5815 ± 161	4857 - 5911 5450 ± 193	5250 - 5853 5592 ± 108	5106 - 6521 5794 ± 218
Cl	2792 - 9232 5216 ± 1111	3117 - 5502 4323 ± 398	5560 - 9239 7123 ± 557	2364 - 3665 2810 ± 254
Ba	407 - 442 422 ± 5.9	426 - 459 440 ± 6.3	425 - 460 440 ± 5.5	413 - 480 439 ± 10.1
Mn	289 - 397 342 ± 15.0	297 - 389 346 ± 16.5	302 - 398 345 ± 16.3	388 - 467 428 ± 12.7
Sr	206 - 219 212 ± 2.3	200 - 261 213 ± 8.7	208 - 259 221 ± 8.4	201 - 220 207 ± 3.1
Zr	121 - 136 127 ± 2.4	126 - 174 135 ± 6.8	116 - 142 124 ± 4.3	114 - 128 120 ± 2.2
Rb	98 - 110 103 ± 1.9	90 - 115 99 ± 3.4	100 - 124 107 ± 4.6	94 - 104 100 ± 1.9
Cr	60 - 82 71 ± 3.5	54 - 74 65 ± 4.0	59 - 72 67 ± 2.5	55 - 84 69 ± 4.8
Zn	25 - 54	36 - 77	31 - 123	29 - 56

	42 ± 4.7	46 ± 6.6	49 ± 13.4	44 ± 4.8
Pb	10 - 24 14 ± 2.0	11 - 23 16 ± 1.7	8 - 21 15 ± 2.1	8 - 18 13 ± 2.0
P		<(4432 - 6801)		
S		<(1168 - 2971)		
Co		<(164 - 289)		
Ni		<(45 - 79)		
Cu		<(43 - 54)		
Hg		<(12 - 16)		
As		<(8 - 15)		
Sb		<(5 - 16)		
I		<(7 - 11)		
Sn		<(5 - 6)		
Se		<(4 - 5)		
Mo		<(2 - 4)		
Cd		<(2 - 3)		
Ag		<(1 - 2)		

Примечание: в числителе – минимальное и максимальное значения концентрации элемента, в знаменателе – среднее значение и доверительный интервал для него.



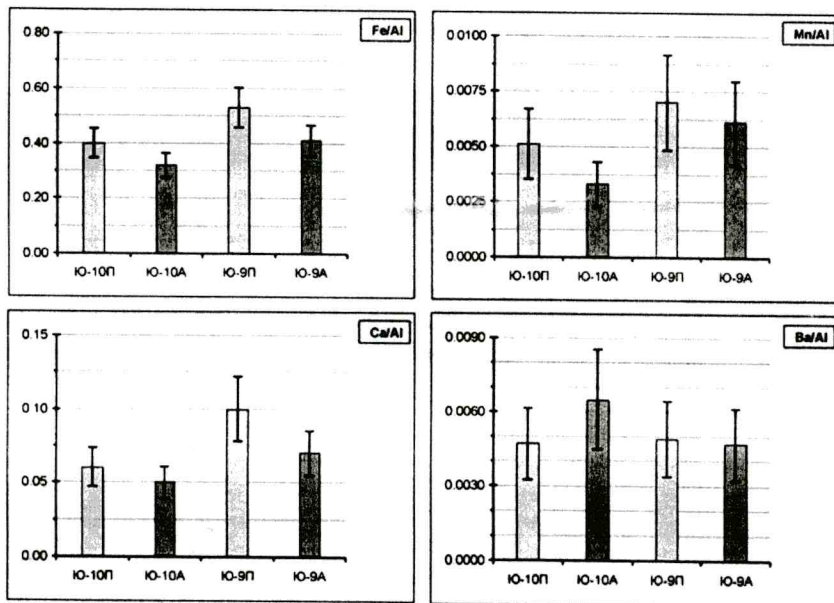
Особо отметим следующий факт. Несмотря на плохое количественное совпадение результатов по разным методам, на качественном уровне эти результаты неплохо соответствуют друг другу. Например, по методу ИСП-АЭС содержание Fe, Ca, Mn в брекчии в грифоне 9D больше, чем во всех остальных грифонах. И такой же вывод следует из результатов элементного анализа по методу РФА.

Остановимся отдельно на вопросе об установлении сходства или различия элементного состава проб брекчии, взятых из разных грифонов (или в разное время). Высокая сейсмическая активность на юге о-ва Сахалин, достаточно плотная сеть короткопериодных сейсмостанций для мониторинга коровой сейсмичности и доступность Южно-Сахалинского грязевого вулкана делают последний подходящим полигоном для изучения связи грязевого вулканизма с сейсмичностью. Исследования показывают, что деятельность Южно-Сахалинского вулкана изменяется при сейсмической активизации в регионе [1, 3-6, 13]. Считается, что подобного рода изменения происходят и в элементном составе сопочной брекчии. В работе [1] указано, что после начала Такойского роя землетрясений в 2001 г. повысилась активность грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и для сопочной брекчии выросли безразмерные показатели Ba/Al, Ca/Al, Fe/Al и Mn/Al. Эти результаты находятся в некотором противоречии с результатами работы [13], где указано, что при активизации Южно-Сахалинского грязевого вулкана для сопочной брекчии характерно увеличение Ba/Al и уменьшение Ca/Al, Fe/Al и Mn/Al. Вполне очевидно, что указанные расхождения объясняются небольшим объемом фактических данных и отсутствием строгого анализа погрешностей этих данных. Это не позволяет оценить статистическую значимость полученных результатов и выполнить корректную интерпретацию натуральных данных.

В работах [8-10] рассматриваются вопросы точности элементного анализа горных и приемлемые величины его погрешности. По материалам этих работ, зная хотя бы порядок значений содержания Al, Fe, Ca, Mn и Ba, можно оценить величину относительной стандартной ошибки определения элемента. Будем считать, что для Al и Fe она составляет 5 %, для Ca – 10 %, для Mn и Ba – 15 %. Используя соотношения из работы [14], по известным погрешностям определения отдельных элементов можно рассчитать погрешность отношения этих элемен-

тов. Нами рассчитаны величины погрешностей отношений  $Ba/Al$ ,  $Ca/Al$ ,  $Fe/Al$  и  $Mn/Al$  для доверительной вероятности 0,95. Видно, что различия в элементном составе сопочной брекчии из грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана в пассивный и активный периоды деятельности не выходят за пределы погрешности элементного анализа (рис. 2). Следовательно, нельзя достоверно судить о том происходили ли изменения элементного состава или нет. Для таких выводов необходимы большие массивы данных и их соответствующая статистическая обработка.

Проанализируем методами математической статистики полученные нами данные для выявления возможных различий элементного состава брекчии из разных грифонов. Для этой цели хорошо подходит однофакторный дисперсионный анализ, где в качестве влияющего фактора будем рассматривать место отбора проб [12]. Дисперсионный анализ можно проводить при выполнении двух следующих условий: массивы данных по каждому из грифонов подчиняются нормальному распределению и дисперсии этих массивов данных однородны (одинаковы). Для проверки гипотезы о нормальности наблюдаемого распределения различными статистическими критериями (например, Колмогорова-Смирнова или хи-квадрат) необходимы массивы данных довольно большого объема. В нашем случае такие критерии мало эффективны. Отметим, что первое из указанных требований не является очень жестким, некоторые отличия от нормального распределения вполне допускаются. Второе требование должно удовлетворяться достаточно строго. Однородность дисперсий можно проверить с помощью критерия Бартлета [12]. Для сравнения массивов данных можно применять и непараметрические критерии, которые свободны от предположений о типе распределения и его характеристиках. Среди непараметрических методов статистики аналогом однофакторного дисперсионного анализа является критерий Краскела-Уоллиса [15]. Для уровня значимости 0,05 нами проверены статистические гипотезы об отсутствии различий в дисперсиях и средних значениях для массивов данных, полученных из разных грифонов (табл. 3). Гипотеза  $H_0$  говорит об отсутствии статистически значимых различий, гипотеза  $H_1$  – о наличии таких различий. Статистический анализ выполнен для данных, которые получены обоими используемыми методами элементного анализа – ИСП-АЭС и РФА.



**Рис. 2. Отношение концентраций элементов в сопочной брекчии из грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана в пассивный (П) и активный (А) периоды деятельности с указанием величины погрешности для этих отношений (на основе данных из работы [1])**

Видно, что для многих элементов согласно критерию Бартлета можно утверждать, что дисперсии массивов данных, полученных из разных грифонов, являются одинаковыми. Это обуславливает корректность применения к этим массивам данных однофакторного дисперсионного анализа. Результаты последнего свидетельствуют о том, что средние концентрации многих элементов в сопочной брекчии статистически значимо различаются для проб из разных грифонов. Это также подтверждается и результатами непараметрического дисперсионного анализа. Причем отмечается хорошее соответствие между собой статистических выводов, которые сделаны по данным, полученным разными методами элементного анализа.

Таким образом, нами выполнены исследования элементного состава 56 проб сопочной брекчии из грифонов Южно-Сахалинского грязевого вулкана. Элементный состав брекчии исследован двумя методами – РФА и ИСП-АЭС.

Таблица 3

**Статистические выводы об однородности сравниваемых массивов данных по различным статистическим критериям (для уровня значимости 0,05)**

Элемент	Критерий Бартлета		Однофакторный дисперсионный анализ		Критерий Краскела-Уоллиса	
	ИСП-АЭС	РФА	ИСП-АЭС	РФА	ИСП-АЭС	РФА
Al	H <sub>0</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Na	H <sub>1</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Fe	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
K	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
Mg	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Ca	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
Ti	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
Cl	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>
S	H <sub>1</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
P	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Ba	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>
Mn	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
Li	H <sub>0</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Sr	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>
Zr	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>
Rb	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>
Cr	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>
Zn	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>
V	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Cu	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Pb	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>0</sub>
Ni	H <sub>1</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
As	H <sub>0</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Yb	H <sub>0</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Y	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-
Co	H <sub>1</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Ag	H <sub>1</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Mo	H <sub>1</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Cd	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-	H <sub>0</sub>	-
Be	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-	H <sub>1</sub>	-

Примечание: H<sub>0</sub> – сравниваемые выборки однородны, H<sub>1</sub> – сравниваемые выборки различаются.

Для многих элементов их концентрация в брекции, полученная по методу РФА, не совпадает с концентрацией, полученной по методу ИСП-АЭС. Причины этого несовпадения нами подробно не исследовались. Данный факт говорит о том,

что данные химико-аналитических исследований необходимо использовать с определенной долей осторожности. Для корректных суждений об особенностях вещественного состава сопочной брекчии нужно накапливать достаточно большие массивы данных. Статистический анализ полученных данных показал, что элементный состав сопочной брекчии из разных грифонов статистически достоверно различается. Эти различия фиксируются и при использовании для элементного анализа метода РФА, и при использовании метода ИСП-АЭС, несмотря на плохое количественное совпадение результатов по этим методам. Для того чтобы судить о причинах и величине различий элементного состава сопочной брекчии в разных грифонах, а также для оценки устойчивости данного эффекта во времени, необходимо продолжение подобных исследований.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов А.С., Сергеев К.Ф., Мельников О.А. и др. Динамика процессов дефлюидизации Центрально-Сахалинского глубинного разлома при сейсмической активизации (по результатам мониторинга Южно-Сахалинского грязевого вулкана в июле-августе 2001 г.) // Докл. АН. 2002. Т. 386, □ 2. С. 1-6.
2. *Геологический словарь*. Т. 2 / Под ред. А.Н. Криштофовича. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1955. 448 с.
3. Ершов В.В. Флюидодинамические процессы в зоне Центрально-Сахалинского разлома (по результатам наблюдений на Южно-Сахалинском грязевом вулкане) // Геодинамика и тектонофизика. 2012. Т. 3. № 4. С. 345-360.
4. Ершов В.В., Доманский А.В., Левин Б.В. Моделирование температурного режима грифонов грязевого вулкана // Докл. АН. 2010. Т. 435. № 3. С. 384-389.
5. Ершов В.В., Левин Б.В., Мельников О.А., Доманский А.В. Проявления Невельского и Горнозаводского землетрясений 2006-2007 гг. в динамике грифонной деятельности Южно-Сахалинского газоводолитокластического (грязевого) вулкана // Докл. АН. 2008. Т. 423. № 4. С. 533-537.
6. Ершов В.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. Изотопно-геохимические характеристики свободных газов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и их связь с региональной сейсмичностью // Докл. АН. 2011. Т. 440. № 2. С. 256-261.
7. Занюков В.Н., Мельников О.А., Федорченко В.И. Извержение Южно-Сахалинского грязевого вулкана // Геология и геофизика. 1982. № 2. С. 127-130.
8. Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А. и др. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в элементном

анализе объектов окружающей среды // Заводская лаборатория. 2007. Т. 73. № 1. С. 12-20.

9. *Кузнецова А.И., Зарубина О.В.* Межлабораторный контроль качества прямого атомно-эмиссионного анализа с использованием серии горных пород программы тестирования геоаналитических лабораторий GeoPT // Аналитика и контроль. 2005. Т. 9, № 3. С. 230-239.

10. *Кузнецова А.И., Петров Л.Л., Финкельштейн А.Л., Меньшиков В.И.* Оценка качества элементного анализа силикатных горных пород по результатам участия в Международной программе профессионального тестирования геоаналитических лабораторий – GeoPT // Аналитика и контроль. 2002. Т. 6, № 5. С. 584-592.

11. *Мельников О.А., Ершов В.В.* Грязевой (газоводолитокластитовый) вулканизм острова Сахалин: история, результаты и перспективы исследования // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 6. С. 87-93.

12. *Налимов В.В.* Применение математической статистики при анализе вещества. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. 431 с.

13. *Сорочинская А.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. и др.* Геохимические и минералогические особенности грязевых вулканов о. Сахалин // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 4. С. 58-65.

14. *Тейлор Дж.* Введение в теорию ошибок. М.: Мир, 1985. 272 с.

15. *Холлендер М., Вулф Д.* Непараметрические методы статистики. М.: Финансы и статистика, 1983. 518 с.

16. *Шилов В.Н., Захарова М.А., Ильев А.Я., Подзоров А.В.* Извержение Южно-Сахалинского грязевого вулкана весной 1959 г. // Труды СахКНИИ. 1961. Вып. 10. С. 83-99.

17. *Якубов А.А., Алиев Ад.А.* Грязевые вулканы. М.: Знание, 1978. 56 с. **ГЛАС**

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Ершов Валерий Валерьевич* – научный сотрудник, лаборатория анализа природных катастроф, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, рабочий телефон: (4242) 793335

*Олесик Светлана Михайловна* – Дальневосточный федеральный университет, [ershov@imgg.ru](mailto:ershov@imgg.ru)

