

УДК 551.21

КИРЬЯНОВ В. Ю., ЖАРИНОВ С. Е., ПЕРЕПЕЛОВ А. Б.

О ВОЗМОЖНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОТЛИЧИЯХ МАРКИРУЮЩИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ

Задача проведенного исследования — выявление возможности различия вулканических пеплов Восточной Камчатки по содержанию в них шести элементов: породообразующих K и Na и редких Sr, Ba, Li, Rb. Предполагалось также ответить на вопрос: меняются ли содержания указанных элементов по мере удаления пепла от центра извержения и можно ли использовать эти характеристики для корреляции пепловых горизонтов на разных расстояниях от вулкана?

Объектами исследования служили голоценовые пеплы вулканов Шивелуч (Ш₂ — Ш₆), Безымянный (Бз), Кизимен (Кз), Авачинский (Ав), Хангар (Хг), Опала (Оп), Ходутка (Хд). Кроме того, анализировалась тефра, связанная с образованием кальдеры Каымского вулкана (Крм), а также пеплы современных катастрофических извержений вулканов Безымянный в 1956 г. (Б-56) и Шивелуч в 1964 г. (Ш-64). Всего было проанализировано 14 горизонтов тефры. Детальное изучение этих маркирующих горизонтов позволяет фиксировать наиболее крупные извержения вулканов в голоцене. С другой стороны, прослои тефры, распространявшиеся на сотни километров от центра извержения, являются хронологическими реперами и могут использоваться для датирования вулканитов, других геологических и геоморфологических объектов, культурных слоев первобытных стоянок, оценки вулканической опасности.

Таблица 1
Содержание породообразующих окислов в маркирующих пеплах
вулканов Камчатки

№ пепла	Индекс пепла	Расстояние до центра извержения, км	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма
1	Ш ₃	50	59,86	0,74	16,32	1,90	3,29	0,10	5,89	5,91	4,27	1,52	0,19	99,99
2	Ш ₂	50	62,34	0,91	15,90	2,52	2,81	0,11	3,44	5,64	4,28	1,83	0,23	100,01
3	Ш ₄	50	66,45	0,66	15,86	2,14	2,63	0,12	1,19	3,70	5,79	1,35	0,10	99,99
4	Ш ₅	50	56,65	0,58	17,85	3,69	2,92	0,10	5,66	6,98	4,35	1,03	0,18	99,99
5	Ш ₆	50	65,68	0,76	18,25	1,19	1,41	0,12	3,03	3,45	3,62	2,36	0,13	100,00
6	Ш-64	70	54,12	0,66	18,74	1,12	6,89	0,12	5,36	8,25	3,72	0,80	0,21	99,95
7	Бз	20	59,38	0,66	20,63	1,66	4,60	0,14	3,93	8,43	3,47	0,96	0,14	100,00
8	Б-56	10	57,04	0,70	18,36	2,21	5,47	0,17	3,82	7,72	3,11	1,15	0,24	99,99
9	Кз	50	64,44	0,49	18,14	2,50	2,59	0,09	2,47	5,09	3,49	1,61	0,09	100,00
10	Крм	30	61,87	0,65	18,35	1,15	5,02	0,15	2,21	4,83	3,70	1,85	0,22	100,00
11	Ав	20	51,55	1,03	18,76	3,09	7,86	0,20	5,48	8,78	2,58	0,50	0,18	100,01
12	Хд	50	66,88	0,56	16,61	0,63	4,00	0,20	1,72	4,30	3,79	1,13	0,18	100,00
13	Хг	170	66,28	0,57	18,25	0,35	4,15	0,11	1,30	3,25	3,60	1,97	0,17	100,00
14	Оп	50	69,70	0,24	14,39	0,18	5,58	0,14	0,81	2,04	3,61	3,21	0,11	100,01

Приложение. Аналитики Н. Р. Гусакова (1—6), Г. П. Новоселенская (7—14). Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР. По каждому маркирующему горизонту представлен один анализ.

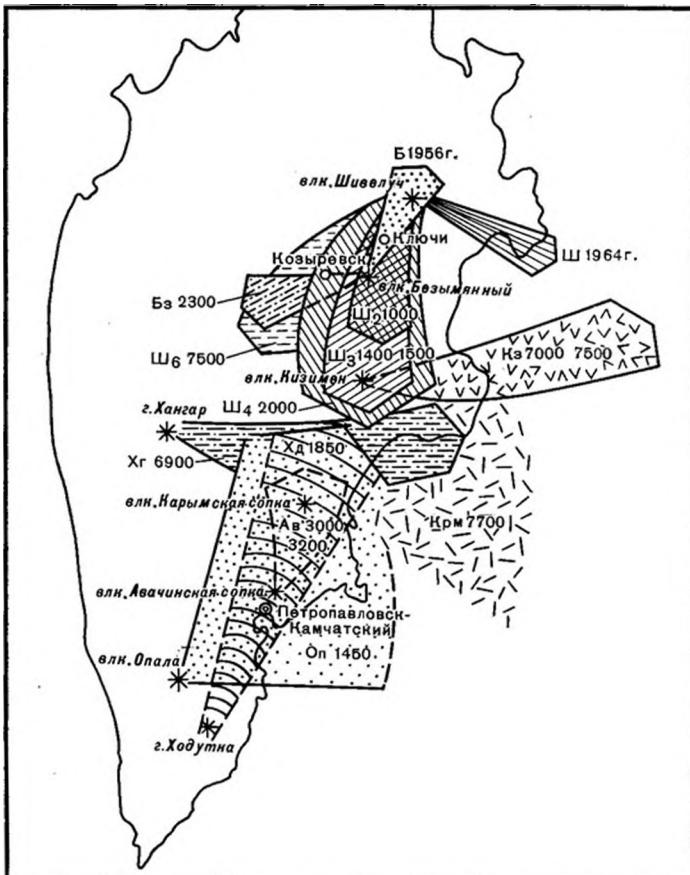


Рис. 1. Основные направления пеплопадов (разная штриховка) для изученных горизонтов тефры. Цифры — радиоуглеродный возраст пеплов и год извержения

Положение изученных горизонтов тефры в разрезе, их вещественный состав и возраст подробно рассмотрены в [2]; главные оси пеплопадов показаны на рис. 1; содержания породообразующих окислов в пеплах представлены в табл. 1 (анализы выполнены в ЦХЛ Института вулканологии ДВНЦ АН СССР). Образцы пепла отбирались на различном удалении от центра извержения. Измерения содержаний анализировавшихся в работе элементов выполнены в Институте геохимии СО АН СССР (табл. 2) методом пламенной фотометрии (для K, Na, Li, Rb) и рентгеноспектральным методом (для Ba и Sr). Предел измерения для K и Na составлял 0,01%, для Li и Rb 0,0001, для Ba и Sr 0,001%. Ошибка измерения составляет в среднем 15%.

Считается, что в процессе транспортировки тефра подвергается гравитационной эоловой дифференциации, в результате которой количественно-минеральный и химический составы пеплов, выпавших на значительном удалении от центра извержения, не соответствуют составу у подножия вулкана [7]. Выделяют два типа дифференциации тефры по химическому составу [4, 8]: тип Квицапу (по названию извергавшегося в 1932 г. чилийского вулкана), при котором по мере удаления от вулкана содержание SiO_2 и K_2O возрастает, а остальных компонентов убывает, и тип Геклы (по названию исландского вулкана, извергавшегося в 1947 г.), когда по мере удаления от вулкана понижается содержание ряда металлов (Mg, Al, Ti, K и др.). Отсутствие четко выраженной тенденции в изменении химического состава пеплов Камчатки по прости-

ранию [2, 6] не позволяет однозначно отнести эти пеплы к тому или другому типу.

Данные, представленные в табл. 2, дают определенную информацию о вещественном составе пеплов, однако прямое сравнение анализов провести сложно из-за необходимости одновременного сопоставления большого числа характеристик. Применение обычно используемых парных диаграмм типа показанной на рис. 2 (Ва—Sr) также не дает достаточно надежной классификационной картины. Так, пеплы Ш₅, Ш-64, Ав характеризуются крайне низким содержанием Li, в то время как в пеплах Оп, Хг, Ш₆ содержание этого элемента высокое. Содержание Rb мало в пеплах Ш-64, Ав, Хд и высоко в пеплах Оп. Содержание Ba относительно мало в пеплах Ш-64, Ав, Хд и высоко в пеплах Оп, Хг, Кз, Ш₆. Низкое содержание Sr характерно для пеплов Ш₅, Кз, Хд, Оп, высокое — для пеплов Ав, Ш-64. Пеплы Ав, Ш-64 отличаются пониженным содержанием K. По содержанию Na обнаружить особенности не удается. Не наблюдаются также какие-либо закономерности в изменении состава для выделения пеплов Ш₂, Ш₃, Бз, Б-56, Крм. Целесообразно поэтому одновременно проанализировать значения всех шести компонентов химического состава. Такая задача решалась с помощью диалоговой системы анализа и классификации многомерных данных ВУЛКАНИТ [3].

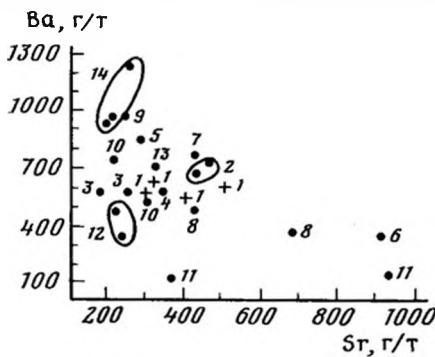


Рис. 2. Диаграмма рассеяния Ba—Sr для изученных пеплов. Номера точек (1—14) соответствуют номерам пеплов в табл. 2

така для выделения пеплов Ш₂, Ш₃, Бз, Б-56, Крм. Целесообразно поэтому одновременно проанализировать значения всех шести компонентов химического состава. Такая задача решалась с помощью диалоговой системы анализа и классификации многомерных данных ВУЛКАНИТ [3].

Как видно из расчетов, представленных в табл. 3, большинство элементов сильно статистически связаны между собой. В данном случае (при $n=25$) с доверительной вероятностью 95% статистически значимыми в предположении нормальности соответствующих распределений следует считать коэффициенты кор-

реляции, для которых $|r| \geq 0,40$ [1]. Поэтому можно ожидать, что «истинная» размерность пространства признаков на самом деле меньше шести. Для проверки этого предположения был использован один из традиционных методов снижения размерности — метод главных компонент. Метод позволяет определить небольшое число новых статистически независимых признаков (главных компонент) в виде линейных комбинаций исходных элементов, проектирование на которые наименшим образом искажает внутреннюю структуру совокупности данных [5]. При этом первая главная компонента задает направление максимального рассеяния данных в многомерном пространстве, вторая — наибольшее рассеяние при условии ортогональности с первой и т. д. Поскольку исследуемые химические элементы измерены в различных шкалах (вес.%, г/т), все признаки предварительно были приведены к единичной дисперсии делением на соответствующие среднеквадратичные отклонения. Таким образом, математическая задача свелась к нахождению главных осей корреляционной матрицы (см. табл. 3). Вся статистическая обработка выполнялась на ЭВМ ЕС-1033. Рассчитанные собственные числа корреляционной матрицы (дисперсии по главным осям) приведены в табл. 4. Из полученных результатов следует, что на долю первых, трех главных компонент приходится 93,8% общего рассеяния, т. е. структура данных вполне адекватно может обладать тремя новыми признаками, для которых получены следующие выражения: $p_1 = 0,06 \text{ Li} + 0,02 \text{ Rb} + 0,0019 \text{ Ba} - 0,0016 \text{ Sr} - 0,31 \text{ Na} + 0,80 \text{ K} - 2,357$; $p_2 = 0,01 \text{ Li} - 0,01 \text{ Rb} - 0,0003 \text{ Ba} - 0,0026 \text{ Sr} + 2,86 \text{ Na} - 0,07 \text{ K} - 6,623$; $p_3 = 0,02 \text{ Li} +$

Таблица 2

Содержание анализировавшихся элементов в пеплах Камчатки

пепла №	Вулкан	Индекс пепла	и С возраст, лет	Расстояние до центра извержения, км	Li, г/т	Rb, г/т	Ba, г/т	Sr, г/т	Na, %	K, %
1	Шивелуч	Ш ₃	1500	50	19	29	620	520	2,88	1,26
				135	21	32	550	410	2,80	1,48
				160	20	30	560	320	3,10	1,44
				205	18	40	630	320	2,98	1,50
2	»	Ш ₂	1000	50	21	35	710	470	2,82	1,46
				135	17	20	670	450	2,72	1,30
3	»	Ш ₄	2000	50	19	12	590	200	2,90	0,84
				160	15	14	580	270	2,92	0,82
4	»	Ш ₅	2500	50	8	18	350	590	2,82	0,74
5	»	Ш ₆	7500	50	31	42	810	290	2,48	1,74
6	»	Ш-64	1964 г.	70	8	6	350	920	3,06	0,52
7	Безымянный	Бз	2300	20	12	10	780	440	2,62	0,60
8	»	Б-56	1956 г.	10	11	18	430	480	2,66	0,92
				75	13	14	680	390	2,56	0,98
9	Кизимен	Кз	7000— —7500	20	22	40	990	260	2,30	1,58
10	Кальдера Ка- рымского вулкана	Крм	7700	30	14	24	540	310	2,62	1,30
				425	20	19	720	230	2,78	1,70
11	Авачинский	Ав	3000— —3200	20	2	5	160	940	2,00	0,36
				50	1	4	140	370	2,72	0,42
12	Ходутка	Хд	1850	50	14	10	330	240	3,18	0,82
				130	15	6	500	230	3,46	0,85
13	Хангар	Хг	6900	175	25	34	700	330	2,50	1,48
14	Опала	Оп	1450	50	28	84	940	200	2,58	2,48
				110	29	76	950	210	2,70	2,40
				300	29	81	1220	250	2,52	2,70

Примечание. Аналитики С. И. Шигарова (K, Na, Li, Rb), А. А. Филькенштейн (Ba, Sr), Институт геохимии СО АН СССР.

Таблица 3

Парные коэффициенты корреляции элементов химического состава пеплов

Элемент	Li	Rb	Ba	Sr	Na	K
Li	1,00	0,81	0,85	-0,59	-0,06	0,89
Rb		1,00	0,79	-0,38	-0,26	0,94
Ba			1,00	-0,53	-0,24	0,85
Sr				1,00	-0,23	-0,53
Na					1,00	-0,18
K						1,00

Таблица 4

Собственные числа корреляционной матрицы

Значение	Вклад в общую дисперсию, %	Значение	Вклад в общую дисперсию, %
3,939	65,7	0,214	3,6
1,220	20,3	0,121	2,0
0,467	7,8	0,039	0,7

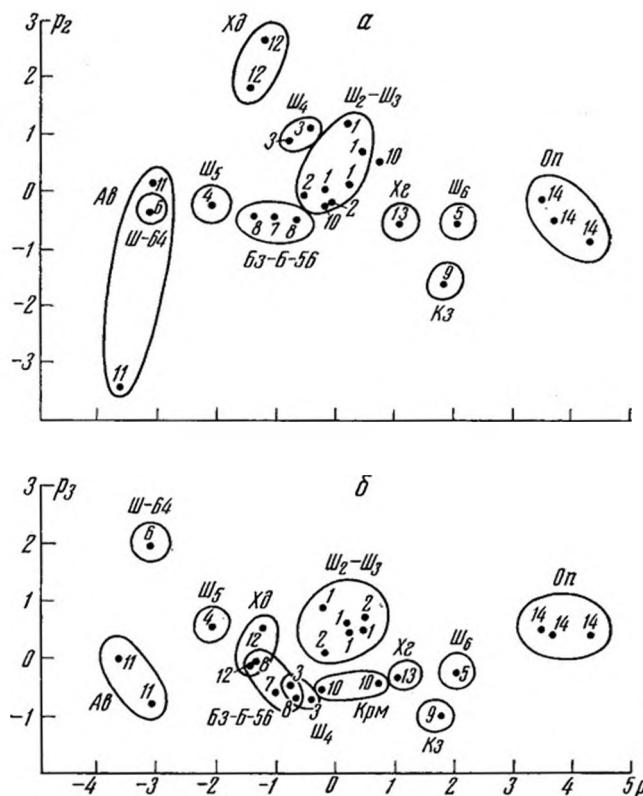


Рис. 3. Диаграмма рассеяния химических составов пеплов в плоскости главных компонент p_1-p_2 (а) и p_1-p_3 (б). Номера точек (1—14) соответствуют номерам пеплов в табл. 2

$+0,02$ Rb— $-0,0004$ Ba+ $0,0037$ Sr+ $1,79$ Na+ $0,33$ K— $7,216$. Проекции исходных данных на плоскости главных компонент p_1-p_2 и p_1-p_3 показаны на рис. 3, а, б.

Анализ полученных результатов указывает на отсутствие резкого изменения содержаний Li, Db, Ba, Sr, Na и K в маркирующих пеплах Камчатки по мере их удаления от центра извержения, что находит отражение на рис. 3, где каждый пепел характеризуется небольшим разбросом точек по плоскости. В то же время геохимические особенности позволяют провести классификацию пеплов и практически безошибочно отличать их друг от друга на любом удалении от центра извержения. Исключение составляют пеплы Ш₂ и Ш₃ вулкана Шивелуч и Б-5б и Бз вулкана Безымянный, различить которые на диаграммах рис. 3 не удастся.

Таким образом, применение простейших приемов многомерного статистического анализа позволило получить наглядную классификацию. Возможность разделения пеплов по химическому составу с помощью предложенных диаграмм особенно важна в тех случаях, когда в разрезах почвенно-пирокластического чехла одновременно встречаются пеплы, сходные по внешнему облику, вещественному составу, возрасту, но принадлежащие разным вулканам. Примерами такой ситуации могут служить пеплы Ш₃ и Кз в районе Кроноцкого заповедника, пеплы Бз и Ш₃ в районе Ключевской группы вулканов, пеплы Хг и Крм (кальдеры Карымского вулкана) в районах Большого Семячика и кальдеры Узон и, наконец, пеплы Оп и Хд в районе Петропавловска-Камчатского и в районе вулканов Жупановский, Карымский и Малый Семячик. Получен-

ные результаты можно также использовать при корреляции маркирующих пепловых горизонтов в пределах Восточной вулканической зоны Камчатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большев Л. И., Смирнов Н. В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
2. *Брайцева О. А., Кирьянов В. Ю., Сулержицкий Л. Д.* Маркирующие прослои голоценовой тифры Восточной вулканической зоны Камчатки//Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 80—96.
3. *Горицкий Ю. А., Жаринов С. Е., Масуренков Ю. П.* Диалоговая система ВУЛКАНИТ и ее применение для анализа и классификации петрохимической информации//Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 3—24.
4. *Гущенко И. И.* Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. 144 с.
5. *Дэвис Дж.* Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977. 572 с.
6. *Дубик Ю. М., Меняйлов И. А.* Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянного//Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 38—77.
7. *Кирьянов В. Ю.* Гравитационная золовая дифференциация пеплов вулкана Шивелуч (Камчатка)//Вулканология и сейсмология. 1983. № 6. С. 30—39.
8. *Larsson N.* Vulcanische Asche vom Ausbruch des Chilenischen Vulcans Quizapu (1932) in Argentina. Gesammelt. Univ. Ups. Geol. Inst. 1937. Bull. 26.

Институт вулканологии
ДВНЦ АН СССР
Институт геохимии СО АН СССР

Поступила в редакцию
17.III.1986