

сти, другие скульптурные образования не отмечаются, поэтому соотношение с *D. austriaca* затруднено.

Вид *D. polonica* выделен А. Розенкранцем [15] в объеме двух подвидов *D. polonica polonica* и *D. polonica semicostulata*, морфологически отличающихся один от другого. Они были объединены в один вид на основании сходства в строении «юной части створки», но различались по остальной скульптуре. В морфотипах 2 — 5 наблюдаются признаки обоих подвидов. В пользу *D. polonica semicostulata* свидетельствует присутствие бугорков на внутреннем диске, а в некоторых случаях и четкая ребристость.

Географическое распространение. Польша, Крым.

Стратиграфическое распространение. Палеогеновая система, датский ярус.

Материал. Около 100 брюшных и спинных створок из криноидно-мшанковых известняков карьеров с. Глубокий Яр; разрезов Кичик-Ашлама-Дере, с. Староселье; правого борта Шульской долины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьева К.А. Брахиоподы//Атлас верхнемеловой фауны Северного Кавказа и Крыма. 1959. С. 226.
2. Билинкевич Т.Д. Маастрихтские беззамковые брахиоподы Львовской области// Палеонтологический сб. Львовского ун-та. 1976. № 13. С. 63.
3. Василенко В.К. Крании верхнемеловых отложений Крыма// Вопросы палеонтологии. 1955. Т. 2. С. 61—69.
4. Василенко В.К., Размыслова С.С. Класс Brachiopoda. Плеченогие//Атлас руководящих форм ископаемых фаун СССР. Верхний мел. 1949. Т. 2. С. 134.
5. Зелинская В.А. Брахиоподы палеогена Украины. 1975. С.6.
6. Кац Ю.И. Тип Brachiopoda//Атлас верхнемеловой фауны Донбасса. 1976. С. 246—247.
7. Титова М.В., Фаворская Т.А. О датских краниидах Крыма// Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 4. С. 101—112.
8. Baily W.H. Fossils from the Crimea//Quarterly J. of geol.Soc. 1858.Vol. 14.№ 54. P. 133—163.
9. Carlsson J.G. Le genre Crania du terrain cretace de la Suede//Lunds Univ. Arsskr. 1958. Adv. 2. Bd. 54, № 8. P. 1—32.
10. Cockbain A.E. A new Craniacea brachiopod from the tertiary of Western Australia// Rep. Geol.Surv. Aust. 1967. P. 75—76.
11. Kruytzer E.M. Le genre Crania du Cretace superieur et du Postmaastrichtien de la Province de Limbourg Neerlandais//Publ. natur. Gen. Limburg. 1969. T. 19. P. 1—42.
12. Kruytzer E.M., Meijer M. On the occurrence of Crania brattenburgica in the Maastricht (Netherlands)//Natuurhist. Maandblad. 1958. № 11, 12. P. 135—141.
13. Lee D., Brunton C.H.C. Neocrania n.gen., and a revision of Cretaceous-Recent brachiopod genera in the family Craniidae//Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.). 1986. Geol. 40, № 4. P. 135—141.
14. Nilsson S. Petrificate suecana formationis Cretaceae. Lund, 1827. P. 1—39.
15. Rosenkrantz A. Note on some crania from Central Poland//Acta Paleontologia Polonica. 1964. Vol. 9, № 4. P. 513—531.
16. Schlotheim E. von. Die Petrefactenkunde auf ihrem jetzigen Standpunkte. 1820. P. 388.
17. Shapovalov A. General morphology, morphological patterns and systematic units among the post-Paleozoic craniid brachiopods//Proceedings of the 3rd Intern. Brachiopod Congress. 1966. Balkema.
18. Traub F. Geologische und palaeontologische Bearbeitung der Kreide und Tertias//Palaeontographica. Abt. A. 1938. P. 187—188.
19. Zacharieva-Kovaceva K. Les brachiopodes supracretacique de la Bulgarie//Rev. Soc. Geol. Bulg. 1947. P. 15—19.

Поступила в редакцию 14.03.95

УДК 551.21

О.А. Гирина

КОНВЕКТИВНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПИРОКЛАСТИКИ АНДЕЗИТОВЫХ ВУЛКАНОВ

Изучению пирокластики андезитовых вулканов вулканологи уделяют в настоящее время несколько большее внимание, чем изучению пирокластики базальтовых вулканов. Объясняется это, во-первых, внезапностью и катастрофичностью извержений андезитовых вулканов, а во-вторых, тем, что формирование пирокластических отложений андезитовых вулканов происходит быстро - за несколько часов или дней, движущаяся пирокластика сметает все на своем пути. Отложение же тефры базальтовых вулканов может

продолжаться несколько месяцев, иногда — несколько лет, тефра выпадает на землю из эруптивной тучи относительно спокойно, т.е. по многим характеристикам извержения андезитовых вулканов опаснее базальтовых. Примерами последних катастроф могут служить извержения вулканов: Безымянный (1956 г.), Шивелуч (1964 г.), Сент-Хеленс (1980 г.), Ундзен (1991 г.) и др.

Извержения андезитовых вулканов, например Безымянного, происходят часто, иногда два раза в год.

Обработывая оперативную информацию, изучая последовательность событий докульминационной, кульминационной и посткульминационной фаз извержения, его пирокластические продукты (их структурно-текстурные особенности, состав, свойства) и т.д., можно пытаться делать прогнозы начала и развития характера будущих извержений.

Рассмотрим процесс, в результате которого образуются некоторые типы пирокластических отложений андезитовых вулканов, в частности пирокластические волны пепловых облаков (ash cloud surges), формирование которых происходит при особенно опасных извержениях.

Известно, что при движении пирокластической массы по склону вулкана она расслаивается, и над пирокластическим потоком поднимаются пепловые облака (рис. 1). В работе [9] Р.Фишер описывает коллапс плинианской эруптивной колонны, в результате которого формируется идеализированный разрез эруптивной единицы, понятие о которой введено Р.Спарксом и Г.Уолкером [10].

глыбами и крупными обломками (слой *в*). Над ним образуется слой пеплово-песчаной массы с мелкими обломками — лапиллями, т.е. формируются породы волны пеплового облака (*б*), еще выше — пеплы облака потока, слой *а*.

Такое разделение пирокластики на «слои» при движении по склону вулкана мы в [4] назвали дифференциацией расслоения. Возможно, правильнее называть его конвективной дифференциацией, так как разделение пирокластической массы на «слои» происходит благодаря преимущественно конвективным процессам, а затем уже под действием гравитации из этих «слоев» образуются пирокластические отложения различных типов. «Расслоение пирокластики» — неотъемлемая часть общего процесса дифференциации пирокластики в процессе кульминационных фаз извержений. Если эоловая гравитационная дифференциация характеризует «горизонтальную» составляющую этого общего процесса (т.е. отражает изменение состава тефры по мере удаления ее от центра извержения), то «дифференциация расслоения» — его «вер-

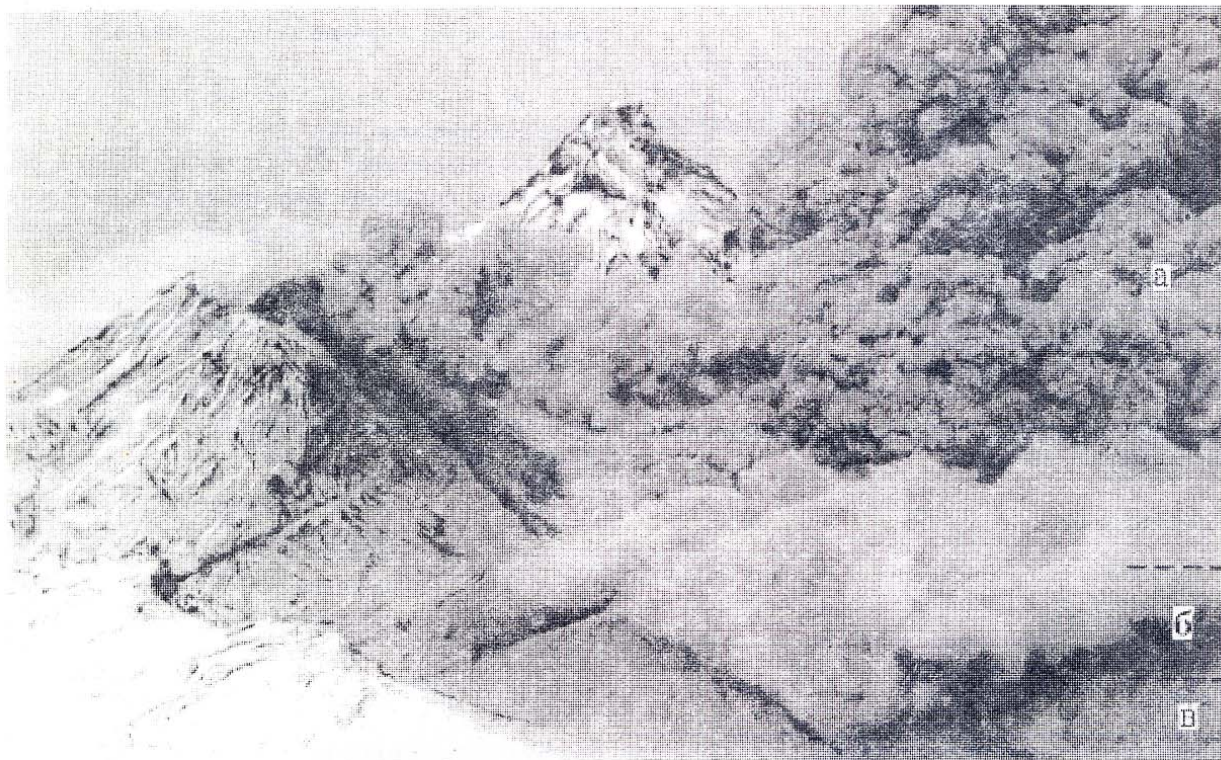


Рис. 1. Извержение пирокластической массы на склон вулкана Безымянный. Кульминационная стадия извержения вулкана 13 октября 1984 г. Фото В.Н.Нечаева (описание см. в тексте)

Отметим, что образование пепловых облаков (ash cloud) над поверхностью пирокластических потоков характерно для извержения любого масштаба. Если сделать схематический «разрез» движущейся пирокластической массы на некотором удалении от центра извержения, вероятно, можно получить картину, приведенную на рис. 1. По поверхности земли движется тяжелое «тело» пирокластического потока, нагруженное

«горизонтальную» составляющую (отражает процесс разделения пирокластической массы на «слои», из которых впоследствии формируется несколько типов пирокластики).

Масса твердых частиц на единицу площади разных слоев неодинакова (рис. 1). Наибольшая принадлежит потоку (слой *в*), в котором глыбы и обломки составляют (помимо заполнителя) 50—70%; наименьшая

— пепловым облакам потока (слой *a*). Слой *b* занимает промежуточное место в разрезе (рис. 1), масса твердых частиц на единицу площади слоя также промежуточна (содержание лапиллей может достигать 20 — 25%).

Соотношение мощностей трех «слоев» движущейся пирокластической массы, возможно, будет близко следующему *v:b:a* = 1:1 — 2:50 — 100 см. Мощности сформировавшихся отложений пирокластических пород на земле соотносятся примерно так: *v:b:a* = 500:100:1 см (оценки проведены автором по фотографиям извержений пирокластических потоков вулкана Безымянный и по изучению мощностей отложений этого вулкана в результате извержений 1956, 1984 — 1989 гг.).

Возникновение пепловых облаков над пирокластическим потоком обусловлено почти теми же явлениями, что и подъем эруптивной пепловой тучи над кратером вулкана. Но если высота, на которую поднимается тефра, обусловлена в первую очередь силой эксплозии магмы, а затем уже характеристиками атмосферы в данный час, то высота пепловых облаков потоков главным образом зависит от параметров атмосферы — ее температуры, влажности, стратификации и т.д. С поверхности потока частицы поднимаются в турбулентном режиме и в течение некоторого времени — до начала отложения на землю — находятся во взвешенном состоянии. Картина образования типов пирокластики напоминает сегрегацию песка в волноприбойной части водоема [6]. Песчаные частицы так же сначала «подбрасываются» вверх, а затем выпадают на дно, разделяясь при этом по плотности твердой фазы минералов.

Процесс отложения пирокластики сложнее, но по сути сегрегация материала из низвергнутой на склон вулкана и расслоенной пирокластической массы — определяющий фактор при образовании трех типов пирокластических отложений: потоков, волн пеплового облака (далее — ash cloud surges) и пеплов облаков потоков (далее — ash cloud).

Для количественного подтверждения конвективной дифференциации пирокластики рассмотрим отложения извержений вулкана Безымянный в 1984 — 1989 гг. Известно, что химический состав заполнителей пирокластических потоков соответствует среднему составу его обломков. На рис. 2 показаны вариации средних значений содержания SiO₂ для каждого из типов пирокластики изученных извержений вулканов. Наибольшее число образцов изучено по извержению 1985 г. (лава — 19, поток — 7, волны — 5) и поэтому распределение кислотности типов пирокластики здесь более достоверно. Таким же образом это распределение выглядит и в обобщенной колонке. В ряду пирокластики наиболее основными по составу являются обломки из пирокластических потоков, к ним близки составы заполнителей пирокластических потоков (56,72 мас.% SiO₂ — 33 образца и 56,68 мас.% — 16 образцов соответственно), затем следу-

ют заполнители пирокластических волн (57,18 мас.% SiO₂ — 10 образцов). Наиболее кислые пеплы облаков потоков (60,61 мас.% SiO₂ — 8 образцов и тефра (61,72 мас.% SiO₂ — 7 образцов), что отмечалось и ранее [1—3 и др.].

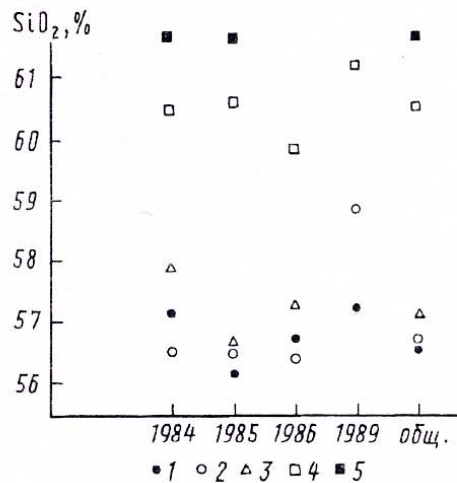


Рис. 2. Вариации содержания SiO₂ в продуктах извержения вулкана Безымянный (1984 — 1989 гг.): 1 — андезиты лавовых потоков и обломки в пирокластических потоках; 2, 3 — заполнители пирокластических потоков (2), волн (3); 4 — пеплы облаков потоков; 5 — тефра (на удалении 20 — 60 км от вулкана)

Характерно, что в продуктах всех изученных извержений вулкана отложения ash cloud surge более кислые, хотя и не на много, чем лавы и заполнители потоков (рис. 2). Такая же тенденция в отношении заполнителей потоков и волн — большее содержание SiO₂ в породах волн, чем в заполнителе потоков для извержения 1980 г. вулкана Сент-Хеленс, показана, например, в [9]. Наибольшая кислотность присуща тефре, так как прежде чем сформировать отложения на земле, она поднимается над кратером вулкана на большую высоту, чем пепловые облака потоков (т.е. в большей мере обогащается легкими минералами), а затем подвергается так же золотой дифференциации. В связи с небольшими масштабами извержений вулкана Безымянный в 1984—1989 гг. золотая дифференциация тефры происходила быстро и в 20—50 км от вулкана она классифицирована уже как тефра дальнего разноса.

Таким образом, содержание SiO₂ в типах пирокластических отложений вулкана Безымянный четко отражает конвективную дифференциацию его пирокластики. Эта дифференциация отражается и в минеральном составе продуктов извержения. Заполнители пирокластических потоков и волн, пеплы облаков потоков, тефра состоят из обломков кристаллов минералов, их сростков, вулканического стекла и обломков андезита. В целом состав свежих лав извержений 1984 — 1986 гг. достаточно похож (рис. 3). Обобщенный минеральный состав лав сопоставим с составом заполнителя пирокластического потока извержения 1985 г., а состав отложений пирокластической волны 1985 г. за-

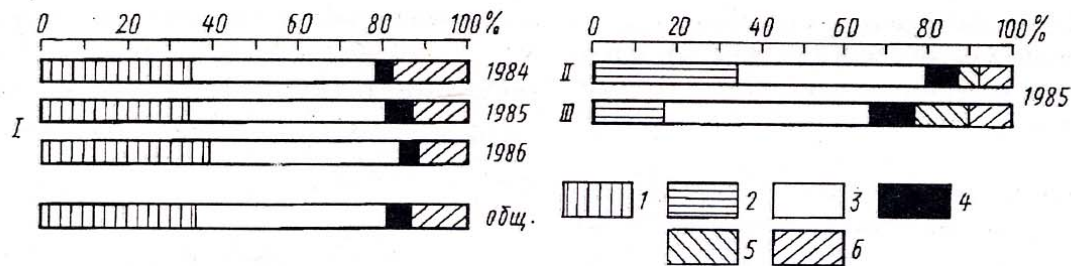


Рис. 3. Минеральный состав отложений вулкана Безымянный (извержения 1984 — 1989 гг.): I — андезиты лавового потока 1986 г. и обломки пирокластических потоков, по И.А.Кондрашову (Москва); II — III — заполнители пирокластических потоков (II) и волн (III) фракции 0,1—0,063 мм, по В.Ю.Кириянову (ИВГиГ, Камчатка); 1 — 2 — вулканическое стекло; 3 — плагиоклаз; 4 — рудные минералы; 5 — обломки пород; 6 — пироксен

метно отличается от них. Различия в составах отложений пирокластических потоков и волн обусловлены конвективной дифференциацией и позволяют четко разделять эти два типа пирокластики.

Плотность твердой фазы пород, как известно, зависит только от их минерального состава и с увеличением количества тяжелых минералов также растет [5], рис. 3. Данные о плотности твердой компоненты пирокластики извержения вулкана Безымянный в 1984 г. довольно хорошо отражают ее дифференциацию при движении по склону вулкана [4]. Плотность твердой фазы заполнителей отложений потока, волн и пеплов облака потока извержения вулкана в 1984 г. имеет значения 2,69; 2,56 и 2,47 г/см³ соответственно (рис. 4, нижний ряд точек). В целом осредненные плотности твердой фазы пирокластики разных типов, приведенные на графике (рис. 4), также отражают дифференциацию ее расслоения при движении по склону вулкана (штриховая линия).

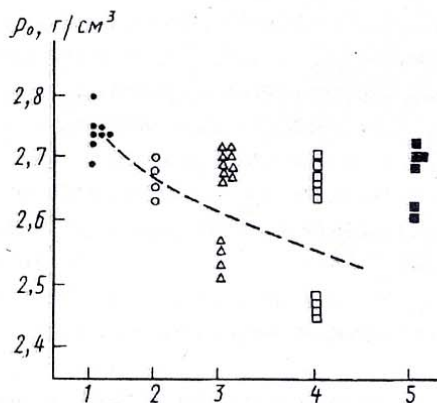


Рис. 4. Вариации плотности пород вулкана Безымянный: 1 — ювенильные обломки из потока, извержение 1979 г., по В.М.Ладыгину (МГУ); 2—3 — заполнители (2 — пирокластических потоков, 3 — волн); 4 — пеплы облаков потоков; 5 — тефра в 20 — 50 км от вулкана, извержения 1984—1989 гг.

Кумулятивные кривые гранулометрического состава двух типов отложений пирокластических волн и пеплов облаков потоков извержения вулкана в 1985 г. прекрасно отражают дифференциацию расслоения пирокластики: самые крупнозернистые отложения приземных волн (ground surges), менее — ash cloud

surge, тонкие — ash cloud. На диаграммах гранулометрического состава пирокластических отложений вулкана Безымянный (рис. 5) четко прослеживается одна и та же преобладающая фракция у заполнителей потоков и ground surge. У заполнителей ash cloud surge — две фракции: такая же, как и у потока, и наименьшая (< 0,056 мм), которая преобладает и у ash cloud. Четко прослеживается постепенный переход (снизу вверх) к преобладанию наиболее тонкой фракции в отложениях (от заполнителя потока к ash cloud).

Таким образом, данные о гранулометрическом составе типов пирокластики хорошо иллюстрируют указанный трехслойный разрез пирокластической массы при движении ее по склону вулкана.

Значения гранулометрических статистических коэффициентов (медианных диаметров частиц, их средних размеров, коэффициентов сортировки и т.д.) для типов пирокластики тоже отражают дифференциацию расслоения, в результате которой они выдели-

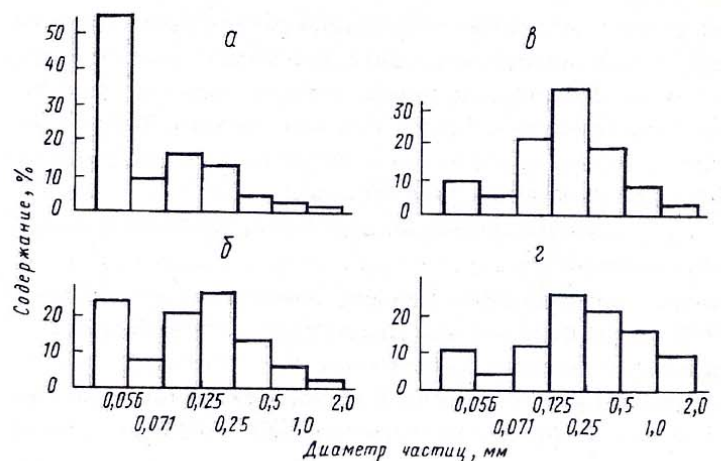


Рис. 5. Диаграммы гранулометрического состава заполнителей пирокластических отложений вулкана Безымянный: а — пепловых облаков потоков; б — волн пепловых облаков; в — приземных пирокластических волн; г — пирокластических потоков

лись из общей массы. Например, осредненные медианные диаметры частиц заполнителей отложений пеплово-глыбовых пирокластических потоков ash cloud surge и ash cloud извержений вулкана Безымянный в 1984 — 1989 гг. имеют значения 0,26; 0,12 и 0,05 мм со-

ответственно; средние размеры их частиц: 0,38; 0,16 и 0,07; коэффициенты сортировки: 0,33; 0,14 и 0,05 соответственно (рис. 6).

статистических коэффициентов (медианных диаметров и средних размеров частиц, коэффициентов сортировки и др.) для заполнителей типов отложений.

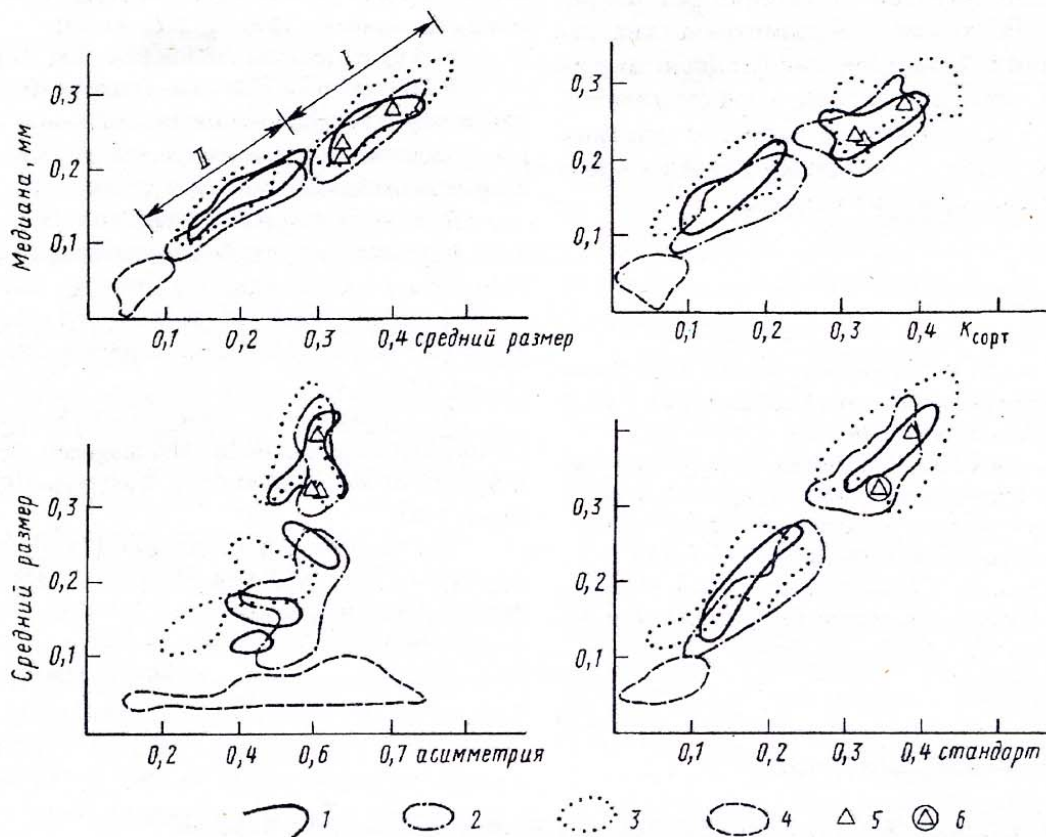


Рис. 6. Графики соотношения гранулометрических характеристик заполнителей отложений вулкана Безымянный, извержения 1984 — 1989 гг.: I — отложения пирокластических потоков; II — отложения пирокластических волн; 1—5 — извержения вулкана (1 — 1984 г., 2 — 1985 г., 3 — 1986 г., 4 — 1989 г., 5 — совпадающие значения для образований 1989 г.); 6 — отложения пеплов облаков потоков и тefры

Отметим также, что конвективная дифференциация пирокластического материала имеет прямую связь с масштабом извержения вулкана — чем больше масштаб извержения, тем лучше она проявляется, и генетические типы пирокластики в полевых условиях диагностируются без затруднений, а составы и физические свойства отложений достаточно хорошо различаются (рис. 2—4).

При небольших извержениях вулканов конвективная дифференциация пирокластической массы происходит слабо — химический, минеральный составы у разных типов пирокластики очень похожи, плотность твердой фазы почти одинакова (рис. 2—4).

Уточним, что объемы пирокластических продуктов, поступивших на поверхность при извержениях 1985, 1984 и 1986 гг., оцениваются в 0,05; 0,02 и $0,75 \cdot 10^{-3} \text{ км}^3$ соответственно [1, 4, 7].

Исследования пирокластических отложений некатастрофических извержений вулкана Безымянный показали, что наиболее информативными количественными показателями, подтверждающими существование процесса конвективной дифференциации (дифференциации расслоения) пирокластики, являются гранулометрический состав и численные значения его

При извержениях разных масштабов различия в химическом и минеральном составах, в плотности твердой фазы отложений разных генетических типов пирокластики могут быть ярко выраженными или же почти не проявляться, но гранулометрический состав заполнителей отложений всегда покажет различия между разными генетическими типами пирокластических отложений.

Мы предлагаем известный процесс формирования пепловых облаков над пирокластическими потоками называть «конвективной дифференциацией» или «дифференциацией расслоения» пирокластики. Существование этого процесса количественно подтверждается данными о химическом, минеральном, гранулометрическом составах, плотности твердой фазы заполнителей разных генетических типов пирокластических отложений — пирокластических потоков, ash cloud surge, ash cloud.

Итак, степень проявления конвективной дифференциации пирокластики прямо связана с масштабом извержения вулкана — чем мощнее извержение, тем лучше происходит дифференциация первичной пирокластической массы, т.е. больше отличаются величины количественных показателей состава, плотности

твердой фазы заполнителей пирокластических отложений разных генетических типов.

Самый информативный количественный показатель дифференциации пирокластики — гранулометрический состав заполнителей отложений разных генетических типов. Различия гранулометрических составов и их численных характеристик (медианных диаметров и средних размеров частиц, коэффициентов сортировки и др.) у заполнителей пирокластических отложений разных типов проявляются всегда и мало зависят от масштаба извержения вулкана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алидибиров М.А., Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. и др. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 3 — 18.
2. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А. О генетической классификации пирокластических отложений и типах отложений извержения вулкана Безымянный 1955 — 1956 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 3. С. 39 — 55.
3. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. и др. Катастрофические извержения типа на-

правленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 3 — 26.

4. Гирина О.А. Пирокластические отложения извержения вулкана Безымянный в октябре 1984 г. // Вулканология и сейсмология. 1990. № 3. С. 82—91.
5. Грунтоведение // Под ред. Е.М.Сергеева. М. 1983.
6. Кашкаров И.Ф., Полканов Ю.А. О распределении минералов прибрежных титаноносных россыпей по скорости падения в воде и крупности зерен // Литология и полезные ископаемые. 1976. № 2. С. 84 — 99.
7. Максимов А.П., Фирстов П.П., Гирина О.А. и др. Извержение вулкана Безымянный в июне 1986 // Вулканология и сейсмология. 1991. № 1. С. 3 — 20.
8. Ficher R.V. Models for pyroclastic surges and pyroclastic flows // J.Volcanol. Geotherm. Res. 1979. Vol. 6. P. 305 — 310.
9. Lipman P.W., Norton D.R., Taggart J. et al. Compositional variations in 1980 magmatic deposits// The 1980 Eruptions of Mount St. Helens. Washington/Geol. Survey Prof. Paper. 1981.
10. Sparks R.S.I., Walker G.P.L. The ground surge deposit— a third type of pyroclastic rock//Nature. Phys. Sci. 1973. Vol. 241. P. 62—64.

Поступила в редакцию 15.12.94

УДК 549.514.51:548.3:552.321.1(234.9)

С.П. Курасова, А.Г. Боев, А.Г. Гурбанов, Д.Г. Коцуг, С.В. Федющенко, Ф.П. Чернуха

СТРУКТУРНАЯ ПРИМЕСЬ Al В КВАРЦЕ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ГРАНИТОИДОВ БОЛЬШОГО КAVKAZA

Введение. Кварц представляет собой потенциально информативный объект для генетических исследований в силу его чрезвычайной распространенности в природе из-за широкого диапазона термодинамических условий его образования. Изучение кварца с целью генетических построений не теряет своей актуальности на протяжении длительного времени [5,7, 11—13, 22], что обусловлено появлением и развитием новых, более детальных методов изучения минерального вещества, а также широким применением минерала в современных промышленных технологиях.

Одним из сравнительно новых методов изучения кварца является метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [16], который позволяет с высокой чувствительностью определять содержание в минерале именно структурных примесей и радиационных центров. Для кварца наиболее информативной в генетическом отношении оказалась структурная примесь Al и связанные с ней радиационные центры, в несколько меньшей степени — структурные примеси Ge и Ti и радиационные центры E, O⁻—M и D. В многочисленных публикациях рассмотрена зависимость концентрации структурного Al в кварце от температурного и кислотно-щелочного режима минералообразующей среды [2—4,

10, 14, 16—18, 24—27], ее геохимических особенностей [18,23], от степени метаморфизма [3, 9, 17]. Однако в подавляющем большинстве эти работы посвящены изучению кварца из пегматитовых и гидротермальных образований. Сведения же о результатах ЭПР-спектроскопии породообразующего кварца магматических пород, в том числе гранитоидов, крайне отрывочны [4, 9,14, 17, 24, 25].

Между тем за последние годы установлено, что микропримесный состав породообразующего кварца может свидетельствовать о коровом или мантийном происхождении гранитоидов и их рудной специализации, а изменение микроэлементного состава кварца соответствует эволюции гранитного расплава [5, 11—13]. Естественно предположить, что геохимические особенности породообразующей среды гранитоидов должны повлиять и на содержание структурных примесей в кварце.

Нам представлялось интересным выявить и проследить взаимосвязь концентрации структурных примесей с общим микроэлементным составом кварца, а также с геохимическими особенностями самих гранитоидов. Очевидно, что корректное решение подобной задачи требовало комплексного и системати-