

## ГЕТЕРОТАКСИТОВЫЕ ЛАВЫ И ПЕМЗЫ

(к проблеме смешения магматических расплавов)

**Введение.** Эвтакситовые (полосчатые) лавы и пемзы являются характерными породами многих (особенно средних и кислых) вулканических комплексов. Группа эвтакситовых вулканитов неоднородна по генезису [1], и среди них может быть выделен особый тип, для которого характерен резко различный химический состав полос в одном образце. Обычно такие образования называются смешанными лавами или пемзами (mixed lavas or pumices), и происхождение их связывается с одновременным извержением расплавов разного состава. Однако термин "смешанные лавы" не совсем точно отражает особенности строения подобных эвтакситовых пород, поскольку само наличие полос разного состава указывает, что при образовании их полного смешения (полной гомогенизации) расплавов не произошло. В связи с изложенным для обозначения эвтакситовых вулканитов с различным химическим составом полос предлагается термин "гетеротакситовые" вулканиты (т.е. полосчатые лавы и пемзы с различным составом полос), который и употребляется в дальнейшем в этой работе.

Петрогенетическое значение гетеротакситовых вулканитов трудно переоценить, поскольку само присутствие их является единственным надежным свидетельством одновременного извержения расплавов разного состава и проявления более или менее продвинутого процесса смешения их. Хотя механизм смешения неоднократно предлагался для объяснения происхождения вулканитов с гетерогенным составом вкрапленников (см., например, [2, 3]), предложенные гипотезы оставались на уровне предположений в связи с отсутствием прямых доказательств смешения.

**Результаты наблюдений.** Несмотря на кажущуюся экзотичность, гетеротакситовые лавы и пемзы распространены значительно более широко, чем это обычно принято думать. Так, на Камчатке они установлены автором на вулканах Хангар, Шивелуч, Авачинский, Узон, Ильинский, Купол, Ю.М. Дубиком на вулкане Ксудач, а К.Н. Рудичем и К.М. Тимербаевой [4] — на вулкане Большая Зимина; на Курильских островах — автором на вулканах Немо и Тао-Русыр (остров Онекотан), Менделеева и Головнина (остров Кунашир). Подобные же образования известны и во многих других районах мира. Они описаны в продуктах извержения 1912 г. вулкана Катмаи на Аляске [5, 6], в Калифорнии среди пород вулканического центра Glass Mountain [7] и в продуктах извержения 1915 г. вулкана Лассен-Пик [8], в вулканическом комплексе Gardiner River в Йеллоустонском парке США [9], в пемзовых потоках вулкана Татекеи-яма в Японии [10], среди вулканических пород Исландии [11], в миоценовых вулканитах Закарпатья [12] и т.д.

Гетеротакситовые разности вулканитов на Камчатке и Курилах встречаются в составе экструзий, лавовых потоков, но гораздо чаще в пемзовых и пемзово-пирокластических отложениях. Согласно литературным

данным (см. выше), аналогичная картина наблюдается и для других известных случаев проявления гетеротакситовых вулканитов. Как правило, мощности отдельных полосок невелики — от 1–3 мм до 10–30 мм — и не выдержаны по простиранию. Раздувы, пережимы и выклинивания полос весьма обычны. Часто (особенно в пемзах) полосы гофрированы с образованием сложных плейчатых узоров. На участках максимального перемешивания материал, которого меньше по объему, может разобщаться на отдельные изолированные включения, приобретающие вид уплотненных фьямме в преобладающей массе другого ингредиента смеси (вулканы Купол, Ильинский и др.).

Границы полос разного состава макроскопически всегда четкие, резкие. Однако в шлифах, даже в пределах одного образца наблюдается два типа границ — резкие и постепенные. Последние отличаются появлением на контакте полос зон стекла промежуточного облика. Стекла более основных разностей пород буроватые, стекла более кислых разностей — бесцветные. Промежуточные стекла окрашены в серый или желтый цвет. Мощность зон промежуточных стекол обычно невелика — до 0,1–0,2 мм и лишь в редких случаях достигает 1,0–1,5 мм. На границах полос разного состава (и в случае резких, и в случае постепенных границ) нигде не наблюдалось срезания вкрапленников, выступающих за пределы полос, напротив, флюидальное стекло обтекает их.

Состав полос в изученных гетеротакситовых вулканитах Камчатки и Курил отличается на 2,5–8,5% по содержанию  $\text{SiO}_2$  (табл. 1,2), хотя в других районах известны и более значительные градиенты составов — до 10–11%  $\text{SiO}_2$  в гетеротакситовых лавах Закарпатья [12], до 12–15%  $\text{SiO}_2$  в пемзах вулкана Катмаи [6] и т.д. Соответственно с разницей в содержании  $\text{SiO}_2$  отличаются и содержания других петрогенных, а также редких и малых элементов (табл. 3). В отличающихся по составу полосах гетеротакситовых лав и пемз, как правило, присутствует примесь противоположного ингредиента смеси. Наличие таких примесей отчетливо выявляется при анализе минерального состава гетеротакситовых вулканитов. Примеры: подобного рода анализа были приведены автором ранее при детальном описании гетеротакситовых лав и пемз вулканов Купол и Хангар [16]. Так, наиболее основные разности пемз вулкана Хангар обычно содержат наряду с "собственным" плагиоклазом ( $\text{An}_{65-75}$  — вкрапленники и  $\text{An}_{40-60}$  субфенокристаллы), генерацию более натрового плагиоклаза  $\text{An}_{30-40}$ , отвечающую плагиоклазу липарито-дацитовых пемз, но подвергшуюся интенсивному вторичному плавлению. Это наблюдение дает основание полагать, что сами такие пемзы не представляют "чистую линию" более основного ингредиента смешивавшихся расплавов, а содержат примесь липарито-дацитового материала. В связи с аналогичными причинами кислые ингредиенты многих гетеротакситовых пемз, как это показано в таблице 2, нередко имеют несколько более низкое содержание  $\text{SiO}_2$ , чем преобладающая масса пород в соответствующих пемзово-пирокластических покровах и потоках. Таким образом, начальные составы смешивавшихся расплавов отличались, как правило, более существенно, чем об этом можно заключить из анализов полос в гетеротакситовых вулканитах.

Наиболее обычными сочетаниями пород в гетеротакситовых лавах Камчатки и Курил являются пары: андезит, андезито-дацит-дацит и андезито-базальт-андезит. Более редки пары: андезито-дацит-липарит и базальт-андезит (см. табл. 1—2). Анализ литературного материала показывает, что наряду с обычными для Курило-Камчатского региона сочетаниями — андезит, андезито-дацит-дацит встречаются и пары андезит-липарит [6], базальт-липарит [9]. Как правило, отдельные ингредиенты гетеротакситовых лав близки по составу преобладающим либо широко распространенным типам пород соответствующих вулканов. На вулкане Купол, например, это андезито-дациты и липариты, на вулканах Авачинском и Шивелуч — это андезито-базальты и андезиты, в кальдере Тао—Русыр — андезиты и дациты и т.д.

Разности пород в гетеротакситовых лавах обычно принадлежат к одному петрохимическому семейству и обладают всеми особенностями состава, характерными для лав соответствующих вулканов. Так, в случае вулканов Менделеева и Головнина гетеротакситовые лавы и пемзы, равно как и породы, слагающие постройки вулканов, отличаются крайне низкими содержаниями K, Rb и высокими K/Rb отношениями; в случае вулкана Купол — напротив, максимальными для изученных вулканитов содержаниями K, Rb, Ba (см. табл. 3), а в случае вулкана Шивелуч — повышенной магнезиальностью и содержаниями Ni, Co, Cr (см. табл. 1, и [17]). Значительно реже один из ингредиентов смеси не имеет аналогов среди лав данного вулкана. Так, при сходстве состава светлых (липарито-дацитовых) полос в гетеротакситовых пемзах кальдеры Хангар с составом лав ряда экстрезий, известных в пределах кальдеры, состав темных (андезито-дацитовых) полос заметно отличается от близких по кремнекислотности лав вулкана более высокими содержаниями MgO, CaO при меньших содержаниях глинозема, железа и натрия [16]. Аналогично среди лав вулкана Менделеева отсутствуют породы с содержанием SiO<sub>2</sub> 67,5—68,5%, встреченные в составе гетеротакситовых лав в агломератовой мантии главного экстрезивного купола этого вулкана.

Обычно гетеротакситовые лавы и пемзы слагают лишь небольшую часть объема вулканических тел, в которых они проявлены, тогда как большая часть таких тел сложена внешне однородными породами. Как правило, в составе таких образований преобладают разности, отвечающие более кислому ингредиенту смеси. Обратная картина наблюдается значительно реже, и среди изученных нами случаев проявления гетеротакситовых лав отмечена лишь для вулканов Менделеева и Ильинского.

Наряду с крайними по составу типами пород, слагающими гетеротакситовые лавы, иногда наблюдаются и более или менее гомогенные разности промежуточного состава. Таковы некоторые контактовые пемзы экстрезии на вулкане Купол, а также пемзы вулкана Хангар (см. табл. 2 [16]). В последнем случае породы промежуточного состава распространены даже значительно более широко, чем крайние по составу разности. Промежуточный же состав имеют, по данным микронзондового анализа, и стекла на границе полос разного состава, когда контакт полос не резкий, а постепенный.

В отношении минерального состава полосы в гетеротакситовых вулканитах отличаются друг от друга прежде всего структурой и составом сте-

Таблица 1

Химический состав гетеротакситовых лав и пемз некоторых вулканов Камчатки

| № п.п. | Образец | Вулкан                  | Геол. позиция гетеротакситовых вулкани-тов | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  |
|--------|---------|-------------------------|--|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| 1      | 5704/4  | Шивелуч,                | Экструзия                                  | 55,84            | 0,21             | 15,94                          | 3,96                           | 4,02 |
| 2      | 5704/4с | Камчатка                |  | 59,60            | 0,65             | 17,36                          | 3,05                           | 2,67 |
| 3      | 718а    | Большая Зиминая,        | Лавовый поток                              | 57,62            | 0,48             | 14,85                          | 3,26                           | 4,51 |
| 4      | 718б    | Камчатка                |  | 64,80            | 0,31             | 14,88                          | 2,33                           | 2,50 |
| 5      | УЗ-2    | Кальдера Узон,          | Пемзовый покров                            | 63,12            | 0,96             | 15,30                          | 4,58                           | 1,70 |
| 6      | УЗ-1    | Камчатка                |  | 71,32            | 0,55             | 13,44                          | 1,72                           | 0,86 |
| 7      |         | Кальдера Ксудач,        | Пемзовый покров                            | 60,06            | 0,51             | 16,29                          | 4,71                           | 2,87 |
| 8      |         | Камчатка                |  | 68,47            | 0,56             | 14,14                          | 1,69                           | 2,93 |
| 9      | 5913/2  | Кальдера Немо,          | Пемзовый покров                            | 51,76            | 0,80             | 16,89                          | 3,38                           | 7,15 |
| 10     | 5913    | о-в Онекотан            |  | 57,56            | 0,62             | 16,72                          | 2,27                           | 5,92 |
| 11     | 5903/4  | Кальдера Тао-Русь,      | Пемзовый покров                            | 59,28            | 0,79             | 16,84                          | 1,51                           | 6,01 |
| 12     | 5903    | о-в Онекотан            |  | 65,40            | 0,78             | 15,50                          | 0,94                           | 3,88 |
| 13     | 5950А   | Менделеева, о-в Кунашир | Агломератовая мантия                       | 62,22            | 0,80             | 16,06                          | 3,53                           | 4,05 |
| 14     | 5950Б   |                         | экструзивного купола                       | 67,58            | 0,80             | 14,72                          | 2,23                           | 3,19 |
| 15     | 5950/2  |                         |  | 61,29            | 0,65             | 15,89                          | 7,46                           | *    |
| 16     | 5950/1  |                         |  | 68,35            | 0,42             | 14,08                          | 5,13                           | *    |
| 17     | 5030/3  | Купол, Камчатка         | Экструзия                                  | 63,10            | 0,45             | 18,35                          | 0,77                           | 1,95 |
| 18     | 5030    |                         |  | 65,84            | 0,46             | 15,37                          | 0,80                           | 1,78 |
| 19     | 5030/3а |                         |  | 71,88            | 0,25             | 13,83                          | 0,41                           | 1,43 |

Примечание. Анализы 15—16 выполнены в Институте геохимии СО АН СССР рентгено-структурным методом, остальные — в химической лаборатории Института вулканологии ДВНЦ АН СССР Т.В. Долговой методом "мокрой химии". Анализы 3—4

## и Курильских островов

| МлО   | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Σ      |
|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| 0,15  | 6,24 | 8,26 | 3,78              | 1,20             | 0,28                          | 0,05                          | 0,27                          | 100,2  |
| 0,11  | 4,22 | 6,71 | 3,34              | 1,70             | 0,34                          | 0,02                          | 0,22                          | 99,99  |
| 0,12  | 5,77 | 7,00 | 3,46              | 1,60             | 0,16                          | 1,38                          | 0,05                          | 100,26 |
| 0,10  | 2,87 | 4,67 | 3,88              | 2,32             | 0,08                          | 1,41                          | 0,07                          | 100,23 |
| 0,14  | 2,40 | 4,98 | 3,84              | 1,98             | 0,20                          | 1,05                          | 0,30                          | 100,55 |
| 0,10  | 0,80 | 2,29 | 3,94              | 3,05             | 0,16                          | 1,48                          | 0,14                          | 99,85  |
| 0,17  | 3,25 | 6,80 | 4,09              | 0,89             | 0,08                          | 0,32                          | 0,23                          | 100,27 |
| н/опр | 0,80 | 3,31 | 5,05              | 1,32             | 0,08                          | 0,62                          | 0,25                          | 99,22  |
| 0,19  | 5,13 | 8,76 | 2,48              | 0,75             | 0,80                          | 1,42                          | 0,04                          | 99,55  |
| 0,14  | 3,10 | 6,78 | 2,96              | 1,02             | 0,52                          | 1,85                          | 0,13                          | 99,59  |
| 0,17  | 2,25 | 7,38 | 3,51              | 1,20             | 0,50                          | 0,64                          | 0,22                          | 100,30 |
| 0,15  | 1,21 | 4,56 | 4,32              | 1,53             | 0,50                          | 1,35                          | 0,06                          | 100,18 |
| 0,16  | 1,33 | 7,08 | 3,38              | 0,72             | 0,20                          | 0,08                          | 0,11                          | 99,72  |
| 0,13  | 1,19 | 5,34 | 3,84              | 1,08             | 0,20                          | 0,15                          | 0,04                          | 100,49 |
| 0,18  | 2,47 | 6,53 | 3,69              | 0,63             | 0,00                          | 0,00                          | 0,03                          | 98,85  |
| 0,13  | 1,42 | 4,71 | 4,37              | 1,05             | 0,00                          | 0,06                          | 0,06                          | 99,78  |
| н/ол  | 1,71 | 6,20 | 4,07              | 1,96             | 0,36                          | 0,49                          | 0,18                          | 99,60  |
| 0,10  | 0,94 | 2,88 | 4,14              | 3,02             | 0,54                          | 4,50                          | 0,10                          | 100,47 |
| 0,10  | 0,36 | 1,83 | 4,10              | 4,70             | 0,10                          | 1,08                          | 0,27                          | 100,34 |

по материалам [4], остальные из коллекции автора. В анализах 15–16 все железо дается в виде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Таблица 2

## Химический состав пемз некоторых вулканов Камчатки и Курильских островов

| № п.п.                                | № обр.  | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  |
|---------------------------------------|---------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|
| I. Кальдера, Хангар                   |         |                  |                  |                                |                                |      |      |      |
| 1                                     | 5569/4  | 63,47            | 0,57             | 15,01                          | 1,54                           | 2,78 | 0,10 | 3,24 |
| 2                                     | 5569/2  | 64,17            | 0,50             | 15,86                          | 1,18                           | 2,93 | 0,08 | 2,95 |
| 3                                     | 5575/8  | 66,55            | 0,43             | 15,86                          | 1,22                           | 2,04 | 0,08 | 1,80 |
| 4                                     | 5569/3  | 66,64            | 0,40             | 15,58                          | 1,39                           | 1,92 | 0,08 | 1,83 |
| 5                                     | 1041    | 67,44            | 0,54             | 16,15                          | 2,25                           | 0,84 | 0,10 | 1,35 |
| 6                                     | 5569    | 67,57            | 0,37             | 15,94                          | 1,21                           | 1,42 | 0,08 | 0,96 |
| 7                                     | 5438/1  | 68,30            | —                | —                              | —                              | —    | —    | —    |
| II. Вулкан Шивелуч                    |         |                  |                  |                                |                                |      |      |      |
| 8                                     | 5749    | 55,30            | 0,84             | 15,44                          | 3,00                           | 4,43 | 0,15 | 7,40 |
| 9                                     | 5749/2  | 55,84            | 0,28             | 15,72                          | 3,76                           | 3,48 | 0,14 | 7,05 |
| 10                                    | 5749/3  | 58,46            | 0,80             | 16,38                          | 3,02                           | 2,87 | 0,12 | 4,70 |
| 11                                    | 553     | 58,80            | 0,85             | 16,18                          | 3,66                           | 2,83 | 0,14 | 4,98 |
| 12                                    | 5706/6  | 59,02            | 0,50             | 16,68                          | 3,27                           | 2,41 | 0,12 | 4,42 |
| 13                                    | КШ-17   | 59,36            | 0,57             | 16,11                          | 2,17                           | 3,34 | 0,11 | 4,29 |
| 14                                    | 557     | 60,78            | 0,90             | 15,69                          | 2,93                           | 2,67 | 0,12 | 3,87 |
| III. Вулкан Авачинский                |         |                  |                  |                                |                                |      |      |      |
| 15                                    | 5880/2  | 54,90            | 0,50             | 18,90                          | 4,35                           | 4,36 | 0,15 | 3,60 |
| 16                                    | A-1     | 56,72            | —                | —                              | —                              | —    | —    | —    |
| 17                                    | 5880    | 57,40            | 0,50             | 18,73                          | 3,43                           | 4,08 | 0,14 | 3,14 |
| 18                                    | A-3     | 59,07            | —                | —                              | —                              | —    | —    | —    |
| 19                                    | A-4     | 59,20            | —                | —                              | —                              | —    | —    | —    |
| 20                                    | 641     | 60,12            | 0,62             | 18,80                          | 4,12                           | 1,71 | 0,17 | 2,44 |
| IV. Вулкан Ильинский                  |         |                  |                  |                                |                                |      |      |      |
| 21                                    | 5833/11 | 57,88            | 0,75             | 17,86                          | 2,56                           | 5,03 | 0,13 | 2,48 |
| 22                                    | 5872    | 60,60            | 0,43             | 17,62                          | 1,98                           | 4,54 | 0,12 | 1,91 |
| 23                                    | 5872/1  | 61,28            | 0,72             | 17,35                          | 1,79                           | 4,67 | 0,13 | 1,59 |
| 24                                    | 5873    | 61,30            | 0,46             | 17,38                          | 1,83                           | 4,28 | 0,12 | 1,74 |
| 25                                    | 5873/1  | 62,08            | 0,72             | 16,98                          | 1,45                           | 4,58 | 0,13 | 1,70 |
| 26                                    | ИЛЭ-10  | 63,84            | 0,56             | 15,90                          | 1,60                           | 3,40 | 0,13 | 1,64 |
| 27                                    | 5833/7  | 64,46            | 0,30             | 16,07                          | 2,29                           | 2,70 | 0,12 | 1,66 |
| V. Кальдера Головинна, остров Кунашир |         |                  |                  |                                |                                |      |      |      |
| 28                                    | 5948    | 56,58            | 0,70             | 16,95                          | 2,76                           | 6,33 | 0,18 | 4,42 |
| 29                                    | 5948/3  | 57,00            | 0,72             | 16,53                          | 5,27                           | 4,57 | 0,17 | 4,31 |
| 30                                    | 5838-т  | 58,61            | 0,76             | 15,85                          | 3,73                           | 5,55 | 0,16 | 3,70 |
| 31                                    | 5946    | 60,78            | 0,80             | 15,29                          | 2,64                           | 5,58 | 0,15 | 2,11 |
| 32                                    | 5948/5  | 62,19            | 0,66             | 15,84                          | 8,26                           | —    | 0,17 | 3,07 |

Примечание. Для каждого вулкана часть анализов выполнена из полосчатых пемзодного обнажения, для I — это № 1, 2, 4, 6; для II — № 8, 9, 10; для III — № 15 и 17; для IV — 21, 28; для V — № 28, 29, 31 и 32. Анализ № 5 и 20 заимствованы из [13], анализы № 11 и 14 из [14], остальные анализы из коллекции автора. Анализы 13, 23, 25, 26 и 32 выполнены в ГЕОХИ СО АН СССР, остальные в химической лаборатории Института вулканологии ДВНЦ АН СССР аналитиками Т.В. Долговой, Л.В. Карташевой и Г.П. Новоселцкой. Анализ 32 выполнен рентгено-спектральным методом (причем

|                                      | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | П.п.п. | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CO <sub>2</sub> | Σ |
|--------------------------------------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|-----------------|---|
| I. Кальдера Хангар                   |      |                   |                  |                               |                               |        |                               |                 |   |
| 5,27                                 | 4,18 | 1,86              | 0,08             | 1,73                          | —                             | 0,25   | 0,35                          | 100,43          |   |
| 4,50                                 | 3,97 | 1,76              | 0,46             | 1,33                          | —                             | 0,29   | 0,40                          | 100,38          |   |
| 3,06                                 | 4,25 | 2,22              | 0,40             | 1,38                          | —                             | 0,29   | 0,55                          | 100,13          |   |
| 3,28                                 | 4,45 | 2,46              | 0,41             | 1,48                          | —                             | 0,29   | 0,32                          | 100,53          |   |
| 3,31                                 | 3,38 | 2,63              | 0,21             | 1,83                          | —                             | сл.    | —                             | 100,08          |   |
| 2,75                                 | 4,10 | 2,52              | 0,32             | 1,92                          | —                             | 0,34   | 0,42                          | 99,92           |   |
| —                                    | 4,85 | 2,64              | 0,18             | 1,40                          | —                             | —      | 0,45                          | —               |   |
| II. Вулкан Шивелуч                   |      |                   |                  |                               |                               |        |                               |                 |   |
| 8,12                                 | 3,59 | 1,36              | н/о              | 0,11                          | —                             | 0,09   | —                             | 99,83           |   |
| 7,17                                 | 3,99 | 1,33              | 0,18             | 0,38                          | —                             | 0,33   | —                             | 99,65           |   |
| 7,12                                 | 4,08 | 1,56              | 0,20             | 0,57                          | —                             | 0,16   | —                             | 100,04          |   |
| 6,78                                 | 4,40 | 1,59              | 0,03             | 0,32                          | —                             | —      | —                             | 99,51           |   |
| 6,84                                 | 4,18 | 1,44              | 0,02             | 0,65                          | —                             | 0,21   | —                             | 99,76           |   |
| 6,56                                 | 4,27 | 1,31              | —                | —                             | 0,62                          | —      | —                             | 99,71           |   |
| 5,80                                 | 4,40 | 1,87              | 0,06             | 0,42                          | —                             | —      | —                             | 99,71           |   |
| III. Вулкан Авчинский                |      |                   |                  |                               |                               |        |                               |                 |   |
| 8,15                                 | 3,21 | 0,68              | 0,10             | 0,55                          | —                             | 0,16   | 0,62                          | 100,23          |   |
| —                                    | 3,53 | 0,79              | 0,06             | 1,25                          | —                             | —      | 0,37                          | —               |   |
| 6,97                                 | 3,34 | 0,79              | 0,00             | 0,93                          | —                             | 0,16   | 0,20                          | 99,81           |   |
| —                                    | 3,58 | 0,86              | 0,14             | 0,91                          | —                             | —      | 0,47                          | —               |   |
| —                                    | 3,53 | 0,82              | 0,06             | 0,69                          | —                             | —      | 0,37                          | —               |   |
| 6,91                                 | 3,62 | 0,67              | 0,19             | 0,90                          | —                             | —      | —                             | 100,27          |   |
| IV. Вулкан Ильинский                 |      |                   |                  |                               |                               |        |                               |                 |   |
| 8,13                                 | 3,48 | 1,00              | 0,22             | 0,63                          | —                             | 0,23   | —                             | 100,37          |   |
| 5,91                                 | 3,65 | 1,28              | 0,00             | 1,12                          | —                             | 0,07   | 0,74                          | 99,07           |   |
| 5,90                                 | 3,94 | 1,24              | —                | —                             | 0,86                          | 0,20   | —                             | 99,67           |   |
| 5,79                                 | 4,24 | 1,28              | 0,10             | 0,93                          | —                             | 0,17   | 0,32                          | 99,94           |   |
| 5,73                                 | 3,98 | 1,32              | —                | —                             | 0,79                          | 0,26   | —                             | 99,72           |   |
| 4,94                                 | 4,19 | 1,42              | —                | —                             | 1,76                          | 0,20   | —                             | 99,58           |   |
| 4,49                                 | 4,26 | 1,53              | 0,02             | 1,52                          | —                             | 0,30   | —                             | 99,72           |   |
| V. Кальдера Головина, остров Кунашир |      |                   |                  |                               |                               |        |                               |                 |   |
| 8,88                                 | 2,36 | 0,47              | 0,14             | 0,72                          | —                             | 0,09   | —                             | 100,58          |   |
| 8,15                                 | 2,32 | 0,53              | 0,00             | 0,72                          | —                             | 0,10   | —                             | 100,39          |   |
| 7,52                                 | 2,70 | 0,58              | 0,22             | 0,85                          | —                             | 0,09   | —                             | 100,32          |   |
| 7,56                                 | 2,51 | 0,59              | 0,78             | 1,05                          | —                             | 0,10   | —                             | 99,94           |   |
| 6,83                                 | 2,97 | 0,55              | —                | —                             | 0,00                          | 0,00   | —                             | 100,54          |   |

все Fe дается в виде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, остальные — методом "мокрой химии". I — продукты извержения, сформировавшего вершинный кратер (возраст ≈ 6500 лет); II — продукты извержения 1964 г.; III — продукты извержения, связанного с формированием кальдеры (возраст ≈ 5500 лет), [15]; IV — продукты извержения, сформировавшего взрывную воронку; V — продукты извержения, связанного с формированием кальдеры. Проверка в таблицах — нет данных.

Таблица 3. Содержание ряда редких и малых элементов в гетеротакситовых

|                         | Тип породы                | Na   | K    | Rb   |
|-------------------------|---------------------------|------|------|------|
| Гетеротакситовые лавы   | Вулкан Купол              |      |      |      |
|                         | Липаритовая полоса        | 3,05 | 3,07 | 76   |
|                         |                           | 3,25 | 2,80 | 73   |
|                         |                           | 3,20 | 3,05 | 70   |
|                         | Андезито-дацитовая полоса | 3,15 | 2,25 | 46   |
|                         |                           | 2,97 | 2,32 | 55   |
| 2,95                    |                           | 1,85 | 52   |      |
| Средний тип лав вулкана | Липарит                   | 3,07 | 2,88 | 69   |
|                         | Андезито-дацит            | 2,83 | 1,99 | 44   |
| Гетеротакситовые пемзы  | Кальдера Хангар           |      |      |      |
|                         | Липарито-дацитовая полоса | 3,30 | 2,68 | 44   |
|                         |                           | 3,47 | 2,26 | 46   |
|                         |                           | 3,25 | 2,32 | 47   |
|                         |                           | 3,42 | 2,00 | 42   |
|                         | Дацитовая полоса          | 3,15 | 1,92 | 46   |
|                         |                           | 3,25 | 1,77 | 33   |
|                         |                           | 3,30 | 1,82 | 42   |
|                         |                           | 3,02 | 1,80 | 40   |
|                         |                           | 3,05 | 1,97 | 40   |
|                         |                           | —    | —    | 33,5 |
|                         | Андезито-дацитовая полоса | 3,00 | 1,50 | 22   |
|                         |                           | 3,10 | 1,55 | 32   |
|                         |                           | 2,95 | 1,50 | 40   |
| 2,95                    |                           | 1,47 | 31   |      |
| 3,00                    |                           | 1,43 | 25   |      |
| Средний тип лав вулкана | Средний дацит             | 3,45 | 1,94 | 44   |
|                         | Средний андезито-дацит    | 3,33 | 1,51 | 27   |
| Гетеротакситовые пемзы  | Кальдера Узон             |      |      |      |
|                         | Липаритовая полоса        | 2,88 | 2,50 | 67   |
|                         | Андезито-дацитовая полоса | 2,98 | 1,74 | 39   |
|                         | Кальдера Тэо-Русыр        |      |      |      |
|                         | Дацитовая полоса          | 3,50 | 1,40 | 21   |
|                         | Андезитовая полоса        | 3,04 | 0,90 | 14   |
| Гетеротакситовые лавы   | Вулкан Менделеева         |      |      |      |
|                         | Дацитовая полоса          | 3,24 | 1,00 | 15   |
|                         | Андезито-дацитовая полоса | 3,00 | 0,52 | 8    |
|                         | Средний андезито-дацит    | 2,94 | 0,57 | 8,2  |



лавах и пемзах ряда вулканов Камчатки и Курильских островов

|                    | Li  | Ba   | Sr  | Be   | Ba/Sr | K/Rb |
|--------------------|-----|------|-----|------|-------|------|
| Вулкан Купол       |     |      |     |      |       |      |
|                    | 28  | 1000 | 160 | 1,0  | 6,25  | 405  |
|                    | 28  | 830  | 180 | —    | 4,61  | 383  |
|                    | 55  | 1300 | 150 | —    | 8,67  | 436  |
|                    | 12  | 1500 | 390 | —    | 3,85  | 489  |
|                    | 10  | 1000 | 300 | 0,5  | 3,33  | 422  |
|                    | 10  | 1100 | 400 | 0,75 | 2,75  | 348  |
|                    | 27  | 1315 | 215 | 0,6  | 6,12  | 415  |
|                    | 15  | 1135 | 395 | 0,7  | 2,87  | 450  |
| Кальдера Хангар    |     |      |     |      |       |      |
|                    | 17  | 720  | 300 | —    | 2,40  | 473  |
|                    | 18  | 1000 | 360 | 1,1  | 2,78  | 491  |
|                    | 19  | 740  | 240 | 0,9  | 3,08  | 494  |
|                    | 21  | 800  | 350 | 0,8  | 2,29  | 476  |
|                    | 17  | 850  | 480 | 1,0  | 1,77  | 417  |
|                    | 12  | 630  | 400 | 1,1  | 1,57  | 536  |
|                    | 14  | 870  | 320 | 0,8  | 2,75  | 435  |
|                    | 14  | 630  | 420 | 0,8  | 1,50  | 450  |
|                    | 13  | 820  | 450 | —    | 1,82  | 492  |
|                    | 12  | 760  | 320 | 1,0  | 2,37  | —    |
|                    | 8   | 680  | 330 | 0,6  | 2,06  | 682  |
|                    | 15  | 600  | 350 | 0,75 | 1,71  | 484  |
|                    | 14  | 460  | 420 | 0,55 | 1,10  | 375  |
|                    | 9   | 630  | 430 | 0,5  | 1,46  | 470  |
|                    | 8   | 690  | 320 | 0,8  | 2,16  | 542  |
|                    | 15  | —    | —   | 1,05 | —     | 440  |
|                    | 18  | —    | —   | 0,65 | —     | 560  |
| Кальдера Узон      |     |      |     |      |       |      |
|                    | 22  | —    | 160 | —    | —     | 375  |
|                    | 17  | —    | 260 | —    | —     | 458  |
| Кальдера Тао-Русыр |     |      |     |      |       |      |
|                    | 12  | —    | —   | 0,3  | —     | 667  |
|                    | 11  | —    | —   | 0,25 | —     | 642  |
| Вулкан Менделеева  |     |      |     |      |       |      |
|                    | 16  | —    | —   | 0,55 | —     | 667  |
|                    | 10  | —    | —   | 0,45 | —     | 650  |
|                    | 8,8 | —    | —   | 0,50 | —     | 695  |

Таблица 3 (окончание)

|                        | Тип породы                  | Na   | K    | Rb  |
|------------------------|-----------------------------|------|------|-----|
| Гетеротакситовые пемзы | Кальдера Головина           |      |      |     |
|                        | Андезитовая полоса          | 2,20 | 0,42 | 6   |
|                        | Андезито-базальтовая полоса | 2,24 | 0,34 | 3,2 |
|                        | Средний андезит             | 2,37 | 0,38 | 5,7 |

Примечание. Содержание Na и K в вес%, остальных элементов в г/т. Все анализы выполнены в Институте геохимии СО АН СССР: Na, K; Rb, Li — методом фото-

кол. Стекла более основных ингредиентов смесей, как правило, оптически более неомогенны (неравномерно окрашены и сильнее раскристаллизованы), чем стекла кислых ингредиентов. Разница в показателях преломления стекол колеблется от 0,010 до 0,030, в зависимости от разницы в валовых составах пород и степени раскристаллизации их. Для разностей промежуточного состава значения показателей преломления также промежуточные. Так, стекло андезито-дацитовых прослоев гетеротакситовых лав вулкана Купол имеет показатель преломления 1,525—1,531, стекло липаритовых полос — 1,485—1,490, а стекло гомогенных промежуточных пород — 1,502—1,517.

Качественный состав вкрапленников в полосах может быть как резко различным, так и сходным, причем наличие или отсутствие отличий не связано с величиной градиента кислотности сосуществующих пород. Так, при андезито-дацитовом ( $\text{SiO}_2 \approx 63\%$ ) и липаритовом ( $\text{SiO}_2 \approx 71\text{--}72\%$ ) составе полос в гетеротакситовых лавах и пемзах вулкана Купол и кальдеры Узон в первом случае набор вкрапленников в разных по составу полосах отличается резко (плаггиоклаз и биотит в липаритовых полосах; плаггиоклаз, ортопироксен, клинопироксен, амфибол — в андезито-дацитовых полосах), а во втором — одинаков (плаггиоклаз, орто- и клинопироксен). Аналогично в случае гетеротакситовых пемз кальдеры Хангар липарито-дацитовые полосы ( $\text{SiO}_2 \approx 68\%$ ) содержат вкрапленники плаггиоклаза, кварца и биотита; андезито-дацитовые ( $\text{SiO}_2 \approx 63\%$ ) — плаггиоклаза, ортопироксена, клинопироксена и амфибола, а в случае кальдеры Ксудач и липарито-дацитовые ( $\text{SiO}_2 \approx 68\%$ ), и андезитовые ( $\text{SiO}_2 \approx 60\%$ ) полосы имеют одинаковый набор вкрапленников (плаггиоклаз орто- и клинопироксен). Нередко полосы кислого состава отличаются от полос более основного состава наличием вкрапленников кварца (вулканы Менделеева, Большая Зиминая, Хангар), однако этот признак вовсе не является обязательным (вулканы Шивелуч, Авача, Купол, Ксудач, Узон и др.).

Состав одноименных минералов в сосуществующих разностях гетеротакситовых лав также может быть как сходным, так и различным. Это

| Li                | Ba | Sr | Be   | Ba/Sr | K/Rb |
|-------------------|----|----|------|-------|------|
| Кальдера Головина |    |    |      |       |      |
| 11                | —  | —  | 0,4  | —     | 700  |
| 8                 | —  | —  | 0,4  | —     | 1062 |
| 13                | —  | —  | 0,35 | —     | 667  |

метрии пламени (аналитик Г.И. Селиванова), Ba, Sr — количественным спектральным методом.

удобно продемонстрировать на примере плагиоклазов, детально изучавшихся автором. Так, по данным частных химических анализов мономинеральных проб средний валовый состав плагиоклаза андезито-дацитовых полос ( $\text{SiO}_2$  61–63%) гетеротакситовых лав вулкана Менделеева отвечает  $\text{An}_{4,5,8-46,2} \text{Ab}_{51,9-52,8} \text{Or}_{1,4-1,8}$ , а дацитовых полос ( $\text{SiO}_2$  67,5–68,5%) —  $\text{An}_{46,6} \text{Ab}_{51,7} \text{Or}_{1,7}$ . Для андезито-базальтовых ( $\text{SiO}_2 = 54-55\%$ ) и андезитовых ( $\text{SiO}_2 = 57,5-59,0\%$ ) полос в пемзах Авачинского вулкана состав плагиоклаза соответственно —  $\text{An}_{5,5,6} \text{Ab}_{42,9} \text{Or}_{1,5}$  и  $\text{An}_{51,0-55,3} \text{Ab}_{42,8-46,4} \text{Or}_{1,9-2,3}$ . Состав плагиоклазов полосчатых пемз кальдеры Узон, напротив, заметно отличается: для липаритовых пемз это  $\text{An}_{4,6}$ , а для андезито-дацитовых —  $\text{An}_{5,7}$  (по данным массовых оптических определений). Примеры существенного различия средних составов плагиоклазов для разных по составу полос гетеротакситовых лав и пемз вулканов Купол и Хангар были приведены автором ранее [16].

Вместе с тем даже в тех случаях, когда средний состав минералов в разных по химизму полосах гетеротакситовых вулканитов отличен, при статистическом изучении в обоих ингредиентах смеси обычно обнаруживаются идентичные по составу генерации соответствующих минералов. Так, на кривых распределения составов плагиоклазов гетеротакситовых пемз кальдеры Узон для обеих разностей пород выделяется общий максимум, отвечающий  $\text{An}_{4,5-5,0}$ . Для плагиоклазов полосчатых лав вулкана Купол две такие общие генерации плагиоклаза:  $\text{An}_{5,0-5,5}$  и  $\text{An}_{7,0-9,0}$ , а для гетеротакситовых пемз кальдеры Ксудач — три общие генерации:  $\text{An}_{3,0-4,5}$ ,  $\text{An}_{5,2-6,5}$  и  $\text{An}_{9,0-9,5}$ . При этом относительные количества отличающихся по составу генераций плагиоклаза в породах разного состава резко различны. Например, в липарито-дацитовых полосах пемз кальдеры Ксудач преобладают плагиоклазы андезитового состава, а лабрадоры и анортиты встречаются в виде единичных зерен, тогда как в андезитовых пемзах картина обратная. В полосчатых лавах вулкана Купол плагиоклазы состава  $\text{An}_{5,0-5,5}$ , доминирующие в андезито-дацитовых полосах, в липа-

ритовых полосах играют второстепенную роль при преобладании в последних  $Ap_{30-35}$ .

Соотношение степени кристалличности (содержания вкрапленников) в разных по основности полосах гетеротакситовых лав и пемз также неодинаково. В одних случаях вкрапленников больше в более кислом ингредиенте смесей (вулканы Шивелуч, Большая Зими́на, Хангар, Менделеева), в других — в более основном ингредиенте (вулканы Купол, Узон, Ксудач); как правило, полосы с пониженным содержанием  $SiO_2$  являются несколько более меланократовыми.

Промежуточные по химическому составу разности гетеротакситовых лав обычно обладают также и промежуточными особенностями минерального состава: промежуточным количеством вкрапленников, набором минеральных видов их, составом минералов и составом стекла.

Таким образом, при достаточно резком различии химического состава пород из полос в гетеротакситовых лавах соотношение минеральных фаз в сосуществующих породах далеко не однозначно и не подчиняется единой закономерности. Наиболее общей чертой для всех изученных случаев проявления гетеротакситовых лав является отличие в составах стекол из полос разного состава. Отметим также, что обычно в составе разных ингредиентов гетеротакситовых вулканитов устанавливаются либо родственные генерации минералов (при общем различии в валовых составах минералов из разных полос), либо полная идентичность составов отдельных минералов. В последнем случае разница в химическом составе пород обеспечивается разницей в составе стекол и увеличением в более кислом ингредиенте содержания силикатных минералов-вкрапленников (кварца и плагиоклаза).

**Обсуждение результатов.** Наблюдающееся в большинстве случаев соответствие составов ингредиентов гетеротакситовых лав составам преобладающих или достаточно широко распространенных типов пород конкретных вулканов; как правило, общие для всех пород одного вулкана (включая гетеротакситовые разности) петро-геохимические особенности; наконец, наличие в породах разной основности сходных по составу генераций минералов-вкрапленников — все это указывает на родственность магматических расплавов, сформировавших в каждом конкретном случае и гетеротакситовые лавы, и лавы вулканических построек.

Наличие родственных связей различных ингредиентов гетеротакситовых лав позволяет предполагать образование расплавов, формирующих их из единого магматического источника. При этом более кислый ингредиент смеси мог образоваться за счет процессов кристаллизационной дифференциации, ликвации либо любых других процессов, ведущих к разделению вещества. Лишь в тех случаях (кальдера Хангар), когда один из ингредиентов смеси резко отличается и от другого ингредиента, и от всей массы пород конкретного вулканического сооружения по петро-геохимическим особенностям, можно предполагать смешение генетически независимых расплавов. Наконец, кислый ингредиент смеси может возникнуть за счет термального воздействия основного расплава на кислые кристаллические и осадочные породы. Возникающие при этом кислые расплавы плохо смешиваются с расплавами, за счет которых они генери-

рованы. Типичными представителями гетеротакситовых лав подобного типа являются частично плавленые включения гранитоидных и осадочных пород в лавах и шлаках. Следует, однако, заметить, что во всех случаях в подобных включениях сохраняются следы плавления полнокристаллических или осадочных пород, а объемы наблюдавшихся кислых ингредиентов смесей ничтожны по сравнению с объемами более основных ингредиентов.

Присутствие гетеротакситовых лав и пемз определенно свидетельствует, что в недрах многих вулканических построек сосуществуют разные по составу расплавы и что такие расплавы могут извергаться одновременно. В случаях, когда качественный состав минералов-вкрапленников гетеротакситовых лав резко различен, можно, по-видимому, полагать, что соответствующие расплавы существовали независимо друг от друга достаточно длительное время и что разделение исходной магмы (если оба расплава связаны происхождением из единого источника) предшествовало массовой кристаллизации ее. В случаях сходного состава минералов-вкрапленников в различных ингредиентах смесей можно, напротив, предполагать, что разделению магмы предшествовал более или менее продвинувшийся процесс кристаллизации (если только сходство составов минералов не вызвано смешением).

Особый интерес вызывают гетеротакситовые вулканиды, средние составы вкрапленников в которых идентичны в разных ингредиентах смесей, а общее количество вкрапленников выше в более кислом ингредиенте по сравнению с более основным (за счет увеличения содержания кварца и плагиоклаза). Среди средне-кислых четвертичных вулканических пород Камчатки и Курил отмечены ассоциации, имеющие сходные с указанным типом гетеротакситовых лав особенности минерального состава (идентичность средних составов минералов и увеличение количества вкрапленников по мере возрастания содержания  $\text{SiO}_2$  в породах от андезитов—андезито-дацитов до дацитов и липарито-дацитов). Более того, породы таких ассоциаций характеризуются резко неравновесным набором вкрапленников: сочетанием магниезального оливина с кварцем, натрового (олигоклаз-андезин) плагиоклаза с кальциевым (битовнит-анортит), причем одновременно с указанными минералами обычно присутствуют орто- и клинопироксен, амфибол, а иногда и биотит. Такими особенностями обладают лавы вулканов Ааг и Арик, описанные М.В. Федоровым [18], а также изученные нами лавы вулкана Дикий Гребень. Перечисленные особенности состава не позволяют объяснить происхождение подобных вулканических пород с помощью гипотезы кристаллизационной дифференциации и кажется весьма заманчивым предложить в этом случае в качестве возможного механизма происхождения смешения магматических расплавов.

Присутствие в составе вулканических тел, среди которых обнаружены гетеротакситовые лавы и пемзы, большего или меньшего объема пород промежуточного состава, а также наличие или отсутствие признаков плавления вкрапленников промежуточных пород может указывать на больший или меньший интервал времени, прошедший между началом смешения и извержением расплавов. Так, относительно широкое распространение промежуточных разностей и обычное для таких пород наличие частично плав-

ленных генераций вкрапленников, соответствующих по составу вкрапленникам кислых ингредиентов смесей (см., например, данные для вулкана Хангар, [16]), свидетельствуют о том, что смешение предшествовало извержению. В случаях же, когда промежуточные разности пород развиты слабо, а плавления минералов-вкрапленников в них не наблюдается, можно предполагать, что смешение расплавов происходило в процессе извержения (вулканы Большая Зимина, Узон и т.д.). В связи с изложенным вызывают интерес данные таблицы 2, показывающие, что в пемзах ряда извержений вулканов Камчатки и Курил наряду с крайними по основности породами нередко можно найти и промежуточные разности, так что разница в химическом составе двух соседних по содержанию  $\text{SiO}_2$  анализов не превышает 1,5–2,8%  $\text{SiO}_2$ . Более того, в ряде случаев промежуточные разности распространены не менее, если не более широко, чем крайние по составу типы (например, в гетеротакситовых пемзах кальдеры Хангар). В отличие от пемзово-пирокластических потоков, в экструзиях и лавовых потоках породы, имеющие промежуточный состав по отношению к составам разных ингредиентов гетеротакситовых лав, проявлены в крайне незначительных объемах.

Обращает внимание отмеченная ранее приуроченность проявления гетеротакситовых вулканитов преимущественно к пемзово-пирокластическим отложениям. Так, практически на всех вулканах Камчатки и Курильских островов, которые удалось посетить автору, в случае наличия в разрезах их более или менее мощных пемзово-пирокластических отложений, в составе последних были обнаружены гетеротакситовые разности вулканитов. Отметим, что пемзово-пирокластические отложения являются результатом мощных извержений с выносом большого объема ювенильного материала в короткий промежуток времени. Еще больший объем ювенильного материала выносятся при игнимбритообразующих извержениях.

Как показывают многочисленные литературные данные, состав ювенильного материала игнимбритов часто весьма неоднороден. Так, по данным В.И. Влодавца [19] и В.С. Шеймовича [20], линзы стекла (фьямме) в семячинских игнимбритах Камчатки отличаются от стекловатого базиса пород заметно более кислым составом (соответственно липарито-дациты и дациты). По данным Б.В. Иванова [21], в игнимбритах Карымской группы вулканов на Камчатке присутствуют три группы стекол, отличающихся по показателю преломления ( $n$ ): линзы светлокоричневого стекла —  $n = 1,488$ , линзы черного или темно-серого стекла —  $n = 1,519$ , и стекло основной массы —  $n = 1,525$ . Столь же различающиеся стекла описаны Х. Вильямсом [22] в андезитовых спекшихся туфах Коста-Рики:  $n = 1,510$  для светлых стекол,  $n = 1,550$  для темных, при преобладающих стеклах с  $n = 1,530$ – $1,540$ . Сонахождение базальтовых и риолитовых стекол отмечено для спекшихся туфов ряда Исландских вулканов [23, 24]. Микронеоднородность стекловатой основной массы игнимбритов Новой Зеландии установлена А. Стейнером [25], а игнимбритов Северного Кавказа Н.В. Короновским и др. [26].

Согласно представлениям А. Стейнера [25], наличие стекол разного состава в игнимбритах обусловлено ликвацией единого расплава в процессе извержения (при подъеме его к поверхности и движении по по-

верхности). Сходной точки зрения придерживаются и Н.В. Короновский и др. [26]. Б.И. Пийп [27] и Х. Вильямс [22] видят причину гетерогенности игнимбритовой магмы в контаминации кислых расплавов за счет усвоения базальтовых корней вулканов. По мнению В.И. Влодавца [19] и Д.Х. Блейка [24], причиной наблюдаемых отличий в составе стекол игнимбритов является смешение магматических расплавов. При этом В.И. Влодавец полагает, что появление расплавов разного состава связано с предварительной дифференциацией единой магмы в подводящем канале вулкана (вверху более кислые разности, внизу более основные). Д.Х. Блейк связывает одновременное извержение разных по составу магматических расплавов с пересечением близповерхностного периферического очага кислой магмы малыми интрузиями — производными более глубокого очага более основной магмы.

Гетерогенность состава игнимбритов сближает их с описанными выше гетеротакситовыми вулканитами. Более того, гипотеза смешения магматических расплавов является одной из равноправных гипотез, объясняющих особенности состава и структур игнимбритов. Наконец, согласно представлениям о генезисе игнимбритов, высказанным Г.С. Горшковым [28, 29], механизм образования мощных пемзово-пирокластических отложений (а ведь именно к последним преимущественно приурочено проявление гетеротакситовых вулканитов).

Причину появления гетерогенных вулканитов (игнимбритов и гетеротакситовых пемз) при мощных извержениях ювенильного материала можно толковать по-разному. С одной стороны, именно единовременный выброс большого объема раздифференцированного ювенильного материала может привести к смешению отличающихся по составу разностей за счет различной подвижности (вязкости) их. С другой стороны, смешение само можно рассматривать как причину таких мощных извержений, если принять вслед за Д.Х. Блейком [24], что внедрение более основного и более нагретого расплава в промежуточный резервуар относительно кислой магмы вызывает ее разогрев, уменьшение вязкости, увеличение общего давления и, одновременную эмиссию расплавов разного состава.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Вольнец О.Н.* Типизация и вопросы генезиса эвтакситовых лав. — В кн.: Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса. (Тез. IV Всесоюз. вулканол. совещ.). Петропавловск-Камчатский: Приморский полиграфкомбинат, 1974, с. 189—190.
2. *Larsen E.S., Irving J.* Petrologic results of a study of the minerals from the Tertiary volcanic rocks of the San Juan Region, Colorado, 7. The plagioclase feldspars. — *Amer. Miner.*, 1938, v. 23, N 4, p. 227—258.
3. *Kuno H.* Iwaki volcano. — In: Catalogue of the active volcanoes of the world including Solfatara fields. 11. Japan, Taiwan and Marianas, 1962, Intern. Volcanol. Assoc. Naples, p. 190—195.
4. *Рудич К.Н., Тимурбаева К.М.* О полосчатых лавах вулкана Большая Зимина (Ключевская группа вулканов на Камчатке). — В кн.: Четвертичный вулканизм некоторых районов СССР. М.: Наука, 1965, с. 3—13.

5. *Williams H., Curtis G., Juhle W.* Mount Katmai and the Valley of Ten Thousand Smokes, Alaska (Abstract). — *Pacif. Sci. Congr. 8th Univ. Philippines, 1953, Proc.*, 1956, v. 2, p. 129.
6. *Bordet P., Marinelly G., Mittampfergher M., Tazieff G.* Contribution à l'étude volcanologique du Katmai et de la Velle e des Dik Mulle Fumées (Alaska). — *Soc. belge géol. Mem.*, 1963, ser. 8, N 7, p. 1—70.
7. *Eichelberger J.C.* Origin of andesite and dacite: evidence of mixing at Glass Mountain in California and at other circum-Pacific volcanoes. — *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1975, v. 86, p. 1381—1391.
8. *MacDonald G.A., Katsura T.* Eruptions of Lassen Peak, Cascade Range, California, in 1915: example of mixed magmas. — *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1965, v. 76, N 5, p. 475—482.
9. *Wilcox R.E.* Rhyolite-basalt complex on Gardiner River, Yellowstone Park, Wyoming. — *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1944, v. 55, p. 1047—1080.
10. *Matumoto Tadaiti, Tsunetomi Takehiko.* — Banded pumice in the Tateishi—yama pumice flow. Oita Prefecture. — *Bull. Volcanol. Soc. Jap.*, 1972, v. 17, N 2, p. 59—65.
11. *Walker G.P.* Acid volcanic rocks in Iceland. — *Bull. volcan.*, 1966, v. 29, p. 375—401.
12. *Лазаренко Э.А., Дейчовская К.А.* Миоценовые смешанные туфы и лавы липаритовой и андезитовой магматической формации Закарпатья. — В кн.: Вулканизм и формирование минеральных месторождений в Альпийской геосинклинальной зоне (Карпаты, Крым, Кавказ). Новосибирск: Наука, 1973, с. 153—162.
13. Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской вулканической провинции. М.: Наука, 1966, 290 с.
14. *Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч. — В кн.: Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969, с. 3—37.
15. *Брайцева О.А., Малексеев И.В., Эрлих Э.Н.* Новейшая вулканическая деятельность. — В кн.: Камчатка, Курильские и Командорские острова; из серии "История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока". — М.: Наука, 1974, с. 369—394.
16. *Вольнец О.Н.* О неоднородности составов в потоках и экзструзиях кислых лав. — В кн.: Кислый вулканизм. Новосибирск: Наука, 1973, с. 57—92.
17. *Вольнец О.Н., Колосков А.В.* Плагиоклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки. — Новосибирск: Наука, 1976. 136 с.
18. *Федоров М.В.* О неоднородности магматического расплава вулканов Аг-Арик. — Булл. вулканолог. ст., 1972, № 48, с. 48—50.
19. *Влодавец В.И.* О происхождении пород, обычно называемых туфолавами и игнимбридами. — Тр. Лаб. вулканол. АН СССР, 1957, вып. 14, с. 3—16.
20. *Шеймович В.С.* Типы фьямме в камчатских игнимбридах. — Булл. вулканолог. ст., 1972, № 48, с. 56—63.
21. *Иванов Б.В.* Игнимбриды района вулканов Карымской группы. — В кн.: Вулканические фации Камчатки. М.: Наука, 1969, с. 105—109.
22. *Williams H.* Volcanic history of the Meseta Central Occidental, Costa Rica. — *Calif. Univ. Publ. Geol Sci.*, 1952, v. 29, p. 145—180.
23. *Walker G.P.L.* The Breiddalur central volcano eastern Iceland. — *Quart. J. Geol. Soc. London*, 1963, v. 119, N 473, pt 1 p. 29—63.
24. *Blake D.H.* Welded tuffs and the Maelifell caldera, Alftafjördur volcano, south-eastern Iceland. — *Geol. Mag.*, 1969, v. 106, N 6, p. 531—541.
25. *Стейнер А.* Происхождение игнимбридов острова Северный, Новая Зеландия: Новая петрогенетическая концепция. — В кн.: Проблемы палеовулканизма М.: ИЛ, 1963, с. 490—532.
26. *Короновский И.В., Сапарин Г.В., Служев В.И., Сливак Г.В.* Происхождение игнимбридов по данным исследования с применением растрового электронного микроскопа. — ДАН СССР, 1975, 225, № 3, с. 667—669.
27. *Пуйл Б.И.* Кроноцкие игнимбриды на Камчатке. — Тр. Лабор. вулканолог. 1961, в. 20, с. 90—91.
28. *Gorshkov G.S.* On the origin of ignimbrites in relation to the study of recent eruptions. — *Bull. Volc.*, 1963, t. 25, p. 33—37.
29. *Горшков Г.С., Боголюбенская Г.Е.* Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения (1955—1963 гг.). М.: Наука, 1965, 172 с.