

УДК 550.42 (476)

**М.А. Богдасаров****ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕКТИТОВ**

Работа посвящена детализации физико-химических особенностей тектитов. Изучены физические свойства и химический состав тектитов и подтверждена принадлежность тектитов из разных районов земного шара к различным систематическим группам. Установлено, что по ряду химических признаков тектиты заметно отличаются от всех геологических пород, включая такие внешне близкие к ним образования, как кварцевые песчаники и силика-глассы, преобразованные при ударе метеоритов (молний и т.п.) в силикатные породы.

Тектиты представляют собой природные образования весьма сложного состава, внутреннее строение которых характеризуется отсутствием упорядоченных кристаллических структур. Осколки тектитов сильно напоминают оплавленное бутылочное стекло или шлак. Нередко тектиты путают с вулканическим стеклом (обсидианом), на который они очень похожи по внешнему виду. Хорошо сохранившиеся тектиты довольно легко узнать: поверхность образца, как правило, почти целиком оплавлена и покрыта своеобразной скульптурой в виде многочисленных канавок и извилин. Морфологические особенности характеризуются значительным разнообразием: капли, груши, конусы, эллипсоиды и т.д.; иногда встречаются полые образцы. Масса найденных находок различна: от десятых долей грамма до нескольких килограммов. Большая часть находок тектитов приурочена к отложениям неоген-четвертичного возраста. Они обнаружены в Чехии (молдавиты), Австралии (австралиты), Индокитае (индошиниты), на Филиппинах (ризалиты, филиппиниты), в Индонезии (биллитониты, яваиты), Африке (африканиты), Северной и Южной Америке (бедиазиты, эмпириды).

Несмотря на большое количество работ, посвященных тектитам, с высокой степенью достоверности происхождение их не установлено до сих пор. Учеными приводится масса доводов в пользу как земного происхождения тектитов, так и космического. Среди «земных» доминирует гипотеза ударного происхождения как результата расплава пород при ударе комет и астероидов, среди «небесных» – гипотеза их кометной доставки на Землю [1; 2].

К числу важнейших диагностических определений свойств тектитов, по которым в литературе накоплен обширный фактический материал, относятся исследования *вязкости (пластичности)* этих образований. Эти определения представляют интерес, с одной стороны, для совершенствования технологических процессов при производстве разного рода стекол, а с другой – для решения вопросов генезиса расплавов минералов и горных пород. Представляется интересным, проанализировав данные изучения вязкости тектитов, попытаться выяснить некоторые особенности их структуры и условий образования. Г.Г. Воробьевым [3] были изучены молдавиты и индошиниты, а также обычное стекло и обсидиан из Армении, измерение вязкости которых было произведено для сравнения теми же методами, которыми пользовались для исследования вязкости тектитов.

До измерения вязкости путем нагревания небольших кусочков в тигле приблизительно определяли температуру размягчения, при этом тектиты (в отличие от обсидианов) не обнаружили процесса пемзообразования. Они оплавляются спокойно без резкого выделения газов, что связано, по-видимому, с небольшим содержанием в тектитах летучих веществ. Температура размягчения молдавитов (1 100°C) оказалась значительно ниже, чем известная из работ Ф. Зюсса, который считал, что при 1 250°C

они даже не начинают размягчаться и плавятся только при 1 400°C [4]. По-видимому, скорость нагревания при этом была слишком велика, тогда как в опытах [3] нагревание проводилось со скоростью около 70°C в минуту. При выдерживании тектитов при 1 400°C в течение часа они сплавлялись в однородную массу без пузырьков, которая при охлаждении застывала в стекло того же цвета, что и исходные образцы.

Измерение вязкости тектитов производилось методом растяжения стержня, ранее разработанным для исследования вязкости кварцевого стекла, а также обсидианов в связи с процессом образования пемзы [3]. Этот метод представляется ценным в том отношении, что позволяет исследовать естественные образцы, не подвергнутые переплавке. Для исследования вязкости при высоких температурах (до 1 400°C) использовалась другая методика, основанная на законе Стокса, которая применялась ранее для измерения вязкости борного ангидрида и системы  $B_2O_3-SiO_2$  в расплавленном состоянии. Следует отметить, что впервые метод падения шара по Стоксу при высоких температурах применяли для измерения вязкости стекла [5]. В описываемых опытах образец расплавился в корундовом тигле высотой 3,3 см и диаметром 2,5 см; тигель малого размера брали для экономии исследуемого материала. После того как все пузырьки были удалены из расплава, в него бросали платиновый шарик диаметром 1,0–1,5 мм. По истечении определенного промежутка времени (10–40 мин) тигель с расплавом быстро вынимали из печи и подвергали закалке. Далее, разбивая тигель, можно было измерить расстояние, на которое опустился шарик, определить скорость его падения и по формуле Стокса вычислить вязкость. Плотность определялась только при комнатной температуре, а чтобы узнать плотность расплавленных образцов при температуре опыта на основании данных о плотности расплавленных стекол и горных пород приближенно вводилась поправка на расширение. Таким образом, для расплава молдавита при 1 400°C плотность была принята 2,10 г/см<sup>3</sup>, для индошинита – 2,05 г/см<sup>3</sup>. Приближенное знание плотности не вносило в окончательный результат большой ошибки, так как плотность платинового шарика очень велика (21,5 г/см<sup>3</sup>).

Результаты измерения вязкости тектитов, полученные Г.Г. Воробьевым по методу растяжения стержня [3], представлены в таблицах 1–2; в первом столбце приведена температура, во втором – вязкость в пуазах (1 пуаз = 0,1 паскаль-секунда), в третьем – десятичный логарифм вязкости. Как видно, этим методом удалось исследовать вязкость молдавита в пределах температур 980–1 150°C, а вязкость индошинита – в интервале 950–1 050°C. В таблице 3 приведены данные по вязкости тектитов, полученные методом падения шара по Стоксу (измерения проводились в пределах температур 1 345–1 410°C).

Как видно, повторные измерения методом растяжения в достаточной степени сопоставимы. Интервал между значениями, полученными двумя разными методами, оказался около 250°C, т.е. в пределах, характерных для аналогичных исследований обычных стекол. По вязкости тектиты располагаются где-то посередине между кварцевым и обычным стеклом. Это неудивительно, принимая во внимание связь с их химическим составом.

Вязкость  $\eta$  обычно сопоставляют со значениями кислотно-основных показателей и, в первую очередь, с модулем кислотности, отражающим соотношение четырех оксидов:

$$M_k = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO}$$

Чем больше  $M_k$ , тем выше вязкость. Таким образом, высокая вязкость расплавов горных пород определяется высоким содержанием в них кремнекислоты и глинозема. Роль других окислов сводится к тому, что щелочи понижают вязкость расплавов.

Отсюда ясно, что тектиты, более кислые, чем обычное стекло, заключая в себе некоторое количество  $Al_2O_3$  (10–12%), в то же время оказываются в 1 000–10 000 раз более вязкими, чем стекло с содержанием щелочей около 2%. Вязкость обсидиана несколько выше, чем у тектитов, по-видимому, вследствие повышенного содержания в нем глинозема (13%). У некоторых других образцов обсидиана кривые вязкости весьма близки к тем, которые получаются для тектитов. Любопытно, что, несмотря на то, что  $SiO_2 + Al_2O_3$  у тектитов и вулканических стекол составляет около 90% их состава, вязкость их все же почти в 1 000 000 раз меньше, чем у кварцевого стекла, поскольку в последнем практически нет щелочей, а содержание кремнезема близко к 100%.

Таблица 1 – Вязкость молдавитов (метод растяжения стержня)

| Первое измерение |                    |           | Второе измерение |                    |           |
|------------------|--------------------|-----------|------------------|--------------------|-----------|
| t, °C            | $\eta$ , пз        | Lg $\eta$ | t, °C            | $\eta$ , пз        | Lg $\eta$ |
| 980              | $1,71 \times 10^9$ | 9,231     | 980              | $1,70 \times 10^9$ | 9,2305    |
| 1 020            | $8,0 \times 10^8$  | 8,904     | 1 010            | $8,67 \times 10^8$ | 8,938     |
| 1 045            | $4,85 \times 10^8$ | 8,685     | 1 040            | $5,60 \times 10^8$ | 8,749     |
| 1 050            | $3,50 \times 10^8$ | 8,544     | 1 070            | $1,95 \times 10^8$ | 8,290     |
| 1 090            | $1,33 \times 10^8$ | 8,124     | 1 090            | $1,81 \times 10^8$ | 8,258     |
| 1 120            | $6,7 \times 10^7$  | 7,828     | 1 130            | $7,66 \times 10^7$ | 7,885     |

Таблица 2 – Вязкость индошинитов (метод растяжения стержня)

| Первое измерение |                    |           | Второе измерение |                    |           |
|------------------|--------------------|-----------|------------------|--------------------|-----------|
| t, °C            | $\eta$ , пз        | Lg $\eta$ | t, °C            | $\eta$ , пз        | Lg $\eta$ |
| 950              | $1,66 \times 10^9$ | 9,026     | 950              | $1,02 \times 10^9$ | 9,609     |
| 975              | $5,56 \times 10^8$ | 8,747     | 980              | $4,92 \times 10^8$ | 8,692     |
| 1 000            | $4,63 \times 10^8$ | 8,667     | 1 015            | $2,75 \times 10^8$ | 8,446     |
| 1 000            | $3,98 \times 10^8$ | 8,517     | 1 040            | $1,60 \times 10^8$ | 8,2045    |
| 1 010            | $3,15 \times 10^8$ | 8,502     |                  |                    |           |
| 1 025            | $1,92 \times 10^8$ | 8,285     |                  |                    |           |

Таблица 3 – Вязкость тектитов (метод падения шара)

| Молдавиты |                    |           | Индошиниты |                    |           |
|-----------|--------------------|-----------|------------|--------------------|-----------|
| t, °C     | $\eta$ , пз        | Lg $\eta$ | t, °C      | $\eta$ , пз        | Lg $\eta$ |
| 1 370     | $3,97 \times 10^5$ | 5,600     | 1 345      | $2,35 \times 10^5$ | 5,371     |
| 1 400     | $2,21 \times 10^5$ | 5,3445    | 1 400      | $1,22 \times 10^5$ | 5,0865    |
| 1 410     | $2,29 \times 10^5$ | 5,361     |            |                    |           |

Для дальнейшего сопоставления вязкости расплавленных горных пород и тектитов интересно было проанализировать полученные данные зависимости вязкости изверженных пород от коэффициента кислотности по Левинсон–Лессингу [6]. Любопытно, что тектиты, обладая большой кислотностью, показывают вязкость меньшую, чем горные породы. Далее на основании данных по вязкости молдавита и индошинита можно привести ряд доводов в пользу теории их космического происхождения, к числу сторонников которой принадлежали В.И. Вернадский, А. Лакруа, Ф. Зюсс. [4]. Если предполагать, что тектиты представляют собой результат сплавления земных горных пород, то неясно, почему они имеют такой одинаковый

состав и почему они весьма однородны в своей массе и лишены газовых пузырьков. Как известно, более или менее легко пузырьки удаляются из стекла при варке лишь при вязкости 100–200 пуазов, что и обуславливает варку стекла при температуре порядка 1 500°C в течение нескольких десятков часов.

Для тектитов вязкость такого порядка можно, по-видимому, получить только при температурах свыше 2 000°C. Нужно иметь в виду, что, хотя линейная экстраполяция дала бы несколько более низкую температуру (1 800°C), этой цифрой пользоваться нельзя, так как при более малых вязкостях у всех жидкостей, в том числе и у всех силикатных расплавов, кривая вязкости имеет такой же характер изгиба, как для обычного стекла. Наличие же такой температуры в момент образования тектитов (если предполагается их образование в пределах Земли) представляется маловероятным.

В решении вопроса о происхождении тектитов важную роль должен сыграть анализ их *химического состава*. Каждая из существующих генетических концепций предусматривает наличие определенных физико-химических процессов, сопровождающих образование тектитов. Эти процессы и сопутствующие им условия можно сравнить с аналогичными процессами, наблюдаемыми в лаборатории или в природе [7; 8]. Анализ выявленных аналогий и различий, по-видимому, позволит правильно подойти к решению проблемы. После первого химического анализа молдавита, выполненного в 1816 г. М. Клапротом, было произведено более 100 полных анализов тектитов, силика-глассов и импактитов. Около 25 анализов, выполненных Г.Г. Воробьевым [3], позволили проверить достоверность более старого материала и статистически обработать известные результаты. Для 10 основных компонентов, определяемых обычным силикатным методом, было собрано следующее количество определений: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 69, FeO и K<sub>2</sub>O – по 99, SiO<sub>2</sub> – 107, TiO<sub>2</sub> – 108, MnO – 109, Na<sub>2</sub>O – 116, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и MgO – по 126 (всего 1085). В таблице 4 приведен средний состав некоторых территориальных групп тектитов и силика-глассов. На основании всех имеющихся данных вычислен средний химический состав тектитов, силика-глассов и импактитов (таблица 5). Для тектитов, кроме того, рассчитаны средние геометрические (медиана) и статистические (мода) значения и оценены величины разбега аналитических, данных (дисперсия) (таблица 6).

В физико-химическом отношении тектиты представляют собой аморфную кремнекислоту (точнее двуокись кремния) с растворенными в ней окислами других элементов: Al, Fe, Ca, Mg, Na, K. В статистическом отношении эти окислы относятся антагонистически к SiO<sub>2</sub>, показывая более или менее четко выраженную обратную (отрицательную) корреляцию. Геохимическое сродство отдельных элементов может быть выражено в наличии прямой (положительной) корреляции [9].

По данным анализов, содержание SiO<sub>2</sub> в тектитах колеблется в пределах 47,54–88,50%, в импактитах этот диапазон смещается вправо: 68,88–99,88%, а в силика-глассах еще правее: 86,34–98,40%. Среднеарифметические значения соответственно равны 73,29, 84,45 и 93,01%. Все эти цифры превышают среднее содержание SiO<sub>2</sub> в кислых магматических породах (71,00% по А.П. Виноградову [10]). Сравнение с соответствующими данными для осадочных пород показывает, что тектиты располагаются между песчаными (78,66% SiO<sub>2</sub> и глинистыми 50,65% SiO<sub>2</sub>) породами. Импактиты соответствуют песчаникам (84,86% SiO<sub>2</sub>), а силика-глассы – чистым кварцевым пескам (90,63–99,79% SiO<sub>2</sub>).

Таблица 4 – Средний химический состав отдельных видов тектитов и силика-гласов, %

| Окислы                         | Молда-<br>виты | Индо-<br>шиниты | Филип-<br>пиниты | Тектиты<br>Явы | Билли-<br>тониты | Австра-<br>литы | Тасма-<br>ниты | Амери-<br>каниты | Бедиа-<br>зиты | Афри-<br>каниты | Ливиты |
|--------------------------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 79,33          | 73,14           | 71,25            | 71,39          | 70,27            | 67,36           | 67,98          | 74,19            | 75,64          | 70,98           | 98,04  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,6            | 0,98            | 0,78             | 0,66           | 0,98             | 1,13            | 0,69           | 0,05             | 0,82           | 0,73            | 0,19   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10,03          | 12,50           | 12,36            | 12,16          | 13,06            | 13,11           | 6,69           | 15,81            | 14,59          | 14,59           | 0,88   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,85           | 0,19            | 1,23             | 1,17           | 0,18             | 1,05            | 0,36           | 0,24             | 0,41           | 0,18            | 0,43   |
| FeO                            | 2,42           | 4,98            | 4,27             | 4,62           | 5,55             | 5,79            | 1,54           | 0,61             | 4,00           | 5,50            | 0,24   |
| MnO                            | 0,13           | 0,12            | 0,09             | 0,12           | 0,13             | 0,12            | 0,00           | 0,12             | 0,01           | 0,08            | 0,00   |
| CaO                            | 2,25           | 2,46            | 3,47             | 2,91           | 3,15             | 4,47            | 0,10           | 0,52             | 0,05           | 1,67            | 0,22   |
| MgO                            | 1,65           | 2,07            | 3,33             | 3,09           | 2,81             | 2,73            | 0,68           | 0,19             | 1,28           | 3,28            | 0,04   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,63           | 1,43            | 1,5              | 1,76           | 1,59             | 1,74            | 0,11           | 3,58             | 1,36           | 1,71            | 0,33   |
| K <sub>2</sub> O               | 3,05           | 2,40            | 2,02             | 2,22           | 2,30             | 2,05            | 1,07           | 4,24             | 1,85           | 1,53            | 0,01   |

Таблица 5 – Средний химический состав тектитов, силика-гласов и импактитов, %

| Окислы                         | Тектиты | Силика-глассы | Импактиты |
|--------------------------------|---------|---------------|-----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 73,29   | 93,01         | 84,45     |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,86    | 0,44          | 0,81      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,04   | 3,78          | 4,89      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,79    | 0,40          | 2,32      |
| FeO                            | 4,48    | 0,98          | 3,48      |
| MnO                            | 0,12    | 0,00          | 0,05      |
| CaO                            | 2,76    | 0,17          | 1,32      |
| MgO                            | 2,19    | 0,36          | 1,13      |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,35    | 0,20          | 0,22      |
| K <sub>2</sub> O               | 2,44    | 0,62          | 1,54      |

Таблица 6 – Химическая характеристика тектитов

| Окислы                         | Среднее содержание, % |                 |              | Дисперсия |       |                |      |                    |         |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------|-----------|-------|----------------|------|--------------------|---------|
|                                | Арифмет.<br>(X)       | Медиана<br>(Me) | Мода<br>(Mo) | Пределы   |       | Среднеарифмет. |      | Среднеквадрат. (±) |         |
|                                |                       |                 |              | min       | max   | +              | –    | абс., %            | отн., % |
| SiO <sub>2</sub>               | 73,29                 | 73,63           | 74,41        | 47,54     | 88,50 | 4,07           | 4,96 | 6,83               | 9,3     |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,86                  | 0,75            | 0,53         | Следы     | 3,38  | 0,35           | 0,33 | 0,54               | 55,1    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12,04                 | 12,40           | 13,12        | 5,10      | 20,54 | 1,33           | 2,08 | 2,28               | 18,9    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,79                  | 0,43            | 0,40         | 0,00      | 5,37  | 1,00           | 0,41 | 1,30               | 164,6   |
| FeO                            | 4,48                  | 4,49            | 4,51         | 0,13      | 11,51 | 1,32           | 1,65 | 2,08               | 46,5    |
| MnO                            | 0,12                  | 0,10            | 0,07         | 0,01      | 1,25  | 0,09           | 0,04 | 0,13               | 108,3   |
| CaO                            | 2,76                  | 2,47            | 1,89         | 0,00      | 8,56  | 1,25           | 0,77 | 1,51               | 54,7    |
| MgO                            | 2,19                  | 2,03            | 1,71         | 0,11      | 7,99  | 0,81           | 0,64 | 1,05               | 47,9    |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,35                  | 1,27            | 1,11         | 0,23      | 3,96  | 0,68           | 0,53 | 0,80               | 59,2    |
| K <sub>2</sub> O               | 2,44                  | 2,27            | 1,99         | 0,82      | 4,67  | 0,59           | 0,40 | 0,66               | 27,1    |

Отдельные виды тектитов по возрастанию среднего содержания SiO<sub>2</sub> образуют ряд: австралиты < биллитониты < африканиты < филиппиниты < тектиты Явы < индошиниты < американиты < бедиазиты < молдавиты. По очень высокому содержанию SiO<sub>2</sub> довольно резко выделяются молдавиты, по очень низкому – австралиты. Некоторые анализы приближают австралиты к тектитам Африки, Филиппин и Индонезии, подчеркивая разницу между ними и тектитам Индокитая.

В корреляционном ряду выделяется несколько групп: импактиты и силика-глассы с высоким абсолютным содержанием SiO<sub>2</sub> и низким TiO<sub>2</sub> (иногда силика-

глассы нарушают это правило), затем молдавиты, основная группа австралитов, индошиниты, филиппиниты, биллитониты с тектитами Африки и, наконец, отдельная группа австралитов из юго-западной Виктории с низкими значениями  $\text{SiO}_2$  и высокими  $\text{TiO}_2$ .

По средним отношениям  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$  выделяются следующие группы:

- 1) австралиты;
- 2) индошиниты и биллитониты;
- 3) филиппиниты, бедиазиты, тектиты Африки и Явы, ливиты, импактиты;
- 4) тасманиты и молдавиты.

Отдельно стоят американиты со средним отношением  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2 = 1\ 500$ .

Сравнение с земными горными породами показывает, что по названному соотношению тектиты приближаются к средним и ультраосновным породам и глинам. Характерно, что в магматических породах обратная корреляция  $\text{SiO}_2 > \text{TiO}_2$  наблюдается только ряду кисло-средних пород [8; 9].

Содержание собственно  $\text{TiO}_2$  колеблется во всех описываемых стеклах от следов до 3,64%. Среднеквадратичное отклонение для тектитов является сравнительно большим (65,1% отн.). Незначительная асимметрия, в отличие от  $\text{SiO}_2$ , направлена в сторону малых концентраций ( $M_o < M_e$ ). По средним содержаниям тектиты (0,86%) и импактиты (0,81%) приближаются к средним породам (0,79%) с переходом к основным и к глинам, а силика-глассы (0,44%) – к песчаникам (0,41%). Отдельные виды тектитов в порядке возрастания среднеарифметического располагаются следующим образом: молдавиты, тектиты Явы < африканиты < филиппиниты < бедиазиты < индошиниты, биллитониты < австралиты. Американиты находятся далеко за пределами этого ряда (0,05%). Такую же малую величину имеют ливиты (0,19%), тогда как тасманиты по  $\text{TiO}_2$  не отличаются от тектитов и ближе всего соответствуют тектитам Явы.

В корреляционном ряду выделяется несколько групп:

- 1) импактиты и силика-глассы с высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  и более низким  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- 2) молдавиты;
- 3) индошиниты;
- 4) филиппиниты;
- 5) биллитониты с менее высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  и более высоким  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Австралиты дают значительный разброс данных, захватывая три последние группы и частично вторую. Особняком стоит группа из шести австралитов из юго-западной Виктории с очень низким содержанием  $\text{SiO}_2$ . Данные для тектитов Африки, американитов и бедиазитов противоречивы вследствие их малочисленности.

По средним отношениям  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  все тектиты, за исключением молдавитов, образуют одну группу. У молдавитов эта величина равна 8,0, тасманитов – 12,6, импактитов – 17,3, ливитов – 10,9. По среднему отношению тектиты приближаются к кислым породам, а тасманиты с импактитами – к пескам, песчаникам, ультраосновным породам и метеоритам (силикатная фаза). Ливиты эквивалентов по  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  не имеют.

Содержание собственно  $\text{Al}_2\text{O}_3$  колеблется в текритах от 5,10 до 20,54%. Среднеквадратичное отклонение равно 18,9% отн. Небольшая асимметрия в сторону меньших величин обуславливает соотношение  $M_o > M_e$ , как у  $\text{SiO}_2$ . По среднеарифметическому содержанию все тектиты, за исключением молдавитов, образуют одну группу (12,16–15,81%) со следующими соотношениями: индошиниты, филиппиниты, тектиты Явы < биллитониты, австралиты < бедиазиты, тектиты Африки < американиты. В молдавитах среднее содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,03%) относительно мало, в тасманитах (6,69%) и импактитах (4,89%) – еще меньше. По этим цифрам тектиты

несколько соответствуют кислым породам, импактиты и тасманиты – песчаным, а ливиты – чистым кварцевым пескам.

Для тектитов характерно преобладание FeO над Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что указывает на более или менее достаточные окислительные условия. Описываемые виды образуют ряд: тектиты Африки, индошиниты, биллитониты > австралиты, молдавиты, бедиазиты > тасманиты, ливиты, импактиты. Отдельные анализы последней группы дают отношение Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > FeO. По этому признаку тектиты более всего соответствуют ультраосновным, менее – основным и совсем далеко отстоят от средних и кислых пород. Импактиты и силика-глассы соответствуют средним, кислым, а также песчаным породам.

Тектиты характеризуются следующими пределами абсолютных значений: 0,13–11,51% FeO и 0,00–5,37% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Среднеквадратичное отклонений равно соответственно 46,5 и 146,6%, что резко выделяет Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> среди других окислов. Кроме того, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> имеет заметную асимметрию в сторону больших концентраций и, соответственно, отношение Me > Mo. У FeO асимметрия имеет противоположный знак и почти незаметна. По среднеарифметическим значениям Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тектиты соответствуют более или менее чистым песчаным породам, по FeO – занимают промежуточное положение между средними и основными породами (тасманиты – между кислыми и песчаными, ливиты соответствуют песчаным породам). В первом случае рассматриваемые виды образуют несколько групп:

- 1) тектиты Африки, биллитониты, индошиниты и американиты (0,18–0,24%);
- 2) бедиазиты и тасманиты (0,36–0,41%);
- 3) молдавиты, австралиты, тектиты Явы, филиппиниты (0,85–1,35%);
- 4) импактиты (2,32%).

Во втором случае происходит четкое разделение отдельных видов: ливиты 0,24%, американиты 0,61%, тасманиты 1,54%, молдавиты 2,42% и все остальные (импактиты, бедиазиты, филиппиниты, биллитониты, тектиты Явы, индошиниты) 3,48–5,89%.

Некоторый интерес представляет отношение FeO : MnO. Большинство тектитов укладывается в небольшие интервалы концентраций: 1–7% FeO и 0,04–0,4% MnO. Среднее геометрическое FeO : MnO ~ 40, среднее арифметическое – 37. Здесь выделяются две группы:

- 1) кучная группа индошинитов с 4–6% FeO и 0,10–0,16% MnO (среднегеометрическое и среднеарифметическое FeO : MnO = 42);
- 2) некучная группа молдавитов – 1,5–3,5% FeO и 0,06–0,16 MnO (среднее арифметическое FeO : MnO = 19).

Другие виды дают значительный разброс данных без видимой локализации. Отношение FeO : MnO в силика-глассах и импактитах смещается по сравнению с тектитами в сторону больших величин (более 50 до 100). Сравнение с земными горными породами показывает, что по названному отношению тектиты соответствуют в целом изверженным породам, а силика-глассы и импактиты – песчаным осадочным.

Содержание собственно MnO в тектитах колеблется от 0,01 до 1,25%, что обеспечивает сравнительно большую дисперсию (среднеквадратичное отклонение 108,3%). Заметная асимметрия направлена в сторону больших величин, подобно Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Me > Mo). Среднеарифметическая величина 0,12% соответствует ультраосновным, средним и отчасти основным породам, а также глинам. Импактиты и силика-глассы содержат MnO в среднем до 0,05%, что соответствует кислым изверженным и песчаным осадочным породам. Этому правилу в общем подчиняются и все отдельные виды стекол, за исключением бедиазитов, которые по MnO (0,01%) более сравнимы с силика-глассами (и песчаными породами), чем с тектитами.

Содержание GaO в тектитах колеблется в широком интервале: от 0,00 до 8,56%, но дает сравнительно небольшую дисперсию (среднеквадратичное) – 54,7%. Заметная

асимметрия в сторону больших величин, подобно  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{MnO}$ , приводит к соотношению  $\text{Me} > \text{Mo}$  при этом мода отклоняется от среднеарифметического на 0,87%. Последняя величина объединяет все основные виды тектитов в одну группу (1,67–4,47%) со следующими соотношениями: тектиты Африки < молдавиты, индошиниты < тектиты Явы, филиппиниты, биллитониты < австралиты. Значительно меньшее содержание  $\text{GaO}$  имеют импактиты (1,32%), американиты (0,52%), ливиты (0,22%), тасманиты (0,10%), бедиазиты (0,05%). По этим данным, тектиты соответствуют кислым породам (1,82%) и песчаникам (1,05%); импактиты – песчаникам; американиты и отчасти ливиты – некоторым чистым кварцевым пескам; тасманиты и бедиазиты аналогов не имеют.

Большинство анализов укладывается в интервалы 1–10% для обоих окислов с небольшой дифференциацией по абсолютным содержаниям: филиппиниты > индошиниты > молдавиты. Австралиты, как и в других случаях, дают большой разбег данных, но в целом тяготеют к большим величинам. Импактиты и американиты располагаются после молдавитов. И, наконец, самые малые содержания имеют силика-глассы и бедиазиты, которые вместе с африканитами заметно отклоняются от корреляционной прямой ( $\text{GaO} < \text{MgO}$ ).

По средним отношениям все виды объединяются в 5 групп:

- 1) ливиты – 5,5%;
- 2) американиты – 2,8%;
- 3) импактиты и основная группа тектитов – от 1,6 до 0,9% (австралиты > молдавиты > индошиниты, биллитониты > филиппиниты > тектиты Явы);
- 4) тектиты Африки (африканиты) – 0,5%;
- 5) тасманиты и бедиазиты – от 0,04 до 0,1%.

Результаты сравнения показывают, что в основном тектиты занимают промежуточное положение между основными и ультраосновными породами, тектиты Африки соответствуют средним породам, бедиазиты и тасманиты – силикатной фазе метеоритов, американиты и ливиты приближаются к песчаным породам.

Содержание собственно  $\text{MgO}$  колеблется в тектитах от 0,11 до 7,99%, среднеквадратичное отклонение 47,9% отн. Небольшая асимметрия направлена в сторону больших концентраций, как и у  $\text{GaO}$  ( $\text{Me} > \text{Mo}$ ). Мода отклоняется от среднеарифметического на 0,48%. В порядке убывания величины  $\text{MgO}$  отдельные виды располагаются следующим образом: филиппиниты (3,33%), тектиты Африки и Явы > биллитониты > австралиты > индошиниты > молдавиты > бедиазиты > импактиты (1,13%); отдельное положение занимают тасманиты (0,68%), американиты (0,19%) и ливиты (0,04%). По этим данным, тектиты занимают промежуточное положение между кислыми и средними изверженными породами (с некоторым тяготением к последним), импактиты более всего соответствуют кислым и песчаным породам, а силика-глассы и американиты – чистым кварцевым пескам.

По  $\text{MgO}$  может быть осуществлен еще один вариант геохимического анализа. На земных материалах достаточно хорошо показано, что отношение  $\text{MgO} : \text{SiO}_2$  является четким индикатором кислотности пород, подобно отношению микро-элементов  $\text{V}_2\text{O}_5 : \text{Ca}_2\text{O}_3$ . По среднему содержанию эти окислы коррелируют следующим образом (таблица 7).

Таблица 7 – Среднее содержание  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$

| Группа пород   | $\text{SiO}_2$ , % | $\text{MgO}$ , % | $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$ |
|----------------|--------------------|------------------|-----------------------------|
| Ультраосновные | 43,6               | 24,8             | 1,4                         |
| Основные       | 50                 | 6,3              | 8                           |
| Средние        | 57                 | 3,64             | 15,7                        |

|        |    |      |    |
|--------|----|------|----|
| Кислые | 71 | 0,74 | 96 |
|--------|----|------|----|

В корреляционном ряду намечается некоторое дифференцирование по абсолютным значениям концентрации (в порядке возрастания  $\text{SiO}_2$  и убывания  $\text{MgO}$ ): группа австралитов из юго-западной Виктории – биллитониты, филиппиниты – индошиниты – молдавиты – импактиты, силика-глассы. Основная группа австралитов распределяется в широком интервале. Бедиазиты соответствуют группе молдавитов, но отличаются от них некоторым смещением линейного коэффициента. Резко диссонируют отмеченной закономерности американиты.

По средним отношениям  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$  (в порядке возрастания) образуются следующие группы: основная группа тектитов 21–25 (филиппиниты, тектиты Африки < тектиты Явы < австралиты, биллитониты), индошиниты – 35, молдавиты – 48, бедиазиты – 60, импактиты – 75, тасманиты – 130, американиты – 500, ливиты – 2500. Таким образом, по отношению  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$  тектиты в массе отвечают средним породам, тасманиты занимают промежуточное положение между кислыми породами и песчаниками, американиты (и особенно ливиты) соответствуют чистым кварцевым пескам.

Из щелочей  $\text{Na}_2\text{O}$  присутствует в тектитах в количестве 0,23–3,96% со среднеквадратичным отклонением от среднеарифметического 47,9% отн. Асимметрия (в сторону больших величин) очень незначительная,  $M_e > M_o$ . По среднеарифметическому содержанию все тектиты образуют одну группу с интервалом 1,36 (бедиазиты) – 1,76% (тектиты Явы); исключение составляют, с одной стороны, американиты (3,58%) и, с другой – молдавиты (0,63%). Ливиты, импактиты и тасманиты содержат соответственно 0,33, 0,22 и 0,11%  $\text{Na}_2\text{O}$ . По этим цифрам большинство тектитов располагается между ультраосновными и основными породами, американиты ближе стоят к средним и кислым, молдавиты – к ультраосновным. Силика-глассы и импактиты соответствуют песчаным породам различной степени чистоты.

По отношению  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$  выделяются три отдельных группы:

- 1) молдавиты, тасманиты и импактиты 0–25% отн.  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $100\text{--}75\% < \text{K}_2\text{O}$ );
- 2) все другие тектиты 25–75% отн.  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $75\text{--}25\% \text{K}_2\text{O}$ );
- 3) ливиты – до 100%  $\text{Na}_2\text{O}$  (0%  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Первая группа более всего соответствует песчаным осадочным породам, вторая – в целом магматическим, ливиты аналогов не имеют.

Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  в тектитах колеблется в меньших пределах: от 0,82 до 4,67%, дисперсия (среднеквадратичное отклонение) 27,1% отн.; небольшая асимметрия того же характера, что у  $\text{Na}_2\text{O}$ , обеспечивает отношение  $M_e > M_o$ ; превышение моды над среднеарифметическим на 0,45%. Отдельные виды по  $\text{K}_2\text{O}$  делятся на группы: ливиты 0,01%, тасманиты 1,07%, импактиты и тектиты Африки 1,53–1,54%, основная группа тектитов 1,85–2,40%, молдавиты 3,05%, американиты 4,24%. Таким образом, здесь, как и в случае с  $\text{Na}_2\text{O}$ , происходит отделение молдавитов и американитов от других тектитов. Сравнение с горными породами показывает, что тектиты более всего соответствуют средним породам, американиты и отчасти молдавиты – кислым, а силика-глассы и импактиты – песчаным осадочным различной степени чистоты.

Сопоставление данных [3; 9; 11] позволяет охарактеризовать особенности химического состава отдельных видов тектитов и силика-глассов.

Молдавиты содержат много  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и мало  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ; соответственно для них являются характерными высокие отношения  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$  и низкие отношения  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ . Важные диагностические признаки: содержание  $\text{FeO}$  2,42%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,63%,  $\text{K}_2\text{O}$  3,05% и отношения  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 8$ ,  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,8$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO} = 48$ . Молдавиты различаются между собой по содержанию  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,15 и 0,32% соответственно),  $\text{MnO}$  (0,09 и 0,26%) и отчасти  $\text{SiO}_2$ .

В целом молдавиты по химическому составу резко отличаются от других тектитов, но по отдельным показателям обнаруживают сходство с индошинитами и австралитами, а также тасманитами, тектитами Явы и импактитами.

Индошиниты характеризуются небольшим содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; по  $\text{SiO}_2$  они резко отделяются от тектитов Индонезии, Филиппин и Африки, по содержанию  $\text{FeO}$  и  $\text{MnO}$  – от молдавитов. Очень типичным является высокое отношение  $\text{SiO}_2 : \text{MgO} = 35$ . Отдельные территориальные группы индошинитов разнятся по следующим признакам: содержание  $\text{SiO}_2$  наибольшее в Хайнане (74,52%), к Лаосу оно уменьшается и затем увеличивается в Таиланде и Камбодже. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  наименьшее (11,98%) в тектитах Хайнаня и наибольшее в Лаосе. В образцах из Таиланда очень мало  $\text{TiO}_2$  (0,79%),  $\text{FeO}$  (4,18%) и  $\text{MnO}$  (0,10%), в образцах из Чунгбо (Центральный Вьетнам) много  $\text{FeO}$  (5,40%). Наибольшее количество  $\text{GaO}$  в Бакбо (Северный Вьетнам) (3,24%), но в других районах оно постепенно уменьшается: до 2,63% в Таиланде, 2,15% в Камбодже и 2,48% на Хайнане; количество  $\text{MgO}$  возрастает от Хайнаня (1,85%) и Таиланда (1,87%) по направлению к Чунгбо (2,33%). Количество  $\text{Na}_2\text{O}$  закономерно увеличивается от Хайнаня (1,13%) на запад – Бакбо и Чунгбо по 1,37%, Камбоджа и Лаос 1,63 и 1,65% и, наконец, Таиланд 1,80%; содержание  $\text{K}_2\text{O}$  наибольшее в образцах из Таиланда и Лаоса (2,67 и 2,68%) и наименьшее – из Бакбо (2,06%). Трудно сказать, подтверждаются ли отмеченные закономерности дальнейшими исследованиями. Очевидно только одно: территориально индошиниты связаны друг с другом, и краевые районы, не имея самостоятельного значения, испытывают влияние соседних тектитных полей. В целом индошиниты очень сильно тяготеют к биллитонитам и в меньшей степени – к молдавитам, филиппинитам, тектитами Африки.

Биллитониты характеризуются относительно высоким содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и низким содержанием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Более всего они тяготеют по составу к индошинитам, австралитам, филиппинитам, а также тектитами Явы и Африки. Из основных районов распространения биллитонитов о. Белитунг заметно отличается по высокому содержанию  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и низкому содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от Борнео и Малайзии; при этом последние два несколько разнятся между собой по  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; образцы Белитунга и Борнео совпадают только по  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а Малайзии и Белитунга по  $\text{FeO}$  и  $\text{MgO}$ . В целом биллитониты по составу ближе подходят к индошинитам, затем к австралитам, филиппинитам, тектитами Явы и Африки.

Филиппиниты отличаются относительным преобладанием окислов щелочноземельных металлов ( $\text{GaO}$  и  $\text{MgO}$ ) и небольшим содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Наибольшее родство они обнаруживают к тектитами Явы, также биллитонитам, тектитами Африки, австралитам, индошинитам, а из отдельных территориальных групп последних – к представителям Камбоджи, Таиланда, Тонкина и Лаоса. Однако присутствие на Филиппинах нескольких обособленных групп тектитов при отдельном рассмотрении может изменить соотношение перечисленных связей.

Австралиты имеют высокое содержание  $\text{GaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , низкое содержание  $\text{SiO}_2$  и низкую величину отношения  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2 = 66$ , что несколько отдаляет их от других видов тектитов. Сравнение анализов по отдельным штатам Австралии обнаруживает сильные колебания. Резко отделяются от других некоторые образцы из штата Виктория, в среднем для штата дающие отклонение в большую сторону для  $\text{TiO}_2$  (1,45%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,42%),  $\text{FeO}$  (7,7%),  $\text{CaO}$  (5,31%),  $\text{MgO}$  (3,16%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (2,08%) и в меньшую – для  $\text{SiO}_2$  (63,43%) и  $\text{K}_2\text{O}$  (1,91%). Австралиты Нового Южного Уэльса содержат много  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15,42%),  $\text{K}_2\text{O}$  (2,50%) и мало  $\text{TiO}_2$  (0,08%); образцы из Южной Австралии и прилегающих районов Северной территории содержат много  $\text{SiO}_2$  (77,27%) и мало  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,19%),  $\text{FeO}$  (3,32%),  $\text{CaO}$  (2,75%),  $\text{MgO}$  (1,68%), а также  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,37%); образцы из Западной Австралии содержат много  $\text{MnO}$  (0,42%). При рассмотрении перечисленных

территориальных групп устанавливается очень большое сходство образцов Южной Австралии с молдавитами и других штатов (кроме Виктории) – с филиппинитами и отдельными группами Индонезии и Индокитая. Тектиты Виктории в общем не имеют аналогов.

Американиты резко выделяются своим необычным составом: большим содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , малым содержанием  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , высоким отношением  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO} : \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$ . Очень характерными для них являются: содержание  $\text{TiO}_2$  0,05%,  $\text{FeO}$  0,61%,  $\text{CaO}$  0,52%,  $\text{MgO}$  0,19%.  $\text{Na}_2\text{O}$  3,58%,  $\text{K}_2\text{O}$  4,28% и отношения  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2 = 1500$ ,  $\text{CaO} : \text{MgO} = 2,8$ . Образцы Перу и Колумбии различаются по количеству  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Тасманиты отличаются от всех известных природных стекол и в первую очередь от тектитов. Для них характерны: относительно большие количества  $\text{SiO}_2$  и малые количества  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , высокие отношения  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO} : \text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$  и низкие отношения  $\text{CaO} : \text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ . Диагностическими признаками являются: содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,69%,  $\text{FeO}$  1,54%,  $\text{MgO}$  0,68%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,11%,  $\text{K}_2\text{O}$  1,07% и отношения  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 12,6$ ,  $\text{CaO} : \text{MgO} = 0,1$  ( $\text{CaO} < \text{MgO}$ ). По отдельным химическим показателям тасманиты более всего соответствуют импактитам, отчасти ливитам, а из тектитов – молдавитам и тектитам Явы.

Импактиты содержат относительно много  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и мало  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , высокое отношение  $\text{FeO} : \text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$  и низкое  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ . Диагностические признаки:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,88%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2,32%,  $\text{GaO}$  1,32%,  $\text{MgO}$  1,13%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,22%,  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 17,3$ . По содержанию  $\text{Na}_2\text{O}$  и отношениям  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$  импактиты соответствуют силика-глассам, а по содержанию  $\text{FeO}$  и другим признакам – некоторым тектитам.

В целом тектиты по химическому составу более всего соответствуют магматическим породам, в частности, средним их типам (по  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и отношениям  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$ ). По отдельным показателям они приближаются также к другим типам магматических пород: основным, ультраосновным, а также каменным метеоритам (по  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO} : \text{MgO}$  и др.) и в меньшей степени – кислым породам (по  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ ). Химические показатели тасманитов дают перевес в сторону песчаных пород (по  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ ), а ливитов – в сторону чистых кварцевых песков (по  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$  и др.). Импактиты очень четко соответствуют всем песчаным породам (по  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO} : \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O} : \text{K}_2\text{O}$ ).

Таким образом, по ряду химических признаков: малой дисперсии аналитических данных, соотношению между «основными» и «кислыми» компонентами, малому содержанию летучих веществ – тектиты заметно отличаются от всех геологических пород, включая такие внешне близкие к ним образования, как кварцевые песчаники и силика-глассы, преобразованные при ударе метеоритов или молний в силикатные породы.

В вопросе о происхождении тектитов многие исследователи отдают предпочтение гипотезе, предложенной Л. Спенсером [12; 13]. В поисках аналогий он изучил некоторые метеоритные импактиты и выдвинул предположение, что тектиты также образовались при взрывах гигантских метеоритов на Земле. Однако практически непреодолимое препятствие для этой гипотезы – отсутствие видимой связи многих тектитовых полей с какими-либо кратерами и астроблемами. Даже при наличии таких связей невозможно объяснить разлет расплава из кратера на расстояния в сотни километров с последующим выпадением тектитов компактными роями и отсутствие их как в самом кратере, так и в его окрестностях. В результате ученые постепенно перешли от метеоритного варианта к астероидному: тектиты могли образоваться при столкновении Земли с астероидами, вследствие чего продукты взрыва становились

временными спутниками Земли и затем выпадали над определенным районом земного шара. Такая схема увеличивает вероятность превращения исходного вещества в гомогенное стекловатое состояние, хотя механизм этого процесса до сих пор остается неясным.

Вторая гипотеза, основоположником которой является Э.В. Соболевич [14], предполагает, что тектиты представляют собой экранизированный льдом и замерзшими газами материал ядра кометы и поэтому не содержат космогенных изотопов. Комета могла пройти через верхние слои атмосферы или разрушиться на подступах к Земле и оставить след в виде тектитового поля. Такая гипотеза объясняет факты существования близких групп тектитов в Австралии и Юго-Восточной Азии (в т.ч. находку в Лаосе и Таиланде обломков тектитового тела общей массой около 100 кг). Наибольшее свое развитие, причем преимущественно с геологических позиций, идея кометной доставки получила в работах Э.П. Изоха [15]. Достоинство гипотезы кометной доставки состоит в том, что она способна объяснить особенности распределения тектитов на Земле, а также строение отдельных их ареалов и полей.

Тектиты выпадали на Землю, образуя поля рассеяния площадью от десятков тысяч до миллионов квадратных километров, с плотностью, обратно пропорциональной этим площадям. Подобные акты происходили неоднократно в течение геологической истории Земли. Поля могли накладываться одно на другое. Каждое поле имеет по физическим и химическим свойствам концентрическое или близкое к нему строение, не отвечающее петрографической и петрохимической картине данного региона. В целом каждое поле настолько же отличается от других полей по ряду признаков (форме, скульптуре, развитию прогресса дробления, физическим свойствам, химическому составу), указывающих на иные условия образования и эволюции, насколько имеет с ним много общего, позволяя противопоставлять тектиты, с одной стороны, всем геологическим объектам, а с другой – известным классам метеоритов и метеоритным импактатам.

После выпадения тектиты вели себя как рядовые геологические тела и в зависимости от возраста и местных геоморфологических условий подвергались большему или меньшему перераспределению вместе с другими обломочными объектами, концентрируясь в низинных участках, а в фациальном отношении – в молодых песчаных и песчано-галечных отложениях. Интенсивная геологическая транспортировка приводила к частичному дроблению, нивелированию скульптуры, сопровождающемуся уменьшением интенсивности характерного для тектитов блеска, а в галечниковых слоях и почве тектиты могут не отличаться от обычной гальки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев, Е.В. Появление тектитов на Земле / Е.В. Дмитриев // Природа. – 1998. – № 4. – С. 17–25.
2. Баранов, Н.Н. К вопросу о происхождении и возрасте тектитов / Н.Н. Баранов, М.А. Богдасаров // Материалы IV межвуз. науч.-метод. конф. молодых ученых, Брест, 15–17 мая 2002 г. / Брестс. гос. ун-т; под общ. ред. В.С. Секержицкого. – Брест, 2002. – С. 3–4.
3. Воробьев, Г.Г. Проблема тектитов и силика-глассов / Г.Г. Воробьев // Метеоритика. – 1960. – Вып. 19. – С. 26–62.
4. Кринов, Е.Л. Тектиты / Е.Л. Кринов // Природа. – 1946. – № 12. – С. 15–26.
5. Малюга, Д.П. К познанию природы тектитов / Д.П. Малюга // Метеоритика. – 1949. – Вып. 6. – С. 92–99.

6. Левинсон-Лессинг, Ф.Ю. О химизме тектитов / Ф.Ю. Левинсон-Лессинг // Доклады АН СССР. – 1935. – Т. 56, № 4. – С. 181–184.
7. Левин, Б.Ю. Средний химический состав метеоритов / Б.Ю. Левин, С.В. Козловская, А.Г. Старкова // Метеоритика. – 1956. – Вып. 14. – С. 38–53.
8. Явнель, А.А. Химический состав метеоритов / А.А. Явнель, М.Н. Дьяконова // Метеоритика. – 1958. – Вып. 15. – С. 136–151.
9. Кваша, Л.Г. Векторная диаграмма химических составов тектитов и земных лав / Л.Г. Кваша, Г.С. Горшков // Метеоритика. – 1961. – Вып. 20. – С. 193–203.
10. Виноградов, А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре / А.П. Виноградов // Геохимия. – 1956. – Т. 1, № 1. – С. 6–52.
11. Тектиты / под ред. Дж. О'Кифа. – М. : Мир. – 1966. – 303 с.
12. Spencer, L.J. Origin of tektites / L.J. Spencer // Nature. – 1933. – № 131. – P. 117–118.
13. Spencer, L.J. Origin of tektites / L.J. Spencer // Nature. – 1933. – № 132. – P. 571.
14. Соботович, Э.В. Лунное или кометное вещество / Э.В. Соботович // Природа. – 1967. – № 8. – С. 90–91.
15. Изох, Э.П. Парадокс возраста тектитов и полей их выпадения / Э.П. Изох // Метеоритика. – 1985. – Вып. 44. – С. 127–134.

***Bogdasarov M.A. Physicochemical Peculiarities of Tektites***

The work is about detailed physicochemical peculiarities of tektites. Physical property and chemical composition of tektites has been studied and it is confirmed that tektites from different parts of the Earth belong to various systematic groups. It is found that according to a number of chemical features tektites much differ from all other geological rocks including quartzose sandstone and silica-glass transformed into silicate rocks after stroke of meteorite (lightning, etc.).

Рукапіс паступіў у рэдкалегію 21.12.2011