

*Ю. С. Каретин*

## К ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ РАЗРЕЗА УРАЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СГ-4

В 1996 г. автором создана компьютерная база по геохимии вскрытых скважиной СГ-4 вулканических формаций - для 160 пересчитанных на бескарбонатное сухое вещество анализов вулканитов из нормально наслоенного разреза, из них 65 авторских, отобранных из лавовых фаций и крупных обломков в туфах и 5-6 из мелкообломочной массы туфов. Сортированные тефрои́ды не анализировались, анализы метасоматически измененных пород отбракованы, анализы из даек выделены отдельно. По тем же критериям отобран материал других исследователей - ВСЕГЕИ, ИГЕМа, Уралгеолкома, ГНПО "Недра", ЦНИГРИ. На основе обработки этих и петрографических (в том числе просмотра более 2500 шлифов) материалов уточнено строение вскрытого по СГ-4 разреза:

40-430 м - эффузивная пачка в основном базальтовых, андезибазальтовых лав, в инт. 130-252 м - также ферробазальтов и палеоисландитов;

430-3070 м - монотонная толща грубообломочных и агломерато-грубопесчаных туфов основного состава типично именновского облика: никак не обработанный шлаковый и миндалекаменный материал обильно-крупнопорфировых (4-8 мм) обычно плагиоклаз-двупироксеновых базальтов и андезибазальтов, нередко содержит примесь плагиофировых андезитов и калиевых базальтов и образует пласты и их серии мощностью до 20-70 м, разделенные прослойками песчаных тефроидов; на 1920-1940 м и около 3000 м появляются подводно-морские флишoids с темными алвропелитами в верхах ритмов;

3070-3468 м - переслаивание туфов плагиофировых андезитов, местами с примесью базальтового материала, и песчаных тефроидных флишoids того же состава; с 3280 м

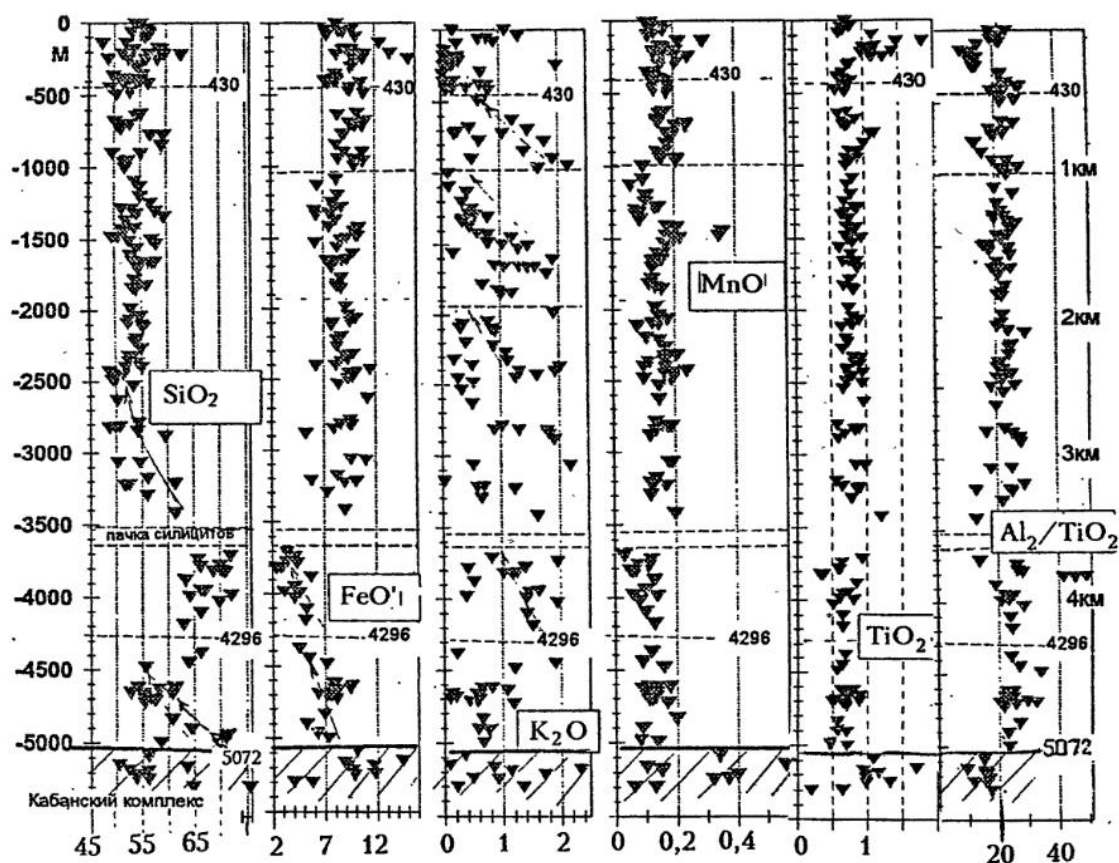


Рис. 1. Геохимический разрез по СГ-4, интервал глубин 0 - 5300 м (фрагмент для  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и других параметров); данные по дайкам не показаны

туфы и тефроиды преимущественно более кислые - андезито-дацитовые, часто с обилием витрокластики в виде обрывков и комочков пемз и перлитов;

3468-5006 м - флишное чередование туфов подводных пирокластических потоков однородно риодацитового состава (также с пемзами, перлитами и обилием осколков плагиоклаза); в инт. 3850-4297 м чаще всего повторно перемещенных как подводно-оползневые массы; сопровождают их резко подчиненные по объемам флишное тефроиды того же состава и темные силициты верхов ритмов; в интервале 4297-4842 м пачка грубых туфов и потоки (4618,7 - 4713,6 м) андезитовых, андезибазальтовых лав;

5006-5072 м - пачка темных зеленовато-серых силицитов с обильными радиоляриями, в верхней половине - с прослойками кислых туфов и тефроидов; слоистость в разрезе ниже 2500 м большей частью пологопадающая, с глубины 4 км субгоризонтальная; 5072-5350 м - кабанский комплекс, представленный в инт. 5072-5076 м темными туфопесчаниками, переходящими вверх в алевропелиты и красные яшмоиды, а ниже красной сваренной пирокластикой афировых калиевых базальтов и исландитов, которая перемежается с потоками неокисленных лав того же состава и спилитов (на 5182-5215 м и др.) и кислого состава (5265-5312,4 м) (см. таблицу).

По керну зафиксированы не крупные, без милонитов, тектонические нарушения и зоны трещиноватости - на 560; 1800; 2510; 3480; 3560 м, но элементов тектонической сдвоенности разреза не обнаружено. Обозначенные в интервале 0,5-5 км пачки имеют нерезкие в общем условные границы - переходы путем постепенной смены состава и переслаиваний, например, андезитовая пирокластика совершенно одинакового петрографического облика распространена в интервале глубин от 600-900 до 4760 м; одинаковая витрокластика более кислых пемз и перлитов встречается в интервале от 2 до 5 км; флишное фации появляются с глубин 1920 м также еще в типично именновском типе разреза, сквозно прослеживаясь в нижнюю более дифференцированную часть разреза.

Единый целостный разрез одной формации до глубины 5 км получается и по независимым геохимическим данным: в базе данных построено около сотни диаграмм, и одна из их серий в совокупности представляет геохимический разрез и одновременно эволюционную последовательность изверженных пород, которая, как оказалось, по большинству компонентов выглядит закономерно природно упорядоченной, в виде единых для всего разреза до глубины 5 км прямолинейных трендов по  $\text{TiO}_2$ , Sc,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  и др., чаще же двух последовательных магматических ритмов при общей антидромной направленности смены состава во всем разрезе (рис.1). Выявлена и геохимическая ритмика более мелкого порядка для  $\text{K}_2\text{O}$  (и менее выраженно -  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и водных компонентов), видимо, отвечающая модели периодического накопления летучих и подвижных элементов в магматических камерах под вулканами и затем извержений все менее обогащенных ими порций расплава. В верхах вскрытого разреза появляется все больше геохимически примитивных (с низкими Sr,  $\text{K}_2\text{O}$ ) толеитов и их Ti-ферробазальт-исландитовых производных, которые, таким образом, завершают магматический мегацикл ранга формации. Кабанский комплекс четко обособляется на рис.1 от всего вышележащего разреза более широкими вариациями  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  и других параметров, что независимо от других аргументов подтверждает естественную делимость всего вскрытого разреза на две наиболее крупные единицы на глубине порядка 5 км.

Таким образом, намечавшаяся на основании визуального просмотра керна в интервале глубин от 1850 до 2300 м (у разных авторов) граница смены состава и, возможно, формаций, по данным изучения геохимии и петрографии вулканитов, как мы видим, не подтвердилась: в упомянутом интервале не просматривается никакой границы в трендах  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  (см: рис.1). Напротив, совокупность приведенных данных характеризует разрез до глубины 5072 м как закономерно построенный разрез одной - непрерывно дифференцированной - формации, целостный эволюционный мегаритм, начинающийся к тому же мощной базальной пачкой силицитов, соответствующей наиболее длительной авулканической паузе, явно межформационной. Этот для всех неожиданный результат (именновский андезито-базальтовый комплекс оказался лишь верхней нерезко обособленной частью разреза риолит-андезит-базальтовой формации) получен только благодаря бурению сверхглубокой скважины.

Установлена также геохимическая специфика названной формации: она сочетает в себе черты сходства сразу же с формациями зрелых островных дуг (хотя является первой из постеофиолитовых) и окраинно-континентальных поясов Андского типа на зрелой коре (более высокие, чем в дугах,  $\text{Sr}=440-700$  г/т, Nb, Zr, Cr, Ni, Sc,  $\text{Ni/Co}>1$ ). При этом по ниобию (3-13 г/т; вариации сопоставимы с полученными [4] на лабораторной базе ВСЕГЕИ) и цирконию (до 160-260 г/т) базальты ее несопоставимы с базальтами субдукционных островодужных обстановок, для которых индикаторны, наоборот, предельно низкие их концентрации (0,2-2 г/т и 15-65-110 г/т соответственно). Серия диаграмм сравнения с мировыми эталонами геодинамических обстановок, небольшая часть из которых приведена на рис.2, отражает эту специфику, в дополнение к [1]. Кроме того, калиево-натриевые по щелочности базальтоиды ее неожиданно обнаружили совсем не единичные черты сходства с рифтогенными толеитами континентальных областей: не только более высокими, чем в дугах,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Nb, Zr, Cr, Sc, K/Rb, но и резко пониженными Zr/Nb, Y/Nb (рис.2) и характерной для вулканизма рифтов бимодальностью всей ассоциации: базальты, андезибазальты составляют до 75% объема, кислая пирокластика до 15-20%, андезитовые лавы и туфы - не более 8-10 %. Лавы ферробазальтов и исландитов верхов разреза также сопоставимы с производными рифтогенных толеитовых серий (они афировые, соответственно с 1,8-1,1%  $\text{TiO}_2$ ; 16,5-10%  $\text{FeO}$ , обеднены подобно феррогаббро Скаергарда магнием - 6,4-3,5% MgO [1]). Установлено также, что в районе СГ-4 разрез формации формировался в четко морфологически выраженной грабеновой структуре шириной до 20 км [1]. Многообразная геологическая и геохимическая специфика рассмотренной формации объяснима: 1) вулканизм ее несет признаки развития на сохранявшейся во внутренней части отмершего офиолитового трога древней континентальной коре, 2) при геодинамическом режиме рифтогенеза, предположительно остаточного постеофиолитового типа. Сходный современный объект - вулканический рифт Таупо в континентальной коре Новой Зеландии на продолжении островной дуги Тонга. Изучение разреза СГ-4 в сопоставлении с геологией ее окружения позволяет понять место вскрытого ею разреза в геологических структурах. Оказалось, что спилиты и другие

**Химизм базальтов оси (1-2) и флангов(4 -12) главной зоны палеоспрединга этапа Оз  
S<sub>11</sub>- Тагильского офиолитового трога**

| Номер образца                  | 8751a | Скв.83 | Скв.86 | 8723  | 930   | 5614  |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Глубина, м                     |       | 66м    | 19м    |       |       | 9м    |
| N п.п.                         | 1     | 2      | 3      | 4     | 5     | 6     |
| SiO <sub>2</sub>               | 47,72 | 49,0   | 50,72  | 53,35 | 52,57 | 49,36 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,71  | 0,61   | 0,77   | 1,91  | 0,84  | 1,12  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14,73 | 13,92  | 14,80  | 15,26 | 15,34 | 16,07 |
| FeO`                           | 9,26  | 9,28   | 9,89   | 10,8  | 10,38 | 13,33 |
| MnO                            | 0,17  | 0,23   | 0,18   | 0,23  | 0,11  | 0,14  |
| MgO                            | 9,34  | 8,76   | 8,16   | 4,06  | 6,34  | 5,75  |
| CaO                            | 11,12 | 11,85  | 12,92  | 5,07  | 5,09  | 2,65  |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,45  | 2,66   | 2,87   | 5,54  | 4,15  | 4,60  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,09  | 0,35   | 0,05   | 0,05  | 1,39  | 1,32  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,08  | 0,08   | 0,10   | 0,47  | 0,09  | 0,28  |
| П.п.п.                         | 4,02  | 2,75   | 2,39   | 2,59  | 3,26  | 4,05  |
| Sr                             | 262   | 284    | 272    | 125   | 245   | 208   |
| Zr                             | 58    | 29     |        | 112   |       | 54    |
| Nb                             | 5     | 2      |        | 6,6   |       | 4     |
| Cr                             | 582   | 199    | 62     | 12    |       | 114   |
| Ni                             | 191   | 102    |        | 6     |       | 36    |

| Номер образца                  | Скв.7 | 33576 | 34130 | 34370 | 34422 | 34719 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Глубина, м                     | 613м  | 5087  | 5179  | 5239  | 5246  | 5296  |
| N п.п.                         | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
| SiO <sub>2</sub>               | 53,43 | 54,74 | 50,35 | 52,08 | 55,06 | 74,71 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,98  | 1,07  | 1,13  | 1,29  | 0,97  | 0,64  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16,41 | 16,01 | 18,12 | 15,00 | 15,21 | 11,19 |
| FeO`                           | 10,48 | 9,81  | 11,22 | 11,36 | 9,61  | 3,98  |
| MnO                            | 0,20  | 0,32  | 0,15  | 0,37  | 0,32  | 0,05  |
| MgO                            | 4,89  | 4,81  | 6,09  | 4,30  | 4,55  | 1,39  |
| CaO                            | 4,11  | 2,85  | 1,48  | 5,57  | 6,40  | 1,09  |
| Na <sub>2</sub> O              | 4,20  | 5,97  | 4,53  | 4,16  | 2,83  | 4,64  |
| K <sub>2</sub> O               | 2,21  | 0,34  | 2,24  | 0,49  | 0,91  | 0,22  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,12  | 0,18  | 0,10  | 0,19  | 0,14  | 0,19  |
| П.п.п.                         | 2,26  | 3,16  | 4,24  | 3,86  | 2,61  | 1,28  |
| Sr                             | 300   |       | 400   |       |       |       |
| Zr                             | 61    |       |       |       |       |       |
| Nb                             | 2     |       |       |       |       |       |
| Cr                             | 98    |       | 20    |       |       |       |
| Ni                             | 26    |       | 12    |       |       |       |

**Примечание.** 1 - из дайки мелкозернистого диабазы оси палеоспрединга, секущей среднезернистые уралитовые габбро 2 - габбро в 0,5 км восточнее оси; 3 -11 - базальты флангов: диабазы в 0,5 км западнее оси (3) и в 2 км западнее оси (4); афировые базальты,спилиты обнажений в 3 км (5) и 5 км (6) восточнее оси,и скв. 7 (7) и СГ-4 (8-11) восточнее оси, рис.3; 12 - плагиориолит из лавового потока среди спилитовых афиритов СГ-4.

афировые базальтоиды кабанского комплекса интервала 5076 - 5265 м по особенностям химизма естественным образом встраиваются в латеральную геохимическую зональность, вместе с базальтами выступающей западнее на поверхность части кабанского комплекса и еще западнее спилит-диабазового комплекса офиолитовых базальтов, как ее фланговая часть. Зональность установлена по 17 пунктам опробования в широтном пересечении протяженностью 13 км, путем построения компьютерных диаграмм, по горизонтальной оси которых откладывались расстояния от СГ-4 до пунктов опробования, и оказалась сходной с известной у неовулканической рифтовой зоны Исландии: в очень узкой, 1-1,5 км, зоне оси палеоспрединга, трассируемой в 10 км западнее СГ-4, очень короткое время в конце ордовика формировались офиолитовые габброиды и толеитовые базальты, геохимически сопоставимые с толеитами N-типа океанических рифтов (см. таблицу). Оставаясь такими же афировыми низкостроениевыми, эти базальты в обе стороны от оси очень быстро сменяются разностями, все более обедненными хромом, никелем, магнием,

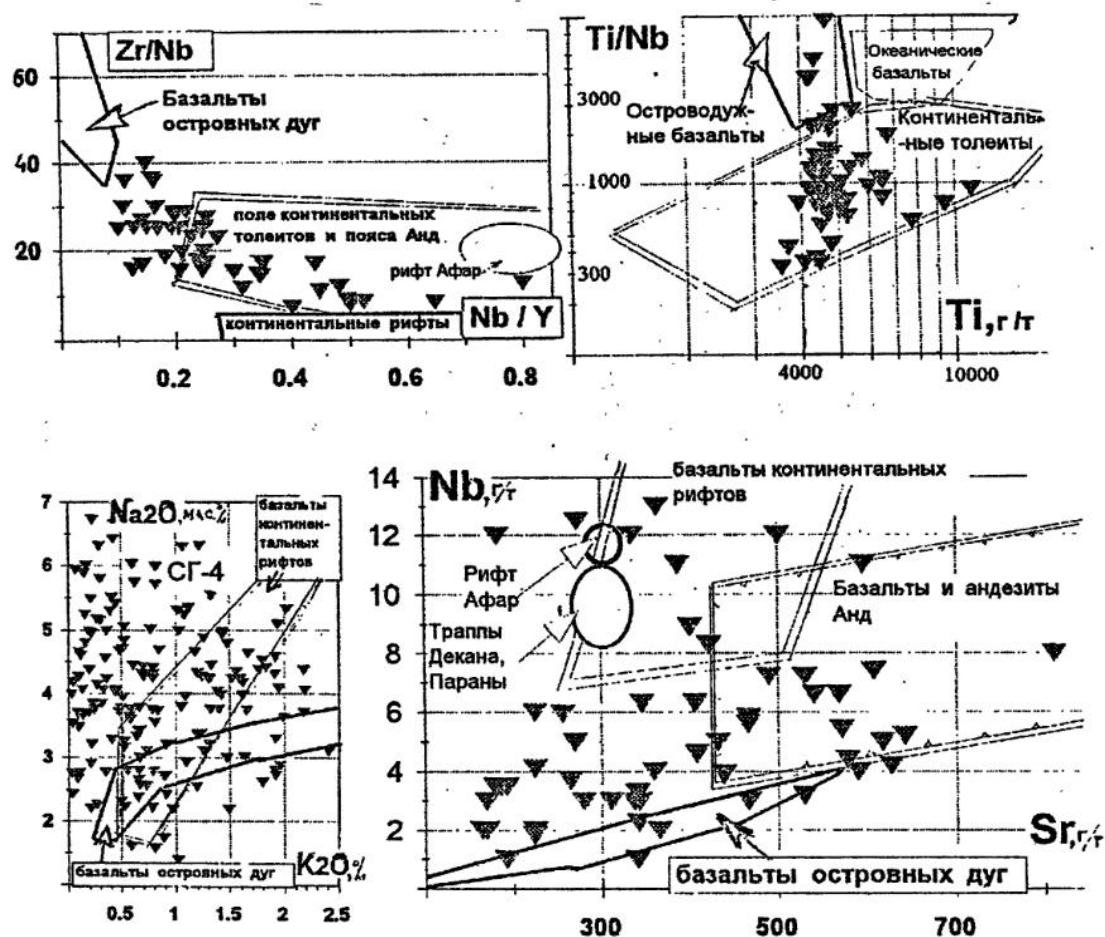


Рис. 2. Некоторые параметры геохимии базальтов - андезитов риолит-андезит-базальтовой формации разреза СГ-4 (показаны залитыми треугольниками), в сопоставлении с эталонными для различных геодинамических обстановок, взятых из многочисленных публикаций

все более богатыми щелочами, титаном и железом (рис.3), вплоть до ферробазальтов, исландитов и субщелочных калиевых базальтов. Поражает линейность выявленных трендов по большинству параметров химизма. Она соответствует простой линейной зависимости концентраций от расстояния до осевой, стволовой зоны единой магматической системы, подобной тем, что присущи океаническим рифтам. Одно из важных следствий обнаружения единой с базальтами спилит-диабазового комплекса зональности "кабанских" ее членов - принадлежность последних также к офиолитовой ассоциации. Другие авторы считают кабанский комплекс и его аналоги раннеостроводужными, с чем не согласуются многие факты [2], в том числе более высокие, чем у толентов юных дуг, содержания ниобия и отсутствие среди колчеданно-рудных объектов, присущих дугам месторождений типов Куроко и Бесси. Другое следствие - зональность соответствует целостной существенно ненарушенной палеорифтовой структуре.

Совокупность данных свидетельствует о масштабной нестандартности [3] проявленного здесь геодинамического цикла. Важнейшие ее элементы по модели автора: 1) вариант эволюции короткоживущих центров спрединга, отмирающих, как известно, без сопряженности с процессами субдукции и коллизии плит, 2) в модификации для подвижных поясов, связанных с развитием в зоне мобильного шва между литосферных плит континентов; 3) шов этот - в виде сейсмофокальной зоны несубдукционной природы - на границе физически разнородных сред, вдоль которой на офиолитовой стадии цикла как вдоль стенки, согласно известной модели, поднимался мантийный диапир, а затем [4] на постофиолитовых этапах эволюции - его остаточные порции, 5) толентовые выплавки из них в обстановке рассеянного остаточного рифтогенеза задерживались в деструктирован-

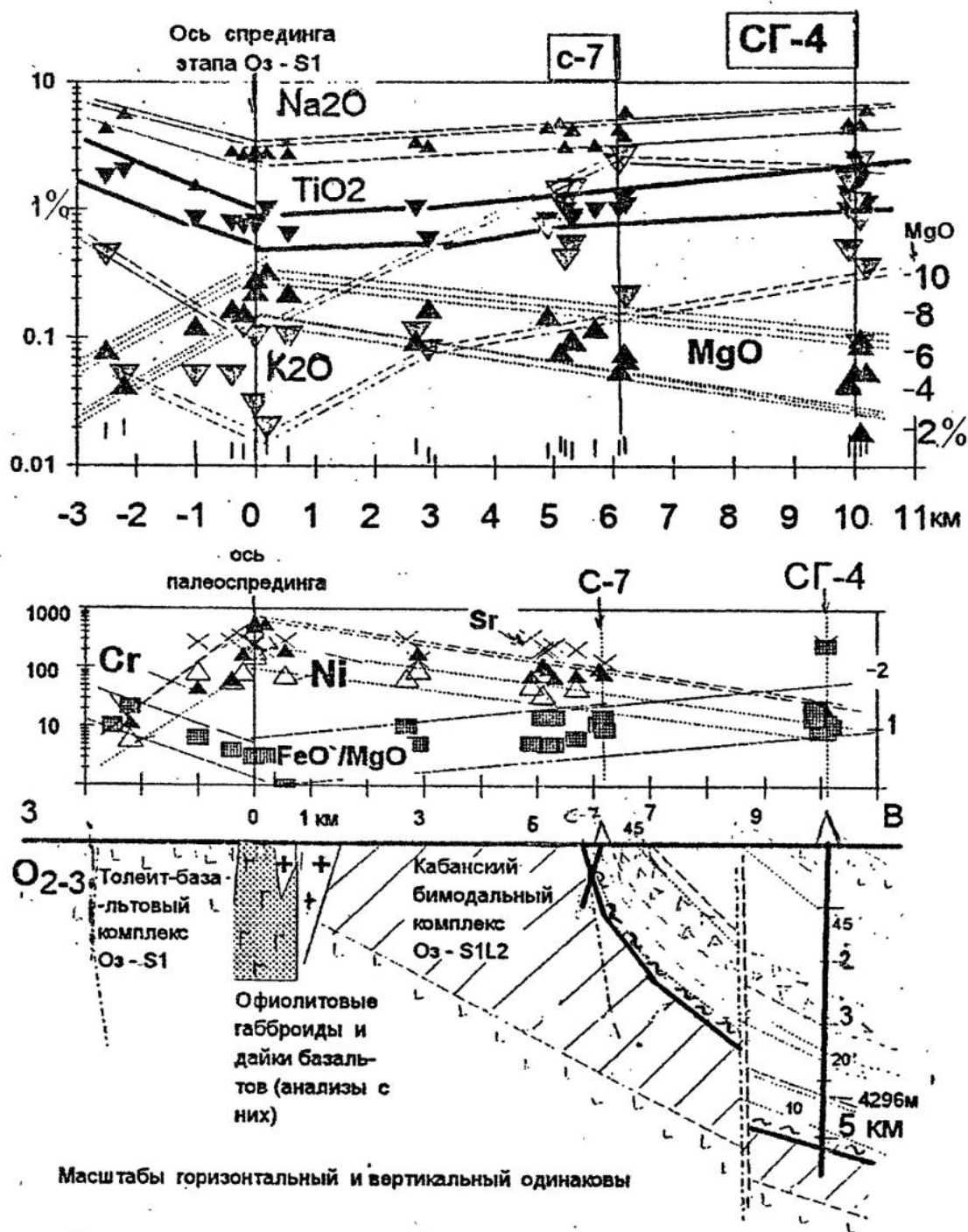


Рис. 3. Геохимическая зональность базальтов офиолитовой ассоциации этапа  $O_3-S_1$ , выступающих на поверхность и погруженных на глубины 600-700 м (скв. 7) и 5080-5300 м (СГ-4) в широтном профиле протяженностью 13 км

ной древней континентальной коре, контаминируясь ее материалом (Sr, K, Ba и др.); 6) такая сейсмофокальная зона восточного (по данным сейсмотомографии) падения обусловила развитие латеральной зональности магматизма в масштабах всего подвижного пояса уралид, зафиксированной многими исследователями. Все это определило и общую эквивалентность магматизма здесь магматизму активных континентальных окраин, а также металлогению пояса уралид, в которой медноколчеданные офиолитогенные месторождения сочетаются с профилирующими железорудными (и платиноидов, золота), свойственными континентальным, но не палеоостроводужным областям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каретин Ю.С. Особенности геохимии и геодинамической природы вулканогенных образований разреза Уральской сверхглубокой скважины СГ-4 // Ежегодник-1994 / Институт геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1995. С.134 -137
2. Каретин Ю.С. Новые геологические данные по Уральской сверхглубокой скважине СГ-4 // Там же. С. 45 -47.
3. Каретин Ю.С. Строение и эволюция земной коры главного эвгеосинклинального пояса Урала на полигоне сверхглубокой скважины СГ-4// Основные научные достижения за 1992 - 1996 гг. /Институт геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1996. С. 166 -172.
4. Румянцева Н.А., Башта К.Г., Кукуй А.А. и др. Уральская СГС // Сверхглубокие скважины России и сопредельных регионов. С.-Пб., 1996. С. 96-12.