

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ТЕРМОБАРОГРАДИЕНТНЫХ ПОЛЕЙ ТРАПОВОГО ВУЛКАНИЗМА НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА (РОССИЯ)

Беляев Г.М., Юрченко Ю.Ю.

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского
(ФГУП «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург,
e-mail: georgy83@yandex.ru, yuri_yurchenko@vsegei.ru*

Общепризнано, что миграция химических элементов является основой непрерывно протекающего круговорота веществ в природе.

Различаются факторы миграции внутренние, зависящие от свойств самого химического элемента (строение его атома, размер, валентность и т.п.), и внешние – соотношение температуры, давления, состава среды (ее щелочность или кислотность, окислительно-восстановительная обстановка и т.п.). В зависимости от природных условий элементы могут иметь различную миграционную способность, но тем не менее эмпирически выделяются элементы с очень высокой миграционной способностью – Cl, Br, I, N, B, K, Na, с высокой – Rb, Ca, Ge, U, Fe, со средней – Al, Si, Mg, TR, низкой – Ti, Zr, Nb, Ta, очень низкой – Cr, Pt, Pd. Качественно миграционная способность оценивается расстоянием, на которое переносится элемент из первичного субстрата, градиентом падения его концентрации, его участием в образовании руд различного генезиса, летучестью или растворимостью его соединений. Миграция химических элементов осуществляется в виде свободных атомов (инертные газы, пары ртути), в виде молекул (азот, кислород, пары воды, галоидно-водородные кислоты), легколетучих галогенидов неметаллов при вулканических извержениях и т.п., в виде ионов (в растворах и расплавах) как простых, так и комплексных и, наконец, в виде коллоидных частиц (золи, илистые частицы и т.д.), т.е. миграция происходит в жидком, газообразном и твердом состоянии и приводит к перераспределению химических элементов, к накоплению одних и удалению других, к их разделению и образованию новых сочетаний.

В данном контексте представляет интерес миграция химических элементов в термобароградиентных полях, т.е. под влиянием вариаций таких интенсивных термодинамических факторов, как температура (Т) и давление (Р).

Объектом исследования явились траппы Норильского района, хорошо изученные в петрохимическом отношении. За основу взята работа А.И. Альмухамедова и А.Я. Медведева [1986], которые констатировали что лавовая толща траппов мощностью более 3 км образовалась в 4 вулканических цикла, охватывающих по времени позднюю пермь (один цикл) и триас (три цикла). Наиболее вариабельны по химическому составу базальты пермского, инициального вулканического цикла, состоящего из трех свит (снизу вверх) – ивакинской, сыверминской и гудчихинской. Особенностью этого цикла является широкое развитие пикритовых разностей базальтов, близких по составу к исходным магмам. Петрогеохимические данные обработаны нами с использованием уравнений породных геотермобарометров [Беляев, Рудник, 1978; Юрченко и др., 2008], рассчитанных М.Ю. Ладыгиной (к.г.-м.н., с.н.с. ФГУП «ВСЕГЕИ») на основе сводки экспериментальных данных применительно к расплавам базальтового состава [Зеленокаменные..., 1988]:

$$P=79-1,09SiO_2-0,48Al_2O_3-0,3FeO-0,16MgO-0,12Na_2O, \text{ мас.}\%, \text{ кбар}$$

$$T^{\circ}C=1647-9SiO_2-161MnO-21MgO-11CaO, \text{ мас.}\%$$

Сравнительный анализ Р-Т условий образования базальтов пермского вулканического цикла Норильского района позволил сделать вывод, что с течением времени изливаются все более глубокие и более нагретые базальтовые лавы:

- ивакинская свита: $P=12,2$ (10-14) кбар, $T^{\circ}C=1160$ (1140-1191);
- сыверминская свита: $P=12,4$ (11-14) кбар, $T^{\circ}C=1219$ (1180-1259);
- гудчихинская свита: $P=15,7$ (13-21) кбар, $T^{\circ}C=1307$ (1183-1492).

Лавы с различными значениями P-T параметров по разному обогащены (+) или обеднены (-) микроэлементами относительно их средних содержаний в породах свиты:

ивакинская свита: (+) Rb, Sr, Ba; (-) V, Cr, Ni, Cu, Zr;

сыверминская свита: (+) V, Cr, Co; (-) Cu, Sr, Ba;

гудчихинская свита: (+) Li, V, Cr, Co, Ni, Cu; (-) Sc, Rb, Sr, Zr, Ba.

Вариации содержаний микроэлементов коррелируются с изменениями P и T исходных расплавов базальтовых магм:

– с повышением P возрастают содержания в лавах V, Cr, Co, Ni, Cu и понижаются содержания TiO₂, P₂O₅, Sc, Rb, Sr, Zr, Ba;

– с повышением T возрастают содержания V, Cr, Co, Ni, Cu и понижаются содержания TiO₂, P₂O₅, Sc, Rb, Sr, Zr и Ba.

То есть, влияние P (глубины зарождения) базальтовых магм и T их выплавления на распределение микроэлементов в конечных продуктах кристаллизации магм одинаково – повышение P и T способствует накоплению в исходных базальтовых расплавах V, Cr, Co, Ni, Cu и обеднению их Ti, P, Sc, Rb, Sr, Zr, Ba (как пример см. рис.).

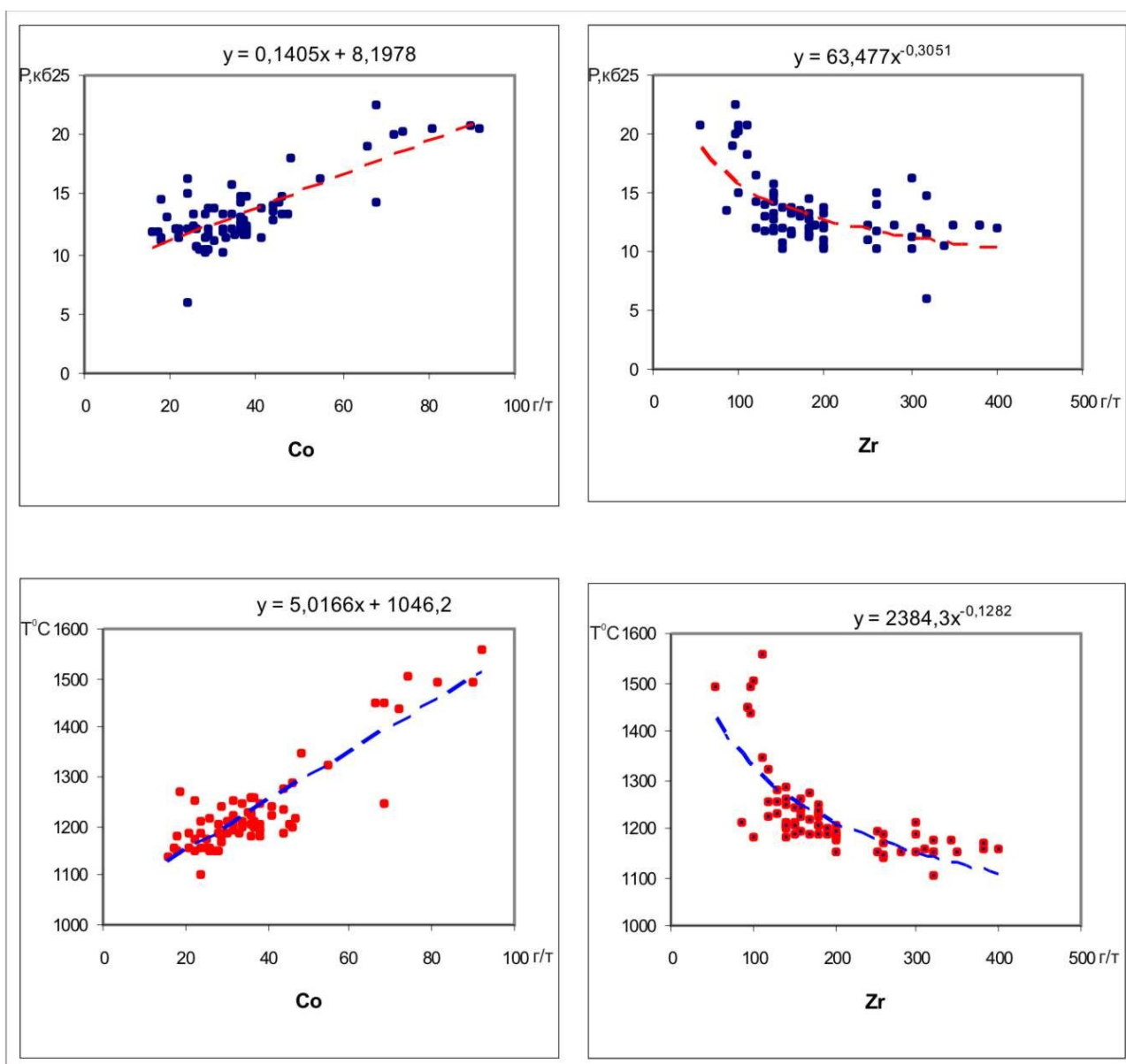


Рис. Примеры вариаций содержаний Co и Zr в базальтах Норильского района в зависимости от изменений давления и температуры.

В 1990 г. П. Лайтфут с соавторами [Lightfoot et al., 1990] опубликовали петрогеохимические данные, полученные при изучении разреза по глубокой скважине, пройденной в относительной близости к талнахской группе медно-никелевых месторождений Норильского района. Эта скважина вскрыла полный разрез вулканогенной толщи в интервале от ивакинской до мокулаевской свиты включительно. Слагающие толщи вулканические породы детально изучены комплексом геолого-петрографических и геохимических методов, которые были обработаны А.А. Маракушевым и Н.С. Горбачевым [1993] в аспекте геохимической типизации траппов. Петрохимические данные указанных исследователей обработаны нами по вышеизложенной методике с целью сравнения с выводами, полученными по материалам статьи А.И. Альмухамедова и А.Я. Медведева [1986].

Результаты обработки данных А.А. Маракушева и Н.С. Горбачева [1993] показали, что в базальтах триасовых циклов, по аналогии с пермским, с повышением P возрастают содержания Cr , Co и Ni и понижаются содержания Rb , Th , U ; с повышением T возрастают содержания Cr , Co , Ni и понижаются содержания Y , La , Ce , Ho , Er , Tm , Yb , Lu , Th , U .

Оценки P - T условий образования траппов Норильского района, полученные методом породной геотермобарометрии, показали, что они образовались (выплавились!) в диапазоне $P=10,0-21,0$ кбар (что отвечает глубинам 30-63 км) и $T^{\circ}C=1140-1492^{\circ}C$.

В.В. Золотухин и Ю.Р. Васильев [1975] определили нижнюю границу выплавления магм нормальных базальтов в 30 км, магм магнезиальных базальтов – в 70 км, что отвечает 10 и 23 кбар, соответственно. Эксперименты по плавлению лерцолитов показали, что толеитовые базальтовые магмы могут образовываться под давлением не более 15-20 кбар, а при более высоких давлениях появляются уже магнезиальные (пикритовые) расплавы [Золотухин, Малюк, 2001].

Температурные условия выплавления базальтовых магм оцениваются следующим образом.

Температура базальтовых магм современных вулканов достигает $1250^{\circ}C$.

Типичный для Сибирской платформы кварцевый толеит полностью расплавился при $1260\pm 5^{\circ}C$ и давлении в 1 атм [Альмухамедов, Медведев, 1995].

Температура образования магнезиальных траппов из районов р. Бахта (юго-запад Сибирской платформы), определенная по содержанию MgO в оливине, в среднем по 4 образцам составила $1250^{\circ}C$ [Золотухин и др., 1984]. Температура кристаллизации интрузивных пикритовых габбро-долеритов из этого же района оценена, по данным гомогенизации расплавных включений в оливине ранних генераций, диапазоном $1375-1400^{\circ}C$, в плагиоклазе – $1180-1200^{\circ}C$, в пироксене – около $1280^{\circ}C$. Основная расслоенная серия дифференцированных интрузий норильского типа, по данным гомогенизации расплавных включений, образовалась в диапазоне $1250-1350^{\circ}C$ [Золотухин, 1971]. По методу породной геотермобарометрии температура образования интрузивных траппов Норильского района отвечает диапазону $1265-1431^{\circ}C$ при среднем значении для 4 образцов $1345^{\circ}C$.

Таким образом, результаты оценок P - T условий образования траппов Норильского района, полученные методом породной геотермобарометрии, согласуются с оценками других исследователей.

Если рассматривать триасовые циклы вулканизма как единый цикл (в соответствии с оценками P - T условий), то для него устанавливаются тенденции поведения петрогенных компонентов и микроэлементов, аналогичные пермскому циклу. Так, в ряду базальтов от ранней надеждинской свиты через моронговскую к мокулаевской свите устойчиво возрастают содержания Fe , Ca , Cr , Ni , Ca , Cu , а также Zn , Y , Dy , Ho , Er , Tm и понижаются содержания Si , Al , K , Rb , Sr , Zr , а также Nb , La , Ce , Pr , Nd , Hf , Ta , Th , U .

Присутствие в лавовой толще, прежде всего в верхней части гудчихинской свиты, пикритовых базальтов с содержанием MgO до 13-18 мас. %, обогащенных Ni и Cu и близких в этом отношении к дифференцированным рудоносным базит-ультраосновным интрузиям, рассматривается как один из главных критериев потенциальной никеленосности площадей

Норильского района [Федоренко, Дюжиков, 1981]. Наряду с этим допускается, что трапповые породы связаны с иным, чем никеленосные интрузивы, мантийным источником – значительно более обширным, менее глубинным и не имеющим контроля со стороны определенных линейных тектонических структур [Федоренко, 1981].

Литература

Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. К геохимии инициальных стадий базальтового вулканизма // Геохимия вулканитов различных геодинамических обстановок. – Новосибирск: Наука, 1986. С. 49-69.

Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Экспериментальное исследование кристаллизации толеитового базальта при высоких P_{O_2} : модель формирования кислотной остаточности расплавов в процессах эволюции основных магм // Геология и геофизика. 1995. Т.36. №5. С. 55-63.

Беляев Г.М., Рудник В.А. Формационно-генетические типы гранитоидов. – Л.: Недра, 1978. – 168 с.

Зеленокаменные пояса фундамента Восточно-Европейской платформы (геология и петрология вулканитов) / Отв. ред. С.Б. Лобач-Жученко. – Л.: Наука, 1988. – 215 с.

Золотухин В.В. Трапповый магматизм и условия формирования рудоносных дифференцированных интрузий на Сибирской платформе // Траппы Сибирской платформы и их металлогения. Иркутск: ИЗК СО РАН, 1971. С. 53-59.

Золотухин В.В., Васильев Ю.Р. Основные проблемы платформенного магматизма. Статья 1. Глубинность магматических очагов в верхней мантии и ее роль в разнообразии проявлений магм // Геология и геофизика. 1975. №2. С. 3-10.

Золотухин В.В., Виленский А.М., Васильев Ю.Р., Межвилк А.А., Рябов В.В., Щербакова З.В. Магнезиальные базиты запада Сибирской платформы и вопросы никеленосности. – Новосибирск: Наука, 1984. – 225 с.

Золотухин В.В., Малюк Б.И. Проблемы петрологии ассоциирующих вулканогенных базитов и ультрабазитов древних платформ и их никеленосности (на примере коматиитов, коматиитоподобных пород и базальтов). – Новосибирск: филиал «Гео» Издательства СО РАН, Издательский дом «Манускрипт», 2001. – 242 с.

Маракушев А.А., Горбачев Н.С. Геохимические типы траппов в связи с генезисом медно-никелевых месторождений Норильского района // Геология рудных месторождений. 1993. Т. 35. №3. С. 284-288.

Федоренко В.А. Петрохимические серии эффузивных пород Норильского района // Геология и геофизика, 1981, №6. С. 78-88.

Федоренко В.А., Дюжиков О.А. Ультраосновной вулканизм Норильского района // Советская геология. 1981. №9. С. 98-106.

Юрченко Ю.Ю., Ладыгина М.Ю., Беляев Г.М. Опыт применения породной геотермобарометрии для оценки термодинамических условий образования магматических горных пород // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Мат-лы 14 Международной конференции. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, Ч.2, 2008. С. 382-384.

Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Gorbachev N.S., Doherty W., Fedorenko V.A. Geochemistry of the Siberian Trap of the Noril'sk area, USSR, with implications for the relative contributions of crust and mantle to flood basalt magmatism // Contrib. Mineral. Petrol. 1990. V. 104. №6. P. 631-644.