

рое повышение магнезиальности ортопироксена симплектитов от центра более крупных зерен к краю. Также обращает на себя внимание, что в симплектитах встречаются наиболее магнезиальные ортопироксены (X_{Mg} до 0,83-0,84). Все это позволяет предполагать, что при формировании симплектитов остаточные флюиды были обогащены магнием, который участвовал в реакциях разложения граната. Тогда реакция будет выглядеть следующим образом: $0.6Grt_{67} + 2.19Qtz + 1.75[Mg^{2+}]^{фл} + 1.68H_2O \rightarrow 1.96Opx_{83} + 0.29Sil + 3.35[H^+]^{фл}$

Согласно этой реакции, разложение граната на контакте с кварцем на сростки ортопироксен+силлиманит происходит при поступлении дополнительного количества магния из флюида в зону реакции и при повышении щелочности среды (реакция смещается вправо при повышении щелочности). Само же повышение щелочности остаточного флюида может быть связано со снижением давления (Bushmin S.A., 2000). В таких реакциях иногда участвует магнезиальный биотит. Его появление в правой части реакции связано с поступлением из флюида в зону реакции не только магния, но и калия.

Как было отмечено выше, среди симплектитовых структур встречаются случаи, когда при замещении граната вместе с ортопироксеном и силлиманитом в сростках возникают новый гранат и сапфирин. Такая реакция, по-видимому, может протекать только в условиях ограниченного доступа кремнезема в зону замещения, так как, судя по наблюдениям в шлифе, в составе таких симплектитов отсутствует свободный кварц. В нашем случае породы в целом обогащены кварцем, и поэтому такие случаи единичны. Но такая реакция может быть интересна для нас тем, что позволяет оценить внешние условия, которые вызвали ее протекание: $Grt_{67} \rightarrow Grt + Opx + Sil + Spr$. Расчет этой реакции в количественных координатах Р-Т обнаруживает сильную зависимость от давления и показывает, что появление сростков $Grt+Opx+Sil+Spr$ возможно при снижении давления от 11 кбар при $\sim 900^\circ C$ (Бушмин и др., 2006) до 9-7 кбар. Так как ортопироксен и сапфирин являются более магнезиальными минералами, чем исходный гранат, то нужно допустить использование дополнительного количества магния из остаточного раствора в зоне кристаллизации при повышении щелочности среды. Этот вывод согласуется с выводом о снижении давления при анализе вышерассмотренных ионных реакций симплектитообразования.

Таким образом, в образовании ортопироксен-силлиманитовых пород участвовали флюиды повышенной кислотности, насыщенные кремнеземом. Они вызвали растворение и переотложение минералов и минеральных парагенезисов. Второстепенное значение имело позднее образование ортопироксен-силлиманитовых симплектитов при разложении ранних матричных гранатов на фоне снижения Р (и возможно Т) при участии небольшого объема малоподвижного остаточного флюида повышенной магнезиальности и щелочности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта научной школы НШ- 4732.2006.5.

ЛИТЕРАТУРА

- Балаганский В.В., Глебовицкий В.А. Лапландский гранулитовый пояс и пояс Танаэля / В кн.: Ранний докембрий Балтийского щита. СПб.: Наука, 2005. С.127-175.
- Беляев О.А. Кислотное выщелачивание и сопряженный Fe-Mg метасоматоз в условиях гранулитовой фации / В кн.: Метасоматоз и метасоматиты в метаморфических комплексах докембрия. Апатиты: Изд. Кол. ФАН СССР, 1981. С. 10-19.
- Бушмин С.А., Доливо-Добровольский Д.В., Лебедева Ю.М. Инфильтрационный метасоматоз в условиях гранулитовой фации высоких давлений (на примере ортопироксен-силлиманитовых пород сдвиговых зон Лапландского гранулитового пояса). // ДАН. 2006.
- Глебовицкий В.А., Алексеев Н.Л., Доливо-Добровольский Д.В. Реакционные структуры и Р-Т режимы охлаждения глубинных образований Кандавакшско-Колвицкой структурно-формационной зоны, Кольский полуостров // Зап.ВМО. 1997. №2. С.1-22.
- Козлова Н.Е., Балаганский В.В., Богданова М.Н., Реженева С.А. Структурно-петрологическое изучение ортопироксен-силлиманитовой ассоциации лапландских гранулитов // Изв. АН СССР. 1991. Сер. геол. №4. С.66-76.
- Крылова М.Д., Прияткина Л.А. Гиперстен-силлиманитовая ассоциация в гранулитовом комплексе Порей Губы (юго-запад Кольского полуострова) // ДАН СССР. 1976. Т.226. №3. С.661-664.
- Подлесский К.К. Гиперстен в ассоциации с силлиманитом и кварцем как индикатор условий метаморфизма // ДАН. 2003. Т. 389. №1. С. 1-4.
- Bushmin S.A. Evolutional model of metasomatism in metamorphic cycle. In: Models and Modeling of geological processes and objects. Ed. V.Glebovitsky. Teophrastus. St.Petersburg. 2000. P.137-140.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРИДОТИТ-ПИРОКСЕНИТ-ГАББРОНОРИТОВОГО УЛИТАОЗЕРСКОГО МАССИВА

Липенков Г.В.¹, Сергеев А. В.¹, Васильева В.А.², Кузнецов В. А.²

¹СПбГУ, gleb_lipenkov@inbox.ru

²ФГУП «ВСЕГЕИ им Карпинского», Санкт-Петербург.

Улитаозёрский массив относится к нижнепротерозойской перидотит-пироксенит-габброноритовой формации. На Балтийском щите интрузии данной формации проявлены достаточно широко и с ними связан ряд месторождений: платиноидно-медноникелевых руд (Мончеплутон), малосульфидных платинометаллических руд

(г. Генеральская, Фёдорово-Панские тундры) и хромитов (Умбареченское и др.) (Юдин Б.А, 1980). Улитаозерский дифференцированный комплекс ранее не изучался достаточно детально на минералого-геохимическом уровне. Единичные геохимические данные свидетельствовали о его возможной перспективности на медно-никелевое и платинометальное оруденение (Чалых Е.Д., 1960). Задачи проведенного исследования включали в себя полевые работы по уточнению геологического строения массива, выявления его геохимических особенностей, а так же состава породообразующих минералов, что позволило определить перспективность его дальнейшего изучения и освоения.

Улитаозерский массив относится к группе расслоенных интрузивов формации перидотитов-пироксенитов-габброноритов северо-западного обрамления Печенгско-Имандра-Варзугской структурной зоны (Борисова В.В, 2004). Он расположен на северо-западе Мурманской области на южном берегу оз. Улита и имеет в плане неправильную, вытянутую в северо-западном направлении форму (рис. 1). Его длина составляет 4 км, при ширине от 0,5 до 1,7 км. Имея северо-западное простирание, массив залегает согласно с гнейсовидностью и сланцеватостью вмещающих пород. В геологическом строении площади принимают участие образования беломорской и кольской серий, представленные перислаиванием амфиболитов, амфиболовых плагиосланцев, плагиогнейсов, амфибол-биотитовыми и биотитовыми гнейсами.

В строении Улитаозерского массива выделяются следующие основные типы пород: оливиниты, перидотиты, пироксениты, габбронориты, метагабброиды (образуют узкую полосу, протянувшуюся вдоль контакта с субширотным разломом, отделяющим Улитаозерский массив от вмещающих гранито-гнейсов). В пределах массива выделяются также амфибол-гранат-плагиоклазосодержащие метасоматиты – наиболее измененные породы массива, приуроченные к крупному разлому, протягивающемуся в восточной части массива с севера на юг. Наблюдаемый в этой интрузии характер взаимоотношения пород позволяет отнести ее к дифференцированным комплексам ультраосновного – основного состава.

Геохимические исследования пород массива включали в себя: 1. Силикатный анализ – (30 проб) на породообразующие элементы (РСЛ ФГУП ВСЕГЕИ, спектрометр ARL-9800) 2. Полуколичественный спектральный анализ – (83 пробы) на редкие и рассеянные элементы (РСЛ ФГУП ВСЕГЕИ спектрометр СТЭ-1). 3. Содержания Pt, Pd определялись в 102 пробах пород массива атомно-абсорбционным анализом. (РСЛ ФГУП ВСЕГЕИ)

Установленная последовательность кристаллизации пород массива позволила проследить основные тенденции геохимической эволюции массива (Рис. 2). Сходное поведение SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , CaO в ходе формирования массива вероятнее всего связано с процессами кристаллизации плагиоклаза. Близкий характер поведения характерен и для калия. Антагонистом к этой группе элементов выступает MgO , что

связано с уменьшением доли магнийсодержащих минералов. Накопление TiO_2 и P_2O_5 происходило в основном к моменту образования метагаббро. Статистический анализ показывает, что эти элементы вместе с V образуют тесную корреляционную группу, характерную для апатит-титаномагнетитовых ассоциаций.

На большинстве графиков достаточно отчетливо прослеживаются две ветви: первая – от оливинитов до габбро - отражает основные закономерности магматического процесса, вторая – от габбро до амфиболитов связано с выносом рассматриваемых элементов в ходе наложенных метасоматических процессов. Геолого-петрографический анализ показывает, что основными постмагматическими проявлениями в породах массива являются образования соссюритовых и амфибол-гранатовых минеральных ассоциаций. Необходимо заметить, что измененные породы пространственно связаны с зонами разломов и тектонических нарушений.

Графики распределения некоторых редких и рассеянных элементов, сгруппированные по породным выборкам, представлены на рис. 3.

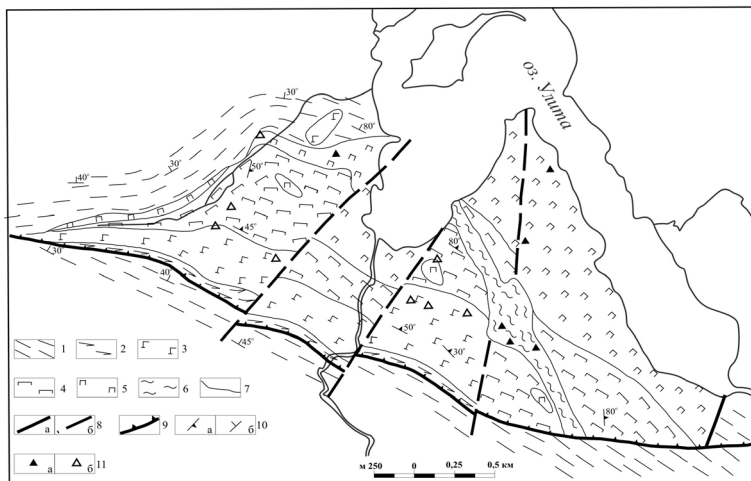


Рис. 1. Схематическая прогнозно-геологическая карта Улитаозёрского массива. Масштаб 1:25 000

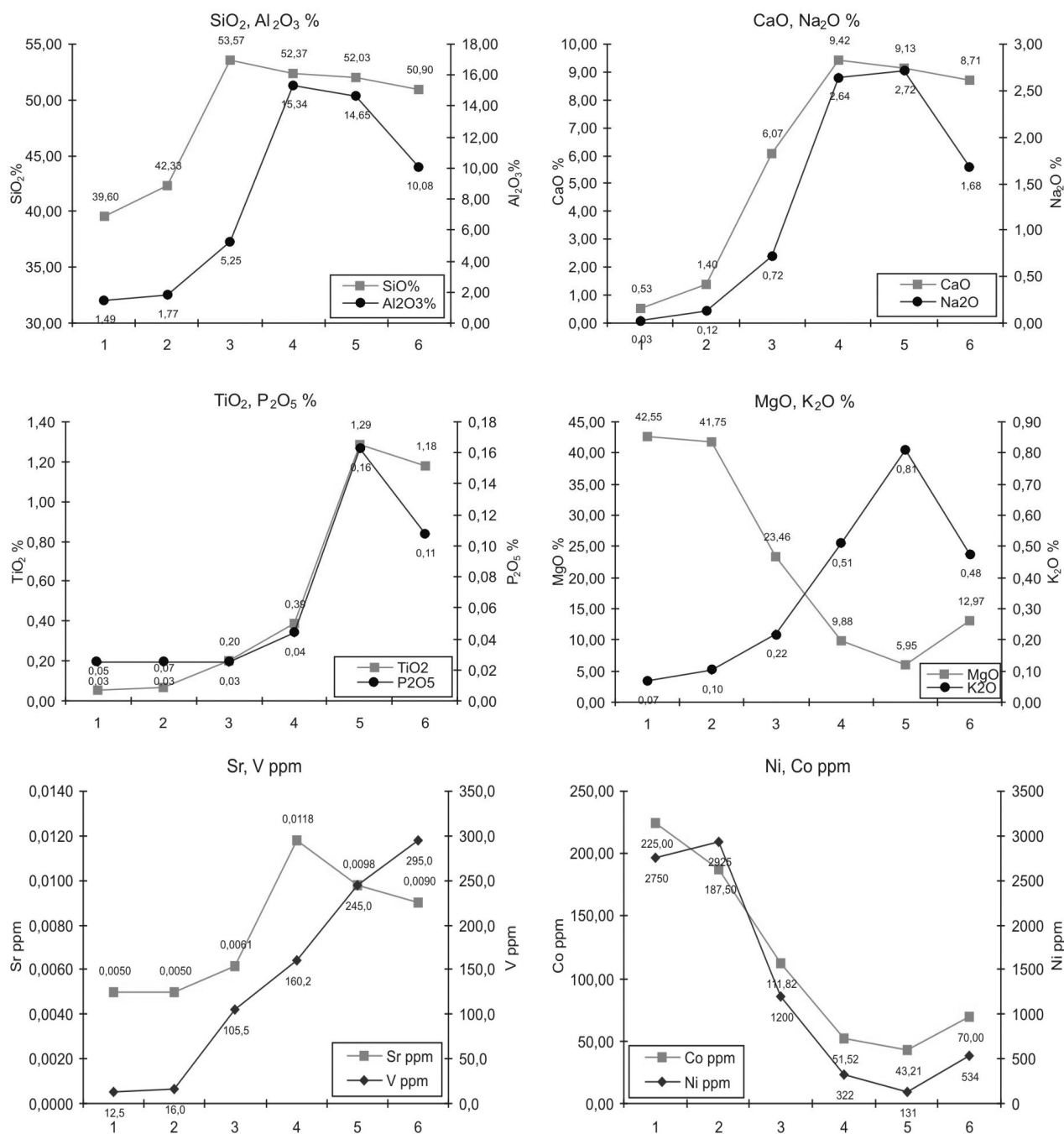


Рис. 2. Графики распределения содержаний редких элементов в различных породах Улитаозерского массива. Цифрами обозначены: 1.-оливиниты, 2.-перидотиты, 3.-пироксениты, 4.-габброиды, 5.-метагабброиды, 6- амфибол-гранат-плаггиоклазовые метасоматиты восточной части массива

Распределение Sr схоже с распределением SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO, что может быть связано с изоморфным замещением кальция стронцием в структуре плаггиоклазов. Накопление V происходило совместно с TiO₂ и P₂O₅, формируя титано-магнетит-апатитовую минерализацию, достигая максимума в метагаббро.

Для Ni и Co характерно отчетливое уменьшение концентраций от ранних фаз к более поздним, что определяется характерными для них схемами изоморфных замещений в оливине и пироксене.

Поведение Sc определяется накоплением его в амфиболах, либо в составе титано-магнетита.

Анализ корреляционных связей подтвердил, что поведение многих рассеянных элементов определяется схемами изоморфных замещений в породообразующих минералах: MgO образует тесные корреляционные связи с Co и Ni, что скорее всего указывает на вхождение этих элементов в структуру оливина и магнезиального пироксена, группа элементов, Al₂O₃, Na₂O, CaO тесно коррелирует с такими элементами как Sr, Ga, что говорит о вхождении их в состав плаггиоклазов. TiO₂, P₂O₅, Fe₂O₃, образует тесную корреляционную группу

как с типичными фемафильными элементами V, Mn, так и с литофильными K, Ba, Zr, Nb, Mo, Sn, что позволяет сделать предположение о метасоматическом характере титано-магнетит-апатитовой ассоциации.

Анализ результатов распределения платины и палладия в породах комплекса показал низкие уровни содержания этих элементов в пределах массива. Всего лишь в трех пробах, принадлежащих габбронориту, пироксениту и амфибол-гранат плагиоклазовой породе, был превышен порог чувствительности метода 0,03 г/т.

В ходе статистической обработки данных полуколичественного спектрального анализа для выявления расположения в теле исследуемого интрузива геохимических аномалий использовалась методика С.В.Григоряна (1987) для первичных ореолов. В качестве основных показателей геохимического поля использовались аддитивные (K_A) и мультипликативные (K_M) коэффициенты.

Использование аддитивного коэффициента ($TiO_2+V+P_2O_5$) позволило выявить в пределах массива геохимические аномалии, которые связаны с метасоматическими наложенными процессами (рис. 5). Из рисунка видно, что наиболее контрастные аномалии $TiO_2+V+P_2O_5$ приурочены к тектонической зоне северо-западно-го простирания, что подтверждает ранее сделанные выводы.

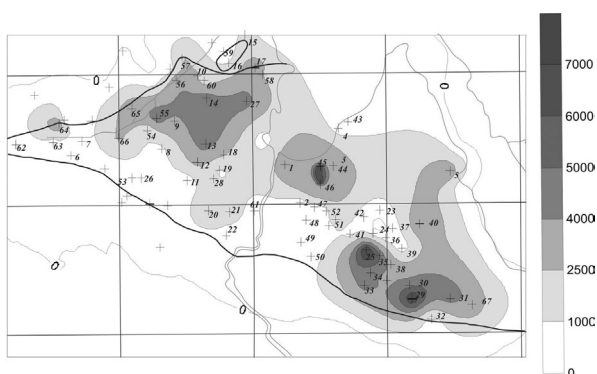


Рис. 4. Распределение значений аддитивного коэффициента $Ni+Co+Cr$ в породах Улитаозерского массива (содержания даны в ppm).

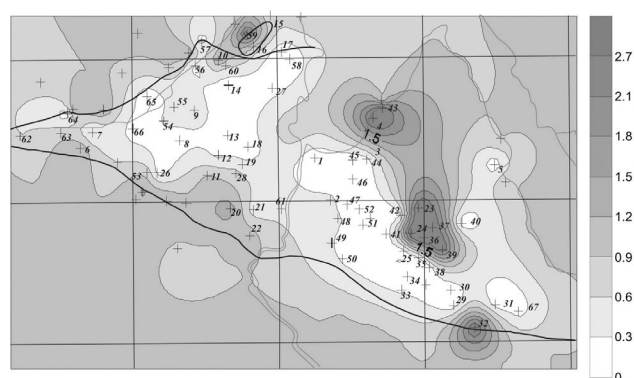


Рис. 5. Распределение значений аддитивного коэффициента $TiO_2+V+P_2O_5$ в породах Улитаозерского массива (содержания даны в %)

Применение: $K_A=Ni+Co+Cr$ позволило выделить в пределах массива три контрастные геохимические аномалии (рис 4). Первая аномалия располагается на северо-западе массива в пироксенитах преимущественно вблизи их контакта с габбро-норитами. Вторая аномалия отмечается в центральной части массива и связана с шшироподобным телом перидотитов, расположенным в зоне пироксенитов. Третья аномалия приурочена к пироксенитам юго-западной части интрузива, где ранее в шурфах была выявлена бедная сульфидная минерализация.

По результатам микрорентгеноспектрального и спектрального количественного анализов породообразующих минералов можно сделать следующие выводы: 1. Оливины в массиве представлены существенно магнезиальными разновидностями ($MgO - 48,98\%$), с высокими содержаниями хрома. 2. Средний состав ромбических и моноклинных пироксенов Улитаозерского массива, отвечает следующим кристаллохимическим формулам: $[Mg_{1,657}Al_{0,018}Cr_{0,018}Fe^{+3}_{0,042}Ca_{0,066}Fe^{+2}_{0,199}](Si_{1,922}Al_{0,078}O_6)$ и $[Ca_{0,722}Na_{0,051}Fe_{0,136}Al_{0,06}Mg_{1,01}Cr_{0,029}](Si_{1,862}Al_{0,138}O_6)$ соответственно.

3. Рассматривая изменение химического состава породообразующих минералов вверх по разрезу массива, отмечается закономерное изменение состава породообразующих минералов: уменьшение магнезиальности минералов, на фоне роста их железистости, а так же уменьшение содержаний хрома и никеля.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что на современном эрозионном уровне Улитаозерский массив представляет собой перевернутое линзовидное тело с эродированными породами начальных этапов дифференциации.

2. Были выявлены две основные эволюционные ветви формирования пород: к первой относится ряд перидотиты – пироксениты – габбро-нориты, формирование которых связано с эволюцией магматического расплава, а вторая – ветвь, которой принадлежат метагаббро и амфибол-гранат-плагиоклазовые породы, сформировавшиеся в результате наложенных метасоматических процессов.

4. Высокие содержания никеля и хрома в породах массива, и в породообразующих силикатных минералах, а также отсутствие крупных проявлений сульфидной минерализации, возможно, свидетельствует об обедненности исходного расплава серой, из чего можно сделать вывод о низкой вероятности обнаружения в массиве крупных медно-никелевых сульфидных руд.

5. Анализ результатов распределения платиноидов не показал процессов концентрирования этих элементов не на магматической не на постмагматической стадии формирования этого массива.

ЛИТЕРАТУРА

Борисова В.В. Комплексы малых интрузий базит-ультрабазитов. В кн.: Расслоенные массивы Карело-Кольского региона. Ч. 1. Апатиты. 2004, с. 117-132.

Юдин Б.А. Магматизм и металлогения основных и ультраосновных комплексов протерозоя Главного хребта (Кольский полуостров). Апатиты. 1980.

Чалых Е.Д., Берман И.И. Отчет Улитареченской партии о результатах ГСР м-ба 1:50 000, проведенных в 1959 г. в районе оз. Улита – ср. течения р. Туломы (Кольский район, мурманская обл.). ТФ Мурманск, 1960.

ГЕОХИМИЯ КАРБОНАТИТОВ БАЛТИЙСКОГО И УКРАИНСКОГО ЩИТОВ

Матвийчук М.В.

Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, г. Киев

Балтийский и Украинский щиты - во многом сходные геологические структуры, имеющие близкий набор магматических и метаморфических пород, сравнение которых позволяет выстраивать петрологически и геохимически полные эволюционные ряды.

Так, на Украинском щите доказательно установлен только один возрастной (протерозойский) этап проявления карбонатитового магматизма, причем только абиссального уровня, с довольно бедным набором фациальных типов карбонатитов. Но большое разнообразие, как по возрасту, так и по петрологическим типам щелочных пород, с которыми, в принципе, могут быть связаны карбонатиты, позволяет надеяться на обнаружение их в будущем. Напротив, на Балтийском щите, как щелочные породы, так и карбонатиты представлены самыми разнообразными типами, сформировавшимися как в абиссальных, так и в приповерхностных условиях на протяжении от протерозоя до мезозоя.

Сравнение карбонатитов двух щитов, помимо теоретического, имеет и чисто прикладное значение. На наш взгляд будет полезным сравнить особенности уже разрабатываемых карбонатитовых месторождений Балтийского щита (например, Ковдора, Хибин) с перспективными для разработки на Украине (Черниговский массив и др.).

Балтийский щит. Тикшеозерско-Ельтьозерский комплекс (Северная Карелия) с проявленным магматизмом ультрамафит-щелочно-сиенитового состава изучен довольно основательно. Существует мнение, что вышеупомянутый комплекс формировался в сфекофенскую эпоху активизации 1,8-1,9 млрд. лет (Геология Карелии, 1987). Наиболее вероятная картина формирования сложного по строению многофазного комплекса связана с растянутой во времени магматической деятельностью в промежутке от 2,450 до 1,8 млрд. лет. Наиболее крупными по размерам среди данного комплекса являются Ельтьозерский и Тикшеозерский массивы.

В карбонатитах Тикшеозерского массива наиболее распространенным карбонатом является кальцит. Среди других выделены доломит, анкерит, магнезит, брейнерит, арагонит и акцессорный анкилит (Сафронова Г.П., 1982). Изотопный состав углерода и кислорода определялся в монофракциях карбонатов и в валовых пробах пород, в основном, отобранных по скважинам, пробуренным по карбонатитам и, в меньшей степени, из габброидных пород, испытавших карбонатизацию.

Изотопный состав углерода в кальцитах, отобранных по Тикшеозерскому массиву, свидетельствует об эндогенном источнике вещества и о карбонатитовой природе карбонатных пород (Сафронова Г.П., 1982). Авторы указанной работы связывают низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ с температурным режимом карбонатитообразования, однако, на наш взгляд, такие аномальные цифры невозможно объяснить, не привлекая механизма обмена с изотопно-легкими водами. Если учесть, что одними из самых распространенных пород на Тикшеозерском массиве являются серпентинизированные оливиниты, то существенная роль воды в образовании карбонатных низкотемпературных образований, в том числе карбонатных прожилков, становится очевидной.

Наши данные (таблица) несколько отличаются от вышеприведенных в сторону более высоких значений $\delta^{18}\text{O}$ как для собственно карбонатитов, так и для карбонатных прожилков в пироксенитах и габброидах. Диапазоны значений карбонатитов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в них (-4,0 - -6,3‰ и 10-12,6‰, соответственно) довольно узкие и не выходят за пределы, обычно приводимые для карбонатитов. Требуется объяснения несколько "утяжеленные" значения $\delta^{18}\text{O}$ в некоторых карбонатах Тикшеозерского массива. По имеющемуся у нас материалу магнетитсодержащие карбонатиты Ковдорского, Вуориярвинского и др. массивов также характеризуются утяжеленным изотопно-кислородным составом.

Ковдорский массив ультраосновных щелочных пород и карбонатитов – один из наиболее полно изученных благодаря тому, что он разрабатывается как комплексное месторождение апатитового, магнетитового, редкометалльного и др. видов сырья.

Довольно подробно был изучен и изотопный состав карбонатитов (Кулешов В.Н., 1986). При этом все исследовавшие изотопный состав углерода в этих карбонатитах отмечали некоторое обогащение их изотопом