

## ОСОБЕННОСТИ ПЕТРОХИМИИ ИЗРАНДИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО КОМПЛЕКСА МАССИВА ГОРЫ КАРАНДАШ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2014 г. А. И. Степанов, Ю. Л. Ронкин

В 1960-х гг. Л.Н. Овчинниковым и В.А. Дунаевым [4] при проведении геохронологических исследований в районе горы Карандаш была найдена наиболее древняя на Южном Урале горная порода, по минералого-химическому составу соответствующая пироксениту. Общегеологическое положение массива пироксенитов дается в работах [7, 8]. Л.Н. Овчинников с соавторами [4] разделили породу на две разновидности – оливиновый пироксенит и “израндит” (название по месту находки – р. Изранда). Образцы оливиновых пироксенитов для лабораторных исследований взяты Л.Н. Овчинниковым из коренного скального обнажения у вершины горы Карандаш, а образцы израндита – из отдельно лежащей в нескольких десятках метров от обнажения большой глыбы. Определенный калий-аргоновым методом возраст пород  $3.3 \pm 0.1$  и  $4.2 \pm 0.15$  млрд лет соответственно [4] оказался настолько древним, что не вписывался в известные на то время геологические знания о данном регионе Урала. Позже калий-аргоновый архейско-раннепротерозойский возраст оливиновых пироксенитов был подтвержден уран-свинцовым методом по циркону:  $2.69 \pm 0.013$  млрд лет [3] и  $3.51 \pm 0.038$  млрд лет [12].

Петрохимическое изучение этого комплекса пород одновременно с геохронологическими работами было начато Л.Н. Овчинниковым [4], затем В.Г. Кориневский с коллегами [2] дали более точное определение породам комплекса – “плагиоклаз-оливиновый клинопироксенит”. Позже [5] на основе комплексного изучения петрохимии базит-ультрабазитовой группы пород александровского и уфалейского комплексов была высказана идея о том, что эти образования, в том числе израндиты и плагиоклаз-оливиновые клинопироксениты, “могут быть фрагментами древнейшего из известных до настоящего времени на Земле комплексов платиноносного типа” [6]. При дальнейшем изучении петрохимии отдельных групп пород израндит-клинопироксенитового комплекса горы Карандаш для целей геохронологии нами выявлены определенные закономерности: а) во взаимозависимости главных элементов, б) в особенностях распределения РЗЭ, в) при определении геодинамической обстановки формирования пород.

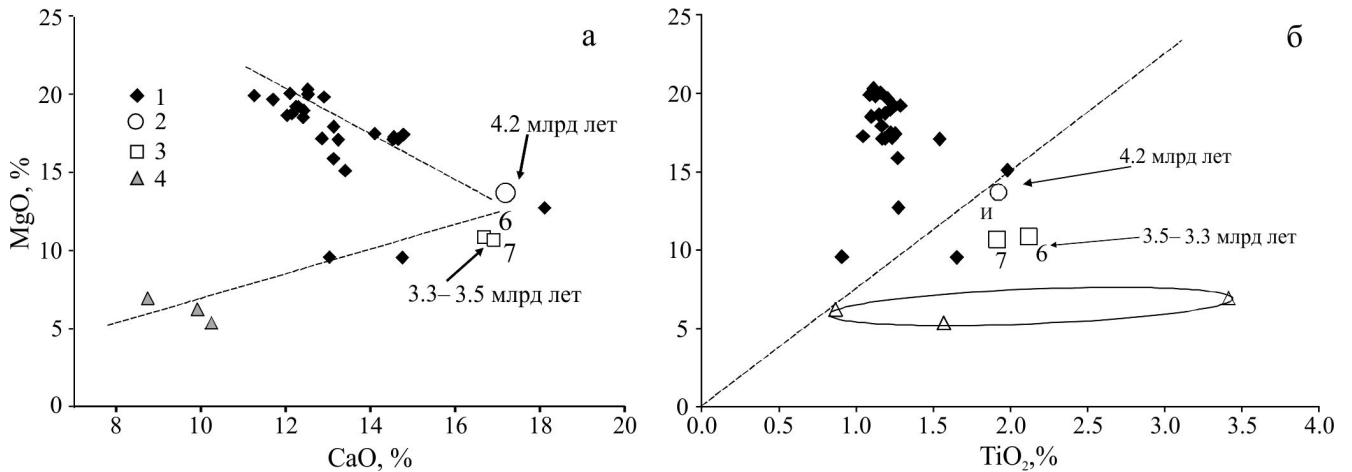
Аналитические работы для данных исследований проводились в лабораториях ИГГ им. акад.

А.Н. Заварицкого УрО РАН: силикатные анализы выполнены рентгенофлюоресцентным методом на приборе СРМ-18, определение РЗЭ, редких и рассеянных элементов осуществлялось на приборе FS HR-ICP MS “ELEMENT-2” после соответствующего кислотного разложения.

**Закономерности в содержании главных элементов.** При изучении петрохимических особенностей явно выделилась разновидность плагиоклаз-оливиновых клинопироксенитов, характеризующаяся повышенным содержанием MgO (и повышенным содержанием оливина в свежих неизмененных разновидностях). По соотношениям главных элементов разновидность имеет четкий дискретный ореол составов, резко отличных от составов израндита и клинопироксенита (рис. 1), по которым ранее определен возраст: калий-аргоновый (по породе в целом) и уран-свинцовый по циркону [4, 12]. Другой особенностью, показанной на дискриминационных диаграммах CaO–MgO, TiO<sub>2</sub>–MgO (рис. 1) является неоднородность, возможно первичная, в петрохимии комплекса. Первый тренд CaO–MgO (см. рис. 1а) характеризуется тем, что от фигуративной точки состава израндита (И) увеличивается содержание MgO с уменьшением содержания CaO по направлению к составу магнезиальных оливиновых клинопироксенитов. Второй тренд идет по направлению к составу габбро-норитов – с уменьшением содержания MgO происходит уменьшение и CaO. Эти дискриминационные диаграммы подчеркивают различия в составах между датированными ранее клинопироксенитами и оливиновыми клинопироксенитами с повышенным содержанием MgO. По соотношению Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Sr эта магнезиальная группа оливиновых клинопироксенитов совпадает с изученными [5] клинопироксенитами александровского комплекса. Помимо этого, минералогическая корреляция ряда “океанит–анкарамит–израндит” [9] предполагает, что “протопородой” израндита и оливиновых клинопироксенитов может быть “анкарамитовая” магма [5].

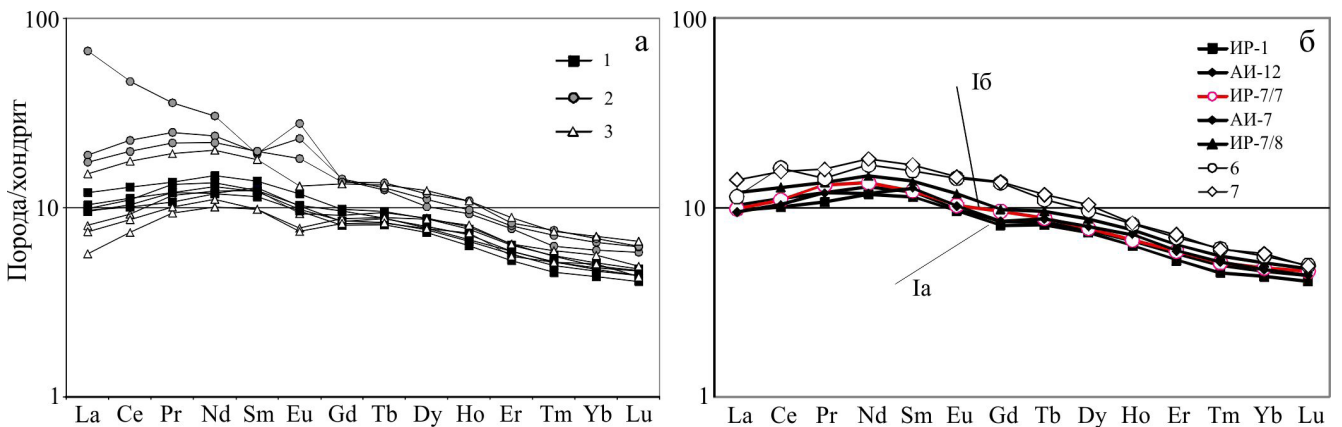
**Закономерности в распределении РЗЭ.** По характеру поведения Eu в распределении РЗЭ, нормированных по хондриту (рис. 2а), высокомагнезиальная разновидность клинопироксенитов разделяется на три группы (условно I, II, III типы) [9].

I тип распределения РЗЭ характеризуется в целом ровным видом кривой, при этом для одной



**Рис. 1.** Дискриминационные диаграммы CaO–MgO (а), TiO<sub>2</sub>–MgO (б) состава главных элементов в породах израндит-клинопироксенитового комплекса.

1 – оливиновый клинопироксенит, 2 – израндит (обр. Л.Н. Овчинникова), 3 – клинопироксенит (здесь и далее: 6 – обр. Л.Н. Овчинникова, 7 – обр. Ю.Л. Ронкина), 4 – близкие по возрасту габбро-нориты Медведовского массива. Значение 4.2 млрд лет, не подтвержденное другими методами, следует пока принимать как “значение древнее чем 3.5 млрд лет”.



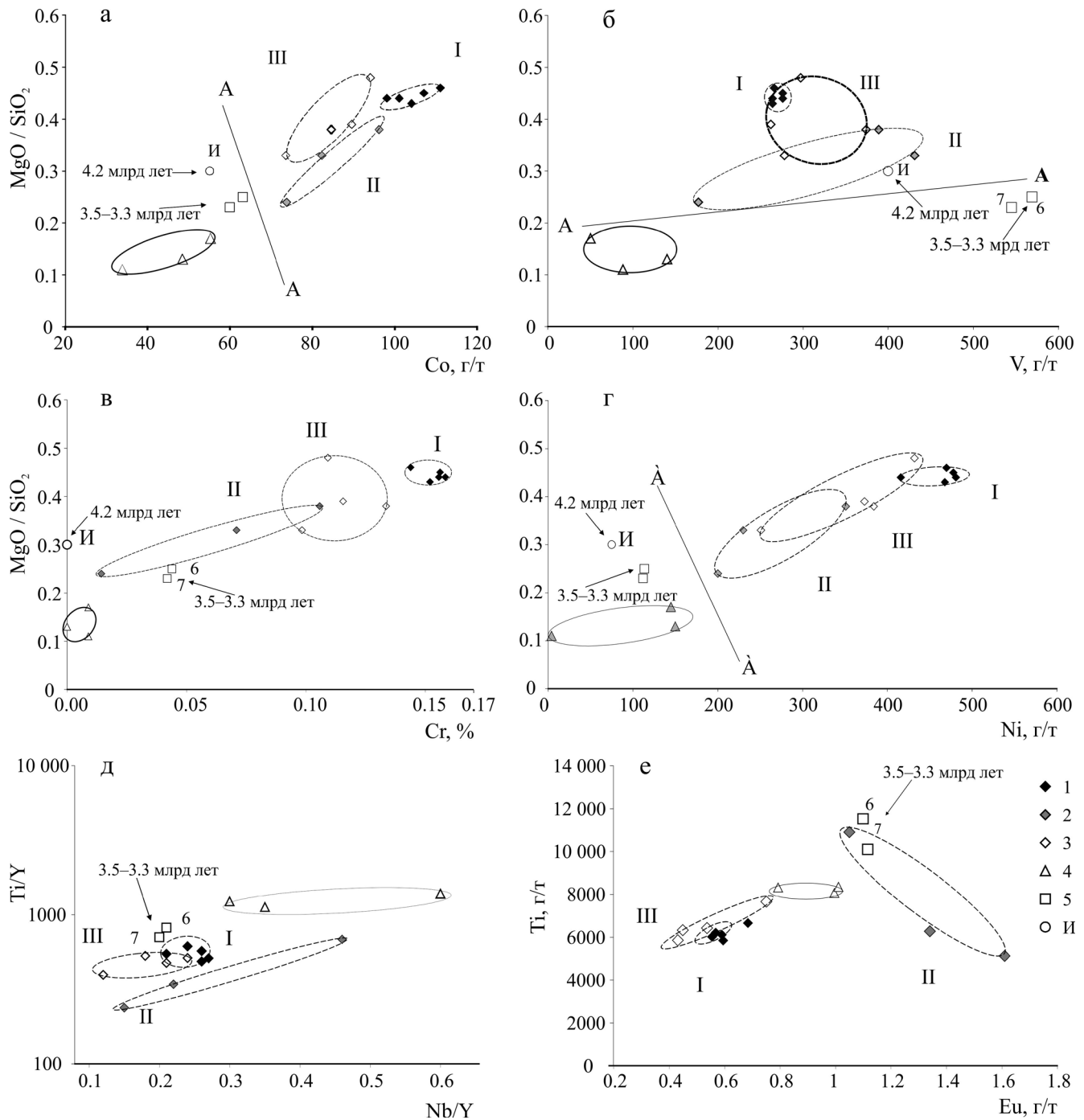
**Рис. 2.** Диаграмма распределения РЗЭ в породах израндит-клинопироксенитового комплекса.

а – графики распределения РЗЭ всех пород: 1 – *I tupa* (ИР-1, АИ-7, АИ-12, ИР-7/7, ИР-7/8), 2 – *II tupa* (АИ-8, АИ-11, ИР-18), 3 – *III tupa* (АИ-1, АИ-2, ИР-3, АИ-4); б – распределение РЗЭ клинопироксенитов *I tupa* (разновидности Ia и Ib).

части образцов она имеет слабую, но ясную тенденцию гадолиния (Gd) к отрицательной аномалии (условно, разновидность *Ia tupa*, рис. 2б), для другой это свойство отсутствует (*Ib tupa*), распределение полностью аналогично распределению РЗЭ в ранее датированных клинопироксенитах с датировкой 3.5–3.3 млрд лет [4, 12] (см. рис. 2б). В целом к *I tupa* “европиевого” распределения относятся разновидности клинопироксенитов очень свежего облика с совершенно неизменными слагающими породу минералами, с очень развитой коронарной (друзитовой) структурой. Среднее содержание K<sub>2</sub>O – 0.09%. По комплексу петрохимических особенностей клинопироксениты этого типа являются самостоятельной “фазой”.

*II tupa* распределения РЗЭ имеет хорошо выраженную положительную аномалию Eu. Породы с таким типом распределения представлены значительно амфиболизированными клинопироксенитами, вплоть до образования практически мономинеральных амфиболовых пород (“апоизрандитов” по [7]). Уровень содержания РЗЭ, как и K<sub>2</sub>O (в среднем около 0.22%), несколько выше, чем у других типов. Породы *II tupa* петрохимически также представляют собой самостоятельную разновидность пород комплекса.

*III tupa* распределения РЗЭ имеет незначительную, но явно выраженную тенденцию к отрицательной аномалии Eu. Клинопироксениты с этим типом распределения также амфиболизированы, но заметно в меньшей степени: много реликтов неизме-



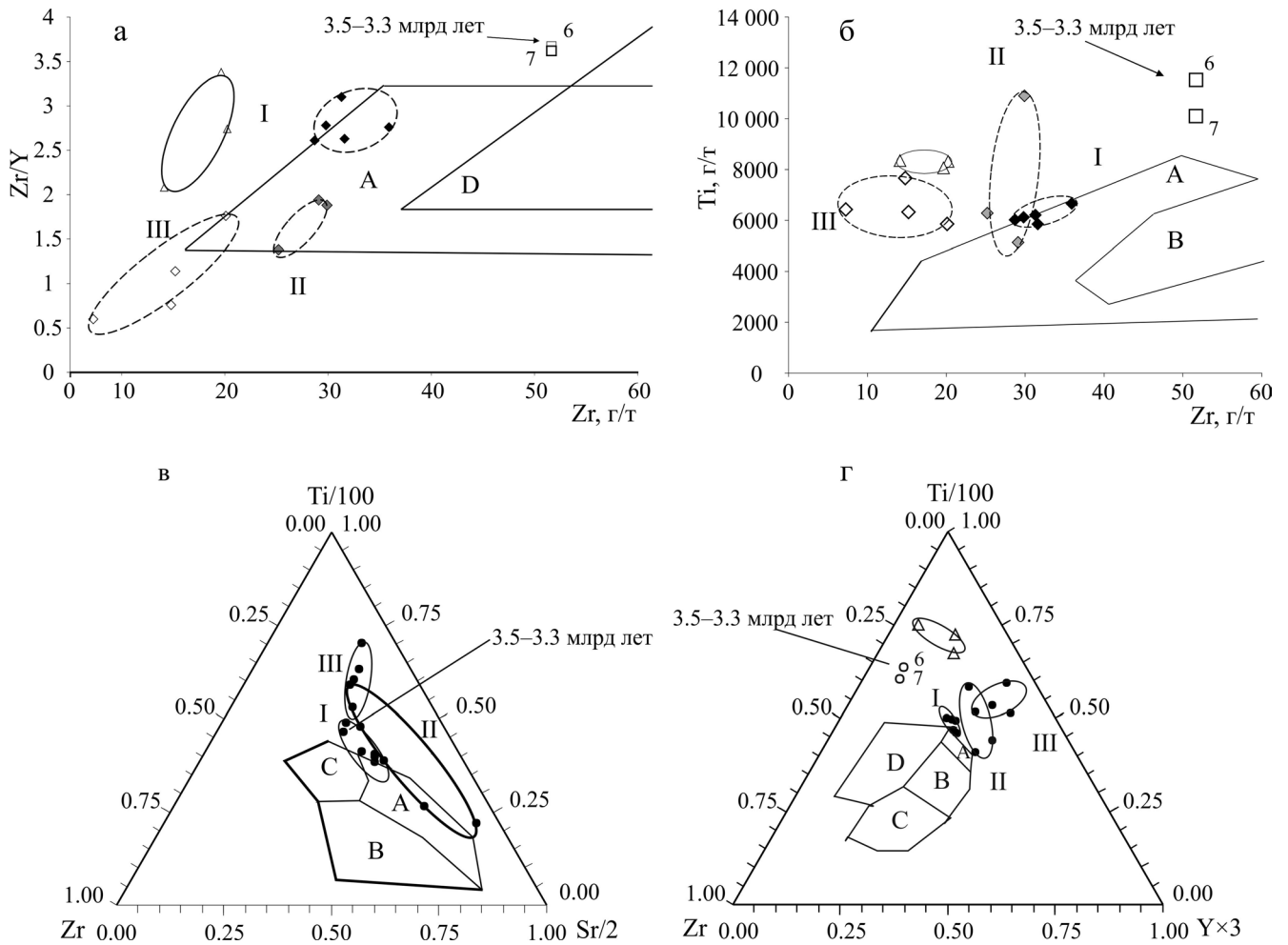
**Рис. 3.** Диаграммы соотношения  $\text{Co-MgO/SiO}_2$ ,  $\text{V-MgO/SiO}_2$ ,  $\text{Cr-MgO/SiO}_2$ ,  $\text{Ni-Mg/SiO}_2$ ,  $\text{Ti/Y-Nb/Y}$ ,  $\text{Eu-Ti}$ , в породах израндит-клинопироксенового комплекса.

1–3 – оливиновые клинопироксены (с повышенным содержанием MgO: I – I тип, II – II тип, III – III тип), 4 – габбро-норит Медведевского массива (для сравнения), 5 – клинопироксенит, И – израндит; А–А – условная линия разделения датированных клинопироксенов и оливиновых клинопироксенов.

ненных зерен пироксена, оливина и других первичных минералов. Содержание  $\text{K}_2\text{O}$  – 0.07%. По различным петрохимическим признакам, в том числе и при сравнении распределения РЗЭ (см. рис. 2а), породы *III типа* являются амфиболизированными разностями клинопироксенов *I типа*.

Таким образом, особенности распределения РЗЭ подтверждают идею о первичной петрохимической неоднородности израндит-клинопироксенового комплекса.

**Закономерности в содержании редких и рассеянных элементов.** Использование соотноше-



**Рис. 4.** Дискриминационные диаграммы состава пород израндит-клинопироксенит-габбро-норитового комплекса в сравнении с положением стандартных полей составов базальтов разных геодинамических обстановок.

а – фрагмент диаграммы  $Zr-Zr/Y$  по [11]: А – островодужные базальты, В – базальты MORB, D – островодужные базальты и MORB; б – фрагмент диаграммы  $Zr-Ti$  по [10]: А – островодужные толеиты, В – островодужные толеиты и базальты срединно-океанических хребтов; в – дискриминационная диаграмма  $Ti/100-Zr-St/2$ : А – островодужные толеиты, В – известково-щелочные базальты, С – базальты MORB; г – дискриминационная диаграмма  $Ti/100-Zr-Y \times 3$ . Поля: А – толеиты островных дуг, В – базальты срединно-океанических хребтов, С – известково-щелочные базальты, D – внутриплитные базальты; I, II, III – условные типы распределения РЗЭ. Условные обозначения – см. рис. 1; черный кружок – клинопироксениты.

ний редких и рассеянных элементов в породах изучаемого комплекса позволило также уверенно показать петрохимическую дискретность групп пород и попытаться оценить их геодинамическую обстановку.

На дискриминационных диаграммах элементов  $MgO/SiO_2$  –  $Co$ ,  $-V$ ,  $-Cr$ ,  $-Ni$  помимо ясной дискретности составов разных “европиевых” типов и отличия их от ранее датированных клинопироксенитов видно, что магнезиальные клинопироксениты характеризуются более высоким содержанием  $Cr$ ,  $Co$  и  $Ni$  (рис. 3а–г). Такая же дискретность составов наблюдается и на дискриминационных диаграммах других элементов, в первую очередь на диаграммах, построенных на основе высокочargedного  $Ti$  как представителя наименее подвижных эле-

ментов, контролируемых составом источника и зависящих от процессов периода магматической эволюции [1], например  $Eu-Ti$  (рис. 3е).

Различия в составе мантии под континентальными и океаническими областями, особенности состава базальтов, определяемые химическим и минералогическим составом их мантийных протолитов, механизмом выхода базальтовых расплавов, и другие особенности позволяют попытаться оценить геодинамическую обстановку формирования комплекса оливиновых клинопироксенитов. При этом сопоставляются дискриминационные диаграммы состава редких и рассеянных элементов в изучаемых породах с аналогичными диаграммами составов разных типов базальтов, определяющих геодинамическую обстановку своего формирования [1].

Диаграмма  $Zr-Zr/Y$  (рис. 4а) применяется обычно для разделения островодужных базальтов на базальты, сформировавшиеся внутри дуг, и базальты, излившиеся в обстановке активных континентальных окраин [1]. Здесь составы пород израндит-клинопироксенитового комплекса занимают либо граничные области (*I* и *II типы*) составов островодужных базальтов, либо выходят за пределы всех стандартных полей.

На диаграмме  $Zr-Ti$  (рис. 4б) тоже только клинопироксениты *I типа* располагаются в граничной зоне (поле А – островодужных базальтов). Составы всех остальных пород комплексов, в том числе клинопироксенитов с возрастом 3.3–3.5 млрд лет и габбро-норитов, также выходят за пределы всех стандартных полей составов базальтов. Вероятно, этим подтверждается “разнофазность” (возможное проявление разных “фаз дифференциации”) датированных клинопироксенитов и клинопироксенитов с повышенным содержанием оливина (и  $MgO$ ), отмеченных ранее на диаграмме  $CaO-MgO$  (см. рис. 1).

На диаграмме  $Ti/100-Zr-Sr/2$  (рис. 4в), применяемой при анализе неизмененных пород [1, 10], показано, что, независимо от степени изменения, почти все породы комплекса расположены за пределами стандартных областей. Лишь породы *I типа* и некоторые оливинные габбро-нориты примыкают к краевой области островодужных базальтов (зона А).

На диаграмме  $Ti/100-Zr-Y \times 3$  (рис. 4г), часто используемой для разделения внутриплитных базальтов [10] и базальтов океанических островов, показано, что составы изучаемых комплексов также приурочены или к пограничной зоне полей составов А и Д – островодужных толеитов и внутриплитных базальтов, или выходят за пределы стандартных областей составов. При этом образцы клинопироксенитов *I типа* (неизменные разновидности, характер химизма которых является первично определяющим) располагаются в граничной зоне, тяготея к полю А – островодужных толеитов, либо выходят за пределы всех полей, как и составы остальных типов пород, включая датированные Л.Н. Овчинниковым [4] оливинные клинопироксениты и оливинные габбро-нориты (см. рис. 4г). Кроме того, на многих (но не вошедших в данную статью) диаграммах отмечаются аналогичные взаимосвязи и по другим элементам.

Таким образом, изучение петрохимических особенностей пород израндит-клинопироксенитового комплекса гора Карандаш показывает, что они характеризуются ясной первичной петрохимической неоднородностью и по петрохимическим же критериям не вписываются в стандартные схемы геодинамических обстановок формирования базальтовых комплексов (правда, иногда несколько прибли-

жаясь к полям островодужных базальтов). Очевидно, при формировании пород комплекса либо существовали совершенно иные геодинамические условия, либо петрохимия пород не отражает в полной мере геодинамику формирования их. Весьма вероятно, что одним из таких условий является предположение Л.Н. Овчинникова и В.А. Дунаева [4] о внедрении пород в виде блоков и о большом разрыве во времени между образованием пород комплекса и выводом их на поверхность.

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН (проект № 12-И-5-2022).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интерпретация геохимических данных. М.: Инжиниринг, 2001. 288 с.
2. Кориневский Г.В., Котляров В.А. Минералогия плагиоклаз-оливинового клинопироксенита (израндита) Урала // Литосфера. 2009. № 4. С. 27–40.
3. Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Козлов В.И., Пресняков С.Л. Цирконология израндитов (Ю. Урал) // Докл. АН. 2011. Т. 439, № 3. С. 394–398.
4. Овчинников Л.Н., Дунаев В.А. О древнейшей горной породе Урала // Глубинное строение Урала. М.: Наука, 1968. С. 200–209.
5. Пушкарев Е.В. Анкарамиты – родоначальные магмы дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа: минералогические и геохимические доказательства // Современное состояние наук о Земле. М: МГУ, 2011. С. 2294–2297.
6. Пушкарев Е.В., Готтман А.И. Оливинные клинопироксениты и израндиты (тылаиты) александровского и уфалейского метаморфических комплексов – фрагменты древней платиноносной ассоциации? // Тектоника, рудные месторождения и глубинное строение земной коры. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 215–219.
7. Пыстин А.М., Пыстина С.Н., Ленных В.И. О геологическом положении израндитов в Александровском комплексе // Ежегодник-1973. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1974. С. 55–57.
8. Пыстин А.М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 208 с.
9. Степанов А.И. Что такое израндит // Процессы рудообразования и прикладной геохимии. М.: ИМГРЭ, 2013. С. 197–211.
10. Pearce J. A., Cann J. R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses // Earth Planet. Sci. Lett. 1973. V. 19. P. 290–300.
11. Pearce J. A., Norry M. J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks // Contrib. Mineral. Petrol. 1979. V. 69. P. 33–47.
12. Ronkin Y.L., Sindern S., Stepanov A.I., Korinevski V.G., Maslov A.V. The oldest magmatism of the Urals // Геохронологические изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов: мат-лы конф. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 18–21.