

ХРОМШПИНЕЛИДЫ С ЦИНКСОДЕРЖАЩИМИ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИМИ КАЙМАМИ ИЗ ДЕВОНСКИХ КОНГЛОБРЕКЧИЕВЫХ ГОРИЗОНТОВ РОССЫПЕПРОЯВЛЕНИЯ ИЧЕТЬЮ (СРЕДНИЙ ТИМАН)

© 2015 г. Ю. В. Глухов*, Б. А. Макеев*, Д. А. Варламов**,
С. С. Шевчук*, С. И. Исаенко*

*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
167610, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54
E-mail: Glukhov@geo.komisc.ru

**Институт экспериментальной минералогии РАН
142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Институтская
E-mail: dima@iem.ac.ru

Поступила в редакцию 25.03.2014 г.

Приводятся результаты изучения аксессуарных цинксодержащих хромшпинелидов из среднедевонских псефитов пижемской свиты (D₂pg) россыпепроявления Ичетью (Средний Тиман). Согласно данным микрозондового анализа основная масса хромшпинелидов характеризуется высокоглиноземистыми хромпикотитовыми и субферрихромпикотитовыми составами. Сделан вывод о возможной парагенетической связи эпигенетического метасоматического оцинкования хромшпинелидов, ассоциирующих аксессуарных фосфатных минералов-концентраторов редкоземельных элементов (монацит, ксенотим, флоренсит), фосфатных каем и включений у аксессуарных минералов-концентраторов редких металлов (ильменорутит, колумбит, циркон), которые в совокупности могут быть генетически связаны с общим региональным металлогеническим событием, докембрийской редкометалльно-редкоземельной формацией Тимана.

Ключевые слова: *хромшпинелид, цинксодержащие каймы, фосфорсодержащие редкометалльные и редкоземельные минералы, псефиты девона, россыпепроявление Ичетью, Средний Тиман.*

С момента первых редких находок алмазов на Тимане М.А. Апенко и его коллегами (Апенко и др., 1960; Харитонов, 2011) и обнаружения В.А. Дударом первых алмазов в 1984 г. (Тиманский кряж, 2008; Харитонов, 2011; Плякин, Ершова, 2011) в среднедевонских псефитах пижемской свиты на Среднем Тимане, в бассейнах рек Печорская Пижма и Умба (объект Ичетью¹) (Мальков, Холопова, 1995; Дудар, 1996; Константиновский, 2003; Тиманский кряж, 2008; Плякин, Ершова, 2011), споры о происхождении этих алмазов не утихают.

В первых же работах по Ичетьюской площади использовался опыт поисков алмазов по индикаторным минералам, являющимся мантийными спутниками алмаза (МСА) (Тиманский кряж, 2008). Однако, впоследствии выяснилось, что шлиховой способ поиска алмазов по “пироповым дорожкам” на Ичетьюской площади практически нерработоспособен. Сами алмазоносные псефиты девона оказались весьма небогаты пиропами, а те пиропы, которые находили в аллювии рек Печорской Пижмы, Средней и Умбы, могли быть связаны с неалмазоносными диатремами типа кимберлитового

туфобрекчиевого тела, которое было обнаружено в 1976 г. на Умбинской площади Б.С. Шутовым и М.Ю. Острижным (Плякин, Ершова, 2011). Альтернативой пироповой съемке было предложение Б.А. Малькова и его коллег (1973) использовать в уральском регионе при шлиховом опробовании на алмазы в качестве минералов-индикаторов хромшпинелиды с высоким содержанием хрома и соответствующими высокими значениями параметров элементарной ячейки. Кроме того, определенные надежды при шлиховых поисках коренных источников алмаза связывались с использованием цинкистых хромшпинелидов (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005). Между тем отношение к возможности использования этих минералов-спутников алмаза в деле поисков коренных источников алмазов на Тимане далеко не так однозначно.

В данной работе мы приводим результаты изучения хромшпинелидов из среднедевонских отложений пижемской свиты Ичетьюской площади, которые позволяют сделать определенное заключение о типоморфной значимости хромшпинелидов, включая их применимость для прогнозирования и поиска алмазов на изучаемой территории.

¹ Прежнее название Ичет Ю.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Материал для исследования был собран в течение одного полевого сезона летом 2012 г. на Среднем Тимане в бассейнах рек Печорская Пижма и Умба (Усть-Цилемский район Республики Коми). Полевые работы проводились в составе геологического отряда Института геологии Коми НЦ УрО РАН под руководством А.Е. Сухарева. Шлиховые пробы объемом от 0.0033 до 0.01 м³ отбирались из физически подвыветрелых рыхлых или слаболитифицированных конглобрекций пижемской свиты (D_2pg), а также песчаников того же возраста, вскрытых в карьерных стенках, канавах и расчистках трех участков объекта Ичетью (Ичетьюская площадь) – К-100, Золотой Камень и Сидоровский (рис. 1, 2). Рыхлые или рассыпающиеся при намокании в воде пробы промывались на округлых пластиковых лотках в районах пробоотбора.

В лабораторных условиях в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН зерна, похожие на хромшпинелиды, извлекались под бинокулярным микроскопом из магнитной фракции шлиховых концентратов (бромформирование и сепарация на отдельные магнитные фракции не проводились). Ввиду сложности визуальной диагностики хромшпинелидов вещественный состав отобранных индивидуальных зерен оценивался при помощи рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в режиме “полуколичественного определения” на энергодисперсионном спектрометре Horiba MESA-500W (аналитик С.Т. Неверов). При этом хромшпинелиды не только отчетливо выделялись по характерным линиям хрома в энергодисперсионном спектре. Они также удовлетворительно подразделялись на группы, в зависимости от ведущей роли основных и второстепенных элементов, таких как хром, железо, алюминий и цинк. Характерный для хромшпинелидов магний на спектрометре Horiba MESA-500W прак-

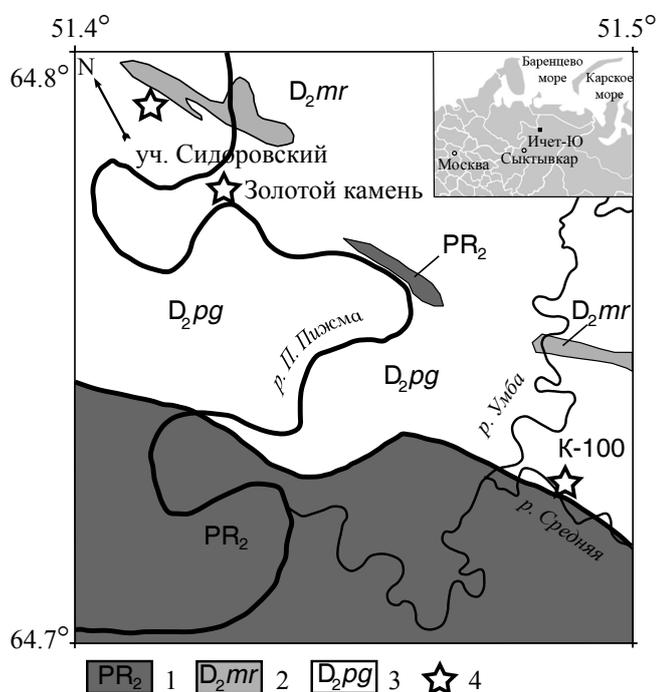


Рис. 1. Геологическая карта-схема Ичетьюского россыпного поля (схема среднедевонского палеобассейна по (Макеев, Дудар, 2001)).

1 – породы верхнепротерозойского метаморфического комплекса (PR_2), 2 – красноцветные титаноносные пелито-псаммиты малоручейской свиты (D_2mr), 3 – кварцевые псаммитопсефиты пижемской свиты (D_2pg), 4 – место пробоотбора в карьерах и скальных обнажениях.

Fig. 1. Geological schematic map of of Ichet'yu placer field (scheme of the Middle Devonian paleobasin after (Макеев, Дудар, 2001)).

1 – Upper Proterozoic metamorphic complex (PR_2), 2 – titaniferous pelite-psammite redbeds of Malorucheyskaya suite (D_2mr), 3 – quartz psammite-psephites of Pizhemskaia suite (D_2pg), 4 – points of sampling in mines and exposures.



Рис. 2. Песчаники и конглобрекции пижемской свиты (D_2pg), карьер “Сотый” (К-100).

Fig. 2. Sandstones and conglobreccia of Pizhemskaia suite (D_2pg), “Soty” mine (K-100).

тически не регистрировался, однако впоследствии при проведении микронзондовых работ выяснилось, что он хорошо коррелирует с алюминием. По результатам экспресс-тестирования при помощи метода РФА отобрано около 60 минеральных индивидов. Перед микронзондовым изучением данная коллекция была сокращена путем удаления индивидов, отвечающих некоторым однотипным интервалам опробования.

Структурные характеристики хромшпинелей получены при помощи рентгеновского дифракционного анализа (камера Дебая-Шеррера (радиус – 28.65 мм), УРС – 55, Cu-анод, ток – 10 мА, напряжение – 30 кВ, фильтрование не проводилось). Параметры элементарной ячейки рассчитывались методом наименьших квадратов.

Морфология и детали поверхности изучались при помощи электронного сканирующего микроскопа Tescan VEGA 3LMN.

Состав минералов исследовали при помощи микронзондовой аппаратуры ИЭМРАН: цифровой электронный сканирующий микроскоп Tescan VEGA-II XMU с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) INCA Energy 450 и спектрометром с волновой дисперсией Oxford INCA Wave 700, а также цифровой электронный сканирующий микроскоп CamScan MV2300 (VEGA TS 5130MM) с ЭДС INCA Energy 350, рабочее напряжение – 20 кВ. Следует полагать, что итоговая выборка (20 шт.) вполне удовлетворительно представляет только разнообразие хромшпинелидов по составу, а не пропорции между их разновидностями. Тем не менее тренды, полученные по шлифованным препаратам данной выборки, удалось удовлетворительно воспроизвести при использовании совершенно другой выборки (представляющей морфологическое разнообразие хромшпинелей), другой микронзондовой аппаратуры и иного способа изучения – микроанализа поверхности естественных сколов индивидов шпинели (Глухов и др., 2014). Состав зерен определялся в двух точках – геометрическом центре среза и производной области вблизи периферии. В случае хорошо выраженного зонального строения дополнительно исследовались составы в 1–2 точках произвольного участка внешней зоны (каймы). При построении диаграммы (“треугольника Павлова” (Павлов, 1949)) использовался ее модифицированный вариант. К трехвалентному железу добавляли данные по титану, а к двухвалентному магнию – по цинку. Вклад этих дополнительных компонент сильного влияния на положение точек диаграммы не оказывал, что позволяет, по нашему мнению, использовать номенклатурные названия из работы (Павлов, 1949).

Регистрация спектров комбинационного рассеяния (КР) света проводилась на высокоразрешающем рамановском спектрометре LabRam HR800 (Horiba, Jobin Yvon) на свежих непрепарирован-

ных сколах индивидов хромшпинелидов. Рабочий режим регистрации: монохроматическое излучение возбуждающего лазера – 632.8 нм, мощность лазера – 0.2 и 20 мВт, конфокальное отверстие – 300 мкм, щель – 100 мкм, решетка спектрографа 600 ш/мм, время накопления сигнала 0.2–1 с, количество циклов регистрации сигнала в одном отрезке спектра – 10, общее время регистрации спектра ~ 1–3 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Макроскопическое описание. Хромшпинелиды фиксировались во всех шлиховых пробах без исключений. Содержание хромшпинелидов в тяжелой фракции песчаников и конглобрекчий пижемской свиты, по данным минералогического анализа, флукутирует от 0.1 до 10.0 мас. %. Размер зерен варьирует от 0.1 до 1.0 мм, причем среди них достаточно много из класса крупности 0.5–1.0 мм (десятки об. %). Подавляющее большинство зерен (89%, 56/63 здесь и далее – частота встречаемости) имеют черный цвет. Реже (11%, 7/63) встречались зерна темно-коричневого цвета.

Облик хромшпинелидов Ичетью достаточно разнообразен. Характерная кристалломорфологическая особенность угловатых ичетьюских кристаллических индивидов хромшпинелидов – комбинация простых форм. Чуть более половины индивидов (54%, 34/63) имеют хорошо различимые две основные габитусные формы – октаэдр и ромбододекаэдр (рис. 3а, б). На некоторых кристаллах видны также плоскости куба (см. рис. 3а), по видимому, являющиеся результатом скалывания, судя по идеально гладкой поверхности, контрастирующей с поверхностями граней октаэдра и ромбододекаэдра, имеющих микрорельеф (см. рис. 3а₁, б₁), а также небольшие треугольные грани тетрагексаэдра (см. рис. 3а). Важная черта телесного облика чуть менее половины всех зерен (46%, 29/63) – общая округлость или наличие округлых участков (см. рис. 3в, г, 4а). Еще одна специфика телесной морфологии ичетьюских хромсодержащих шпинелей – частая (47/63, или 75%) свежая оскольчатость и раковистые изломы (“поверхность скола обсидиана”), являющиеся в данном случае, по сути, дополнительными диагностическими признаками минерала (см. рис. 3г₁, 4в). Причем коричневые хромшпинелиды (см. рис. 4г) – все угловато-оскольчатые. Встречаемость комбинаций морфологических признаков хромшпинелидов по выборке следующая: 1) угловатые (гладкогранные кристаллы без значительных следов длительного механического износа) – 10% (6/63); 2) угловато-оскольчатые – 45% (28/63), среди них – обломанные кристаллы 24% (15/63) и обломки неясной формы – 21% (13/63); 3) угловато-округлые (кривогранные кристаллические индивиды) – 16% (10/63), 4) угловато-округло-

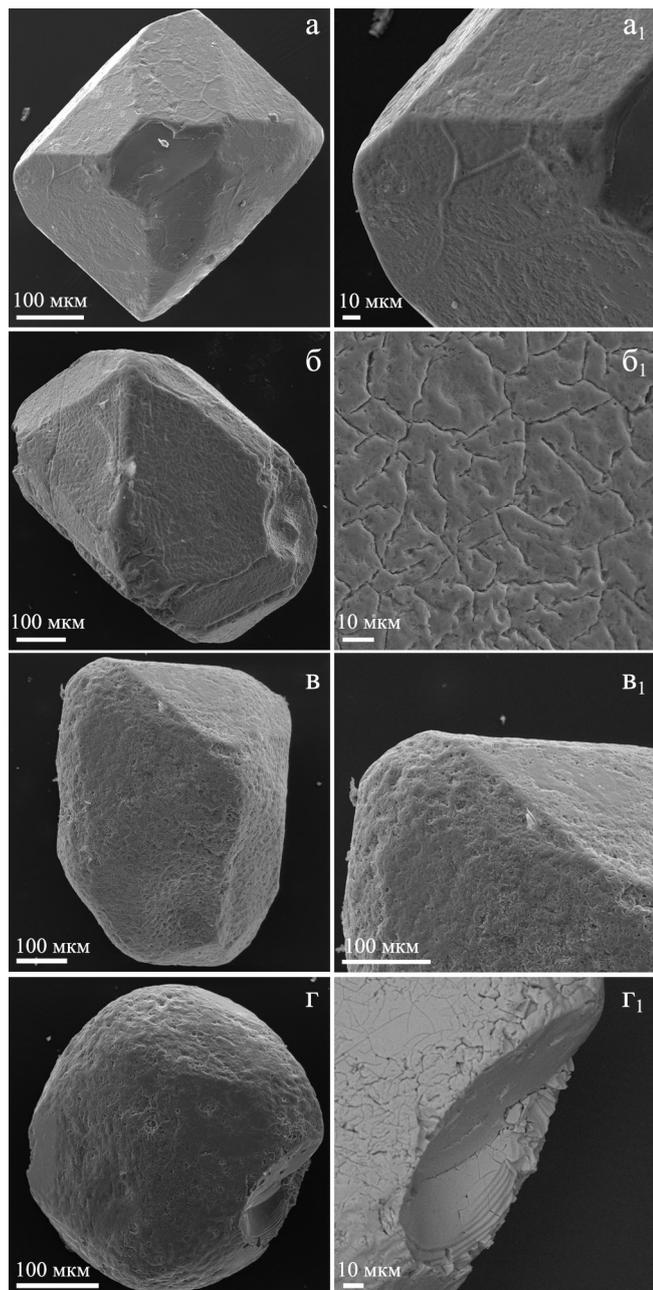


Рис. 3. Угловатые ростовые и эпигенно-модифицированные угловато-округлые телесные формы хромшпинелидов (слева – общий вид, справа – детализация). СЭМ Tescan VEGA 3LMN (режим вторичных электронов).

Fig. 3. Angular (growth) and angular-rounded (epigenic-modified) solid forms of chromspinelides (at the left – general view, on the right – detailed look). SEM Tescan VEGA 3LMN (secondary electrons).

оскольчатые (обломанные кривогранные кристаллы) – 30% (19/63).

Электронная микроскопия сканирующего типа. Морфология и детали рельефа поверхности.

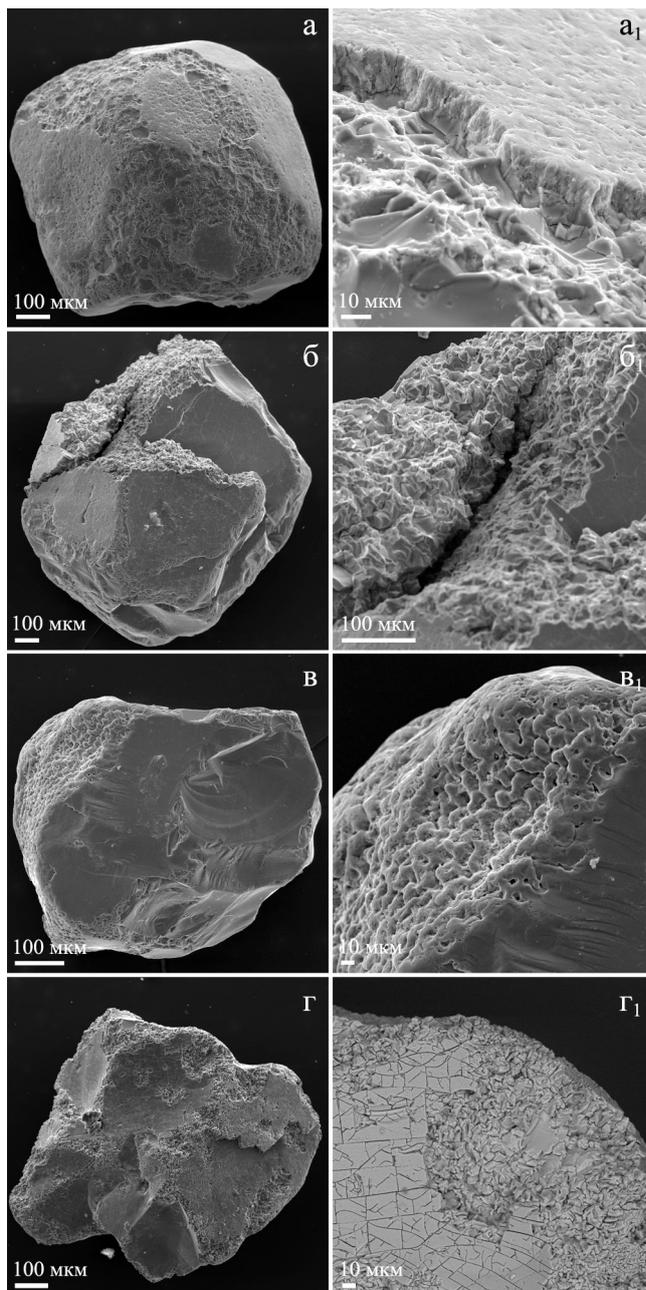


Рис. 4. Инситуные свежие механические грубооскольчатые повреждения хромшпинелидов (слева – общий вид, справа – детализация). СЭМ Tescan VEGA 3LMN (режим вторичных электронов).

Fig. 4. Fresh native (*in situ*) mechanical coarse-comminuted damages of chromspinelides (at the left – general view, on the right – detailed look). SEM Tescan VEGA 3LMN (secondary electrons).

Детальное изучение поверхности гладкогранных кристаллических индивидов хромшпинелидов с использованием электронного сканирующего микроскопа показывает, что у большинства из них

практически нет механического износа (округления) ребер. При этом отдельные крупные механические повреждения у них присутствуют. В некоторых случаях на поверхности граней таких кристаллов наблюдаются ноздреватые бугорчато-ямчатые (“мозгообразные”) участки коррозии (см. рис. 4в₁). Поверхности гладкогранных индивидов присущ сложный микрорельеф (см. рис. 3а₁). На полированных срезах в режиме обратнорассеянных электронов данные кристаллы выглядят, как правило, однородными.

У другой морфологической группы шпинелей – округлых кривогранных индивидов – поверхность преимущественно бугорчато-ямчатая, и характер этой поверхности во многом обусловлен немеха-

нической природой. В сколах и крупных механических выбоинах у некоторых таких округлых кристаллов весьма удачно вскрывается их строение. На рис. 4а, а₁ хорошо видно, что эти индивиды имеют оболочку (“скорлупу”), которая врастает в их тела. При этом поверхность новообразованной оболочки, по-видимому, лишь отчасти наследует форму исходных граней кристаллов, из-за чего их телесный облик приобретает в итоге округлость и кривогранность.

В детальных изображениях поверхности подавляющего числа хромшпинелидов с макроскопически ярко выраженной свежей крупной оскольчатостью, многочисленными раковистыми и занозистыми крупными изломами одновременно наблюдается плотная сетка кристаллографически ориентированных микротрещин, прямо указывающих на микроблочное строение этих экземпляров шпинелей и на то, что они, по сути дела, являются хрупким микрополикристаллическим агрегатом (см. рис. 3б₁, г₁, 4б₁, г₁). На дебаеграммах таких трещиноватых хромшпинелей точки отражений рентгеновских лучей, размываются в пунктиры, что, по-видимому, обусловлено разориентировкой микроблоков.

Анатомическое строение. В пришлифованных срезах округлые хромшпинелиды демонстрируют отчетливое неоднородное зональное строение (рис. 5а, б). Центральные участки (области первичной кристаллизации) в режиме контраста представлены веществом с относительно низкой атомной плотностью (серое). Внешняя зона представляет собой неровную кайму реакционного типа с относительно повышенной атомной плотностью (светлый тон). Мощность каймы варьирует от зерна к зерну и достигает нескольких десятков микрон. Кайма определенно неоднородна. На ее фронте (т.е. ближе к центру индивидов шпинели-

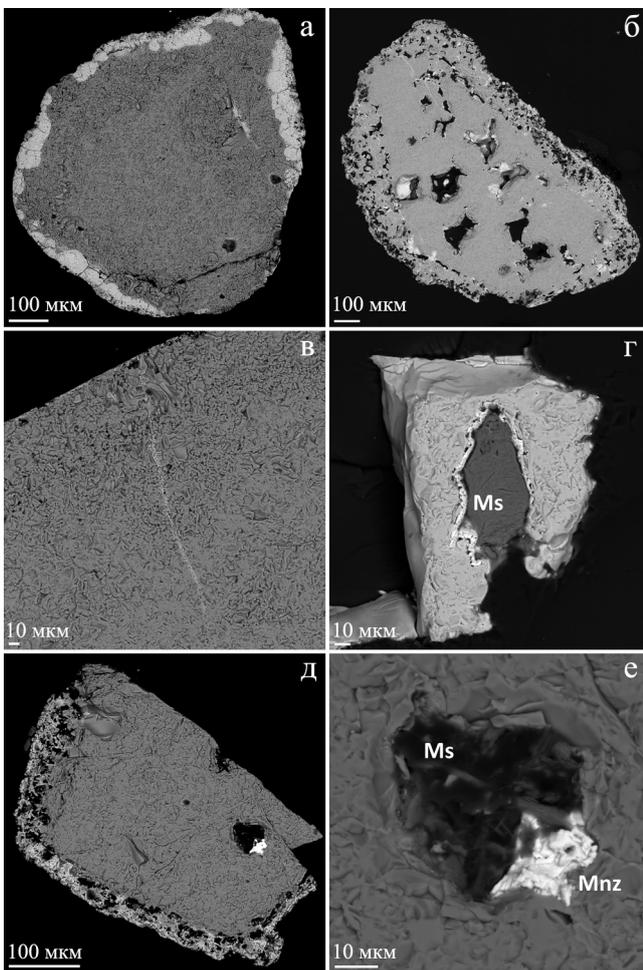


Рис. 5. Эпигенетические изменения в цинксодержащих хромшпинелидах Ичет’ю: каймы, прожилки, полости и включения (полированные препараты). СЭМ Tescan VEGA-II XMU (режим обратнорассеянных электронов).

Fig. 5. Epigenetic alterations in zinc-containing chromespinelides of Ichet’yu: rims, veinlets, cavities and inclusions (polished specimens). SEM Tescan VEGA-II XMU (back-scattered electrons).

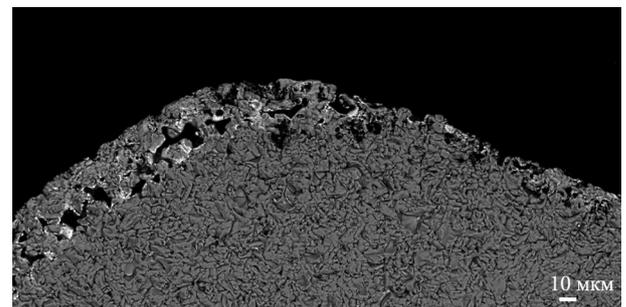


Рис. 6. Характер строения метасоматической каймы и области повышенного цинксо содержания (светлое) в хромшпинелиде. СЭМ Tescan VEGA-II XMU (режим обратнорассеянных электронов).

Fig. 6. Structure of the metasomatic rim and Zn-enriched zones (light) in the chromespinelide. SEM Tescan VEGA-II XMU (back-scattered electrons).

лей) часто группируются в прерывистые цепочки многочисленные субэквиливантно расположенные полости (черный тон) с кристаллографически-угловатыми или угловато-неровными очертаниями и индивидуальными размерами до нескольких десятков микрон (см. рис. 5д, 6). Иногда наблюдается несколько таких фронтов с полостями (см. рис. 5б). Внутри каймы выделяются локальные участки, сходные по атомной плотности с центральными областями зерен (по-видимому, это реликты исходной шпинели). Более светлые плотные реакционные новообразования, как видно на многих срезах, обволакивают более темные участки, формируя сложные сетчатые, а иногда и своего рода “колломорфные” структуры, обращенные вовнутрь шпинели. В редких случаях полости встречаются и в центральной части индивидов (см. рис. 5б), причем на стенки полостей нарастает вещество с высокой атомной плотностью, как и в кайме (возможно, однако, что сечение аншлифа в этом случае не прошло по центральной части зерна, а пришлось на его внешнюю часть, соответственно задев только кайму). Внутри хромшпинелидов изредка встречаются светлые выходящие на их поверхность минерализованные микротрещины толщиной около 1–2 мкм (см. рис. 5в).

Отметим, что на срезах угловатых гладкогранных кристаллических индивидов описанные выше области вещественной трансформации в виде каем также встречаются (см. рис. 5в), но они крайне незначительны по мощности (первые микроны) и/или локальны. Есть и практически однородные гладкогранные кристаллы.

Микрозондовый анализ. Состав и распределение химических компонентов. В элементном составе ичетьюских хромшпинелидов (табл. 1) помимо хрома (29.57–52.81 мас. % Cr_2O_3) основными компонентами также являются железо (12.42–48.77 мас. % FeO)², алюминий (2.79–35.62) мас. % Al_2O_3 , магний (00.00–17.65 мас. % MgO) и цинк (00.00–11.91 мас. % ZnO)³. В числе следовых примесей в составе данных шпинелей зафиксированы титан (0.00–2.60 мас. % TiO_2), марганец (0.00–2.36 мас. % MnO), ванадий (0.00–2.01 мас. % V_2O_3) и никель (0.00–0.51 мас. % NiO). Линии кремния и кальция в спектрах рентгеновской флуоресценции и соответствующие им содержания (0.00–2.64 мас. % SiO_2 , 0.00–0.31 мас. % CaO) в некоторых пробах, как мы полагаем, обусловлены главным образом присутствием посторонних минеральных примесей – кварца, силикатов и карбонатов (либо находящихся непосредственно в зоне возбуждения электронного пучка, либо имеющих субмикронные размеры).

² Все железо измерено как FeO .

³ Приводятся сведения по нормализованным к 100% данным по локальным точкам микрозондового анализа.

Распределение элементов внутри хромшпинелидов (центральные области первичной кристаллизации с относительно невысокой атомной плотностью) в первом приближении однородно у всех индивидов. Разнос значений содержаний от центра зерен к их периферии редко достигает 10%. Причем в последнем случае это, как правило, всегда можно связать с близостью реакционной каймы или какой-нибудь примесной минеральной фазы, соседствующей с точкой микроанализа на периферии зерна. Лишь в единичных случаях можно допустить, что у индивида шпинели, возможно, есть малоконтрастная первичная ростовая зональность.

Примечательной особенностью большинства хромшпинелидов ичетьюской выборки, несомненно, является повышенное содержание в них алюминия. Диапазон варьирования параметра элементарной ячейки (a_0) хромшпинелидов, по данным рентгеноструктурного анализа, находится в интервале 8.16–8.26 Å, характерном именно для высокоглиноземистых хромшпинелидов.

Составы ичетьюских хромшпинелидов в обобщенном нестрогом виде можно представить как вариации вещественных характеристик твердых растворов на основе минеральных компонент MgCr_2O_4 , FeCr_2O_4 и MgAl_2O_4 (магнезиохромит-хромит-шпинель). В опубликованных работах имеются альтернативные варианты аппроксимации составов ичетьюских хромшпинелидов с использованием других комбинаций минералов (например, в работе В.И. Силаева и его коллег (2008б) в числе прочих оценивается вклад герцинита и ганита, подчеркивающих выраженную глиноземистость среднетиманских шпинелей). Во избежание возможных разночтений при составлении итогового обобщенного названия минерала удобнее воспользоваться номенклатурой хромшпинелидов, разработанной Н.В. Павловым (Павлов, 1949; Павлов и др., 1968)⁴ (рис. 7). Исходя из последней, можно утверждать, что первичные составы основной части индивидов хромовых шпинелей Ичетью по всем участкам опробования объекта чаще всего соответствуют хромпикотиту (ХП) и близкому по вещественным характеристикам субферрихромпикотиту (СФХП). Единичные экземпляры (встречены на участках К–100 и Золотой Камень) представляют собой шпинели алюмохромитового состава (АХ). В одном из таких редких зерен установлено самое высокое содержание хрома среди изученных нами ичетьюских хромшпинелидов (~ 53 мас. %

⁴ В литературе, посвященной хромшпинелидам, имеются и другие сходные примеры их классификаций, например вариант, разработанный А.В. Округиным (2001). Выбор авторами настоящей статьи классификации Н.В. Павлова (1949) обусловлен ее частым употреблением в работах по хромшпинелидам Тимана.

Таблица 1. Состав и формульные коэффициенты индивидов хромшпинелидов из конглобрекчиевых горизонтов пиземской свиты (D_{pg}) Ичетъюской площади (данные микрозондового анализа)

Table 1. Content and formula coefficients of chromespinelide individuals from conglobreccia horizons of Pizhemskaaya suite (D_{pg}) of Ichet'yu productive area (microprobe analysis data)

Компонент	2559-ИЧЕ-12/167			2559-ИЧЕ-12/168			2559-ИЧЕ-12/169			2559-ИЧЕ-12/170			2559-ИЧЕ-12/171		
	1 ц	2 п	3 эк	4 ц	5 п	6 эк	7 ц	8 п	9 пр	10 ц	11 п	12 ц	13 п	14 эк	15 эк
SiO ₂	0.21	0.10	0.43	0.20	0.16	0.06	0.39	0.15	0.06	0.41	0.15	0.25	0.29	1.80	1.10
TiO ₂	0.59	0.84	0.54	0.70	0.64	0.82	0.87	0.93	0.83	0.67	0.58	0.51	0.59	0.78	0.23
Al ₂ O ₃	26.17	25.92	23.29	33.14	33.15	28.79	29.48	30.51	25.82	31.46	35.98	32.07	33.44	2.37	2.44
Cr ₂ O ₃	41.51	42.26	37.56	34.68	34.99	35.48	37.64	37.48	37.27	34.70	33.71	35.26	35.91	39.89	40.97
V ₂ O ₅	0.03	0.00	0.00	0.16	0.10	0.31	0.22	0.1	0.34	0.30	0.07	0.22	0.11	0.46	0.65
FeO	15.23	14.87	28.41	15.31	14.86	25.74	14.70	14.34	22.34	15.08	15.23	14.63	15.30	31.49	32.72
MnO	0.46	0.48	0.49	0.65	0.04	0.59	0.28	0.29	0.27	0.61	0.38	0.29	0.22	0.58	0.47
MgO	16.15	16.43	4.09	15.14	16.23	2.55	16.45	13.25	5.06	15.39	14.55	17.32	13.58	0.23	0.22
CaO	0.00	0.00	0.09	0.08	0.10	0.08	0.08	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.15	0.26	0.10
NiO	0.36	0.30	0.16	0.29	0.00	0.08	0.08	0.31	0.17	0.49	0.00	0.33	0.14	0.00	0.00
ZnO	0.05	0.00	5.73	0.00	0.00	7.13	0.03	0.00	9.20	0.00	0.35	0.00	0.24	7.23	6.91
Сумма	100.76	101.20	100.79	100.35	100.27	101.63	100.22	97.36	101.38	99.15	101.00	100.88	99.97	85.09	85.81
Ti ⁴⁺	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
Al ³⁺	0.91	0.90	0.89	1.13	1.13	1.08	1.02	1.08	0.97	1.09	1.22	1.08	1.15	0.12	0.12
Cr ³⁺	0.97	0.98	0.97	0.80	0.80	0.89	0.87	0.89	0.94	0.81	0.76	0.80	0.83	1.40	1.41
V ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02
Fe ³⁺	0.11	0.10	0.13	0.05	0.06	0.01	0.09	0.00	0.06	0.08	0.00	0.10	0.00	0.44	0.44
Fe ²⁺	0.27	0.26	0.65	0.32	0.30	0.69	0.27	0.37	0.53	0.30	0.36	0.25	0.38	0.73	0.75
Mn ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Mg ²⁺	0.71	0.72	0.20	0.66	0.70	0.12	0.72	0.61	0.24	0.68	0.62	0.74	0.60	0.02	0.01
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ni ²⁺	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Zn ²⁺	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.22	0.00	0.01	0.00	0.00	0.24	0.22
Т.ш.	СФАХ	СФАХ	СФАХ	ХП	ХП	ХП	ХП	ХП	ХП	ХП	ХП	СФХП	ХП	ФХ	СФХ

Компонент	2559-ИЧЕ-12/171			2560-ИЧЕ-12/18			2570-ИЧЕ-12/25			2570-ИЧЕ-12/32					
	16 эк	17 пр	18 ц	19 п	20 ц	21 п	22 ц	23 п	24 эк	25 ц	26 п	27 эк	28 эк	29 ц	30 п
SiO ₂	0.22	0.36	0.00	0.21	0.11	0.30	0.32	0.44	2.52	0.15	0.14	0.74	0.73	0.09	0.29
TiO ₂	0.66	0.62	0.79	0.60	0.86	0.79	0.41	0.55	0.45	0.78	0.87	0.44	0.30	0.44	0.70
Al ₂ O ₃	26.93	30.05	26.65	26.21	30.50	33.62	34.90	35.32	12.13	30.33	32.72	3.01	3.22	32.87	32.98
Cr ₂ O ₃	33.69	32.97	40.96	41.46	36.96	34.98	31.53	30.91	44.53	36.39	36.42	42.88	45.90	32.55	33.06
V ₂ O ₅	0.00	0.20	0.14	0.10	0.17	0.23	0.27	0.40	1.92	0.19	0.13	0.51	0.68	0.31	0.26
FeO	31.32	23.92	15.38	15.50	16.46	14.42	15.50	14.38	21.31	14.73	14.84	28.83	31.75	14.95	15.81
MnO	0.67	0.71	0.44	0.11	0.25	0.41	0.37	0.60	0.60	0.01	0.27	0.56	0.47	0.08	0.31
MgO	0.83	4.98	13.94	14.48	13.46	15.31	17.05	17.24	0.34	15.05	15.46	0.00	0.00	16.38	16.09
CaO	0.03	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.09	0.00	0.04	0.14	0.09	0.00	0.03
NiO	0.29	0.34	0.21	0.17	0.15	0.16	0.26	0.20	0.13	0.17	0.36	0.00	0.00	0.12	0.36
ZnO	5.92	4.99	0.00	0.09	0.20	0.19	0.12	0.19	11.36	0.00	0.07	6.44	6.36	0.00	0.13

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continuation

Компонент	2560-ИЧЕ-12/18										2570-ИЧЕ-12/25				2575-30Л-12/271			
	16 эк	17пр	18 ц	19 п	20 ц	21 п	22 ц	23 п	24 эк	25 ц	26 п	27 эк	28 эк	29 ц	30 п			
Сумма	100.56	99.14	98.57	98.94	99.12	100.41	100.74	100.24	95.38	97.80	101.32	83.55	89.50	97.79	100.02			
Ti ⁴⁺	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02			
Al ³⁺	1.04	1.13	0.95	0.94	1.08	1.15	1.17	1.19	0.54	1.07	1.11	0.16	0.16	1.14	1.13			
Cr ³⁺	0.87	0.83	0.98	0.99	0.87	0.80	0.71	0.70	1.34	0.86	0.83	1.51	1.50	0.76	0.76			
V ³⁺	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.06	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01			
Fe ³⁺	0.07	0.02	0.04	0.06	0.03	0.03	0.11	0.10	0.04	0.05	0.04	0.30	0.31	0.09	0.10			
Fe ²⁺	0.79	0.62	0.35	0.34	0.39	0.32	0.26	0.25	0.64	0.32	0.32	0.77	0.79	0.28	0.29			
Mn ²⁺	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01			
Mg ²⁺	0.04	0.24	0.63	0.65	0.60	0.66	0.72	0.73	0.02	0.67	0.66	0.00	0.00	0.72	0.69			
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00			
Ni ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01			
Zn ²⁺	0.14	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.21	0.19	0.00	0.00			
Т.ш.	ХП	ХП	АХ	АХ	ХП	ХП	СФХП	СФХП	СФХП	ХП	ХП	СФХ	СФХ	ХП	СФХП			
Компонент	2570-ИЧЕ-12/36										2575-30Л-12/208				2575-30Л-12/271			
	31 ц	32 п	33 ц	34 п	35 ц	36 п	37 эк	38 ц	39 п	40 эк	41 эк	42 ц	43 п	44 п				
SiO ₂	0.32	0.23	0.22	0.25	0.11	0.28	0.26	0.46	0.20	0.22	1.12	0.26	0.22	0.00				
TiO ₂	0.72	0.40	0.57	0.61	0.14	0.00	2.48	0.72	0.89	0.53	0.48	0.42	0.50	0.66				
Al ₂ O ₃	31.04	32.85	30.21	31.34	14.43	15.32	4.04	32.23	33.39	29.04	3.04	33.92	35.89	33.03				
Cr ₂ O ₃	37.11	36.40	37.07	38.06	53.12	51.84	45.06	34.54	32.95	29.42	41.83	32.60	31.30	34.01				
V ₂ O ₅	0.08	0.27	0.37	0.42	0.23	0.23	0.26	0.21	0.12	0.25	0.25	0.00	0.09	0.11				
FeO	14.94	15.46	15.53	17.27	24.03	25.31	38.32	14.93	16.31	30.06	29.32	15.25	14.96	14.74				
MnO	0.23	0.03	0.54	0.00	0.67	0.73	0.41	0.16	0.29	1.68	0.89	0.09	0.38	0.07				
MgO	16.53	15.34	14.91	11.94	7.13	6.49	0.25	16.30	15.51	1.49	0.17	16.78	17.90	17.74				
CaO	0.03	0.02	0.17	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.08	0.00	0.00				
NiO	0.31	0.44	0.50	0.16	0.12	0.20	0.00	0.11	0.51	0.21	0.05	0.08	0.13	0.15				
ZnO	0.00	0.00	0.03	0.02	0.62	0.27	4.13	0.33	0.14	6.60	7.51	0.46	0.13	0.00				
Сумма	101.31	101.44	100.12	100.07	100.61	100.67	95.21	99.99	100.31	99.50	84.72	99.94	101.50	100.51				
Ti ⁴⁺	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.07	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01				
Al ³⁺	1.05	1.11	1.05	1.09	0.56	0.60	0.18	1.10	1.14	1.12	0.16	1.15	1.18	1.11				
Cr ³⁺	0.85	0.83	0.86	0.89	1.38	1.35	1.37	0.79	0.75	0.76	1.45	0.74	0.69	0.77				
V ³⁺	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00				
Fe ³⁺	0.08	0.04	0.06	0.00	0.05	0.05	0.37	0.08	0.09	0.10	0.37	0.10	0.11	0.11				
Fe ²⁺	0.28	0.33	0.32	0.45	0.61	0.65	0.86	0.28	0.31	0.72	0.71	0.27	0.24	0.24				
Mn ²⁺	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.05	0.03	0.00	0.01	0.00				
Mg ²⁺	0.71	0.66	0.66	0.55	0.35	0.32	0.01	0.71	0.67	0.07	0.01	0.72	0.75	0.75				
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Ni ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
Zn ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.12	0.01	0.00	0.16	0.24	0.01	0.00	0.00				
Т.ш.	ХП	ХП	ХП	ХП	АХ	АХ	СФХ	ХП	ХП	СФХП	СФХ	ХП	СФХП	СФХП				

Таблица 1. Окончание
Table 1. Ending

Компонент	2575-ЗОЛ-12/271		2575-ЗОЛ-12/286		2575-ЗОЛ-12/290		2589-СИД-12/10			2589-СИД-12/15			2589-СИД-12/18	
	45 пр	46 эк	47 ц	48 п	49 ц	50 п	51 ц	52 п	53 эк	54 ц	55 п	56 пр	57 ц	58 п
SiO ₂	0.24	0.15	0.39	0.08	0.16	0.24	0.25	0.21	0.06	0.26	0.27	0.46	0.22	0.23
TiO ₂	0.30	0.45	0.49	0.58	0.28	0.50	0.54	0.60	2.11	0.58	0.60	0.63	0.78	0.70
Al ₂ O ₃	30.83	22.38	29.86	31.48	28.81	28.98	27.35	28.38	12.55	30.21	31.76	34.21	29.12	30.14
Cr ₂ O ₃	30.05	32.94	38.65	35.73	40.05	39.90	38.47	38.20	30.85	36.08	35.83	34.89	38.50	37.09
V ₂ O ₅	0.18	0.34	0.19	0.16	0.20	0.00	0.35	0.12	0.39	0.16	0.05	0.00	0.12	0.10
FeO	28.83	30.38	15.95	14.71	12.78	12.37	15.71	17.66	48.49	14.96	14.83	29.51	15.71	15.64
MnO	0.17	0.25	0.59	0.14	0.41	0.46	0.57	0.19	2.35	0.55	0.35	0.49	0.14	0.23
MgO	3.37	1.38	15.47	15.58	17.50	16.99	16.37	15.04	0.60	16.37	17.18	7.15	16.05	16.53
CaO	0.15	0.00	0.14	0.00	0.04	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.14	0.00	0.01
NiO	0.10	0.00	0.34	0.26	0.28	0.11	0.27	0.35	0.08	0.29	0.19	0.43	0.16	0.22
ZnO	6.25	9.06	0.00	0.41	0.00	0.00	0.14	0.00	1.94	0.06	0.11	1.42	0.00	0.08
Сумма	100.47	97.33	102.07	99.13	100.51	99.61	100.04	100.75	99.42	99.52	101.21	109.33	100.80	100.97
Ti ⁴⁺	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Al ³⁺	1.15	0.91	1.02	1.09	0.99	1.00	0.95	0.99	0.52	1.04	1.07	1.15	1.00	1.03
Cr ³⁺	0.75	0.89	0.89	0.83	0.92	0.93	0.90	0.89	0.85	0.84	0.81	0.78	0.89	0.85
V ³⁺	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.08	0.18	0.08	0.06	0.08	0.06	0.13	0.11	0.57	0.10	0.10	0.06	0.09	0.10
Fe ²⁺	0.69	0.69	0.31	0.30	0.23	0.24	0.26	0.33	0.85	0.26	0.25	0.65	0.29	0.27
Mn ²⁺	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.07	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Mg ²⁺	0.16	0.07	0.67	0.68	0.76	0.74	0.72	0.66	0.03	0.72	0.73	0.30	0.70	0.71
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni ²⁺	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Zn ²⁺	0.15	0.23	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Т.ш.	ХП	СФХП	ХП	ХП	ХП	ХП	СФХП	СФХП	—	СФХП	СФХП	ХП	ХП	СФХП

Примечание. Трехбуквенные сокращения в номерах проб отвечают определенным участкам объекта Ичетью (Ичетьинской площади): ИЧЕ – Ичетью (карьер № 100), ЗОЛ – Золотой Камень, СИД – Сидоровский. Используемые сокращения для обозначения места точки микроанализа: ц – центр, п – периферия, пр – прожилок, эк – эпигенетическая кайма. Хромшпинелиды с корневой частью номера 2570-ИЧЕ-12 извлечены из пробы песчаника. Т.ш. – тип шпинели, аббревиатура номенклатуры хромшпинелидов (Павлов, 1949): АХ – аллохромит, СФАХ – субферриаллохромит, САФХ – субалломоферрихромит, ХП – хромпицит, СФХП – субферрихромпицит, СФХ – субферрихромит, ФХ – феррихромит.

Note. Trigram abbreviations in number of probes are correspond to the defined areas of Ichet'yu object (Ichet'yu productive area): ИЧЕ – Ichet'yu (mine № 100), ЗОЛ – Zolotoy Kamen', СИД – Sidorovsky. The short titles for place of microprobe analyses: ц – center, п – periphery, пр – veinlets, эк – epigenetic rim. Chromespinelides with root section of number 2570-ИЧЕ-12 were selected from the sandstone probe. Т.ш. – spinel type, nomenclature abbreviation of chromespinelides (Павлов, 1949): АХ – aluminochromite, СФАХ – subferrialluminochromite, САФХ – subaluminoferrichromite, ХП – chrompicotite, СФХП – subferrichrompicotite, СФХ – subferrichromite, ФХ – ferrichromite.

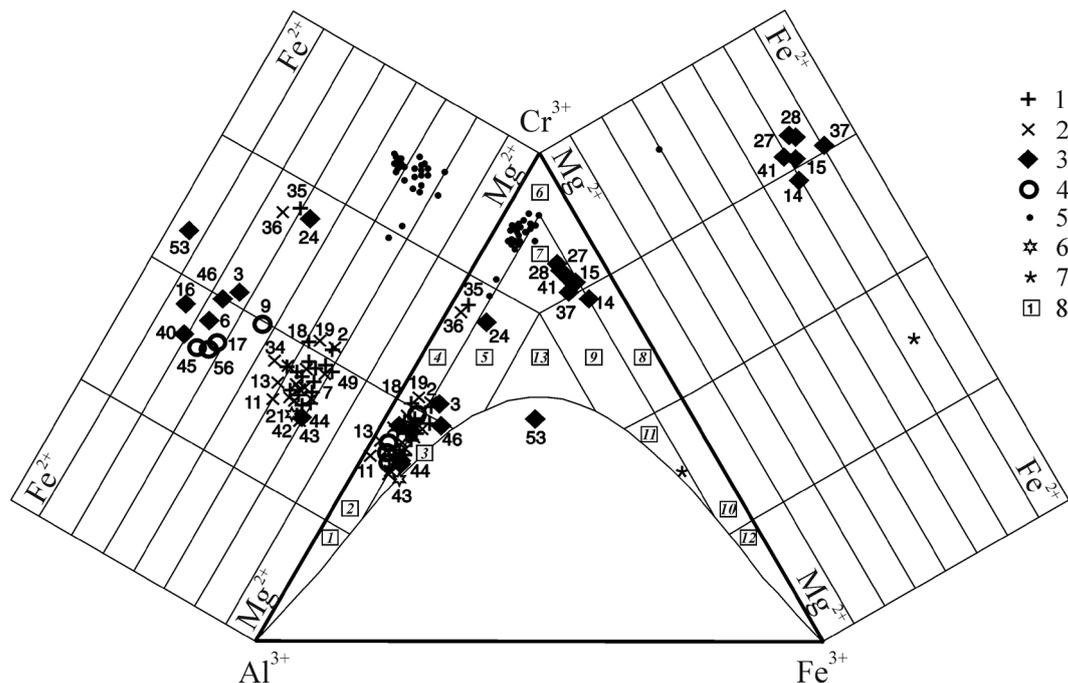


Рис. 7. Диаграмма составов хромшпинелидов Ичетью (номера анализов соответствуют таковым в табл. 1).

1–2 – точки анализа в неизмененных областях: 1 – центр, 2 – периферия; 3–4 – точки анализа в участках эпигенных преобразований: 3 – кайма, 4 – микрожилки; 5 – составы хромшпинелидов из алмазных включений и кимберлитов по данным (Соболев и др., 1975; Похиленко и др., 2001); 6–7 – зональный хромшпинелид из лампрофиров Четласского камня: 6 – центр, 7 – кайма (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005); 8 – шпинелевые разновидности; классификационные поля шпинелевых разновидностей в системе твердых растворов хромит-пикотит-магнетит по Н.В. Павлову (1949): 1 – пикотит, 2 – хромпикотит, 3 – субферрихромпикотит, 4 – алюмохромит, 5 – субферриалюмохромит, 6 – хромит, 7 – субферрихромит, 8 – феррихромит, 9 – субалюмоферрихромит, 10 – хроммагнетит, 11 – субалюмохроммагнетит, 12 – магнетит, 13 – ферриалюмохромит.

Fig. 7. Diagram of compositions of chrome-spinellides from Ichet'yu (numbers of analyses correspond to the table 1).

1–2 – unaltered area: 1 – center, 2 – periphery; 3–4 – zone of epigenic alterations: 3 – rim, 4 – microveins; 5 – compositions of chrome-spinellides from diamond inclusions and kimberlites according to (Соболев и др., 1975; Похиленко и др., 2001); 6–7 – zonal chromspinelide from lamprophyres of Chetlassky Kamen': 6 – center, 7 – rim (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005); 8 – spinel varieties; classification fields of spinel composition varieties in the system of solid solutions of chromite-picotite-magnetite after (Н.В. Павлов, 1949): 1 – picotite, 2 – chrompicotite, 3 – subferrichrompicotite, 4 – aluminochromite, 5 – subferri-aluminochromite, 6 – chromite, 7 – subferrichromite, 8 – ferrichromite, 9 – subaluminoferrichromite, 10 – chrommagnetite, 11 – subaluminochrommagnetite, 12 – magnetite, 13 – ferri-aluminochromite.

Cr_2O_3)⁵. Всего один раз (участок К-100) был обнаружен индивид с субферриалюмохромитовым составом (СФАХ).

⁵ В нескольких зернах, в их внутренней части, отмечались локальные (размером до нескольких десятков микрон) ламелевидные или чечевицепоподобные рельефные участки с аномально повышенной атомной плотностью, всегда ограниченные микротрещинами. Данные участки характеризовались аномально повышенными содержаниями хрома (~70 мас. % Cr_2O_3) при аномально пониженной сумме значений микроанализа (~50 мас. %). Поскольку аномальность свойств поверхности препарата не отвечает стандарту условий микроанализа, то в дальнейшем аномальная плотность и составы околотрещинных "микрочечевиц" мы предпочли отнести к аппаратурным артефактам.

Составы реакционных каем (области с повышенной атомной плотностью) в целом явно отличаются от областей первичной кристаллизации. Если участки сохранившейся в кайме реликтовой хромшпинели имеют преимущественно все те же хромпикотитовые и субферрихромпикотитовые составы, то составы новообразованной хромшпинели в реакционной зоне (светлый тон в режиме обратнорассеянных электронов) сильно обеднены алюминием и магнием и, напротив, заметно обогащены хромом, а в особенности железом и цинком. В последнем случае в кайме обнаруживаются высокохромистые составы, которые, согласно классификации Павлова, относятся уже к субферрихромитам (СФХ) и феррихромитам (ФХ). В целом их также можно охарактеризовать как твердые растворы

на основе $ZnFe_2O_4$ и $FeCr_2O_4$ (франклинит-хромит, или цинкмагнетит-хромит).

Отметим, что использование метода РФА показало, что по крайней мере у 25 из 63 (40%) индивидов ичетьюских хромшпинелидов присутствует в составе цинк, и это также означает, что у них есть эпигенетические кайма или прожилки. В действительности количество таких шпинелей достигает, по-видимому, не менее половины, учитывая пороговую чувствительность РФА и вероятность проведения анализа хромшпинелида со стороны сколотой или ненарушенной поверхности (в последнем случае оцениваемый вклад цинка в сумму анализа чаще будет повышенным). По сравнению с центральными участками в реакционной кайме хромшпинелидов спорадически отмечаются повышенные содержания (до единиц мас. % на оксид) кремния, титана, марганца и ванадия. Особо следует отметить, что довольно часто состав каймы имел невысокую сумму анализов (опускается до 85–89 мас. %).

Микроминеральные включения. В ичетьюских хромшпинелидах, причем нередко в их внутренней области первичной кристаллизации, обнаруживаются микроминеральные фазы размером от нескольких единиц до нескольких десятков микрон. Чаще всего наблюдаются микровключения различных силикатов, близких по составу мусковиту (см. рис. 5г, е), биотиту, хлориту (все они, по-видимому, содержат хром), фукситу (?), кеммерериту-кочубейту (?), а также клинопироксену, амфиболу, скаполиту (?). Несколько раз фиксировались включения карбонатного (доломитоподобного) состава, в том числе в ассоциации с силикатами. В одном случае внутри индивида шпинели (обр. 2570-ИЧЕ-12/33) было выявлено относительно крупное (~ 50 мкм) включение-сросток двух контрастных по атомной плотности минеральных фаз мусковитового и монацитового состава сложной формы (см. рис. 5д, е). Размер выделения монацита составлял ~20 мкм по удлинению и ~10 мкм в поперечнике. Монацит характеризуется следующим усредненным составом (мас. %, общая сумма приведена к 100 мас. %, содержания менее 0.2 мас. % опущены): P_2O_5 – 33.41, La_2O_3 – 20.52, Ce_2O_3 – 33.10, Pr_2O_3 – 2.11, Nd_2O_3 – 8.57, Dy_2O_3 – 0.27, SrO – 0.52, FeO – 0.40, ThO_2 – 0.40.

В этой связи важно отметить, что, помимо этого примера с хромшпинелидом и включением монацита, и в зернах других акцессорных минералов из псефитов пижемской свиты Ичетью, таких как ильменорутит и колумбит (являющихся концентраторами ниобия), а также у некоторых цирконов нам удалось обнаружить сростки или включения с редкоземельными фосфатами (монацитом, ксенохимом, флоренситом) или эпигенетические выделения этих фосфатов в составе реакционных каем.

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР). Спектры КР центральной (внутренней) обла-

сти хромшпинелидов Ичетью имеют стандартный набор линий – 336, 439, 528, 622.735 cm^{-1} (рис. 8а, е). Характеристики данного спектра во многом сходны со спектрами эталона и баз данных по хромшпинелидам. Однако спектры КР цинксоодержащей

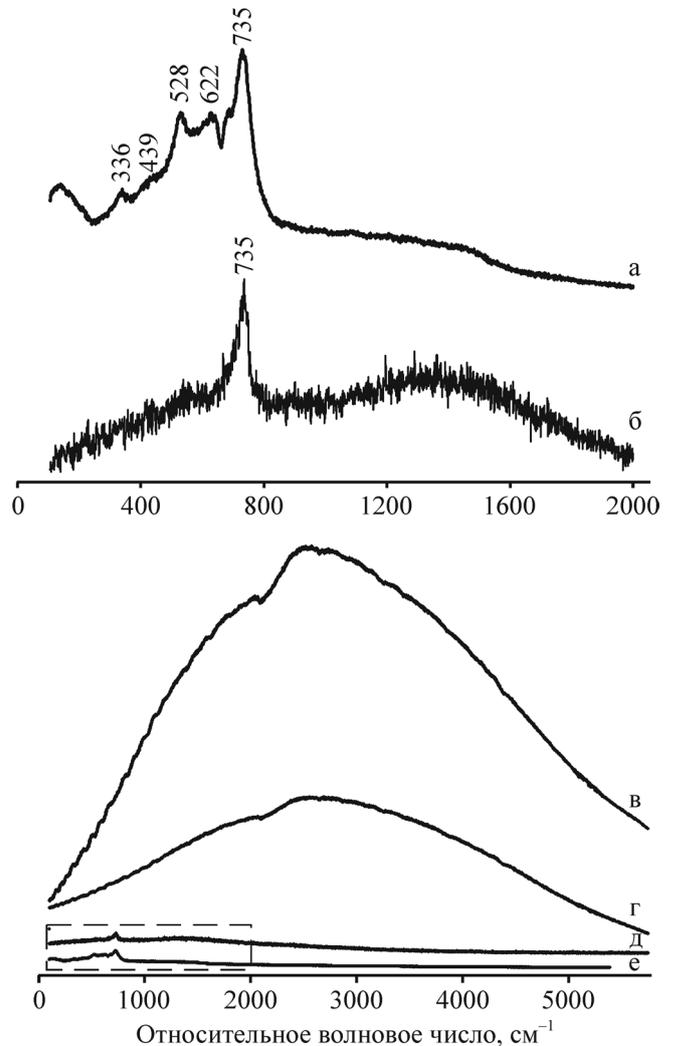


Рис. 8. Спектры комбинационного рассеяния центральной области (а, е) и цинксоодержащей метасоматической каймы (б–д) индивида хромшпинелида.

Режим регистрации: а, е – мощность 20 мВт; б, д – мощность 0.2 мВт; а, б – диапазон 100–2000 cm^{-1} , записан в крупном масштабе; в – мощность 20 мВт (первая повторная запись в точке б, д); г – мощность 20 мВт (вторая повторная запись в точке б, д). Пояснения см. в тексте.

Fig. 8. Raman spectra of central area (а, е) and zinc-enriched metasomatic rim (б–д) of chromspinel individual.

Registration conditions: а, е – power 20 mW; б, д – power 0.2 mW; а, б – spectral interval 100–2000 cm^{-1} , recorded in detailed scale; в – power 20 mW (first re-record in points б, д); г – power 20 mW (second re-record in points б, д). See explanations in the text.

каймы качественно отличаются по составу и кинетике. Во-первых, выяснилось, что типичный спектр хромшпинели в метасоматической кайме можно зарегистрировать, только используя щадящий режим с низкой мощностью лазера. В этом случае в спектре достаточно хорошо проявляется линия 735 см^{-1} (см. рис. 8б, д). Во-вторых, при увеличении мощности лазера до практикуемых рабочих значений вместо спектра шпинели наблюдается широкий и весьма интенсивный спектр с двумя доминирующими уширенными диффузными максимумами в области $1000\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, структурированных мелкими модами (см. рис. 8в). Такого рода спектры характерны для сложных органических веществ. При повторной регистрации с той же самой точки анализа заметно снижается общая интенсивность спектра КР (см. рис. 8г), отчасти нивелируются мелкие моды. Отметим, что искусственное заражение хромшпинелидов органическим веществом или углеродом в применяемой методике препарирования образцов исключено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Итак, проведенное исследование хромшпинелидов из псефитов пижемской свиты (D_2pg) среднетиманского объекта Ичетью, продемонстрировало присутствие индивидов с простым, однородным строением и широкую распространенность индивидов с оболочками (каймами). Однородные индивиды и внутренняя, однородная и наиболее массивная часть индивидов с оболочками представляют собой шпинели первичной кристаллизации. Их состав, очевидно, отражает ранний и основной этап формирования минерала и вмещающей его материнской породы. Как было показано, в этих шпинелях помимо хрома содержится также много алюминия, магния и железа. В полях диаграммы Н.В. Павлова (Павлов, 1949; Павлов и др., 1968), отражающих тренды магматитов Урала, основная масса шпинелей Ичетью, находящаяся в границах хромпикотитовых или субферрихромпикотитовых составов (см. рис. 7), соответствует хромшпинелидам из гарцбургитов и верлитов, а редкий для Ичетью алюмохромитовый тип отвечает полю дунитов.

Следовательно, применительно к Тиману происхождение основной группы слабо варьирующих по составу ичетьюских хромшпинелидов можно объяснить генетической связью с каким-то одним преобладающим типом докембрийских мантийных ультрабазитовых перидотитов. Второй и весьма редкий тип хромшпинелидов генетически связан с оливинонасыщенными ультрабазитами, кристаллизация которых происходила при более высокой температуре. Возможно также, что и основная и редкая группы хромшпинелидов Ичетью связаны с различными зонами (фациями) одних и тех

же тел гипербазитов, кристаллизовавшихся в условиях градиента температур и давлений. В работе Д.Е. Савельева (2013), содержащей материал по Южному Уралу, показано, как подобные тренды хромшпинелидов могут соотноситься с геодинамическими обстановками в рамках представлений тектоники плит.

У немногочисленных алюмохромитов Ичетью содержание Cr_2O_3 самое большое по выборке ичетьюских шпинелей (достигает 53 мас. %). Однако, по литературным сведениям, даже в них содержание Cr_2O_3 , как и у остальных хромшпинелидов Ичетью, 30–40 мас. %, что заметно ниже, чем у хромшпинелидов алмазной ассоциации, обнаруженных в виде включений в алмазах или в качестве акцессориев в алмазоносных кимберлитах и ксенолитах различных провинций (Якутия, Архангельск, Канада, Южная Африка) (Бобриевич и др., 1959; Соболев и др., 1975; Доусон, 1985; Гаранин и др., 1991; Богатиков и др., 1999; Похиленко и др., 2001) (см. рис. 7). Для алмазоносных ассоциаций значения Cr_2O_3 обычно находится в интервале 62–68 мас. %, т.е. вблизи значений, равных $2/3$ от суммы анализа, что очевидно указывает на то, что в у хромшпинелидов алмазной ассоциации (в отличие от Ичетью) хром почти полностью насыщает позиции трехвалентного катиона в структуре минерала. Разумеется, этот вывод можно считать корректным в предположении о нормальном типе структуры ичетьюских шпинелей с теоретической кристаллохимической формулой AB_2O_4 , в которой на 8 тетраэдров элементарной ячейки, занятых катионами A^{2+} , приходится 16 октаэдров с катионами B^{3+} .

В действительности, как мы знаем, в природных хромшпинелидах может иметь место отклонение состава от стехиометрии структуры нормального типа или могут одновременно быть установлены различные типы структур, как это было, например, продемонстрировано при изучении уральских хромшпинелидов С.Л. Вотяковым с коллегами (2009), которые обнаружили вариации соотношений Fe^{2+} и Fe^{3+} и их распределений по структурным позициям при помощи мессбауэровской спектроскопии.

Как было нами показано, почти у половины хромшпинелидов Ичетью есть прекрасно сохранившаяся тонкая оболочка с отчетливыми признаками позднего вторичного процесса реакционно-го (метасоматического) типа. Очевидно, что породы, изначально содержащие хромшпинелиды, подвергались воздействию нагретых агрессивных растворов (флюидов), в результате чего на гранях кристаллов шпинелей возникли локальные участки коррозии или сплошные области метасоматического замещения оболочечного типа, которые на срезах индивидов видны как каймы. Граница реликтовой шпинели и новообразованной каймы неров-

ная, что характерно для фронтальных участков типичных метасоматитов, обычно имеющих сходные бахромистые фрактально-морфные макроскопические разграничения в виде стилолитовых швов. В строении каем видны похожие миниатюрные фронтальные области с полостями растворения и сложная пронизывающая реликтовые участки индивида микропрожилковая сеть из новообразованной хромшпинели. Как было отмечено нами, наряду с существенно другим элементным составом у новообразованной хромшпинели из каймы есть еще одна характерная особенность – стабильно пониженные суммы составов, которые наводили нас на мысль о том, что если это не аппаратурный артефакт (кайма ведь пористо-трещиноватая), то в их составе, возможно, присутствует вода. На условия внешнего воздействия на хромшпинелиды растворов, родственных гидротермальным, косвенно может указывать и присутствие в них включений мусковита и других разновидностей слюд.

Но главная причина низких сумм у железистых оцинкованных оболочек хромшпинелидов Ичетью, как удалось выяснить при помощи спектроскопии КР, все же оказывается обусловлена не столько гидротермально-метасоматическим внешним воздействием, сколько специфичным составом гидротермального флюида. Данные спектроскопии КР демонстрируют присутствие молекул органического вещества в метасоматических каймах хромшпинелидов, следовательно, в гидротермальном флюиде имелись углеводороды (УВ). Элементы, входящие в состав последних в стандартных режимах микрозондового анализа, не определяются (как и вода), поэтому и получают заниженные суммы анализов у хромшпинелей. Состав, форма вхождения и распределения углеродсодержащего вещества в цинксодержащих реакционных оболочках ичетьюских хромшпинелидов в деталях пока не известны и могут быть выяснены только при специальном исследовании. Отметим, что ранее нами уже сообщалось об аналогичном обогащении УВ веществом иттрийсодержащих цирконов из девонских псефитов Ичетью (Макеев и др., 2014). По нашим сведениям, присутствие УВ, фиксируемое при помощи спектроскопии КР, есть и у других рудных минералов россыпепроявления Ичетью – ксенотима, монацита (как у желтых, так и серых куларито-подобных разновидностей) и даже у золота.

В контексте обнаружения гидротермально-метасоматического обогащения УВ веществом хромшпинелей Ичетью заслуживает упоминания недавно опубликованные данные О.С. Кочеткова и И.И. Лебедева (2013), показывающие, что углеводородонасыщенная глубинная (ювенильная) флюидная активность весьма характерна для байкальского (рифейского) фундамента Тимана и всего Варангер-Тиманского пояса (как обозначили его эти авторы).

Вернемся к обсуждению формирования реакционных каем на хромшпинелях. По мере того как вследствие метасоматических изменений на поверхностях шпинелевых индивидов формировались каймы, в них происходило перераспределение элементов, сопровождавшееся выносом магния и алюминия, компенсированное увеличением содержания (“привнесом”) железа и цинка. Несмотря на то что хрома в кайме заметно больше, чем в центральной области первичной кристаллизации хромшпинелидов, это элемент, вероятно, вел себя инертно или даже мог также частично выноситься при метасоматозе. Простой расчет показывает, что относительный “прирост” содержания хрома возникает прежде всего вследствие убыли магния и алюминия близко-пропорционально прежнему вкладу элемента в общий состав, и прирост этот должен был быть даже несколько больше, чем наблюдается на самом деле, если бы не железо и цинк, которых оказалось в избытке.

Отметим, что подобные ичетьюским метасоматически оцинкованные хромшпинелиды алюмохромитового состава с повышенными содержаниями железа и магния в позиции двухвалентного катиона были обнаружены нами при изучении акцессорных минералов из раннетриасовых терригенных алевро-песчаных отложений гамской свиты (северо-восток Восточно-Европейской платформы, Сыльская структура) (Патова и др., 2004).

В работе В.И. Силаева и его коллег (2008а) отмечается, что микротрещиноватость, микробрекчирование и пористость в хромшпинелидах способствовали их оцинкованию и могли быть “...проводниками для растворов, послуживших источником цинка...”. В свою очередь, мы можем отметить тот факт, что появление в краевых частях индивидов хромшпинелидов зон, обогащенных цинком и железом, образованных метасоматическим замещением элементами с большей атомной плотностью, чем в центре этих же самых шпинелей, очевидно, само по себе служит условием возникновения свободного пространства. Т.е. это может быть одной из причин образования пустот и густой сети микротрещин в краевых частях индивидов, и в особенности пустот и радиальных трещин во внутренних частях как последствие синерезиса.

Очевидно, что обогащенные цинком и железом субферрихромиты и феррихромиты вторичной по природе каймы ичетьюских хромшпинелидов имеют прямое отношение не к обстановкам мантийных алмазоносных фаций, а прежде всего к наложенному метасоматозу, которому породы, вмещающие хромшпинелиды, подверглись после своего формирования. Как известно по целому ряду работ (Спиридонов и др., 1989; Barnes, Roeder, 2001; Roeder, Schulze, 2008), **увеличение содержания железа во внешних зонах и каймах хромшпинелидов (хромит-магнетитовый тренд) – это свидетельство**

кристаллизации шпинелей в условиях земной коры, обстановок метаморфизма, роста фугитивности кислорода, наличия воды в кристаллизующей среде.

Можно согласиться с доводами, изложенными в работе В.И. Силаева и его коллег (2008б) о том, что "...цинкосодержание как отдельно взятое свойство хромшпинелидов не является прямым признаком алмазности, поскольку оно характерно для весьма широкого круга самых разных по составу и происхождению геологических объектов – эндогенных и экзогенных, мантийных, мантийно-коровых и коровых...". Эти же авторы обнаружили еще одну, тесно коррелирующую с этим выводом важную закономерность, – оцинкованию могут подвергаться хромшпинелиды самого разного состава.

Однако формально на диаграмме Павлова фигуративные точки составов (вернее, их проекции на диаграмму), соответствующие реакционной кайме, все же могут оказаться на тех же самых полях, что и составы шпинелей из алмазных кимберлитов. При этом следует отметить, что искусственному завышению валового содержания хрома в хромшпинелидах может способствовать некорректное усреднение составов, проводимое без учета сильного различия статистического веса обогащенной хромом тонкой каймы и менее богатых хромом, но на порядки более массивных центральных участков шпинелей. Аналогично завышение содержания хрома в шпинели может происходить в том случае, когда при изготовлении препарата сечение зерна проходит только по кайме ("по касательной") и соответственно нет пересечения центральной относительно низкохромистой области шпинелевого индивида. И все же даже во всех этих случаях на диаграммах Павлова хорошо видно, что хромшпинелиды Ичетью не только заметно обеднены хромом, но также содержат значительно меньше магния и больше железа в структурной позиции двухвалентного катиона в сравнении с хромшпинелидами эталонных алмазных объектов (см. рис. 7).

Тем не менее вслед за авторами упомянутой нами работы (Силаев и др., 2008б) и учитывая данные работы (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005), следует признать, что аномально высокое содержание цинка в хромшпинелидах Ичетью, по-видимому, является важным типоморфным признаком. Судя по всему, аномальное метасоматическое оцинкование хромшпинелидов, встречающихся в самых разных по генезису и возрасту породах Тимана и Урала, имеет отчетливо региональный (т.е. не локальный) характер. К этому же типу проявления реакционных окаймлений у хромшпинелидов следует отнести примеры с повышенными содержаниями в каймах железа, никеля и др. (Силаев и др., 2008б) Представляется, что процессы, соответствующие оцинкованию хромшпинелидов Ти-

мана и Урала, могут быть сопоставлены с непродолжительными по геологическим меркам (так как не наблюдается длительно образующихся полнотельных псевдоморфоз), но масштабными всеохватывающими событиями сродни этапам тектономагматической активизации, сопровождающимся вспышками гидротермально-метасоматической деятельности (т.е. проявлений флюидной активности в широком смысле).

Разумеется, масштабные процессы не могли быть селективными в отношении "следов", которые они оставили в виде эпигенных вростков или реакционных метасоматических окаймлений на хромшпинелидах. Похожие эпигенные выделения должны быть и у других минералов среднетиманских алмазных псефитов пижемской свиты. Таким примером как раз может служить уже упоминавшиеся нами углеводородная импрегнация многих рудных (редкометалльных и редкоземельных) минералов, специфичные выделения фосфатов, обнаруженные у иттрийсодержащего циркона (Макеев и др., 2014) и имеющиеся, по нашим данным, также и у акцессорных минералов, содержащих ниобий (колумбит, ильменорутит).

Выяснение природы реакционных оторочек подобного рода, несомненно, важно для вопросов алмазности и рудоносности изучаемого региона, сопредельных территорий и других аналогичных провинций. Так, минералы с метасоматическими (по данным некоторых исследователей, и с келифитовыми) каймами встречены на уральских алмазных объектах, и им придается определенное генетическое и поисковое значение (Чайковский, 2000). По данным работы А.Ф. Хазова и его коллег (2010), аутигенные келифитоподобные каймы есть у золота из золото-платиновых аллювиальных россыпей Урала.

По нашему мнению, важно то, что флюидо-активность, оставившая реакционные каймы на хромшпинелидах и других минералах девонских конглобрекций Ичетью, в которых помимо алмазов сконцентрированы золото и редкие металлы, ожидаемо является в широком смысле процессом металлогеническим. В этой связи не выглядит случайным совпадением обнаружение в метасоматически проработанных цинксодержащих хромшпинелидах Ичетью наложенных выделений монацита с неодим-лантан-цериевым редкоземельным составом, судя по работе (Макеев, Вирюс, 2013), нередко встречающимся у акцессорных монацитов из тех же самых конглобрекций пижемской свиты.

Состояние поверхности индивидов хромшпинелидов Ичетью явно указывает на то, что зерна этого минерала не испытывали длительного и многократного перемыва. Во многих случаях у угловатых кристаллических индивидов хромовых шпинелей не наблюдается сильного износа ребер. Более того, и у округлых индивидов, телесный облик ко-

торых, как мы полагаем, формировался во многом за счет метасоматического преобразования внешних зон, также хорошо видны несглаженные углы между гранями. В некоторых работах (Спиридонов и др., 1989) сообщалось о встречаемости округлой формы у хромшпинелидов магматических пород.

Не затронутая механическим воздействием ростовая угловатость характерна и для некоторых других акцессорных минералов из пижемских слоев девона ичетьюской площади – граната, ильменита, рутила, ильменорутита, колумбита. Контрастом к ним нередко выглядят лишь по-настоящему округло-окатанные (т.е. модифицированные механически) индивиды циркона – минерала, способного выдерживать большое количество циклов седиментации, что, разумеется, указывает на наличие многократно переотложенного материала в девонских песчаниках Ичетью.

Нельзя не заметить, что угловатый облик многих акцессорных минералов самым естественным образом корреспондирует с низкой окатанностью обломков вмещающих конглобрекций пижемской свиты. Описанная особенность телесной морфологии хромшпинелидов Ичетью указывает на то, что они и некоторые другие минералы, в числе которых есть концентраторы редких металлов, скорее всего, не имеют связи с удаленными питающими провинциями. Поэтому не удивительно, что происхождение хромшпинелидов и других акцессорных минералов Ичетью нередко связывают с местным тиманским источником (Константиновский, 2003), с перемывом конусов выноса (Щербаков и др., 2006), самой возвышенной частью Тиманского кряжа – Четласским Камнем (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005).

На последнем примере, в контексте разговора о происхождении ичетьюских хромшпинелидов, уместно остановиться и обсудить ряд существенных деталей. Здесь наши взгляды в оценке степени сходства хромшпинелидов Ичетью и Четласского Камня с авторами работы (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005), заметно разошлись. В данной работе приводятся результаты микроскопического анализа зонального цинксодержащего хромшпинелида из жильного тела лампрофира Четласского Камня. На диаграмме рис. 7 помещены соответствующие точки составов, взятых из таблиц указанной статьи. Хорошо видно, что состав внутренней (ранней) области проанализированного индивида хромшпинелида из Четласского Камня в сравнении с нашей выборкой, хотя формально и попадает в границу “гарцбургитового” поля распределения составов хромшпинелидов Ичетью (субферрихромпикотитов), но при этом типичным для ичетьюских хромшпинелидов не является, так как содержит много алюминия (как у хромшпинелидов, характерных для “лерцолитового” поля). В сравнении же с данными по ичетьюским хромшпинели-

дам, приведенными непосредственно в работе Макеевых, этот состав и вовсе оказывается вне поля хромшпинелидов Ичетью. Еще очевиднее отличие состава каймы у четласского индивида хромшпинели, столь низкоглиноземистого и повышенножелезистого, что он отвечает уже не субферрихромитовому, как в большинстве случаев у каем ичетьюских шпинелей, а субальмохроммагнетитовому составу. В итоге получается, что сходство у хромшпинелидов Ичетью и Четласского Камня состоит главным образом в том, что они имеют поздние по времени образования каймы, которые обогащены железом и цинком.

Отчетливо видно и анатомическое отличие хромшпинелидов из Ичетью и Четласского Камня. Наши фактические данные (см. рис. 6) демонстрируют наложенный метасоматический, реакционный характер у цинксодержащих каем хромшпинелидов Ичетью. Направление роста таких каем происходило от периферии к центру индивидов, т.е. каймы прорастали в индивиды. Фронт каем неровный, лишь в общих чертах повторяющий эвгедральные контуры исходных кристаллических индивидов. Между формированием индивидов хромшпинелидов и наложенным метасоматическим воздействием, по-видимому, был временной перерыв. А вот у четласских индивидов хромшпинелидов, как видно из работы (А.Б. Макеев, Б.А. Макеев, 2005), цинксодержащие каймы росли строго в противоположном направлении – от внутренних зон (граней первичных кристаллов) – наружу. При этом отчетливо видно, что кристаллические поверхности ранней хромшпинели остаются практически нетронутыми (встречаются даже геометрически правильные), т.е. цинковые каймы у четласских индивидов непрерывно дорастали на их гранях, являются их внешними ростовыми зонами.

Таким образом, приведенные в указанной работе данные не могут служить доказательством того, что хромшпинелиды Ичетью генетически напрямую связаны с магматитами Четласского Камня.

Практически для всех акцессорных минералов, и в особенности хромшпинелидов тяжелой фракции пижемской свиты, весьма характерна грубая оскольчатость, раковистые и занозистые изломы. Свежесть повреждений, полнейшее отсутствие каких-либо следов дополнительных повторных механических повреждений на поверхностях таких сколов убеждают нас в том, что оскольчатость зерен минералов возникла не в механическом потоке, а *in situ* в результате одноактного события тектонической природы. Следует отметить, что у крупнообломочного материала из вмещающих конглобрекций аналогичная “по смыслу” свежая оскольчатость также присутствует. Повышенная хрупкость индивидов хромшпинелидов, как видно из деталей их анатомического строения, связана с

их трещиноватостью, возникновение которой, по-видимому, субсинхронно их метасоматической проработке.

Любопытно, что “инситная” оскольчатость, как видно из материалов работы В.И. Силаева и соавторов (2008а), наличествует у мелких алмазов североуральских месторождений, которые представлены в основном “...обломками и осколками механически разрушенных монокристаллов...”. При этом у этих же алмазов не наблюдается следов механического износа, характерных для гидродинамически активных обстановок. По мнению указанных авторов, причиной возникновения оскольчатости у мелких североуральских алмазов (“осколкообразующая фация мантийных алмазов”, как назвали ее сами авторы) является “...спонтанное разрушение части монокристаллов из-за их аномальной внутренней механической напряженности...”, которая “...обусловлена кристаллизацией соответствующих алмазов в высокобарических условиях, завершившейся достаточно быстрой их эвакуацией к земной поверхности...”.

В примере с хромшпинелидами Ичетью, которые могут гипотетически быть связаны с изверженными ультраосновными породами, подобное объяснение их повышенной трещиноватости и хрупкости, разумеется, также возможно. Однако нельзя не заметить, что свежие сколы при этом есть у самых разных акцессорных минералов из конглобрекций пижемской свиты, в том числе и у древних (докембрийских) и очень прочных радиационно-окрашенных темно-вишневыми округлых цирконов, не подвергавшихся значительному термическому воздействию после естественного облучения и прошедших естественный механический отбор по прочности в различных циклах седиментации. Это, очевидно, указывает на самостоятельную роль тектонического фактора в образовании обсуждаемой “инситной” оскольчатости.

В контексте разговора о возможных причинах одноактных “инситных” деформаций акцессорных минералов и обломочного материала осадочных отложений уместно упомянуть отмечавшиеся в работах (Глухов и др., 2005; 2006) гляциогенные (предположительно, гляцио-тектонические) одноактные инситные вторичные пластические и разрывные деформации у мелкого кластогенного золота и свежую оскольчатость у акцессорных минералов и у крупных обломков юрских вмещающих псефитов Сысольской впадины на северо-востоке Восточно-Европейской платформы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, хромшпинелиды алмазоносных девонских псефитов пижемской свиты (D₂pg) среднетиманского объекта Ичетью, в том числе и цинк-содержащие разновидности этих шпинелей, судя

по выявленным вещественным характеристикам, не являются мантийными минералами алмазообразующих фаций или минералами-спутниками алмаза. Постоянная встречаемость данных хромшпинелевых разновидностей практически во всех терригенных комплексах осадочных пород на Тимане (равно как и на Урале, и северо-востоке Восточно-Европейской платформы) обусловлены не наличием коренных источников алмаза в регионе, а широким рассеянием хромшпинелидов, связанным с эрозией массивов ультрабазитов, не обладающих промышленными концентрациями алмазов. По этой причине использование хромшпинелидов в качестве эффективного поискового признака при шлиховой съемке посредством “хромшпинелидовой дорожки” не представляется возможным, так как найти хромшпинелид алмазной ассоциации среди многочисленных хромшпинелидов других генетических типов едва ли проще, чем сам алмаз.

Вместе с тем хромшпинелиды с наложенными метасоматическими цинк-содержащими каймами, встречающиеся в конглобрекциевых горизонтах пижемской свиты, несомненно, перспективны для детального минералогического исследования, так как могут использоваться в качестве минералов-индикаторов масштабных металлогенических событий и соответствующих им рудных формаций. Так, у реакционных цинк-содержащих окаймлений хромшпинелидов Ичетью, образовавшихся под воздействием специфичных углеводородонасыщенных флюидов, имеются признаки парагенетической связи с наложенными фосфатными выделениями на концентрирующих редкие металлы акцессорных минералах, а также акцессорными фосфатными редкоземельными минералами, которые, в свою очередь, генетически связаны с продуктами разрушения редкоземельно-редкометалльной рудной формации докембрийского фундамента Тимана.

Авторы благодарят своих коллег по работе А.Е. Сухарева, В.А. Петровского и А.Ф. Хазова за всестороннюю помощь при полевых работах; В.И. Ракина, давшего ценные консультации по вопросам кристалломорфологии и кристаллогенеза; В.А. Салдина, консультировавшего по поводу классификации осадочных отложений, и А.А. Соболеву, давшую пояснения по вопросам петрологии ультрабазитов. Особая признательность С.Т. Неверову, оперативно и качественно обработавшему большое количество монокристалльных проб при помощи рентгенофлюоресцентного анализа.

Исследования проводились при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 27 (проект УрО РАН 12-П-5-1027), гранта НШ-4795.2014.5, РФФИ 14-05-90403.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Апенко М.А., Матвеева Г.В., Плотникова М.И. (1960) Открытие алмазов на Тимане и перспективы его алмазоносности. *Материалы по изучению алмазов и алмазоносных районов СССР*. Л.: ВСЕГЕИ, 5-13.
- Бобривич А.П., Бондаренко М.Н., Гневушев М.А., Красов Л.М., Смирнов Г.И., Юркевич Р.К. (1959) Алмазные месторождения Якутии. М.: Госгеолтехиздат, 527 с.
- Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А., Кудрявцева Г.П., Васильева Е.Р., Вержак В.В., Веричев Е.М., Парсаданян К.С., Посухова Т.В. (1999) Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: МГУ, 522 с.
- Вотьяков С.Л., Суетин В.П., Лютоев В.П., Лысюк А.Ю., Миронов А.В., Чашухин И.С. (2009) Локальная неоднородность распределения ионов железа в хромшпинелидах из уральских массивов ультрамафитов по данным мессбауэровской спектроскопии. *Записки РМО*. (2), 92-105.
- Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. (1991) Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: МГУ, 240 с.
- Глухов Ю.В., Макеев Б.А., Варламов Д.А., Шевчук С.С., Исаенко С.И. (2014) Эпигенно-оцинкованные хромшпинелиды из девонских псефитов россыпепроявления Ичетью (Средний Тиман). *Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: мат-лы XVI Геологического съезда Республики Коми*. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 288-290. http://geo.komisc.ru/scientific-publication/doc_download/231--2014--ii
- Глухов Ю.В., Филиппов В.Н., Исаенко С.И., Макеев Б.А. (2005) Гляциальная природа угловатых псевдорудных форм у золота россыпепроявления Бездубово. *Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН*. (12). Сыктывкар: Геопринт, 9-10. <http://www.geo.komisc.ru/public/vestnik/2005/132/pdf/vestnik.pdf>
- Глухов Ю.В., Филиппов В.Н., Исаенко С.И. и др. (2006) Гляциогенные деформации золота из псефитов Сысольской мульды. *Записки РМО*. **135**(3), 65-77. <http://zoloto-almazny.narod.ru>
- Доусон Дж. (1985) Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир, 300 с.
- Дудар В.А. (1996) Россыпи Среднего Тимана. *Руды и металлы*. (4), 80-90. <http://zoloto-almazny.narod.ru>
- Константиновский А.А. (2003) Эпохи формирования алмазных россыпей в докембрии и фанерозое. *Литология и полез. ископаемые*. (6), 622-640.
- Кочетков О.С., Лебедев И.И. (2013) О нефтегазоносности Варангер-Тиманского пояса байкалит. *Изв. Коми научного центра УрО РАН*. **13**(1). Сыктывкар, 63-68. http://www.izvestia.komisc.ru/Archive/i13_ann.files/kochetkov.pdf
- Макеев А.Б., Вирюс А.А. (2013) Монацит проявления Ичетью (состав, морфология, возраст). *Изв. вузов. Геология и разведка*. (3), 10-15.
- Макеев А.Б., Дудар В.А. (2001) Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 336 с.
- Макеев А.Б., Макеев Б.А. (2005) Цинковые хромшпинелиды Среднего Тимана и Приполярного Урала. *Докл. АН СССР*. **404**(2), 235-240.
- Макеев Б.А., Глухов Ю.В., Варламов Д.А., Шевчук С.С., Исаенко С.И. (2014) Иттрийсодержащие цирконы из псефитов россыпепроявления Ичетью. *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. (2), 11-16. <http://www.geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2014/230/11-16.pdf>
- Мальков Б.А., Бушуева Е.Б., Попова Т.Н. (1973) Хромшпинелиды алмазной ассоциации из живецких отложений на Среднем Тиммане. *Геология, магматизм и металлогения Тимана: тез. докл.* Сыктывкар-Ухта, 35-36.
- Мальков Б.А., Холопова Е.Б. (1995) Трубки взрыва и алмазоносные россыпи Среднего Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 50 с.
- Округин А.В. (2001) Значение типоморфизма хромшпинелидов для прогнозирования коренных источников россыпной платины восточной части Сибирской платформы. *Отч. геология*. **5**, 3-10. <http://www.diamond.ysn.ru/content/01-2005.pdf>
- Павлов Н.В. (1949) Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов. М.: Наука, 88 с.
- Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. (1968) Хромиты Кимперсайского плутона. М.: Наука, 178 с.
- Патова В.А., Глухов Ю.В., Макеев Б.А. (2004) Типоморфные особенности акцессорных минералов ультраосновного парагенезиса из осадочных пород нижнего триаса юга Республики Коми. *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. (5). Сыктывкар: Геопринт, 9-12. http://www.geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2004/113/pdf/113_9-12.pdf
- Плякин А.М., Ершова О.В. (2011) История открытия и изучения Умбинско-Средненского полиминерального месторождения. *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. **7**(199), 25-29. http://www.geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2011/199/199_25-29.pdf
- Похиленко Н.П., Соболев Э.С., Мак-Дональд Дж.А., Холл А.Е., Ефимова Э.С., Зедгенизов Д.А., Логвинова А.М., Реймерс Л.Ф. (2001) Кристаллические включения в алмазах из кимберлитов района Снеп-Лейк (кратон Слейв, Канада): новые свидетельства аномального строения литосферы. *Докл. АН СССР*. **380**(3), 374-379.
- Савельев Д.Е. (2013) Состав акцессорных хромшпинелидов из ультрабазитов Южного Урала как отражение геодинамической обстановки формирования массивов. *Вестн. Пермского ун-та. Геология*. **1**(18), 17-25. http://www.psu.ru/files/docs/ob-universitete/smi/nauchnyj-zhurnal/geologiya/2013_1.pdf
- Силаев В.И., Чайковский И.И., Ракин В.И., Тетерин И.П. (2008а) Признаки осколкообразующей фации алмазов в уральских месторождениях. *Литосфера*. (6), 54-62. http://www.lithosphere.igg.uran.ru/pdf/16819004_2008_6/16819004_2008_6_054-062.pdf
- Силаев В.И., Шабалин В.Н., Голубева И.И. и др. (2008б) О цинксодержащих и цинкистых хромшпинелидах Тимано-Уральского региона. *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО*. **8**(199), 6-16. http://old.geo.komisc.ru/public/vestnik/2008/164/pdf/164_6-16.pdf
- Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. (1975) Особенности состава хромшпинелидов из алмазов и кимберлитов Якутии. *Докл. АН СССР*. **191**(11), 7-24.

- Спиридонов Э.М., Коротаева Н.Н., Ладыгин В.М. (1989) Хромшпинелиды, титаномагнетит и ильменит островодужных вулканитов Горного Крыма. *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология*. (6), 37-55. <http://ashipunov.info/jurassic/jcrimea/02/Spiridonov.et.alii.1989.PDF>
- Тиманский краж. Т. 1. (2008) Ухта: УГТУ, 339 с. http://grf.ugtu.net/sites/grf.ugtu.net/files/timanskiy_kryazh.pdf
- Хазов А.Ф., Силаев В.И., Филипов В.Н. (2010) Аутигенная минерализация в речных россыпях как природный научный феномен. *Изв. Коми НЦ УрО РАН*. (2), 54-60. http://www.izvestia.komisc.ru/Archive/i02_ann.files/hasov.pdf
- Харитонов Т.В. (2011) Библиография по алмазоносности Урала. Пермь, 836 с.
- Чайковский И.И. (2000) Преобразование хромсодержащих минералов в алмазоносных пирокластитах Северного Урала. *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении*. Пермь: ПГУ, 118-131.
- Щербаков Э.С., Глухов Ю.В., Льюров С.В. (2006) Гидравлическая крупность обломочных зерен и ее роль в формировании алмазоносной россыпи Ичет-Ю и месторождения Чернокурка. *Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. (7). Сыктывкар: Геопринт, 4-8. http://www.geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2006/139/pdf/139_4-8.pdf
- Barnes S.J., Roeder P.L. (2001) The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks. *J. Petrol.* **42**(12), 2279-2302. <http://petrology.oxfordjournals.org/content/42/12/2279.full.pdf+html>
- Roeder P.L., Schulze D.J. (2008) Crystallization of Groundmass Spinel in Kimberlite. *J. Petrol.* **49**(8), 1473-1495. <http://petrology.oxfordjournals.org/content/49/8/1473.full.pdf>

Рецензент И.С. Чащухин

Chromspinelides with zinc-bearing epigene rims from Devonian conglobreccia horizons of Ichet'yu placer-like occurrence (Middle Timan)

Yu. V. Glukhov*, B. A. Makeev*, D. A. Varlamov**, S. S. Shevchuk*, S. I. Isaenko*

*Institute of Geology Komi SC, Urals Branch of RAS

**Institute of Experimental Mineralogy RAS

Study results of accessory zinc-bearing chromspinelides from Middle Devonian psephites of Pizhemsкая suite (D₂pg) of Ichet'yu placer-like occurrence (Middle Timan) are represented. According to electron microprobe analysis the most of chromspinelides have high-alumina contents and are classified as chrompicotites and subferrichrompicotites. Epigenetic metasomatic zincification of chromspinelides, associated phosphorus-bearing rare earth's accessory minerals (monazite, xenotime, florencite), phosphatic rims and inclusions in rare-metal accessory minerals (ilmenorutile, columbite, zircon) are considered as possible paragenetic mineral association, that all combined are related with large-scale regional metallogenic event, with Timan's Precambrian formation of rare and rare earth metals.

Key-words: *chromspinelide, zinc-bearing rim, phosphorus-bearing rare and rare earth's minerals, Devonian psephites, Ichet'yu placer-like occurrence, Middle Timan.*