



УДК 549.514.81:551.734:553.068.5(234.83)



## ИТТРИЙСОДЕРЖАЩИЕ ЦИРКОНЫ ИЗ ПСЕФИТОВ РОССЫПЕПРОЯВЛЕНИЯ ИЧЕТЬЮ

Б. А. Макеев, Ю. В. Глухов, Д. А. Варламов\*, С. С. Шевчук, С. И. Исаенко

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар  
Glukhov@geo.komisc.ru

\* Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка  
dima@iem.ac.ru

Приводятся результаты изучения эпигенно-модифицированных иттрийсодержащих цирконов из девонских конглобрекций пижемской свиты ( $D_2pg$ ) россыпепроявления Ичетью (Средний Тиман). Предполагается, что продукты эпигенетической модификации иттрийсодержащих цирконов и ассоциирующие с ними фосфорсодержащие редкоземельные акцессорные минералы (ксенотим, монацит, флоренсит) связаны с одной и той же Тиманской металлогенической формацией, образовавшейся в результате гидротермально-метасоматических преобразований региональных докембрийских (метаморфических) комплексов пород.

Ключевые слова: иттрийсодержащие цирконы, ксенотим, монацит, фосфорсодержащие редкометалльные и редкоземельные минералы, девонские псефиты, россыпепроявление Ичетью, Средний Тиман.

## YTTRIUM-BEARING ZIRCONS FROM PSEPHITES OF ICHET'YU PLACER-LIKE OCCURRENCE

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

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

\* Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka

Study results of epigenetically modified yttrium-bearing zircons from Devonian conglobreccia horizons of Pizhemskaia suite ( $D_2pg$ ) of Ichet'yu placer-like occurrence (Middle Timan) are represented. It is supposed that products of epigenetic modifications of yttrium-bearing zircons and associated phosphorus-bearing rare earth accessory minerals (xenotime, monazite, florencite) have paragenetic relation with the same Timanian metallogenic formation, developed as a result of hydrothermal-metasomatic alterations of regional Precambrian (metamorphic) complexes of rocks.

Keywords: yttrium-bearing zircons, xenotime, monazite, phosphorus-bearing rare and rare earth minerals, Devonian psephites, Ichet'yu placer-like occurrence, Middle Timan.

При изучении акцессорных минералов комплексного среднетиманского золото-алмазно-редкометалльного россыпепроявления Ичетью<sup>1</sup> [1, 2, 7, 8] были обнаружены необычные эпигенномодифицированные иттрийсодержащие цирконы. Сведения по этим цирконам, по нашему мнению, могут быть важны для выяснения генезиса редкометалльной формации, продукты разрушения которой

аккумулировались в девонских псефитах пижемской свиты ( $D_2pg$ ) на Среднем Тимане. В данной статье мы излагаем результаты их изучения.

### Методы исследований

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) цирконов проводился в режиме «полуколичественного определения» на энергодисперсионном спектрометре Horiba MESA-500W (анализ

тик С. Т. Неверов). Структурные характеристики были получены методом спектроскопии комбинационного рассеяния (СКР) на спектрометре LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon), в условиях комнатной температуры использовались красная линия 633 нм (He-Ne-лазер мощностью 20 мВт) или зелёная линия 515 нм (Ar-лазер мощностью 120 мВт). Кроме того, был сделан рентгеновский дифракционный анализ (условия: камера Дебая-Шеррера радиусом 28.65 мм, УРС —

<sup>1</sup>Прежнее название Ичет-Ю.

55, Cu-анод, сила тока 10 мА, напряжение 30 kV, фильтрация не проводилась). Параметры элементарной ячейки рассчитывались методом наименьших квадратов. Элементный состав и морфология неотпрепарированных зёрен и сколов исследовались на электронном сканирующем микроскопе Tescan VEGA 3LMN и энергодисперсионном спектрометре INCA Energy 450. Полированные препараты изучались в ИЭМ РАН на микронной аппаратуре, включающей: цифровой электронный сканирующий микроскоп Tescan VEGA-II XMU с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450, цифровой электронный сканирующий микроскоп CamScan MV2300 (VEGA TS 5130MM) с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350, а также систему рентгеноспектрального микроанализа Link INCA Energy (рабочее напряжение 20 kV).

#### Результаты исследований

Непохожие на обычные цирконы, иттрийсодержащие цирконы обнаруживались в россыпепроявлении Ичетью, как правило, во всех шлиховых пробах девонских конглобрекчий и песчаников в количестве от нескольких единиц до десятка зёрен на 0.01 м<sup>3</sup> исходной пробы. Размеры индивидов варьировались в диапазоне 0.2—0.5 мм. Непрозрачные иттрийсодержащие цирконы имеют белёсый цвет с оттенками коричневатого-серого (кремового). По цветовой гамме иттрийсодержащие цирконы Ичетью нередко напоминают флоренситы, но отличаются от них ясно выраженной матированностью поверхности (у флоренситов она обычно идеально гладкая, глянцевая, «леденцовая»).

Иттрийсодержащие цирконы имеют чаще всего округлую форму (рис. 1, а1, а2). У некоторых из них едва различим призматический габитус. Весьма редки иттрийсодержащие цирконы с ясными гранными формами. Один из таких идиоморфных кристаллов (рис. 1, б1, б2) отличается специфичным жёлто-оранжево-коричневым цветом и аномально высокой трещиноватостью.

Поверхность зёрен иттрийсодержащего циркона механически сильно изношена. У индивидов призматического габитуса это заметно по характерному округлению рёбер. Не исключено, что общая округлость зёрен циркона вполне могла быть вызвана также и процессами растворе-

ния. На это указывает наличие у циркона участков весьма гладкой, по видимому некогда единой поверхности и явно более поздних участков (выбоин) с грубым бугорчато-ямчатым микрорельефом.

Микротрещиноватость — характерный признак иттрийсодержащих цирконов. На сколах и срезах индивидов отчётливо видна пронизывающая их сеть трещин. У упомянутого выше

трещиноватого идиоморфного кристаллика плотность трещин заметно выше вблизи поверхности, что видно на сколе (рис. 1, б3).

На срезах многих округлых индивидов иттрийсодержащих цирконов обнаруживается их сложное неоднородное строение (рис. 1, а3). Судя по изменению атомной плотности, внутреннее строение цирконов напоминает мелкополикристаллический агрегат.

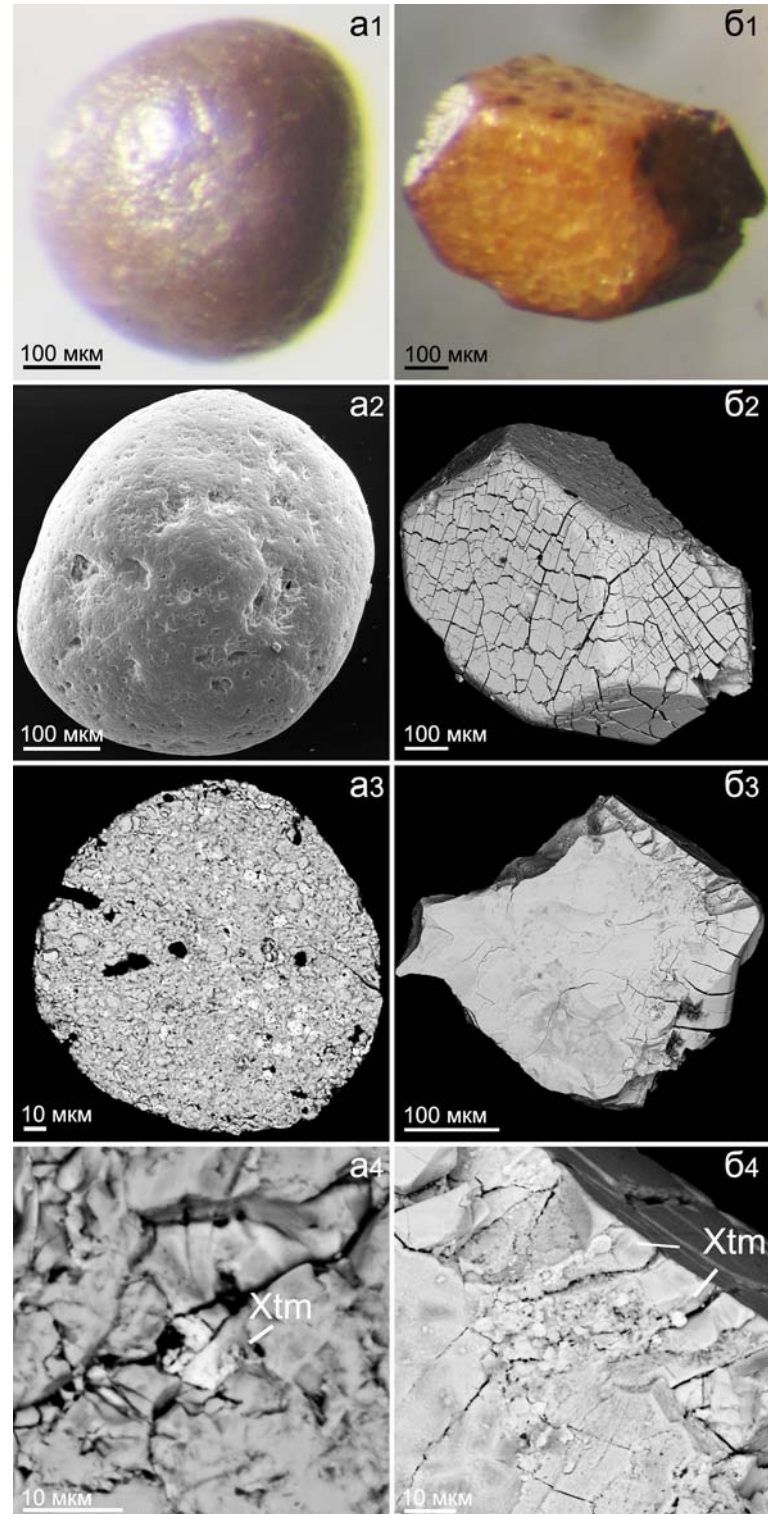


Рис. 1. Эпигенно-модифицированные округлый (а) и эвгдральный (б) иттрийсодержащие цирконы с аномальной окраской. Вверху (а1, б1) — изображение под оптическим бинокулярным микроскопом, остальные — растровое изображение (СЭМ)



Основная масса индивидов разбита микротрещинами на обломки (своего рода «микродетрит») размером от первых единиц до первых десятков микрометров, которые как бы «сцементированы» по этим самым трещинам менее плотным веществом (более тёмный цвет в режиме обратно-рассеянных электронов). Кроме того, в данном микроагрегате обнаруживается множество микроминеральных включений (кварц, силикаты, фосфаты) и пустот размером от первых единиц до нескольких десятков микрометров. В редких случаях у иттрийсодержащих цирконов наблюдается такая же реликтовая зональность, как у обычных розовых и тёмно-вишнёвых радиационно-окрашенных цирконов из отложений пижемской свиты. Подробными сведениями по ним мы пока не располагаем.

По данным РФА, содержание иттрия в иттрийсодержащих цирконах обычно не превышает первые массовые проценты  $Y_2O_3$ . При повышенном содержании иттрия в спектрах рентгеновской флуоресценции этих цирконов также регистрируются и линии фосфора. Спорадически отмечается присутствие следов гафния и железа.

По данным микрозондового анализа, сама матрица цирконов содержит небольшое количество иттрия — от следовых значений до первых единиц мас. %. Характерно постоянное присутствие гафния (первые массовые проценты). В нескольких анализах на поверхности цирконов фиксировались следовые содержания иридия и платины, требующие аналитического уточнения.

Высокие концентрации иттрия в цирконах коррелируются с эпигенетическими выделениями (около микрометра) ксенотимовых фаз, которые находятся в микротрещинах или образуют корки на поверхности цирконов (рис. 1, а4, б4). Помимо иттрия в составе ксенотимов постоянно присутствует некоторое количество тяжёлых лантаноидов — самария, гадолиния, диспрозия, гольмия, эрбия, иттербия (см. таблицу). В ксенотимовой фазе на их долю в сумме приходится примерно около 50 % от массы иттрия (в пересчёте на  $Y_2O_3$ ). В одной из проб был обнаружен ксенотим с необычно повышенным содержанием гадолиния (см. таблицу). В спектрах постоянно регистрируются торий (первые массовые проценты  $ThO_2$ ). Спорадически отмечаются следы скандия, кальция, железа, алюминия, европия, тербия и урана. Кроме ксенотима в иттрийсодержащем цирконе также присутству-

ют микровыделения монацита неодим-лантан-цериевого состава.

По данным спектроскопии комбинационного рассеяния, иттрийсодержащие цирконы характеризуются более низкой степенью кристалличности по сравнению с обычными радиационно-окрашенными тёмно-вишнёвыми цирконами россыпепроявления Ичетью. Соответствующие пики в спектрах иттрийсодержащих цирконов (202, 220, 345, 431, 995  $cm^{-1}$ ) заметно уширены, а их максимумы сдвинуты в сторону низких частот (рис 2, б). В их спектрах КР выделяется широкая структурированная полоса с двумя основными диффузными максимумами в области 1000—3000  $cm^{-1}$ , обусловленная наличием слабоупорядоченного углеродного вещества. Такая же полоса оказалась характерной для тёмных пигментных пятен, имеющих на изученных зёрнах ксенотима. Присутствие углеродсодержащей примеси рассматривается нами в качестве одной из возможных причин устойчиво низких сумм компонентов в некоторых микрозондовых анализах. По данным КР, в углублениях на поверхности одного из зёрен иттрийсодержащего циркона есть ярозит (охристые жёлто-коричневые землистые выделения). На это указывают линии 138, 221, 433, 623, 1006, 1100  $cm^{-1}$  в спектре КР (рис. 2, в).

При проведении дифрактометрического рентгеноструктурного анализа существенных отличий между иттрийсодержащим и обычным радиационно-окрашенным цирконом обнаружить не удалось. Параметры элементарной ячейки иттрийсодержащего циркона в пределах погрешностей анализа соответствуют справочным данным. Следует отметить, что в одной из дифрактограмм зафиксированы линии примесного ксенотима.

### Обсуждение результатов

Тесные кристаллогенетические взаимоотношения фосфатных эпигенетических минералов с цирконами неоднократно отмечались при изучении акцессорных минералов Тимана. Так, О. С. Кочетков [3] отмечал ксенотимовые каймы на регенерированных и нерегенерированных цирконах из метасадочных пород докембрийских комплексов. Ксенотим-монацитовые каймы им были обнаружены у некоторых редких цирконов из девонских кварцевых песчаников травянской свиты на Северном Тимане.

Сростки циркона с ксенотимом и реже с монацитом повсеместно наблюдались в среднедевонских отложениях Среднего Тимана (в Среднетиманской терригенно-минералогической провинции — по О. С. Кочеткову). По мнению О. С. Кочеткова, источниками обломочного материала и акцессорных минералов (в том числе ксенотимов и монацитов) для этой провинции служили местные породы метаморфического комплекса, в состав которых входили метасоматиты, аналогичные тем, что имеют выходы на рр. Бобровая, Косью и Мезень.

А. Б. Макеев и его коллеги [5] при изучении коренных щелочных метасоматитов и марганценосных продуктов их выветривания на самом возвышенном месте Тимана — Четласском Камне — и в его восточном обрамлении отмечали эпитактические нарастания ксенотима на кристаллических индивидах циркона (Ворыквинская площадь). Также наблюдались как полное обрастание ксенотимом зёрен циркона, так и сложные сростки отдельных кристаллов циркона с агрегатами ксенотима. Подобные формы срастания ксенотима и циркона были встречены в том числе на Светленской и Павьюгской площадях. По данным А. Б. Макеева и его коллег, при интенсивном метасоматозе аллотигенные цирконы, находящиеся в алевросланцах и кварцитопесчаниках рифейских метаморфических комплексов, подвергаются специфичным преобразованиям. В том числе для них характерны малаконизация, регенерация с образованием циртолитов желто-оранжевых, коричневых, розовато-коричневых, серых и мутно-белых тонов. Для всех этих метасоматически образованных цирконов характерно повышенное содержание микропримесей — редких земель, гафния, тория, урана и свинца.

По данным другой работы А. Б. Макеева и его соавторов [4], среди цирконов из девонских конглобрекций Ичетью есть разновидности с повышенным содержанием «ksenотимового компонента» в отдельных зонах роста. Кроме того, в этих же конглобрекциях встречаются малаконы (ямагучилиты) также с весьма высоким содержанием «ksenотимового компонента» (30—55 %), которые отличаются поликристаллической текстурой, метамиктным строением, нерегулярной пятнистой белой катодолюминесценцией. В выборке, изученной этими авторами, были обна-



## Состав индивидов эпигенно-модифицированных иттрийсодержащих цирконов и микровключений в них ксенотима и монацита (данные микронзондового анализа, непрепарированная поверхность), мас. %

Компонент	2559-ИЧЕ-12/47			2559-ИЧЕ-12/63			2561-ИЧЕ-12/499				2567-ИЧЕ-12/138	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.40*	—	—	1.25*	—	—	0.37*	5.11*	1.12*	7.53*	—	—
SiO <sub>2</sub>	23.61	2.97*	2.61*	25.89	7.86*	3.83*	27.35	10.58*	12.02*	21.90*	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.42	31.41	21.46	1.22	31.77	30.19	0.75	18.35	20.28	12.14	33.89	28.84
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—	0.36*	—	—	—	—	0.90*	—	—
CaO	0.96*	—	0.78*	1.08*	0.24*	0.33*	0.18*	0.83*	0.49*	0.32*	0.15*	0.21*
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.18	—	—	—	—	0.24	0.31	—	—	—
TiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	0.51*	—	—	—
FeO	1.24*	—	—	0.88*	0.49*	—	0.28*	0.73*	0.73*	0.84*	—	—
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.53	36.73	23.84	1.69	32.38	34.98	0.17	18.47	24.69	1.61*	26.32	24.09
ZrO <sub>2</sub>	53.67	5.65*	—	60.00	—	7.40*	57.02	24.57*	25.26*	27.63*	—	—
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.66	0.22	—
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	0.79	—	12.35	—	—
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.08	—	0.13
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.71	0.04	—
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	0.49	0.82	—	0.90	0.68	—	—	0.47	0.70	2.55	0.96
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.75	—	—	—	—	—	—	—	2.55	0.73
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	4.78	4.25	—	4.24	4.57	—	1.32	1.70	—	19.78	5.18
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.71	—	—	—	—	—	—	—	2.10	1.12
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	5.86	5.55	—	5.37	5.46	—	2.16	3.28	—	6.72	5.50
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.89	—	1.09	1.24	—	—	—	—	—	—
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	3.43	2.46	—	3.18	3.02	—	1.83	2.46	—	2.26	1.59
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.13
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	3.31	1.78	—	2.91	2.69	—	1.56	2.42	—	1.07	2.12
PbO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.11	0.46
PtO <sub>2</sub>	—	—	2.68*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HfO <sub>2</sub>	1.23	—	—	1.86	—	—	1.69	—	0.01*	0.94*	—	—
IrO <sub>2</sub>	—	—	—	2.69*	—	—	—	—	—	—	—	—
ThO <sub>2</sub>	—	—	0.60	—	1.23	1.38	—	1.26	1.58	1.04	0.50	0.98
UO <sub>2</sub>	—	—	0.46	—	—	—	—	—	—	—	0.33	0.32
Сумма	84.06	94.63	69.82	96.56	92.02	95.77	87.81	87.80	97.33	100.35	98.59	72.36

## Кристаллохимические формулы микровключений

2559-ИЧЕ/47 (2)	(Y <sub>0.77</sub> Dy <sub>0.08</sub> Gd <sub>0.06</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.04</sub> Sm <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>
2559-ИЧЕ/47 (3)	(Y <sub>0.68</sub> Dy <sub>0.09</sub> Gd <sub>0.08</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.03</sub> Sm <sub>0.02</sub> Sc <sub>0.01</sub> Eu <sub>0.01</sub> Tb <sub>0.01</sub> Ho <sub>0.01</sub> Th <sub>0.01</sub> U <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>
2559-ИЧЕ/63 (5)	(Y <sub>0.74</sub> Dy <sub>0.08</sub> Gd <sub>0.06</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.04</sub> Ho <sub>0.02</sub> Sm <sub>0.01</sub> Th <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>
2559-ИЧЕ/63 (6)	(Y <sub>0.76</sub> Dy <sub>0.07</sub> Gd <sub>0.06</sub> Er <sub>0.04</sub> Yb <sub>0.03</sub> Ho <sub>0.02</sub> Sm <sub>0.01</sub> Th <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>
2561-ИЧЕ/499 (8)	(Y <sub>0.77</sub> Dy <sub>0.05</sub> Er <sub>0.05</sub> Yb <sub>0.04</sub> Gd <sub>0.03</sub> Ce <sub>0.02</sub> Sc <sub>0.02</sub> Th <sub>0.02</sub> )PO <sub>4</sub>
2561-ИЧЕ/499 (9)	(Y <sub>0.77</sub> Dy <sub>0.06</sub> Er <sub>0.05</sub> Yb <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.03</sub> Sc <sub>0.02</sub> Th <sub>0.02</sub> Sm <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>
2561-ИЧЕ/499(10)	(Ce <sub>0.47</sub> La <sub>0.30</sub> Nd <sub>0.14</sub> Pr <sub>0.04</sub> Sm <sub>0.03</sub> Th <sub>0.02</sub> )PO <sub>4</sub>
2567-ИЧЕ/138(11)	(Y <sub>0.52</sub> Gd <sub>0.24</sub> Dy <sub>0.08</sub> Sm <sub>0.03</sub> Eu <sub>0.03</sub> Tb <sub>0.03</sub> Er <sub>0.03</sub> Yb <sub>0.01</sub> La <sub>0.01</sub> U <sub>0.01</sub> Nd <sub>0.01</sub> Pb <sub>0.01</sub> Th <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>
2567-ИЧЕ/138(12)	(Y <sub>0.67</sub> Gd <sub>0.09</sub> Dy <sub>0.09</sub> Er <sub>0.03</sub> Yb <sub>0.03</sub> Tb <sub>0.02</sub> Sm <sub>0.01</sub> Eu <sub>0.01</sub> Ca <sub>0.01</sub> Pb <sub>0.01</sub> Pr <sub>0.01</sub> Tm <sub>0.01</sub> Th <sub>0.01</sub> U <sub>0.01</sub> )PO <sub>4</sub>

Примечание. В верхнем ряду таблицы — номера образцов, под ним — номера анализов. Все пробы отобраны из конглобрекчиевого интервала пижемской свиты (D<sub>2</sub>pg) на участке К-100 россыпепроявления Ичетью. Анализы 1, 4, 7 — циркон, 10 — монацит, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12 — ксенотим. Звездочкой отмечены значения, связанные с цирконовой матрицей или примесными фазами.

ружены редкие зональные индивиды циркона, аномально обогащённые примесями P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, UO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO и CaO. Суммарное содержание примесных компонентов находится в интервале от 6 до 15%. По мнению А. Б. Макеева и его коллег, источником циркона в конглобрекчиевых горизонтах Ичетью могли быть редкометалльные метасоматиты и породы кристаллического фундамента.

В литературе приводятся описания иттрийсодержащих цирконов из других регионов. Так, к примеру, совсем недавно С. Г. Скублов и его коллеги [6] сообщили о находке цирконов, аномально обогащённых иттрием и редкоземельными элементами, в породах Балтийского щита. Причём повышенные содержания иттрия, по сведениям этих авторов, были характерны для однородных кайм специфичной метасоматической приоро-

ды. Они предполагали, что эти каймы представляют собой поздние ростовые зоны в минерале. Кстати, похожие зональные цирконы имеются в девонских псефитах Ичетью.

Большая часть изученных нами ичетьюских иттрийсодержащих цирконов с аномальной кремовой окраской имеет, очевидно, несколько иное происхождение. Подобные цирконы в вышеуказанной работе [6] относятся к гидротермально-метасоматичес-



ким образованиям. В самом деле, описанные нами округлые иттрийсодержащие цирконы с неоднородным строением больше всего подходят именно под это определение. Их своеобразное анатомическое строение обусловлено процессом замещения, весьма характерным для индивидов минералов, подвергшихся метасоматозу. Специфичная окраска (последствия термообесцвечивания?) иттрийсодержащих цирконов появилась в результате гидротермально-метасоматического воздействия.

Характерной особенностью метасоматически переработанных цирконов считается специфическая, сложная форма реакционных каём. У большинства округлых кремневых ичетьюских иттрийсодержащих цирконов мы таких каём не наблюдали, очевидно вследствие того, что они представляют собой полнотельные псевдоморфозы. Отмеченный нами выше сильно трещиноватый кристалл цирколитоподобного циркона — это, возможно, какой-то отдельный частный случай кратковременного воздействия высокотемпературного флюида на иттрийсодержащий циркон. Внешние части этого циркона отличаются от центра обилием микротрещин и акцессорных микроминералов. Последние в изобилии встречаются и у округлых иттрийсодержащих цирконов.

Причины аномального концентрирования иттрия (и тяжёлых REE) в цирконах досконально пока ещё не изучены, однако мы склоняемся к версии о первоначальном глубинном происхождении иттрийсодержащих цирконов, встречающихся в конглобрекциях и песчаниках Ичетью. Именно для глубинных цирконов характерно концентрирование гафния, которое отмечается и у ичетьюских цирконов. Трещиноватость данных цирконов однозначно указывает на то, что минералы глубинного происхождения, которым свойственно напряжённое состояние, оказались вблизи земной поверхности вследствие скоротечного вулканического процесса. Соответствующие глубинным обстановкам высокие значения температуры и давления первоначально обеспечивали входение иттрия и других примесей в структуру циркона во время его кристаллизации.

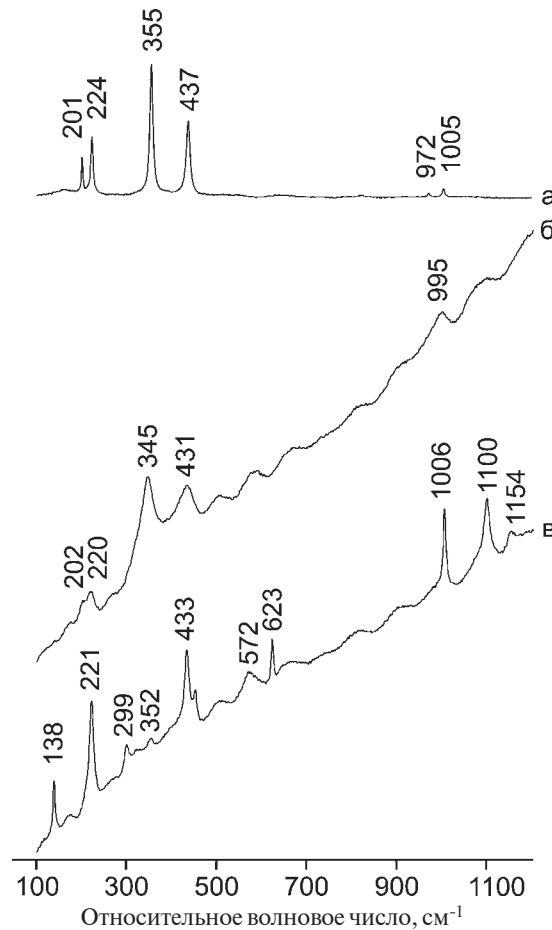


Рис. 2. Спектры КР циркона: тёмно-вишнёвого радиационно-окрашенного (а), эпигенно-модифицированного иттрийсодержащего (б) и ярозита (в)

В связи с присутствием урана и тория в составе этих цирконов в начале их минералогической истории, у них могли быть определённые изменения метамиктного характера. Вероятно, отчасти поэтому для эпигенномодифицированных иттрийсодержащих цирконов характерна несколько пониженная степень кристалличности, выявленная методом спектроскопии КР. В то же время назвать данные цирконы метамиктными или малаконами в полном значении этих терминов не представляется возможным как раз из-за наличия у них настоящей кристаллической структуры. К тому же низкая степень кристалличности могла возникнуть совсем по другой причине, например вследствие их метасоматической переработки. Вместе с этим, учитывая выводы коллег [6], поздние наложенные процессы, наоборот, можно рассматривать как фактор, способствующий окристаллизации и возвращению метамиктных (т. е. радиационно-аморфизованных) цирконов к состоянию их исходной структуры, после того как они утратили со временем радиоактивные элементы вследствие распада последних.

К основным признакам метасоматических преобразований цирконов относится наличие в них примесей акцессорных минералов [6]. В иттрийсодержащих цирконах обнаружены эпигенетические микровыделения кварца, силикатов, ксенотима и монацита. Присутствие в них таких же выделений фосфора, ксенотима и монацита не выглядит случайным. Практически во всех работах по иттрийсодержащим цирконам [6] упомянут механизм компенсации дефицита заряда, образующегося в структуре минерала вследствие гетеровалентного изоморфного замещения  $Zr^{4+}$  на  $Y^{3+}$ , путем внедрения в структуру циркона  $P^{5+}$  («ксенотимовая схема изоморфизма»). Таким образом, есть все основания полагать, что фосфор, так же как и иттрий, присутствовал в составе исходных цирконов. Последующее гидротермально-метасоматическое воздействие, очевидно, привело к глубокой трансформации исходной структуры иттрийсодержащих цирконов, а в результате изменения термобарических условий появились самостоятельные ксенотимовые фазы. При этом, по-видимому, мог образоваться циркон, свободный от структурных примесей иттрия и фосфора. Естественно, какая-то часть пород, вмещающих глубинные цирконы, как правило, не входила в область гидротермально-метасоматического воздействия. По-видимому, по этой причине среди цирконов Ичетью также выделяется группа реликтовых (зональных?) цирконов с иттрием, не подвергавшихся существенным эпигенетическим изменениям.

## Заключение

Заканчивая обсуждение результатов изучения акцессорных эпигенномодифицированных иттрийсодержащих цирконов из среднедевонских терригенных отложений пижемской свиты россыпей Ичетью и учитывая ранее опубликованные материалы [3–5], мы с полным основанием можем утверждать, что происхождение этих цирконов и ряда акцессорных фосфатных минералов (ксенотима, монацита и флоренсита) во многом может быть генетически связано с тектономагматической (и металлогенической) активизацией на самом Тимане, сопровождавшейся рудоформирующими гидротермально-



метасоматическими процессами, которые охватывали, возможно, в додевонское время метаморфические комплексы пород Тиманского кряжа.

Иттрийсодержащие цирконы Ичетью — это, несомненно, перспективный объект дальнейшего минералогического исследования. В частности, необычные по облику кремневые эпигенно-модифицированные ксенотимиттрийсодержащие цирконы, по-видимому, могут рассматриваться в качестве объектов, пригодных для датирования абсолютного возраста формирования гидротермально-метасоматической редкометаллической формации на Тимане.

Авторы признательны своим коллегам А. Е. Сухареву, В. А. Петровскому и А. Ф. Хазову, благодаря которым были успешно проведены полевые работы на россыпепроявлении Ичетью, а также С. Т. Неверову, оперативно осуществившему рентгенофлуоресцентный анализ аксессуарных минералов.

Исследования проводились при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 27 (проект УрО РАН 12-П-5-1027), гранта НШ-4795.2014.5, гранта РФФИ: 14-05-00592а.

### Литература

1. Библиография по алмазоносности Урала / Сост. Т. В. Харитонов. 4-е изд., доп. Пермь, 2011. 836 с.
2. Дудар В. А. Россыпи Среднего Тимана // Руды и металлы, 1996. № 4. С. 80—90. <http://zoloto-almazny.narod.ru>
3. Кочетков О. С. Аксессуарные минералы в древних толщах Тимана и Канина. Л.: Наука, 1967. 120 с.
4. Макеев А. Б., Борисовский С. Е., Жиличева О. М. Типоморфизм циркона из конглобрекций Ичетью // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений: Материалы Всероссийской конференции (с международным участием), посвященной 100-летию со дня рождения акад. Н. А. Шило (1913—2008). Москва: ИГЕМ РАН, 2013. С. 217.

5. Макеев А. Б., Лебедев В. А., Брянчанинова Н. И. Магматиты Среднего Тимана. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 348 с.

6. Первая находка аномально (Y+REE)-обогащенных цирконов в породах Балтийского щита / С. Г. Скублов, Ю. Б. Марин, О. Л. Галанкина и др. // Доклады АН, 2011. Т. 441. № 6. С. 792—799.

7. Плякин А. М., Ершова О. В. История открытия и изучения Умбинско-Средненского полиминерального месторождения // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. № 7 (199). С. 25—29. [http://www.geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2011/199/199\\_25-29.pdf](http://www.geo.komisc.ru/images/stories/vestnik/2011/199/199_25-29.pdf)

8. Тиманский кряж / Ред.-сост.: Л. П. Шилов, А. М. Плякин, В. Ч. Алексеев: В 2 т. Т. 1. История, география, жизнь: Монография. Ухта: УГТУ, 2008. 339 с.

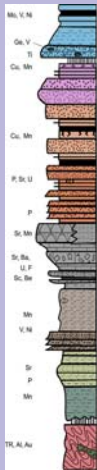
Рецензент

чл.-корр. В. Н. Анфилов

Российская академия наук  
Институт геологии  
Коми научного центра УрО РАН  
Российское минералогическое общество  
Литологический комитет

Всероссийское совещание  
с международным участием

## ГЕОХИМИЯ



## ЛИТОГЕНЕЗА

Институт геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Российское минералогическое общество и Уральские секции Межведомственного Литологического комитета ОНЗ РАН проводят 17—19 марта 2014 г. в г. Сыктывкаре Российское совещание с международным участием по теме «Геохимия литогенеза» и приглашают вас принять участие в его работе.

Информация о конференции размещена на сайте <http://geo.komisc.ru/news/conference>

### ОРГКОМИТЕТ

Председатель:  
академик РАН Аххабов А. М.

Сопредседатели:

к. г.-м. н. Салдин В. А.,  
д. г.-м. н. Юдович Я. Э.

Заместитель председателя:

к. г.-м. н. Козырева И. В.

Секретарь:

Рыбина Н. В.

### АДРЕС ОРГКОМИТЕТА

Институт геологии  
Коми НЦ УрО РАН  
Ул. Первомайская, д. 54,  
Сыктывкар, Республика Коми, 167982

Телефоны:

(8212)245353 — приемная директора

Факсы:

(8212) 240970, 45346

Электронный адрес

для отправки материалов:

[EYuYa@Yandex.ru](mailto:EYuYa@Yandex.ru)

(Яков Эльевич Юдович).

В «Теме» электронного письма укажите:

Геохимия литогенеза.

Электронные адреса для переписки

по организационным вопросам:

[kozyreva@geo.komisc.ru](mailto:kozyreva@geo.komisc.ru)

(Ирина Владимировна Козырева),

тел. (8212)447151.

[nvrybina@geo.komisc.ru](mailto:nvrybina@geo.komisc.ru)

(Наталья Валериевна Рыбина),

тел. (8212)245416

Оргкомитет с благодарностью примет предложения о финансовой и организационной поддержке совещания.

### Научная программа

На совещании предполагается обсудить широкий круг вопросов, касающихся геохимических индикаторов литогенеза в широком понимании этого термина (от мобилизации материала до катагенеза, гипергенеза и рециклизации). В тематику совещания входят геохимические индикаторы (породообразующие компоненты, элементы-примеси, изотопы) процессов на всех стадиях литогенеза:

1. Выветривание в разных климатических обстановках.
2. Седиментация и фации в осадочных бассейнах разного типа.
3. Диагенез в осадочных бассейнах разного типа.
4. Катагенез и рассольный катагенез.
5. Повторный гипергенез и рециклизация.
6. Вулканогенно-осадочный литогенез.
7. Флюидный литогенез.

### Контрольные сроки

Представление докладов  
до 15 декабря 2013 г.  
Рассылка программы  
до 1 февраля 2014 г.  
Заезд и регистрация участников  
17 марта 2014 г.  
Открытие совещания  
18 марта 2014 г.