

## ЦИРКОНЫ АЛМАЗОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ УРАЛА И ПРОБЛЕМА ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

**А.А. Краснобаев, С.Л. Вотяков, В.Я. Левин\*, В.Н. Анфилогов\*\***

*Институт геологии и геохимии УрО РАН*

*620151, Екатеринбург, Почтовый пер. 7,*

*E-mail: votyakov@igg.uran.ru*

*\* Уральская геологическая экспедиция, 620144, Екатеринбург, ул. Вайнера 55,*

*E-mail: levin@ugse.parad.ru*

*\*\* Институт минералогии УрО РАН*

*456317, Миасс, Челябинской обл.*

*E-mail: iminchf@ilmeny.ac*

*Поступила в редакцию 17 января 2003 г.*

На примере цирконов из кимберлитов Якутии, Архангельской области и Тимана доказано уникальное для них сочетание минералогических и спектроскопических (люминесцентных) параметров, что служит основанием для использования их в качестве индикаторов кимберлитового магматизма.

Возможности цирконового метода использованы при решении традиционно дискуссионного вопроса о коренных источниках уральских алмазов. Исследовались цирконы из алмазоносных россыпей и перспективных участков Пермской (Красновшерский район), Свердловской (Карпинский, Висимский районы), Челябинской областей и республики Башкортостан. Для всех россыпей установлено присутствие цирконов со специфическими спектроскопическими свойствами, указывающими на различные коренные источники, но ни в одной не обнаружено цирконов кимберлитового типа. Это снимает кимберлитовое ограничение на поиски коренных источников алмазов на Урале в пользу нетрадиционных источников.

Ключевые слова: *кимберлиты, алмазоносные россыпи, цирконы, люминесценция, Урал.*

## ZIRCONS OF DIAMOND-BEARING COMPLEXES AND THE PROBLEM OF THE URAL KIMBERLITES

**A.A. Krasnobaev, S.L. Votyakov, V.Ya. Levin\*, V.N. Anfilogov\*\***

*Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*

*\* Urals Geological Expedition*

*\*\* Institute of Mineralogy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*

Mineralogical and spectroscopic (luminescent) properties of zircons from kimberlites of Yakutiya (the Siberia), Arhangelsk area and Timan (the Urals) have been studied. It was shown that zircon properties could be considered as specific ones. They can be used as an indicator of kimberlite magmatism.

The origin of the Ural diamonds remains a subject under discussion and the zircon study appeared to be very useful in connection with this problem. A number of zircons from diamond-bearing complexes from perspective regions of Permian district (Krasnovishersky region), of Sverdlovsky district (Karpinsky and Visimsky regions), of Chelyabinsky district and of Bashkortostan were investigated. This zircons were found to be very spread but they were heterogenic. It were not appeared to be a typical kimberlite zircons. Then we can draw to conclusion about the absence of Yakutiya-like kimberlites in the Urals: heterogenic nonkimberlite origins of the Ural diamonds.

Key words: *kimberlites, diamond-bearing complexes, zircons, luminescence, Ural.*

## Постановка проблемы

Прошло более 170 лет со времени первых находок алмазов в россыпях Урала, с 1941 г. ведется их промышленная добыча, но до сих пор неизвестны их коренные источники. Все многочисленные попытки решить эту проблему не дали положительных результатов, что и привело к существованию различных, порой взаимоисключающих, предположений и выводов. Информация на эту тему публиковалась в многочисленных работах, и недавно была суммирована в специализированных изданиях [Алмазы..., 2001; Золото..., 1998]. Напомним некоторые основные положения, необходимые для восприятия и интерпретации цирконовых данных.

Совокупность геолого-геофизических данных не противоречит единой природе коренной алмазности уральской, тиманской и архангельской алмазности провинций (УАП, ТАП, ААП), что служит важным основанием для продолжения поисков уральских кимберлитов. Предполагается, что они могут находиться где-то "рядом" с алмазными россыпями, и не обнаружены лишь из-за перекрытия осадочными породами.

Согласно другой концепции, все алмазные россыпи Урала и Тимана питаются за счет кимберлитов ААП; на Урале они отсутствуют, а на Тимане – не алмазные. Активно обсуждаются туффзитовая и эклогитовая природа уральских алмазов, их связь с гипербазитами, лампроитами, породами щелочно-ультраосновного состава. Альтернативным является вывод вообще об отсутствии коренных источников алмазов в складчатых областях, подобных уральской. Парадоксальность ситуации с уральскими кимберлитами усугубляется еще и тем, что типичные минералы-спутники кимберлитов на Урале подробно изучены и описаны, причем не только для разрабатываемых алмазных объектов, но и для перспективных площадей. Количество последних резко увеличилось с распространением идеи о наличии на Урале нетрадиционных (некимберлитовых) коренных источников алмазов.

Естественно, что для реализации новых подходов при поисках алмазов должна привлекаться любая индикаторная информация – от временной-геологической до вещественно-минералогической, включая и подробные исследования минералов-спутников, к которым мы относим и цирконы. К сожалению, исследова-

тели обычно ограничиваются или формальной констатацией присутствия этого минерала в алмазных комплексах, или весьма краткими комментариями о его происхождении или поисковом значении. По сути дела, петрогенетическая информативность цирконов в решении вопроса о кимберлитах в большинстве случаев остается не реализованной, хотя хорошо известные работы о контейнерной роли цирконов для микровключений алмазов [Соболев и др., 1994] позволяют рассматривать их как надежные минералы-спутники. Косвенным подтверждением этому могут служить выводы о присутствии новообразованных цирконов в экспозитивных минеральных ассоциациях, перспективных на алмазы [Казак и др., 2001], и о прямой корреляционной связи между содержанием цирконов в осадочных породах и их алмазностью [Наумова, 2001]. Однако эти и другие подобные выводы нельзя признать корректными, ибо цирконы, как и другие минералы-спутники, полигенны, и их сонахождение с алмазами в россыпях ничего не говорит об источниках алмазов и их алмазности. Другими словами, сам факт обнаружения цирконов в алмазных комплексах – обычное явление, не дающее, без специальных исследований, возможности для каких-либо генетических заключений.

Решение проблемы – в установлении природы этих цирконов, а точнее – в доказательстве их кимберлитового (или иного) происхождения. Для этого имеются весьма веские обоснования, полученные при детальном исследовании цирконов из кимберлитов Якутии [Краснобаев, 1979]. Были отмечены уникальность их минералого-геохимических параметров и преобладание среди них двух основных разновидностей: первой (I), которая включает стеклянноподобные, бесцветные или со слабой розоватой или желтоватой окраской, довольно крупные до (6–8 мм) кристаллы, сохраняющие фрагменты исходной огранки, и второй (II), объединяющей существенно измененные кристаллы I. У них отчетливы признаки вторичного помутнения, пластических и хрупких деформаций, что, в совокупности, сопровождается потерей прозрачности и появлением пятнистой коричневатой или серовато-желтой окраски. В наших последующих работах [Краснобаев и др., 1981, 1988; Вотяков и др., 1989] к уникальным были отнесены также и оптико-люминесцентные, и радиоспектроскопические свойства цирконов кимберлитов.

**Цели и задачи настоящей работы:** сравнительное изучение минералогических и оптико-люминесцентных свойств цирконов из якутской, тиманской и архангельской алмазоносных провинций; разработка на этой основе цирконового метода (ЦМ) для решения вопросов, сопряженных с поисками кимберлитов; его практическое опробование на цирконах уральской алмазоносной провинции, включающей перспективные участки Пермской (Красновишерский район), Свердловской (Карпинский, Висимский районы), Челябинской областей и Республики Башкортостан.

### Методы исследования

В качестве основного в настоящей работе использован люминесцентный метод исследования цирконов. Запись спектров рентгенолюминесценции (РЛ), кривых интегральной термостимулированной люминесценции (ТСЛ) и ее спектрального состава производилась на установке, включающей рентгеновский аппарат УРС-55 с трубкой БСВ-2-Си для возбуждения свечения, монохроматор МДР-2, электронную схему регистрации люминесцентного свечения, состоящую из ФЭУ-39 с системой оцифровки, вакуумного металлического криостата, позволяющего охлаждать – нагревать образцы со скоростью 0,2–0,4 К/с в интервале температур 77–500 К. Полученные цифровые спектры РЛ (ТСЛ) и кривые интегральной ТСЛ обрабатывались программой, где вводилась поправка на нелинейность термопары, удалялись случайные выбросы, спектры РЛ (ТСЛ) пересчитывались в энергетический масштаб, а затем анализировались методом нелинейной регрессии. Для аппроксимации спектрального состава использовались кривые гауссовой формы; обработка проводилась программами Peakfit и Microcal Origin 5.0. Наведение низкотемпературной ТСЛ осуществлялось рентгеновским облучением образцов при 77 К в течение 300 с.

Интерпретация люминесцентных данных, подробно рассмотренная ранее [Краснобаев и др., 1981, 1988], сводится к нескольким основным положениям, которых мы и будем придерживаться при изложении материала.

При разложении спектров люминесценции на элементарные гауссовы составляющие выделяется три основные (А, В, С) группы широких полос – центров люминесценции (ЦЛ), излучающих соответственно в ультрафиолетовой

(4–5 эВ), сине-зеленой (2,5–3,5 эВ) и желтой (2,2–2,4 эВ) областях спектра (см. рис. 1, где в качестве иллюстративного примера приведены спектры РЛ, характерные для высококристаллического циркона из гранитных пегматитов). Центр излучения С соответствует широко известной “классической” желтой люминесценции минерала. Ультрафиолетовые и сине-зеленые ЦЛ А и В типичны для низкопримесной высококристаллической цирконовой матрицы, в том числе и для синтезированной в лабораторных условиях, что и позволяет рассматривать их в качестве матричных или «фундаментальных». Повышенная интенсивность свечения этих центров служит надежным показателем стерильности матрицы, ее высокой кристалличности (отсутствия метамиктной составляющей). В подобных цирконах при изменении температуры наблюдения от комнатной (300 К) до температуры кипения жидкого азота (77 К) происходит существенное перераспределение яркости свечения от ЦЛ В к ЦЛ А: при 300 К в спектре доминируют ЦЛ В, а при 77 К – ЦЛ А.

Ультрафиолетовые ЦЛ А представляют из себя суперпозицию нескольких элементарных полос  $A_{1-3}$  (см. рис. 1), обусловленных рекомбинационными переходами между электронными подуровнями кластеров нерегулярных дефектных цирконий-кислородных додекаэдров. Последние различаются между собой своей точечной симметрией, электронной структурой и дают различные вклады в интегральный спектр свечения ЦЛ А. С вхождением в решетку минерала ионов титана – близкого кристаллохимического аналога ионов циркония, связано появление сине-зеленого свечения от ЦЛ В. Внутренняя структура этого центра (полосы В и  $B_1$ ) обусловлены симметричными и размерными различиями ближайшего кислородного окружения ионов титана, замещающих цирконий в структуре минерала. И, наконец, появление желтого ЦЛ С сопряжено с дефектами кремнекислородной подрешетки – разнообразными типами кислородных вакансий и дивакансий в  $SiO_4$ -тетраэдрах; эти дефекты обеспечивают снижение кристалличности матрицы, которая напрямую зависит от содержания U и Th. Условно ЦЛ С могут быть отнесены к классу радиационных. Кроме описанных широкополосных центров на спектрах РЛ в подавляющем большинстве цирконов (см. рис. 1) фиксируются также узкие линии излучения в области от 2 до 5,5 эВ, обусловленные

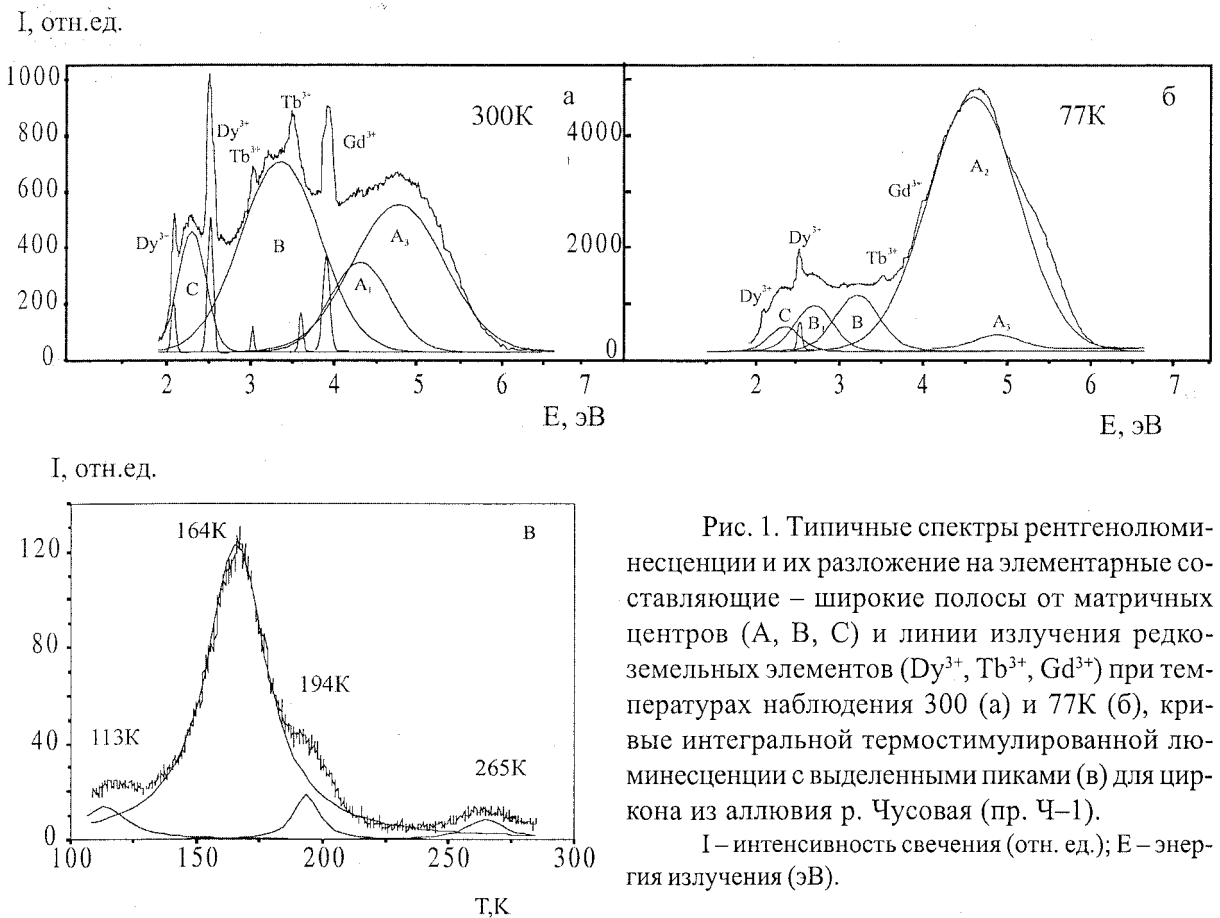


Рис. 1. Типичные спектры рентгенолюминесценции и их разложение на элементарные составляющие – широкие полосы от матричных центров (А, В, С) и линии излучения редкоземельных элементов ( $Dy^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$ ,  $Gd^{3+}$ ) при температурах наблюдения 300 (а) и 77К (б), кривые интегральной термостимулированной люминесценции с выделенными пиками (в) для циркона из аллювия р. Чусовая (пр. Ч-1).

I – интенсивность свечения (отн. ед.); E – энергия излучения (эВ).

редкоземельными элементами ( $Dy^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$ ,  $Gd^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ,  $Pr^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$  и др.), замещающими в структуре минерала ионы циркония.

В цирконах средней и высокой степени кристалличности рентгеновское облучение приводит к появлению достаточно яркой ТСЛ с характерными пиками при 120, 170, 195 и 265К ( $\pm 10$ К), соотношение интегральной интенсивности которых во многом определяет их генетическими особенностями.

### **Спектроскопия цирконов кимберлитов Якутии, объектов сравнения и контрольных объектов**

На рис. 2–3 приведены спектры РЛ и ТСЛ цирконов указанных объектов (здесь и далее показаны особенности свечения лишь для наиболее типичных проб, а для остальных – они подобны приведенным; полная характеристика спектров – в таблице).

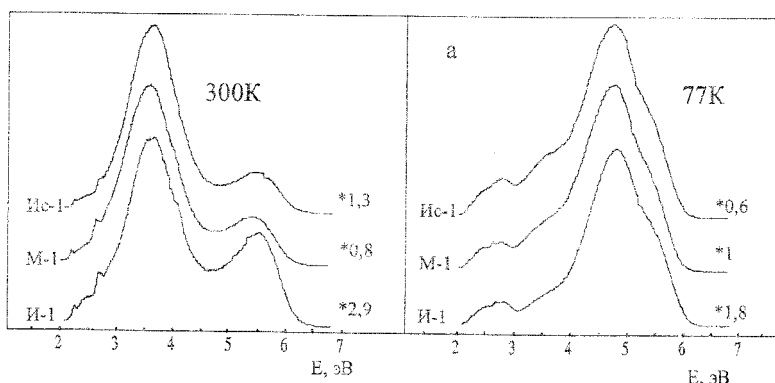
**Цирконы кимберлитов Якутии.** Исследовались цирконы из трубок “Мир” (пр. М-1), “Интернациональная” (пр. И-1), “Искорка”

(пр. Ис-1) и “Дружба” (пр. Д-1). Для всех цирконов характерно яркое проявление матричных центров, что служит важнейшим критерием их стерильности и исключительной кристалличности (рис. 2а–3а). При изменении температуры наблюдения от 300 К до 77 К происходит перераспределение интенсивности свечения от ЦЛ В к ЦЛ А. Типоморфным для цирконов кимберлитов является пик ТСЛ при 265 К, наиболее высокотемпературный из числа встречающихся в цирконах; при этом высвечивание запасенной светосуммы происходит через ЦЛ В, тогда как у цирконов иного генезиса оно идет преимущественно через дефекты, обусловленные примесями редкоземельных элементов (в основном, через ионы  $Dy^{3+}$ ).

**Цирконы объектов сравнения.** В кимберлитовых трубках и в россыпях, наряду с кимберлитовыми, неизбежно присутствуют цирконы из других источников. Если они подвергались коррозии, абразии или испытали динамическое разрушение, то провести их визуальную генетическую классификацию и выделить конкретно кимберлитовый тип весьма затрудни-

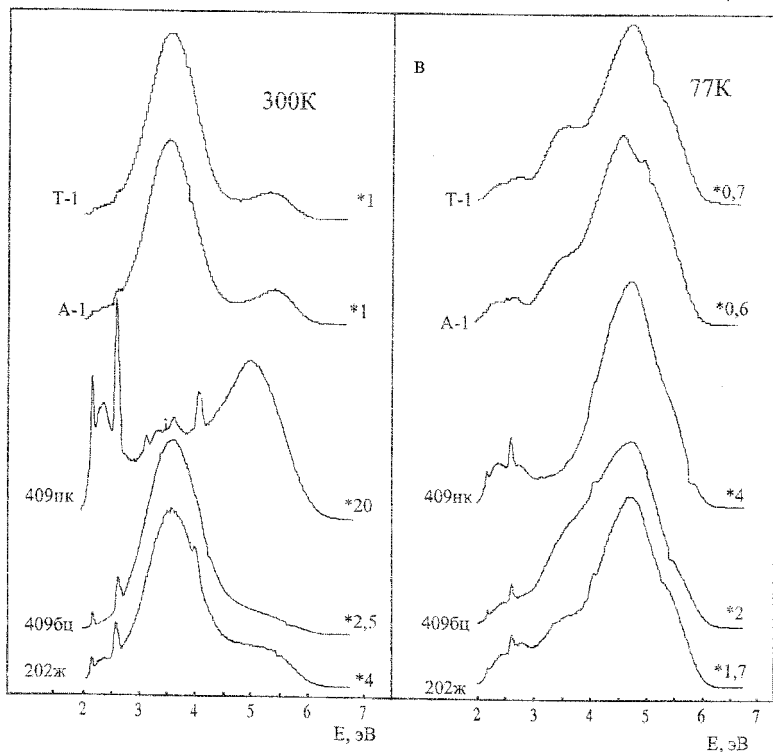
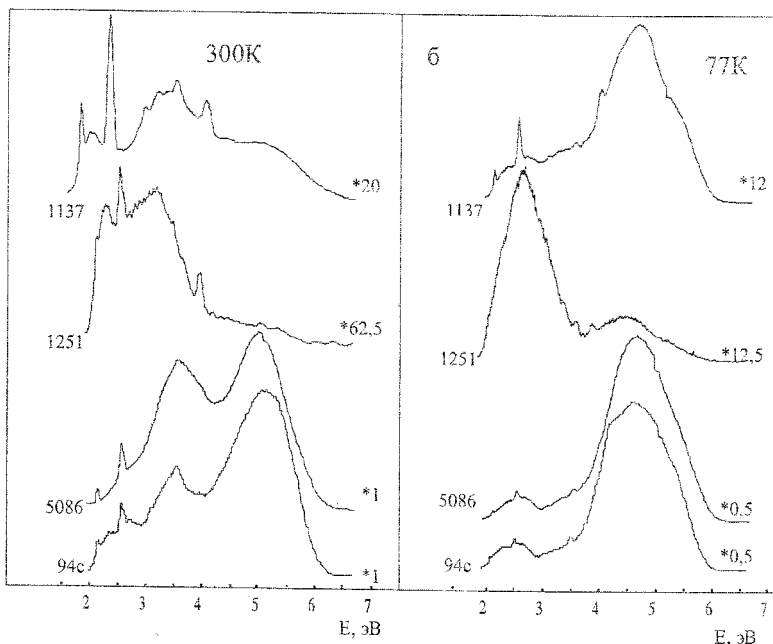
Рис. 2. Спектры рентгенолюминесценции цирконов кимберлитов Якутии (а), объектов сравнения (б) и контрольных объектов (в).

Цифры у спектров – нормировочные коэффициенты; относительные значения интенсивностей рентгенолюминесценции в таблице.



тельно. Поэтому, при ручной сортировке полигенных популяций цирконов мы выделяли, и в последующем анализировали, лишь те кристаллы, которые по внешним признакам могли быть сопоставимыми с кимберлитовыми обоих (I и II) типов. Естественно, что среди таковых могли присутствовать цирконы и из вмещающих трубку пород, и из других окружающих или “сопутствующих” объектов, продукты разрушения которых смешивались с дезинтегрированным кимберлитовым материалом в процессе экзогенного переноса. Поэтому в качестве вероятных некимберлитовых источников или объектов сравнения (ОС), были выбраны цирконы гранитных (пр. 5086) и щелочных (пр. 54, 94) пегматитов (Ильменские горы), гранитоидов (пр. 1251 – Соколовский палеозойский массив, пр. 618 – Бердяшский протерозойский) и гнейсов (пр. 1137 – Салдинский комплекс), расположенных на Урале.

На рис. 2б–3б приведены спектры РЛ и кривые интегральной ТСЛ некоторых образцов из ОС. Даже простого сопоставления их с кимберлитовыми достаточно, чтобы заметить существенные различия. В некоторых случаях (РЛ цирконов пегматитов при 77 К) можно заметить общие особенности, которые снимаются при изменении условий наблюдения (РЛ при 300 К). Для всех некимберлитовых цирконов, помимо иного со-



отношения широкополосных фундаментальных ЦЛ, характерна повышенная зараженность редкими землями. Информация, полученная из ТСЛ

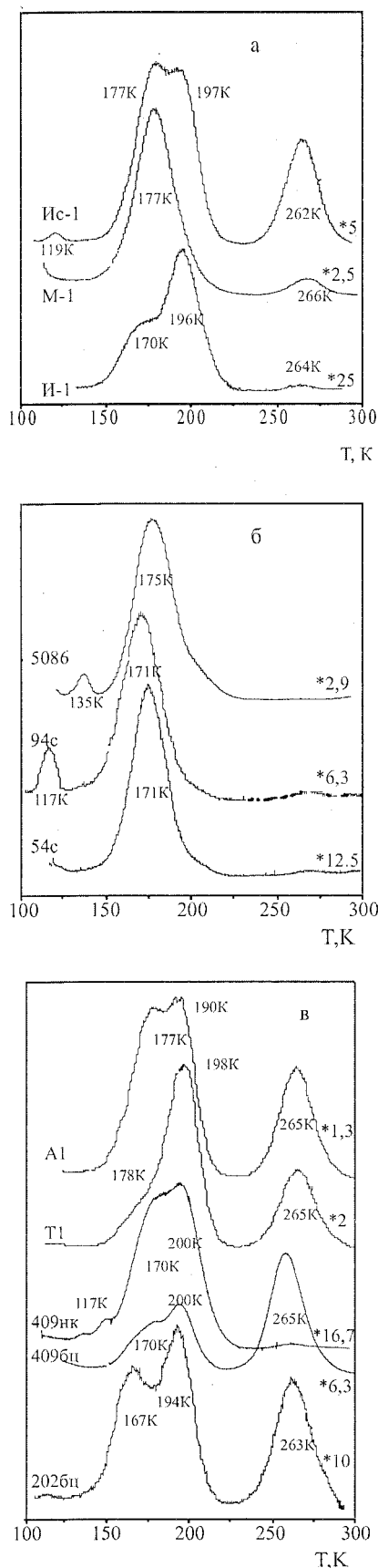


Рис. 3. Кривые интегральной термостимулированной люминесценции цирконов кимберлитов Якутии (а), объектов сравнения (б) и контрольных объектов (в).

Цифры у кривых – температуры максимумов пиков.

ставление цирконов требует учета всех параметров люминесценции и не может проводиться по единичным (обособленным), обладающим признаками конвергенции.

Рассмотренные данные указывают на перспективность цирконового метода (ЦМ) в решении вопросов, сопряженных с кимберлитами. Для практического опробования ЦМ были исследованы контрольные объекты (КО), имеющие прямое отношение к затронутой проблеме.

**Цирконы контрольных объектов.** К таковым относятся цирконы из аллювия рек Конапки (р-н ручья “Цирконовый”, пр. 409) и Силигиркэн (р-н пос. Оленек, пр. 202), протекающих в зоне развития кимберлитового магматизма Якутии. Из обеих проб были выделены разновидности, которые по минералогическим признакам сопоставимы с кимберлитовыми I (пр. 409бц, 202бц; бесцветные, стекляннопрозрачные) и II (пр. 409ж, 202ж; желтовато-серые, со следами дробления) типов. Кроме того, в пробе 409 присутствуют крупные кристаллы циркона с коричневатой окраской, полупрозрачные, с первичными включениями, которые отобразены как представители иного (некимберлитового) происхождения (пр. 409нк). Исследованы также цирконы из кимберлитовых брекчий Южного (пр. Т-1) и Среднего (пр. Т-2) Тимана, а также из кимберлитов Архангельской области (пр. А-1). В отличие от цирконов якутских кимберлитов, тиманские и архангельские характеризуются повышенной чистотой и прозрачностью, у них заметно слабее проявлены признаки деформационных и коррозионных изменений.

Спектры люминесценции цирконов из КО приведены на рис. 2в–3в, а полная информация представлена в таблице. С рентгенолюминесценцией цирконов пр. 202ж сопоставимы и другие якутские цирконы (пр. 202бц, 409ж и 409бц), но у разновидностей с индексом “ж” (они представляют II тип) более заметно присутствие редких земель. Из сопоставления спектров следует заключение о идентичности якутских цирконов из аллювия, тиманских и архангельских, а также о их несомненном сходстве с типичными кимберлитовыми из якутских

данных, в некоторых случаях (пр. М-1 и 54с) также не может служить основой для генетической разбраковки цирконов. Отсюда следует важный практический вывод: корректное сопо-

трубок; аномально проявляются свойства цирконов пр. 409нк, подтверждая иной их генезис.

Из приведенных данных просматриваются и первые итоги. Для ААП (и эталонной Якутской) характерно наличие и алмазов, и кимберлитов, и цирконов кимберлитового типа. Подобная ситуация присуща и Тиману, но алмазонасность местных кимберлитов проблематична. На Урале алмазы добываются, находки цирконов в алмазонасных россыпях многочисленны, но кимберлиты достоверно не установлены, а о кимберлитовых цирконах ничего не известно. С помощью ЦМ нами предпринята попытка разобраться в этой неординарной ситуации.

**Особенности геологического строения и характеристика цирконов алмазонасных комплексов Урала**

Расположение разрабатываемых и перспективных на алмазы уральских объектов, цирконы которых были исследованы, показано на рис. 4.

**Красновишерский район (КВР), Пермская область.** Основной поставщик уральских россыпных алмазов. Геологические проблемы, связанные с алмазонасностью и коренными источниками алмазов, включая их “туффизитовое” происхождение, подробно описаны [Алмазы, 2001; Лукьянова и др., 1997; Малахов, 2000; Рыбальченко и др., 1997], что позволяет перейти к рассмотрению конкретных данных.

**Участок “Рассольная”.** Представляет эрозионную депрессию, заполненную терригенно-осадочным материалом различной размерности. Опробованы (пр. 1753) рудные песчано-глинистые интенсивно ожелезненные по-

роды, известные также как туффизиты. Большую часть пробы представляют окатанные розовые цирконы протерозойского возраста, повсеместно распространенные в рифейских толщах Западного склона Урала. Подобные цирконы, а также бурые малаконы, из анализа исключались. Исследовались округлые со следами коррозии, бесцветные или слегка желтоватые зерна, достигающие размера 0,5–0,7 мм, а также осколки более крупных кристаллов, сохраняющие иногда фрагменты огранки. Дробление цирконов предшествовало их растворению, перенос был незначительный.

**Участок “Ишковский карьер”.** Вскрывает песчаники такатинской (D) свиты, среди которых распространены инъекции ксенотуффизитов (до 70–90 % ксеногенной компоненты).

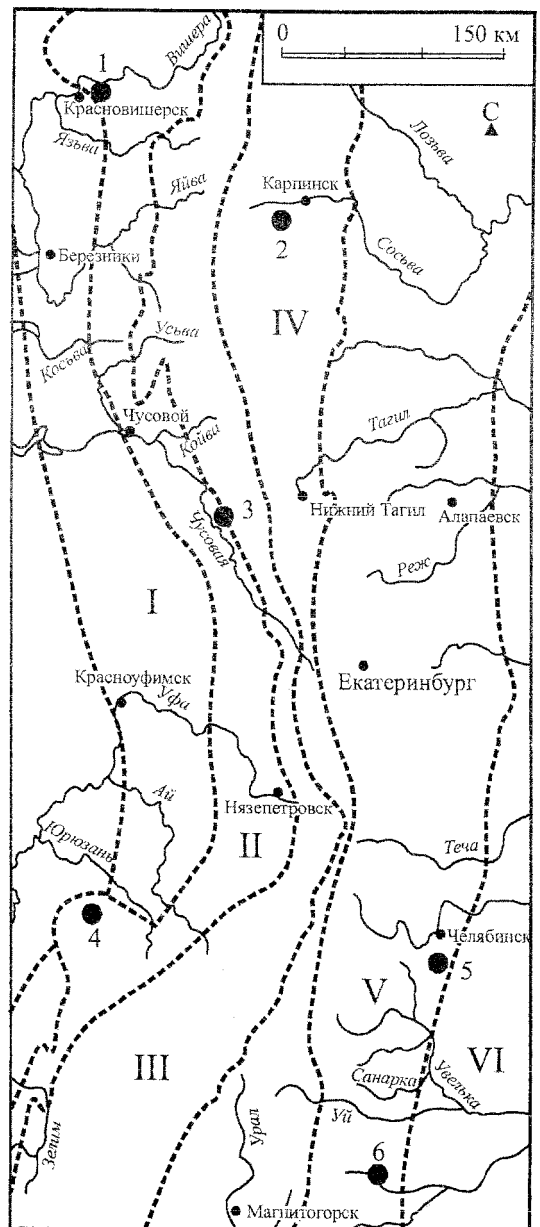


Рис. 4. Схема размещения алмазонасных комплексов Урала.

1-3 – Пермская и Свердловская области: 1 – Красновишерский район (участки «Рассольная», «Ишковский карьер», «Пьяный ключ», «Дресвянка», «Линия 178»), 2 – Карпинский район (участок «Тыпыльский»), 3 – Висимский район (участки «Межевая Утка», «Чусовая»); 4 – Республика Башкортостан (участок «Бьянка»); 5-6 – Челябинская область: 5 – «Шейнский карьер», 6 – «Бородиновский».

Структурно-формационные зоны Урала: I – Предуральская, II – Западно-Уральская, III – Центрально-Уральская, IV – Тагило-Магнитогорская, V – Восточно-Уральская, VI – Зауральская.



Цирконы песчаников (пр. 1755) варьируют от окатанных терригенных до субидиоморфных, от бледно окрашенных прозрачных до коричневых малаконов. Для анализа отбирались преимущественно бледноокрашенные прозрачные разновидности, среди которых изредка встречались осколки более крупных кристаллов. Ксенотуффизиты содержат подобный набор цирконов, несколько обогащенный прозрачными бесцветными зернами, причем все разновидности несут интенсивное поверхностное ожелезнение. Промывкой в кислоте гематитовые примазки удалялись, и анализу подвергался очищенный материал (пр. 1754).

**Участок "Пьяный ключ".** Концентрат цирконов выделен из пролювия р. Б. Колчим, вблизи ее слияния с р. Вишера. Среди окатанных и полуокатанных, окрашенных и бесцветных, прозрачных и непрозрачных мелких ( $< 0,3$  мм) зерен обнаружены обломки "таблетчатой" формы (до 1,2 мм) бледно-желтого цвета (пр. Щ-1); на фоне муара абразии у некоторых из них иногда сохраняются "блестящие" останцы с раковистым изломом. По-видимому, такие обломки представляют плоскопараллельные сколы крупных кристаллов, испытавших интенсивные динамические нагрузки; ранее подобные деформации отмечались для цирконов кимберлитов [Краснобаев, 1979, 1986].

**Участок "Дресвянка".** Отобрано две пробы. Песчаники такатинской свиты содержат типичные терригенные розовые цирконы, из которых для анализа отбирались наиболее крупные (до 0,3 мм) и прозрачные зерна (пр. 1752р). Бурые песчанистые глины, распространенные в виде инъекций в песчаниках (туффизиты) содержат пеструю популяцию цирконов. Большая часть цирконов аналогична распространенным в песчаниках, а в подчиненном количестве присутствуют светлоокрашенные, прозрачные-полупрозрачные, с фрагментами исходной огранки и следами дробления кристаллы, выделенные в пробу 1752б.

**Участок "178 линия".** В разрезе карьера отчетливо просматривается два типа отложений. Нижний слогаается бурыми плотными глинами основания, на резко извилистой, часто с карманами, поверхности которого залегают гравийно-галечные и песчано-глинистые с интенсивным ожелезнением породы, разрабатываемые как алмазосодержащие руды, и, по некоторым представлениям, отождествляемые с четвертичными моренами

[Голубев, Щербакова, 2001]. Цирконы из глин основания (пр. 1782) однотипны и соответствуют терригенным разновидностям (окатанные, с отчетливым муаром абразии, розовые прозрачные-полупрозрачные). Цирконы из рудного материала (пр. 1781) существенно отличаются от всех ранее рассмотренных для КВР. Помимо терригенных (аналогичных пр. 1782) в нем присутствуют бесцветные, прозрачные, довольно крупные (до 0,3 мм) округлые зерна с фрагментами идиоморфизма (пр. 1781-1) и бледно-розовые, стеклянноподобные кристаллы с алмазным блеском, четким идиоморфизмом, проявлениями рельефа роста и растворения (пр. 1781-2). Признаки абразии не наблюдаются, что указывает на близкое расположение коренных источников.

Несмотря на различия в строении опробованных участков и исследованных проб, можно констатировать, что цирконы КВР по спектроскопическим параметрам (рис. 5а-6а, таблица) во многом однотипны. СРЛ цирконов пробы 1753 сопоставимо свечение остальных цирконов, хотя интенсивность светоотдачи может существенно варьировать. ТСЛ у всех цирконов или очень слабая, или вообще не проявляется. Исключение составляют цирконы пробы Щ-1: они сопоставимы с кимберлитовым типом, но отнести их к такому мешает слишком высокая интенсивность ЦЛ С (300 К) и крайне низкая ТСЛ, которые, в совокупности, свидетельствуют об их достаточно высокой радиационной метамиктности. Кимберлитовые цирконы, как известно, характеризуются максимальной кристалличностью среди всех природных разновидностей.

**Висимский, Карпинский районы (ВКР), Свердловская область.** Опробовались аллювиальные отложения по долинам рек Межевая Утка, Чусовая и Косьва. Они известны находками алмазов в платиновых россыпях, которые на Востоке примыкают к ультрабазитам Платиноносного пояса Урала; в некоторых массивах были обнаружены алмазы в коренном залегании (г. Косьвинский Камень). Районы считаются наиболее перспективными на поиски россыпных и коренных алмазов на Среднем Урале [Рапопорт и др., 1998].

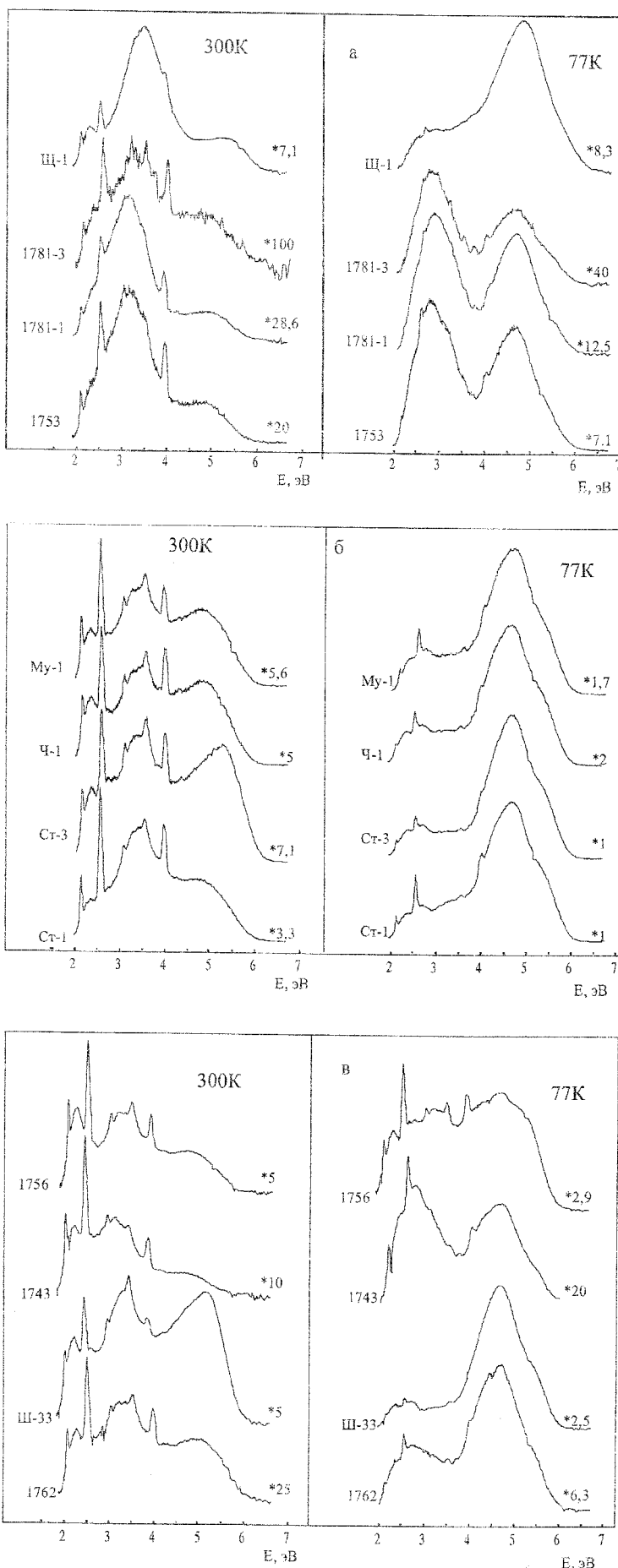
Помимо алмазов, платины и цирконов в россыпях встречаются гранаты, хромшпинелиды, кианиты, рутилы, оливины, клинопироксены и другие минералы, характерные, в основном, для шлихов из гипербазитов.



Рис. 5. Спектры рентгенолюминесценции цирконов уральских алмазonoсных комплексов: а – Красновишерский район, б – Карпинский, Висимский районы, в – Южный Урал. Остальное – см. подписи к рис. 2.

**Участок "Тыпыльский".** Из аллювия р. Косьва выделено несколько разновидностей цирконов, которые по морфологическим признакам сопоставимы с кимберлитовыми. Проба СТ-1 объединяет прозрачные, в основном бесцветные, кристаллы размером до 2 мм, у которых на фоне абразивного рельефа диагностируются грани {110} и {111}, фрагменты ступенчатого и раковистого излома. Следующая проба СТ-2 включает также прозрачные, но более мелкие (< 1 мм) и округлые, кристаллы с розоватой окраской. Проба СТ-3 представлена бледно-розово-золотистыми кристаллами (0,5–2 мм) изометрического, призматического или скошенно-уплощенного облика с отчетливыми гранями {100}, {110}, {111}, {311} и признаками зональности. Абразия незначительная, просматриваются фигуры первичного роста. В пробу СТ-4 отобраны бесцветные, или с серовато-желтоватым оттенком, кристаллы (0,2–0,8 мм) и обломки более крупных кристаллов, у которых иногда сохраняются участки с раковистым изломом. И, наконец, в пробу СТ-5 выделены бледно-розовые или желтоватые кристаллы размером 1–1,5 мм с контрастным сочетанием фрагментов идиоморфизма с гранями {110}, {111}, {311} и абразии, затронувшей лишь участки вблизи (вдоль) ребер; последнее создает эффект "ступенчатого" окатывания или "слоевой" абразии.

**Участок "Межевая Утка".** В речных отложениях р. Межевая Утка присутствует довольно пестрая популяция цирконов, которые различаются по облику, цвету, прозрач-



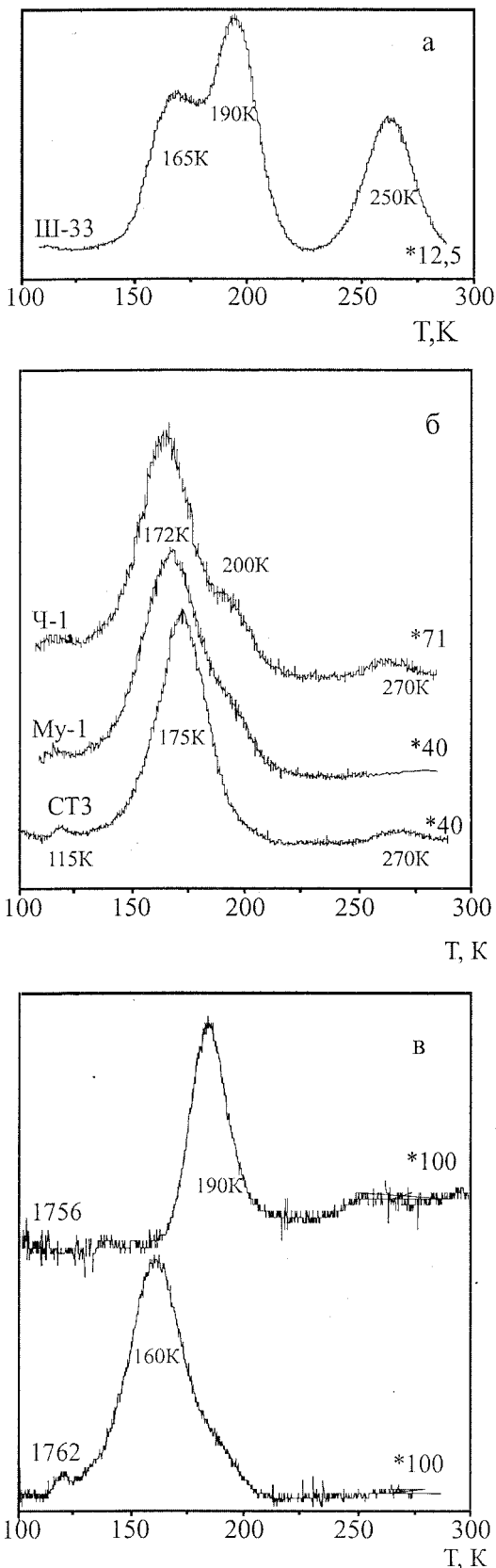


Рис. 6. Кривые интегральной термостимулированной люминесценции цирконов уральских алмазоносных комплексов: а – Красновишерский район, б – Карпинский, Висимский районы, в – Южный Урал. Остальное – см. подписи к рис. 3.

**Участок “Чусовая”.** Цирконы из аллювия р. Чусовая (пр. Ч-1) представлены бесцветными желтоватыми прозрачными кристаллами со слабыми следами коррозии, реликтами граней {100}, {110}, {111}, {311} и повышенным (до 3–3,5 мм) удлинением; сравнима с пробой Му-1.

По спектроскопическим параметрам (рис. 5б–6б, таблица) цирконы ВКР сопоставимы и с кимберлитовыми (РЛ при 77 К), и с красновишерскими (РЛ при 300К), занимая промежуточное положение между ними по особенностям ТСЛ. В совокупности они образуют довольно компактную группу, что указывает на общность происхождения.

**Южный Урал. Участок “Биянка”** расположен вблизи одноименного поселка в центральной части Каратаусского структурного выступа (Башкирия), известного находками россыпных алмазов [Кузнецов и др., 1998]. Опробованы инъекции глинистых пород, которые секут карбонатные толщи визе. Для глин характерны красновато-бурые, реже – зеленоватые, тона окраски, свилеватая туфоподобная текстура, повышенные содержания Cr, Ni, Co, Ba, Ti, иногда K, Th, присутствие зерен граната, хромшпинелида, ильменита, Al-бронзита, барита, высокотитанистого биотита. Предполагается генетическое подобие этих глин и красновишерских туффзитов.

Из сосуществующих цирконов различного типа (преобладают докембрийские розовые окатанные, распространены малаконы и пестроокрашенные метасоматические) исследовались лишь бесцветные прозрачные зерна (до 0,4 мм), часть которых сохранила признаки идиоморфизма и рельефа первичного роста (пр. 1743).

На Восточном склоне Урала в Челябинской области работы проводились на двух участках, известных находками алмазов.

**Участок “Шеинский карьер”.** Расположен в 36 км к ЮЗ от г. Челябинска. Здесь среди известняков D<sub>2</sub> вскрыта терригенная песчано-глинистая толща, а также дайки, диагре-

ности, размерам. Для исследований отобраны прозрачные бесцветные кристаллы размером до 3 мм, с высоким идиоморфизмом и первичным рельефом роста, практически не затронутом абразией (пр. Му-1).

мы и коры выветривания пород лампроитового состава [Кузнецов и др., 1997]. Выделены две пробы цирконов. Первая (пр. 1762) – из бурых песчано-глинистых пород (местных туффзитов). Размер исследованных кристаллов составляет 0,5–1,0 мм, они большей частью бесцветные и прозрачные, с отчетливыми следами абразии и огранки; реставрируются грани {100}, {110}, {111} и более сложного иррационального порядка. Вторая проба (Ш-33) выделена из коры выветривания лампроитов, в которых обнаружены хромшпинелиды алмазоносного парагенезиса [Кузнецов и др., 2001]. Цирконы в пробе различаются по облику, окраске, прозрачности. Не исключено, что некоторые имеют докембрийский возраст и связаны с кристаллическим фундаментом. Анализировались идиоморфные прозрачные бесцветные кристаллы, которые можно рассматривать в качестве наиболее вероятных представителей лампроитов, хотя по минералогическим особенностям они сопоставимы с цирконами абиссальных гранитов [Краснобаев, 1986]. Без анализа цирконов из коренных лампроитов вопрос не может быть окончательно решен.

**Участок “Бородиновский”.** Находится на левом берегу реки Средний Тогузак, в 6 км к ЮЗ от пос. Бородиновка. В береговых обрывах хорошо заметно, как известняки (С) “прорываются” красно-бурыми песчано-глинистыми инъекциями, аналогичными, по мнению местных геологов, красновишерским туффзитам. Поблизости расположен Красногорский вулканический комплекс, представленный жерловыми фациями базальтового состава. Выделенные из глинистых пород цирконы (пр. 1756), достигающие 0,4–0,5 мм, заключены в гематитовую рубашку. После кислотной отработки цирконы приобретают исходные свойства: они бесцветны и прозрачны, с фрагментами идиоморфизма, обусловленного сочетанием граней {110}, {111}, {311} и следов растворения.

Генетическое разнообразие цирконов Южного Урала находит отражение и в спектроскопических анализах (рис. 5в–6в, таблица). РЛ цирконов пр. 1743 подобна установленной для красновишерских, но отличается повышенным значением ЦЛ С. Цирконы пр. 1762 по параметрам РЛ близки цирконам ВКР, но крайне слабо термолюминесцируют. Лампроитовые цирконы (пр. Ш–33) имеют очень высокое отношение А/В, сопоставимое с определенным для пегматитов и пр. 409нк из

речных отложений Якутии, но несколько пониженную ТСЛ. Спектр РЛ (77 К) цирконов Бородиновского участка (пр. 1756) выделяется среди остальных исключительно сложной конфигурацией, очень низким отношением В/С (300 К) и отсутствием ТСЛ при 265 К.

Сопоставление спектров РЛ и ТСЛ исследованных групп цирконов (рис. 2–3, 5–7; табл.) свидетельствует об их исключительно широких вариациях, проявляющихся в их конфигурации, соотношениях интенсивностей отдельных ЦЛ. Даже простого сравнения особенностей свечения иногда достаточно для получения предварительных выводов, причем это справедливо как для отдельных проб, так и для объединенных в группы. Прежде всего обращает на себя внимание отличие якутских кимберлитовых цирконов от цирконов ТАП и ААП: последние обладают максимальными термосвечением и отношением В/С (300 К) при минимальных А/В (300 К). Вероятно, что это является своеобразным показателем их высокой кристалличности, обусловленной стерильностью матрицы. Вариации люминесценции цирконов ОС значительны; по разбросу значений А/В при 77 и 300 К они практически “перекрывают” все разнообразие цирконов кимберлитов, но образуют иную совокупность как по ТСЛ (265 К), так и по В/С (300 К).

Цирконы из алмазоносных комплексов Урала образуют обособленные группы (рис. 7, таблица), связанные с объектами опробования. Несмотря на близость параметров РЛ, среди цирконов ВКР просматривается два типа, имеющих несколько различную генетическую основу. Первый (пр. 1752р, 1755, 1782) объединяет цирконы из вмещающих пород, а второй – из рудного (пр. 1753, 1781-1 и 1781-2) и туффзитового (пр. 1752б, 1754) материала. Из сравнения видно, что руды и туффзиты содержат дополнительную (относительно вмещающих песчаников) цирконовую компоненту, кристаллы которой отличаются от остальных сопутствующих (распространенных в песчаниках) повышенной кристалличностью. Они обычно прозрачные, лишены окраски, имеют отчетливые признаки идиоморфизма и, по-видимому, более “молодой” возраст. Не исключено, что и вероятная глубинная, т. е. собственно туффзитовая, компонента, обеспечивающая инъекционное внедрение глинистых масс, могла содержать в качестве переносимого материала отмеченные “молодые” цирконы.

Цирконы ВКР (рис. 7, табл.) отличаются от красновишерских, но также образуют ком-

Параметры рентгено- и термостимулированной люминесценции цирконов различных алмазонасных комплексов, объектов сравнения и контрольных объектов

№ п/п	№ образца	Интенсивности ЦЛ в спектрах РЛ								Интенсивности пиков ТСЛ	
		при температуре 300К					при температуре 77К			265К	170К
		A*	B**	C	A/B	B/C	A	B	A/B		
Кимберлиты Якутии											
1	М-1	2800	9500	900	0.30	10.55	24000	7500	9.20	400	3800
2	И-1	1500	3250	320	0.46	10.16	12000	2450	4.90	100	400
3	Ис-1	2000	8000	600	0.25	13.34	13000	6000	2.17	1200	1800
4	Д-1	2100	12200	1000	0.17	12.20	9000	4100	2.20	300	400
Объекты сравнения											
5	94-с	6100	3500	1200	1.74	2.92	20000	4050	4.49	80	1400
6	54-с	2200	2400	1400	0.90	1.71	16000	2600	6.15	20	620
7	5086	9000	7000	1000	1.28	7.00	1600	4000	4.00	-	3300
8	1251	60	125	80	0.48	1.56	180	900	0.20	-	30
9	618	45	300	110	0.15	2.73	280	400	0.70	-	-
10	1137	2000	4000	2000	0.50	2.00	5100	4200	1.20	10	650
Контрольные объекты											
11	202ж	1000	3400	600	0.29	5.67	11000	4200	2.62	400	450
12	2026	800	4400	400	0.18	11.00	5500	3300	1.67	600	670
13	409ж	3700	11000	800	0.34	13.75	6000	2300	2.61	800	400
14	409б	2400	13000	800	0.18	16.25	5000	1900	2.63	970	410
15	409нк	2100	1800	1600	1.17	1.13	2400	200	12.00	10	450
16	А-1	4000	24000	1100	0.17	21.82	38000	12000	3.17	5200	7700
17	Т-1	2000	13000	700	0.15	18.57	13000	6000	2.17	750	4200
18	Т-2	2800	24000	1000	0.12	24.00	28000	13000	2.15	7000	5500
Красновишерский район											
19	1752р	200	350	100	0.57	3.50	1000	2100	0.48	5	7
20	1752б	250	800	200	0.31	4.00	2500	2800	0.89	5	10
21	1753	130	410	100	0.32	4.10	1000	1750	0.57	-	40
22	1754	170	580	330	0.30	1.76	2000	4100	0.49	-	35
23	1755	110	260	100	0.42	2.60	2000	4800	0.42	-	30
24	1781-1	400	1500	300	0.27	5.00	620	640	0.97	-	15
25	1781-2	70	280	70	0.25	4.00	250	300	0.83	-	12
26	1782	180	280	90	0.64	3.11	1000	700	1.43	-	5
27	Щ-1	2400	8000	2500	0.30	3.20	11000	3500	3.14	100	130

Висимский-Карпинский районы											
28	Му-1	750	900	400	0.84	2.25	5500	2250	2.50	10	200
29	Ч-1	500	600	350	0.83	1.71	6000	1900	3.15	20	120
30	СТ-1	1100	2000	600	0.55	3.33	8100	3200	2.53	40	550
31	СТ-2	120	370	90	0.32	4.11	6000	2000	3.0	10	300
32	СТ-3	1000	1360	400	0.73	3.40	8200	3000	2.73	15	200
33	СТ-4	850	1600	400	0.53	4.00	9100	2000	4.55	10	300
34	СТ-5	600	1100	600	0.54	1.83	1650	600	2.75	-	110
Южный Урал											
35	1743	300	550	400	0.55	1.37	330	380	0.87	-	20
36	1756	750	1200	1100	0.63	1.09	2300	2100	1.10	-	25
37	1762	2000	2900	1500	0.69	1.93	1600	800	2.00	5	85
38	Ш-33	1600	1600	900	1.00	1.78	4000	500	8.00	30	80

Примечание. \* –  $A=A_1+A_2+A_3$ ; \*\* –  $V=V_1+V_2$ ; (-) – пик ТСЛ отсутствует; интенсивности свечения ЦЛ в спектрах РЛ и интенсивности пиков на кривых интегральной ТСЛ приведены в относительных единицах.

пактную группу. При этом образцы Висимского района (пр. Ч-1, Му-1), представляющего восточную зону алмазности Свердловской области [Рапопорт и др., 1998], обособляются от цирконов Карпинского района (пр. СТ-1 – СТ-5), входящего в западную зону. Это позволяет говорить о различных коренных источниках цирконов обоих районов.

Сопоставимость РЛ и ТСЛ башкирских цирконов (пр. 1743) с цирконами КВР оправдывает геологическое сходство районов [Казаков, Макушин, 2001]. С висимскими цирконами (пр. Ч-1, Му-1) наиболее близки образцы из Шенского карьера.

### Обсуждение результатов, выводы

Итоги применения ЦМ для решения вопросов о кимберлитовом магматизме Урала имеют различную направленность и масштабность. Их минералогическая составляющая, на статистически значимом и “географически” представительном материале, подтверждает отмеченную ранее уникальность кимберлитовых цирконов, что служит основанием для придания им статуса минерала-спутника кимберлитового магматизма.

Коренные источники цирконов КВР и ВКР, присутствующие в алмазносных россыпях,

различны. Рудоносные и туффзитовые песчано-глинистые породы содержат “молодые” цирконы ближнего “сноса” (источника), которые отсутствуют во вмещающих или подстилающих породах. Возможно, в этом проявляется связь цирконов с алмазами, но для уверенного вывода данных пока недостаточно. Результаты по цирконам не противоречат геологическим выводам о перспективности Каратауского блока на наличие алмазов [Казаков, Макушин, 2001; Кузнецов и др., 1998], но сходство блока с КВР более отчетливо подчеркивают древние розовые терригенные цирконы, присутствие которых свидетельствует о влиянии фундамента Восточной окраины Русской платформы. Создается впечатление, что наиболее характерным и представительным спутником алмазов в россыпях Западного склона Урала являются именно эти розовые цирконы, отсутствующие в россыпях Восточного склона. Однако при этом никаких признаков кимберлитовых цирконов, поступление которых в уральскую складчатую область с Запада казалось бы вполне оправданным, не наблюдается, что осложняет аргументацию и о «западном» происхождении уральских алмазов.

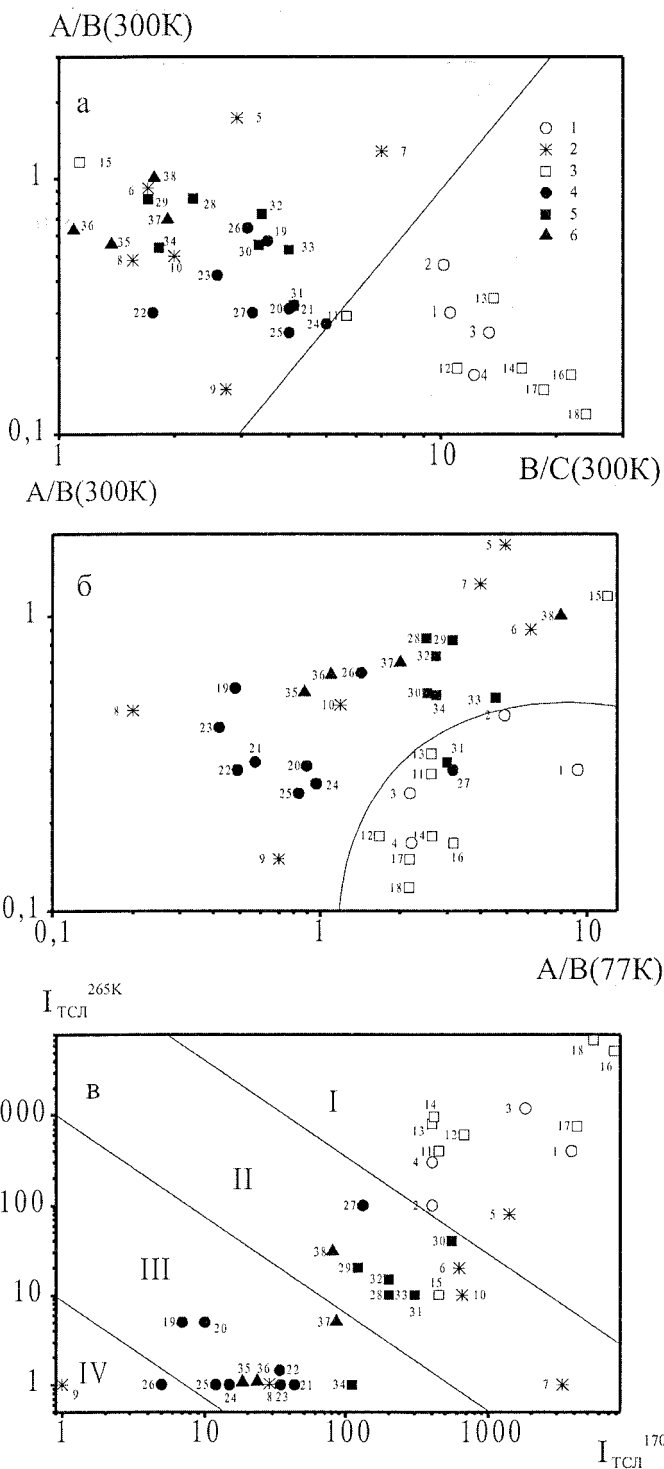
О природе цирконов ВКР сказать что-либо конкретно затруднительно. Учитывая близость алмазносных россыпей к ультрабазитам

Рис. 7. Сопоставление цирконов различных алмазоносных комплексов по параметрам их рентгено- (а, б) и термостимулированной (в) люминесценции.

1 – из кимберлитов Якутии; 2 – из объектов сравнения; 3 – из контрольных объектов; 4 – из Красновишерского района Пермской области; 5 – из Карпинского и Висимского районов Свердловской области; 6 – из районов опробования Республики Башкортостан и Челябинской области. Нумерация образцов согласно таблице. Зоны I-III соответствуют низко-, средне- и высокодефектным цирконам.

объясняется и их пониженное термосвечение, напрямую связанное с дозой поглощенного  $\alpha$ -излучения (радиационной метамиктностью).

Геологическая суть выводов по применению ЦМ к алмазоносным комплексам Урала, имеющих непосредственное отношение к вопросу о коренных (кимберлитовых!) источниках – несколько обескураживающая, хотя к новым или неожиданным не относится. Не рассматривая районы Приполярного Урала, где описаны [Лукьянова, Бельский, 1987] вызывающие сомнения [Мальков, Холопова, 1993] кимберлиты, и Северного Урала с “перспективными” кимберлитами [Озеров, Озерова, 2001], мы вынуждены констатировать, что по данным ЦМ на Среднем и Южном Урале, включая его Западный и Восточный склоны, кимберлиты, подобные Якутским, Архангельским, Тиманским, отсутствуют, т. е. ориентированные на них поисковые работы следует рассматривать как бесперспективные. Это относится и к “погребенным” (пока не найденным?) трубкам, и к метасоматическим измененным (а потому трудно распознаваемым). По сути дела, данные ЦМ служат дополнительным основанием для снятия “кимберлитового ограничения” на Уральскую алмазоносную провинцию; в мировой практике поисков коренных источников алмазов эти ограничения появились после открытия алмазоносных лампроитов в Западной Австралии в 1980 г. [Джейкс и др, 1989].



Платиноносного пояса Урала, находки алмазов в коренных породах и некоторое сходство цирконов с лампроитовым типом, можно лишь предполагать их лампроитовый (щелочно-ультраосновной) генезис. Подобным образом остается интерпретировать и природу цирконов участка “Пьяный ключ” КВР (пр. Щ-1), сопоставимых с цирконами пр. Ш-33 и значительно отличающихся от туффизитовых. Более древним возрастом цирконов КВР по сравнению с цирконами ВКР

В то же время говорить о полном отрицании кимберлитов на Среднем–Южном Урале было бы не корректно, ибо необходимо допускать и существование “безцирконовых” кимберлитов, специфичных для складчатых поясов, и отставание (или потерю) кимберлитовых цирконов от сингенетичных алмазов в процессах их совместного переноса в экзогенных условиях (что также маловероятно из-за очень высокой устойчивости кристаллических кимберлитовых цирконов к абразии, химическому воздействию, а также из-за повсеместного присутствия иных цирконов в алмазоносных россыпях). Нереальным кажется и предположение о существовании на Урале таких (пока также не обнаруженных) кимберлитов, цирконы которых отличаются от якутских или архангельских, т.е. типично кимберлитовых. Рассуждая последовательно, необходимо отметить, что само по себе нахождение кимберлитовых цирконов в россыпях не решает проблему коренных источников алмазов, поскольку существование безрудных трубок хорошо известно, а опыт с тиманскими кимберлитами служит этому наглядным подтверждением. Кроме того, цирконовые данные вступают в некоторое противоречие и с находками в алмазоносных россыпях Урала минералов-спутников (пиропов, пикроильменитов, хромшпинелидов и др.), характерных для кимберлитов.

По-видимому, всю новую информацию, полученную при изучении цирконов, можно рассматривать как поддержку известного тезиса, согласно которому в молодых складчатых системах кимберлиты отсутствуют, поскольку их генетическая природа не распространяется за пределы фундамента древних платформ. Пока нет убедительных данных, позволяющих считать Урал исключением.

В итоге мы вынуждены присоединиться к тем (многочисленным!) исследователям, которые на роль первоисточников уральских алмазов выдвигают лампроиты; при этом нет пока оснований для исключения из числа алмазоносных коренных пород и щелочно-ультраосновных вулканитов и ультрабазитов, и дайково-силлово-жилых комплексов или эклогитов, причем некоторые из них действительно могли располагаться вблизи алмазоносных россыпей. С последним полностью согласуются данные ЦМ, особенно на примере некоторых красновишерских алмазоносных участков.

## Список литературы

- Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. 205 с.
- Вотьяков С.Л., Краснобаев А.А., Илупин И.П. и др. ЭПР и люминесценция цирконов и апатитов из кимберлитов Сибири // Геохимия. 1989. № 1. С. 29–35.
- Голубев Ю.К., Щербакова Т.Е. О ледниковой природе “туффизитов”, вскрываемых в карьерах по добыче алмазов в Красновишерском районе Пермской области // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 81–83.
- Джейкс А., Луис Д., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. М.: Мир, 1989. 430с.
- Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов. Сыктывкар: Геопринт, 1998. 239 с.
- Казак А.П., Панова Е.Г., Скибина Л.Б., Вербицкий В.Р. Минералогический метод выявления эндогенно-эксплозивных признаков алмазоносности Северо-Запада Русской платформы // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 223–224.
- Казаков И.И., Макушин А.А. Перспективы коренной алмазоносности Башкирского мегантиклинория и сопредельных структур // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 97–100.
- Краснобаев А.А. Минералого-геохимические особенности и вопросы генезиса цирконов из кимберлитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1979. № 8. С. 85–97.
- Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 147 с.
- Краснобаев А.А., Вотьяков С.Л., Грамолин А.Б. и др. Электронно-оптические свойства цирконов кимберлитов // Геохимия. 1981. № 4. С. 571–577.
- Краснобаев А.А., Вотьяков С.Л., Крохалев В.Я. Спектроскопия цирконов: свойства, геологические приложения. М.: Наука, 1988. 149 с.
- Кузнецов Г.П., Лукьянова Л.И., Кораблев Г.Г. и др. Перспектива алмазоносности территории Челябинской области // Уральский минералогический сборник. 1997. № 7. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 175–182.
- Кузнецов Г.П., Лукьянова Л.И., Кораблев Г.Г. и др. Петрография и минералогия вулканогенных пород (лампроитовых туффизитов) Каратауско-Сулеймановского выступа и перспектива его алмазоносности (Южный Урал) // Уральский минералогический сборник. 1998. № 8. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 196–207.
- Кузнецов Г.П., Кузнецов Н.С., Савельев В.П. и др. Диатремы и дайки лампроитов на Восточном склоне Южного Урала // Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 109–110.
- Лукьянова Л.И., Бельский А.В. Проявление кимберлитового магматизма на Приполярном Урале // Сов. геология. 1987. № 1. С. 54–59.



*Лукьянова Л.И., Лобкова Л.П., Маревичев А.М. и др.* Коренные источники алмазов на Урале // Региональная геология и металлогения. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. № 7. С. 88–97.

*Малахов И.А.* Генетическая природа и алмазность туффизитов Красновишерского района на Северном Урале на основе изучения их состава и типохимизма минералов // Геология и металлогения Урала. Екатеринбург: УГСЭ, 2000. С. 183–217.

*Мальков Б.А., Холопова Е.Б.* Проблемы кимберлитового вулканизма Европейского Северо-Востока // Алмазность Европейского Севера России. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 1993. С. 67–71.

*Наумова О.Б.* Методика исследования минерального состава тяжелой фракции алмазных среднедевонских отложений Южного Тимана // Алмазы и алмазность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 174–176.

*Озеров В.С., Озерова Э.Н.* Открытие кембрийской базальтоидной трубки взрыва на Северном Урале // Алмазы и алмазность Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2001. С. 90–92.

*Рапопорт М.С., Левин В.Я., Рудина Н.И. и др.* Алмазность Урала // Геология и металлогения Урала. Кн. 1. Екатеринбург: УГСЭ, 1998. С. 256–277.

*Рыбальченко А.Я., Колобякин В.Я., Лукьянова Л.И. и др.* О новом типе коренных источников алмазов на Урале // Докл. РАН. 1997. Т. 353. № 1. С. 90–93.

*Соболев Н.В., Шацкий В.С., Вавилов М.А., Горайнова С.В.* Циркон высокобарических метаморфических пород складчатых областей как уникальный контейнер включений алмаза, коэсита и сосуществующих минералов // Докл. РАН. 1994. Т. 334. № 4. С. 488–492.

*Рецензент академик РАН Н.П. Юшкин*