

На правах рукописи

Макеев Борис Александрович

**МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИИ И ИНДИКАТОРЫ
РУДНОСТИ ПИЖЕМСКОГО ТИТАНОВОГО
И ИЧЕТЬЮСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ
СРЕДНЕГО ТИМАНА**

Специальность 25.00.05 — минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Казань - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар.

Научный руководитель: Лютоев Владимир Павлович,
кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
(ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар)

Официальные оппоненты: Пеньков Иван Николаевич,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры региональной геологии
и полезных ископаемых, «Казанский
(Приволжский) федеральный университет»

Пирогов Борис Иванович,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, главный научный сотрудник
ВИМС, г. Москва

Ведущая организация: Ухтинский государственный технический
университет, г. Ухта

Защита состоится 29 мая 2012 г. в 14.30 в ауд. 211 на заседании Диссертационного совета Д 212.081.09 при ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420111, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» <http://www.ksu.ru>

Автореферат разослан 28 апреля 2012 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.081.09,
кандидат физико-математических наук, доцент

А. А. Галеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Оживление интереса к проблеме алмазоносности Тимано-Уральского региона вызвано находками ювелирных кристаллов алмаза в отложениях, пространственно совмещенных с крупным месторождением титана на Среднем Тимане. На севере Вольско-Вымской гряды известно единственное комплексное алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльное месторождение Ичетью, приуроченное к маломощному конглобрекчиевому горизонту пижемской свиты среднего девона. Продуктивный конглобрекчиевый горизонт залегает непосредственно на Пижемском месторождении титаноносных песчаниках малоручейской свиты неопределенного возраста. Оба рудных объекта уникальны и расположены только в пределах Пижемской депрессии.

Представления о происхождении алмазов в месторождении Ичетью и о нахождении коренных источников этого минерала имеют остродискуссионный характер. Существует несколько точек зрения на возможные источники поступления полезных компонентов в девонские терригенные породы, которые можно разделить на две основные группы: эндогенную (Макеев А, Рыбальченко и др., 1999) и чисто осадочные. Среди последних в свою очередь выделяются (литоральные) гипотезы о россыпном прибрежно-морском (Шербаков, Плякин, Битков, 2001; Бурцев, Игнатьев, 1997), аллювиально-дельтовом (Дудар, 1996; 2001), эоловом (Осташенко, Майорова, 1987), а по мнению Ю. К. Голубева флювиогляциальном генезисе. Также неоднозначны представления исследователей о сложности строения, фациальной принадлежности и источниках вещества Пижемского титанового месторождения. Установление генезиса и источников минерального вещества этих промышленно важных объектов является весьма актуальной задачей.

Цель исследований. Установление геологических и вещественно-минералогических особенностей полиминерального Ичетьюского и Пижемского титанового месторождений для выявления поисковых признаков рудоносности, оценочных критериев и источников полезных компонентов.

Задачи исследований. 1. Детальная вещественно-минералогическая характеристика пород малоручейской титаноносной толщи на материале керна разведочных скважин.

2. Изучение морфологических и типохимических особенностей сквозных рудных минералов Ичетьюского и Пижемского месторождений.

3. Установление минералов-спутников алмаза в составе тяжелой фракции шлиха месторождения Ичетью, детальная характеристика минералов-индикаторов, накапливающихся совместно с ним.

4. Разработка научных критериев определения генетической принадлежности и установления источников вещества титан-циркониевых месторождений и проявлений, приуроченных к древним отложениям Тимана.

Научная новизна. Установлена тесная пространственная и генетическая связь обоих объектов исследования. Форма геологических тел алмазоносной конглобрекчии месторождения Ичетью и их распространение по площади Пижемской депрессии имеют пятнистый характер. Тела конглобрекчии располагаются в синформах исключительно над самой верхней частью малоручейской толщи, сложенной безрудными каолинит-кварцевыми песчаниками. Это является прямым геологическим поисковым признаком на алмазы.

Автором с использованием современных методов исследования (электронно-микроскопического, рентгеноструктурного, рентгеноспектрального микронзондового, рентгенофлуоресцентного, масс-спектрометрического) получены принципиально новые данные о составе породообразующих, рудных и акцессорных минералов Ичетьюского и Пижемского месторождений. Значительно расширен кадастр рудной и акцессорной минерализации. Получены новые сведения, уточняющие генезис Пижемского титанового месторождения и природу источника полезных компонентов.

Предложена новая номенклатура гранатов, основанная на формульных коэффициентах. Для визуального отображения состава гранатов предлагается использовать два вида диаграмм двух и трех валентных катионов.

Практическая значимость. Алмазоносный конглобрекчиевый горизонт месторождения Ичетью имеет локальное пятнистое распространение в пределах Пижемской депрессии и встречается только поверх третьей пачки малоручейской свиты, сложенной каолинит-кварцевыми песчаниками, что предлагается использовать как местный поисковый признак на алмазы.

Марганцовистый ильменит, цинкистый хромшпинелид и редкоземельные алюмофосфаты предложено использовать в качестве минералов-индикаторов при поисках алмазов наподобие знаменитой «пироповой дорожки». Продемонстрировано, что минералы монацит, куларит, колумбит, хромшпинелиды, ильменорутил месторождения Ичетью обладающие близкой гидравлической крупностью к алмазу являются региональными, гидродинамическими спутниками алмаза.

Защищаемые положения.

1. Минеральный кадастр и химический состав сквозных индикаторных минералов (марганцовистый ильменит, хромшпинелид, флоренсит, ильменорутил и др.) Ичетьюского и Пижемского месторождений во многом совпадают, что свидетельствует о близости их генезиса и источника минерального вещества.

2. На Среднем Тимане прослежена цепочка находок высокоцинкистых хромшпинелидов от коренных тел лампрофировых даек на плато Четласского Камня с акцессорным метаморфизованным хромшпинелидом и каймами цинкистого хромагнетита к палеогеновым корам выветривания и современным аллювиальным отложениям на восточном склоне Четласского Камня и далее к среднедевонским алмазоносным конглобрекчиям месторождения Ичетью. Цинкистый хромшпинелид предлагается использовать как минерал-индикатор при поисках алмазов на подобие знаменитой «пироповой дорожки».

3. Редкоземельно-стронциевые алюмофосфаты, часто встречающиеся в месторождениях в ассоциации с алмазом, а также в виде вторичных гипергенных примазок на его поверхности и нередко поверх сингенетичных (алмазу) металлических пленок, а также в виде вторичных включений в поровом пространстве карбоната и лейкоксена, являются вторичными минералами-индикаторами алмаза и не только на Среднем Тимане.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на VII — XVIII научных конференциях «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» (Сыктывкар, 1998, 1999, 2001, 2002, 2006, 2007, 2008, 2009); XIII Коми республиканской молодежной научной конференции (Сыктывкар, 1997); XIII и XV Геологических съездах Республики Коми (Сыктывкар, 1999, 2009); Севергеоэкотех—2001 (Ухта, 2001); III и V Международных минералогических семинарах

(Сыктывкар, 2002, 2008); IV Международном симпозиуме «Минералогические музеи», (Санкт-Петербург, 2002); I Всероссийской молодежной научной конференции (Сыктывкар, 2008); Всероссийской молодежной научной конференции (Миасс, 2009, 2011); Международном симпозиуме «Геология девонской системы» (Сыктывкар, 2002); Всероссийском совещании «Алмазы и алмазоносность Тимано-Уральского региона» (Сыктывкар, 2001); Международных научных конференциях «Углерод: Минералогия, геохимия и космохимия» (Сыктывкар, 2003), «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований» (Москва, 2010); XIV Международном совещании «Геология россыпей и месторождений кор выветривания» (Новосибирск, 2010); Всероссийском совещании «Новые горизонты в изучении процессов магмо- и рудообразования» (Москва, 2010), и опубликованы в материалах этих форумов.

По теме диссертации опубликовано 36 работ, в том числе одна брошюра, девять статей и две из них в Записках РМО и Докладах РАН (в периодических рецензируемых журналах по списку ВАК), двадцать шесть тезисов докладов различных совещаний.

Фактический материал. Основой работы для исследования Пижемского титанового месторождения послужил каменный материал, отобранный из керна разведочных скважин № 18, 42, 58 и канавы КУ-1 (УГРЭ), предоставленный руководством ЗАО «Тимангеология». Исходным фактическим материалом в изучении минералогии месторождения Ичетью послужили шлиховые десятилитровые пробы и концентрат обогащения крупнообъемных проб. Для решения поставленных задач за период с 1998 по 2011 г. автором было изучено 25 шлихов тяжелой фракции из конглобрекчиевого горизонта месторождения Ичетью, и современного аллювия Вольско-Вымской гряды и Четласского Камня. Минеральный состав шлихов определялся объемно-весовым и весовым анализами. Проведен гранулометрический анализ монофракций минералов. Изучена плотность рудных минералов тяжелой фракции. В лабораторных условиях совместно А. Б. Макеевым было изучено более 200 кристаллов алмаза месторождения Ичетью, из коллекции ЗАО «Тимангеология» (Макеев А., Макеев Б., 2000) обработано 500 микронзондовых анализов зерен минералов и 133 рентгенофлуоресцентных анализов пород, автором проведено более 400 рентгенофазовых анализов минералов. Для решения генетических вопросов использованы данные изотопных исследований углерода алмаза и сидерита.

Структура и объем. Диссертация состоит из шести глав, введения и заключения, общим объемом 218 страниц, содержит 107 рисунков, 47 таблиц. Список литературы насчитывает 90 источников, в том числе 15 фондовых.

Благодарности. Данная работа не могла быть выполнена без заинтересованного и активного участия научного руководителя к.г.-м.н. В. П. Лютоева, и научного консультанта д.г.-м.н. А. Б. Макеева, которым автор приносит глубокую признательность. Академику Н. П. Юшкину, и многим другим, оказавшим автору неоценимую помощь на всех этапах проведения исследований, а также за исчерпывающие научные консультации, автор выражает персональную благодарность. Автор благодарит В. Н. Филиппова, С. Т. Неверова за помощь в аналитической части работы, руководство ЗАО «Тимангеология» в лице В. А. Дудара, а также А. Б. Макеева за любезно предоставленный материал для исследования. Автор благодарен за ценные замечания по диссертации, сделанные А. М. Пыстиным, В. И. Силаевым и др.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована актуальность направления исследований, определены цели и задачи диссертационной работы, отмечена ее научная новизна и практическая значимость.

В главе 1 приведена краткая история геологического исследования региона, открытия комплексного Ичетьюского и титанового Пижемского месторождений, современное состояние изученности территории и планы дальнейших геологоразведочных работ.

В главе 2 описываются методы исследования, использованные в работе, а также собственные разработки автора по классификации и номенклатуре граната.

В главе 3 по материалам предшественников и собственных наблюдений дается изложение геологического строения района исследования: стратиграфии, тектоники и полезных ископаемых Пижемской депрессии.

В главе 4 приводятся сведения о строении и трехчленном делении малоручейской свиты, а также результаты собственных исследований минералогии, петрографии и химического состава руд Пижемского титанового месторождения.

В главе 5 обобщены гипотезы предшественников об источниках рудного вещества Пижемского месторождения, высказана собственная точка зрения на генезис месторождения, подтвержденная новым фактическим материалом.

В главе 6 охарактеризованы результаты собственных исследований минералогии комплексного месторождения Ичетью. Описаны алмаз и его минералы-спутники, особенности накопления минералов тяжелой фракции шлиха, обсуждены возможные источники полезных компонентов, генезис кристаллов алмаза, а также предполагаемая природа алмазоносности конглобрекчий.

В заключении сформулированы основные выводы по типоморфизму алмаза его минералов-спутников, предложения о возможном использовании их в качестве поисковых признаков и намечены направления для дальнейшего исследования.

Первое защищаемое положение

Минеральный кадастр и химический состав сквозных индикаторных минералов (марганцовистый ильменит, хромшпинелид, флоренсит, ильменорутил и др.) Ичетьюского и Пижемского месторождений во многом совпадают, что свидетельствует о близости их генезиса и источника минерального вещества.

Титаноносная толща Пижемского месторождения слагает малоручейскую свиту, которая распространена локально на севере Вольско-Вымской гряды (Среднего Тимана) на площади примерно 90 км².

Малоручейская свита (D₂trc) слагает базальную часть среднедевонского разреза. Отложения известны только в северной части Вольско-Вымской гряды в пределах Пижемской депрессии. Отнесение малоручейской свиты к определенному возрасту достаточно условно, ввиду отсутствия надежных палеонтологических данных. Споро-пыльцевой комплекс для вышележащих отложений серо-коричневых глин пижемской свиты однозначно дает эйфельский возраст. Отложения малоручейской свиты с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на метаморфических породах (глинистых сланцах) верхнего протерозоя (рис. 1). В строении свиты А. Е. Цаплиным (1988) выделены три толщи.

толщ, здесь в песчаниках отсутствуют слюдистые минералы. Мощность толщи от 0 до 32 м.

Комплексное полиминеральное алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльное месторождение Ичетью приурочено к конглобрекциевому горизонту, находящемуся в основании мономинеральных кварцевых песчаников пижемской свиты среднего девона (D_2pg). Мощность конглобрекчий от 0.3 до 1.5 м. В последнее время оно привлекает пристальное внимание исследователей наличием ювелирных алмазов высокого качества, возможностью попутного комплексного извлечения полезных компонентов, а также нерешенностью вопроса об источниках поступления полезных компонентов. Границы распространения горизонта алмазоносной конглобрекции месторождения Ичетью контролируются площадью развития подстилающих отложений малоручейской толщи (D_2mgc) и не известны за её пределами. На юге Пижемской депрессии малоручейская толща имеет несколько большую площадь распространения, в связи с чем было выдвинуто предположение, что именно она является промежуточным коллектором кристаллов алмаза и источником полезных компонентов для металлоносных конглобрекчий Ичетью (Дудар, 2001), а снос обломочного материала в направлении с юга на север. Поисково-оценочными работами 1983—1992 гг. установлено, что горизонт на самом деле имеет пятнистое распространение и приурочен исключительно к местам выходов верхней малоручейской толщи D_2mgc_3 , сложенной белыми, светло-серыми, розовыми каолинит-кварцевыми мелкозернистыми песчаниками и алевролитами (мылкими на ощупь). С этим связано предложение использовать наличие каолинит-кварцевых песчаников в качестве поискового геологического признака на алмазы.

Существует несколько точек зрения на возможные источники поступления полезных компонентов в девонские терригенные породы, которые можно разделить на две основные группы: эндогенные (Макеев А., Рыбальченко и др., 1999) и чисто осадочные. Среди последних, в свою очередь, выделяются прибрежно-морские (литоральные), аллювиально-дельтовые, эоловые, флювиогляциальные россыпи и т. д. (Дудар, 1996; 2001; Щербаков, Плякин, Битков, 2001; Остащенко, Майорова, 1988; Игнатъев, Бурцев, 1997).

На диаграмме (рис. 2) приведен полный список минералов диагностированных в изучаемом районе и встречающихся в рудах Пижемского титанового и комплексного Ичетьюского месторождений. Видно, что парастерезисы руд совпадают на 75 %.

Химические составы минералов Ичетьюского и Пижемского месторождений также совпадают. В изученных объек-



Рис. 2. Кадастр минеральных видов Пижемского и Ичетьюского месторождений

тах встречаются: высокопробное золото, Mn-ильменит, Nb-ильменорутил, Mn-колумбит, Th-монацит, (REE, Sr)-алюмофосфаты, хромшпинелиды, Hf-циркон и др.

Одним из возможных способов проверки выдвигаемых гипотез является применение методов математической статистики, а именно факторного анализа, который может выявить меру связей между минералами тяжелого шлиха. Это позволит решить вопрос, о справедливости гипотезы о возможных ближайших промежуточных коллекторах (Макеев А., Дудар, Макеев Б., 2002).

В результате поисковых работ 1980—1992-х годов, проведенных на Вольско-Вымской гряде Ухтинской ГРЭ, а затем ЗАО «Тимангеология», накоплен обширный материал по минеральному составу девонских терригенных толщ Пижемской депрессии. В факторном анализе использованы результаты минералогического анализа протолок из коренных обнажений по рр. Печорская Пижма, Средняя, Умба и пробы из керна многочисленных поисковых скважин. В работе использовались авторские минералогические анализы и результаты Р. М. Дунышевой (ЗАО «Тимангеология»). Использована только небольшая часть фактического материала. Это полный минералогический анализ 42 проб, которые характеризуют содержание полезных компонентов в отложениях нижней и средней толщ титаноносной малоручейской свиты, а также в алмазоносном конглобрекциевом горизонте пижемской свиты. Расчет средних содержаний минералов тяжелого шлиха позволил определить, что минеральные ассоциации изучаемых отложений существенно отличаются (%): в нижней малоручейской толще содержатся — лейкоксен (63) — сидерит (15) — лимонит (10) — ильменит (7) — куларит (3) — циркон (1); а в средней — лейкоксен (50) — циркон (19) — ильменит (14) — рутил (12) — гранат (2) — турмалин (1) — сидерит (1).

Шлих пород титаноносной малоручейской свиты более чем на 70—90 % состоит из титановых минералов, среди которых преобладает лейкоксен. Существенно ниже содержание ильменита и рутила. Сильно отличаются составы шлихов нижней и средней толщ. В средней толще уменьшается содержание лейкоксена, в 12 раз возрастает содержание рутила, в 19 раз увеличивается содержание циркона и в 15 раз падает содержание сидерита. Из редких и редкоземельных минералов только в нижней пачке присутствует куларит, в среднем 3 % и в заметных количествах высокопробное золото тонкого класса, похожее по составу и морфологическим особенностям на Ичетьюское.

По минеральной ассоциации и содержанию компонентов от титаноносных отложений резко отличается тяжелый шлих продуктивного алмазоносного горизонта (D₂pg). Приведем результаты минералогического анализа (средних содержаний минералов, %) из интервалов продуктивного горизонта по скважинам (I) и 10-литровых проб из коренных обнажений (II):

I — лейкоксен (39) — ильменит (19) — циркон (9) — куларит (6.4) — ильменорутит (6) — колумбит (6) — рутил (4.6) — монацит (4.1) — гранат (4);

II — циркон (28) — ильменит (26) — лейкоксен (17) — рутил (5.8) — куларит (4.2) — гранат (4) — колумбит (2.3) — ильменорутит (1.6) — монацит (1.2) — хромшпинелид (1). Видно, что уменьшилась доля титановых минералов до 50—60 %, исчезает сидерит, появляются редкоземельные (куларит, монацит) и ниобиевые минералы (колумбит и ильменорутит), установлено высокое содержание золота и алмазов. Выход тяжелого шлиха в алмазоносном горизонте сильно варьирует от сотен

граммов до нескольких килограммов, что в 10п и 100п раз меньше чем выход тяжелого шлиха из пород D_2mrc_{1-2} .

Анализ корреляционной матрицы показывает, что всю совокупность минералов шлиха можно объединить в три парагенетические минеральные ассоциации: 1) «Титановую» — лейкоксен + ильменит; 2) «Золото-редкоземельно-редкометалльную» — куларит + хромшпинелид + колумбит + монацит + рутил + турмалин + ильменорутит + золото; 3) «Силикатную» — циркон + гидроксиды железа (лимонит) + гранат (в основном альмандин).

Применена одна из разновидностей факторного анализа, метод главных компонент. Результаты расчетов на первые четыре фактора описывают изменчивость минерального состава шлихов на 38 %. Результаты факторного анализа, в виде фигуративных точек в координатах двух главных факторов F_1 (векторная нагрузка 24.2 %) и F_2 (9.3 %), представлены на диаграмме (рис. 3). Первый фактор описывает изменчивость содержаний двух совокупностей минералов: главных компонентов шлихов — лейкоксена, ильменита и циркона ($Lcx+Ilm+Zrc$), а также противоположной ей минеральной ассоциации ($Stv+Au+Tur+Mon+Lim+Kol+Imr+Sid$).

Вероятно, это фактор смешения минеральных компонентов из двух источников. Второй фактор, как видно из его наполнения, описывает изменчивость главных компонентов шлиха нижней малоручейской толщи ($Lcx+Sid+Lim$) — ($Ilm+Zrc$). Его можно интерпретировать как гидродинамический параметр образования промежуточного коллектора. На диаграмме (рис. 3) видно, что поля фигуративных точек проб из трех объектов сравнения разделились. Наиболее сильно отличаются пробы из продуктивного алмазоносного горизонта и средней D_2mrc_2 толщи, их поля не пересекаются. Из этого можно заключить, что это два разных в генетическом плане объекта. Иной вывод можно сделать в отношении связей нижней D_2mrc_1 толщи и продуктивного алмазоносного горизонта. Поля фигуративных точек этих двух объектов сближены и взаимопересекаются.

Напрашивается вывод о том, что нижняя малоручейская толщина D_2mrc_1 могла быть промежуточным коллектором, размыв которой мог формировать тяжелый шликс продуктивного конглобрекчиевого горизонта пижемской свиты, по крайней мере, в отношении титансодержащих минералов и золота.

Вопрос об источниках собственно алмазов остается открытым, поскольку их наличие в подстилающих толщах малоручейской свиты пока не установлено.

Типоморфизм и парагенезис REE и титан-ниобиевой минерализации Ичетью близки минерализации Боб-

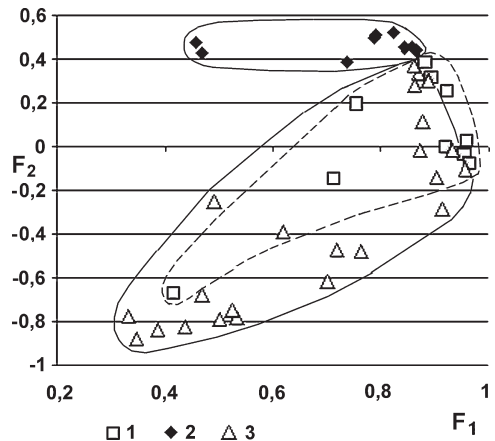


Рис. 3. Фигуративные точки шлиховых проб в координатах факторов F_1 и F_2 . 1, 2 — малоручейская свита: 1 — нижняя толщина (D_2mrc_1), 2 — средняя толщина (D_2mrc_2); 3 — конглобрекция пижемской свиты (D_2pg)

ровского и Октябрьского REE-Nb-проявлениям на Четласском Камне. Возможно, именно такой тип минерализации находящейся в нижележащих горизонтах рифея под Пижемской депрессией мог служить источником REE и Nb минералов.

Минеральный состав тяжелой фракции месторождения Ичетью

Подсчитаны содержания минералов в тяжелых фракциях шлихов четырнадцати проб путем разделения их на монофракции в классе крупности +0.25 мм, с последующим взвешиванием на аналитических весах. Содержания минералов фракции — 0.25 мм, подсчитывались объемно-весовым методом. Обращает на себя внимание крайне неравномерное содержание главных рудных минералов в шлиховых пробах, взятых в разных местах месторождения Ичетью. Так на Сидоровском, самом северном, участке месторождения Ичетью основным минералом шлиха является циркон, вторым ильменит и третьем ильменорутил, затем гетит и лейкоксен, кроме того, к ним в заметных количествах примешиваются регионально распространенные нерудные минералы ставролит и альмандин — главные минералы четвертичных аллювиальных отложений. Здесь очень мало лейкоксена и редкоземельных минералов. В пределах Золотокаменного участка главным становится ильменит, вторым циркон и только третьим лейкоксен, затем в меньшей степени распространены ильменорутил и куларит. Ставролита практически нет, альмандин присутствует не во всех пробах.

Совершенно другие взаимоотношения главных минералов в южной части месторождения Ичетью в южных карьерах реки Умбы. Главным минералом в разных пробах выступают чаще всего циркон, в одном случае ильменит в трех случаях лейкоксен, вторым чаще всего бывает ильменит и третьим лейкоксен, далее по большей концентрации присутствуют ильменорутил и куларит или альмандин. Такое разное соотношение главных рудных минералов в трех участках месторождения свидетельствует, по крайней мере, о нескольких независимых источниках минералов этих участков. В то же время, набор минералов довольно узкий и повторяется во всех пробах. Максимальные коэффициенты корреляции установлены между следующими парами минералов: монацит — колумбит, хромшпинелид — колумбит, хромшпинелид — куларит, ильменорутил — монацит, ильменорутил — колумбит.

Для установления возможности поступления рудных минералов в алмазоносный конглобрекчиевый горизонт (D_2pg) из нижележащих песчаников малоручейской свиты (D_2mg) использовался факторный анализ (Макеев А., Дудар, Макеев Б., 2002), а результаты минералогического анализа в виде круговых диаграмм нанесены на схему опробования (рис. 4). Результаты факторного анализа подтверждают возможность поступления рудных минералов в конглобрекчиевый горизонт из нижележащих титаноносных песчаников. Это же следует из полной аналогии химического состава, морфологии и размера зерен лейкоксена, ильменита, циркона, ильменорутила, монацита, куларита и других компонентов. Видовой минеральный состав шлиха и химический состав минералов алмазоносного конглобрекчиевого горизонта соответствует таковому нижележащей титаноносной толщи.

По данным УГРЭ (Битков, 1992ф) содержание алмазов в конглобрекчиевом горизонте падает с юга на север. Так в карьере СУ-1 кристаллов нет, в СУ-2 (Сидоровский участок) в крупнообъемной пробе найдено всего 8 кристаллов, в карьере «Золотокаменный» — 26 кристаллов, в южных карьерах Большом (БК), К-100 и К-150 — более 230 кристаллов. Содержание алмазов в конглобрекчиевом горизонте

коррелирует с распространением хромшпинелидов и других минералов-спутников. Самые высокие содержания хромшпинелидов (более 1—3 % тяжелого шлиха) наблюдаются в карьерах ЗК, БК, К-100 и К-150.

Распределение минералов тяжелой фракции шлиха в пробе из карьера СУ-1 смещено в сторону накопления силикатов: циркона, ставролита, граната, турмалина, эпидота, в сумме они составляют более 78 %. Наиболее вероятное их поступление в шлих из древних метаморфических толщ фундамента. Назовем эту минеральную ассоциацию шлиха — *метаморфогенным типом*.

В пробах СУ-2, ЗК-6 и К43-2 преобладают два минерала ильменит и циркон (где они в сумме дают 75 % шлиха), назовем эту ассоциацию — *ильменит-циркониевым типом*.

В пробах В-5, УМ-1, УМ-3, К150-5 к ильмениту и циркону добавляются лейкоксен и ниобиевые минералы, назовем эту ассоциацию — *ильменорутил-лейкоксен-ильменит-циркониевым типом*. Эти четыре компонента тяжелого шлиха дают в сумме >75 %.

Следующая ассоциация состоит из циркона, лейкоксена и ильменита, а другие минералы составляют менее 20 % шлиха. Это пробы: ЗК-5, БК-3 и В-3. Назовем эту ассоциацию *циркон-лейкоксен-ильменитовым типом*.

Пятый тип минеральной ассоциации смешанного типа встречается только в пробах К100-6, К100-2 и ЗК-4, в них наибольшую долю составляют титановые, ниобиевые и редкоземельные минералы (куларит, монацит, ильменорутил, колумбит, циркон, ильменит и лейкоксен). В этих пробах наибольшее содержание приходится на лейкоксен, увеличена и крупность лепешковидных зерен этого компонента до 0.5—1.0 мм. Назовем эту ассоциацию *REE-Nb-циркон-ильменит-лейкоксеновым* или *редкоземельно-редкометалльно-титановым типом*.

Анализируя распространение минеральных типов шлиха по исследуемой площади (рис. 4.) необходимо отметить следующие закономерности: содержание циркона и других силикатов в пробах падает с севера на юг, в обратном направлении в южных участках накапливаются лейкоксен, ниобиевые и редкоземельные минералы. В «Золотокаменном» и «Большом» карьерах установлено наибольшее содержание высокопробного самородного золота мелкого класса. Все это позволяет предполагать участие в формировании горизонта нескольких источников (таблица) пяти рудных типов (минеральных ассоциаций).

При формировании алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титанового конглобрекчиевого горизонта возможно несколько вариантов поступления рудных минералов: 1) в накоплении тяжелого шлиха принимали участие несколько типов рудопоявлений расположенных радиально по отношению друг к другу; 2) при образовании алмаз-золотоносного горизонта перемывалась титаноносная толща Пижемского месторождения; 3) транспорт рудных минералов осуществлялся насквозь через титаноносную толщу снизу из древних сланцевых толщ.

Наши исследования показали, что конглобрекчиевый горизонт Ичетью, залегающий в вертикальном геологическом разрезе ближе к титаноносной малоручейской свите D_2mrc_{1-2} , содержит значительно больше титановых минералов. Этому способствует уменьшение мощности (от 20 до 2 м) промежуточной каолинит-кварцевой толщи D_2mrc_3 . Эта закономерность позволяет интерпретировать наблюдаемое явление как поступление рудных минералов титана (ильменита, рутила, лей-

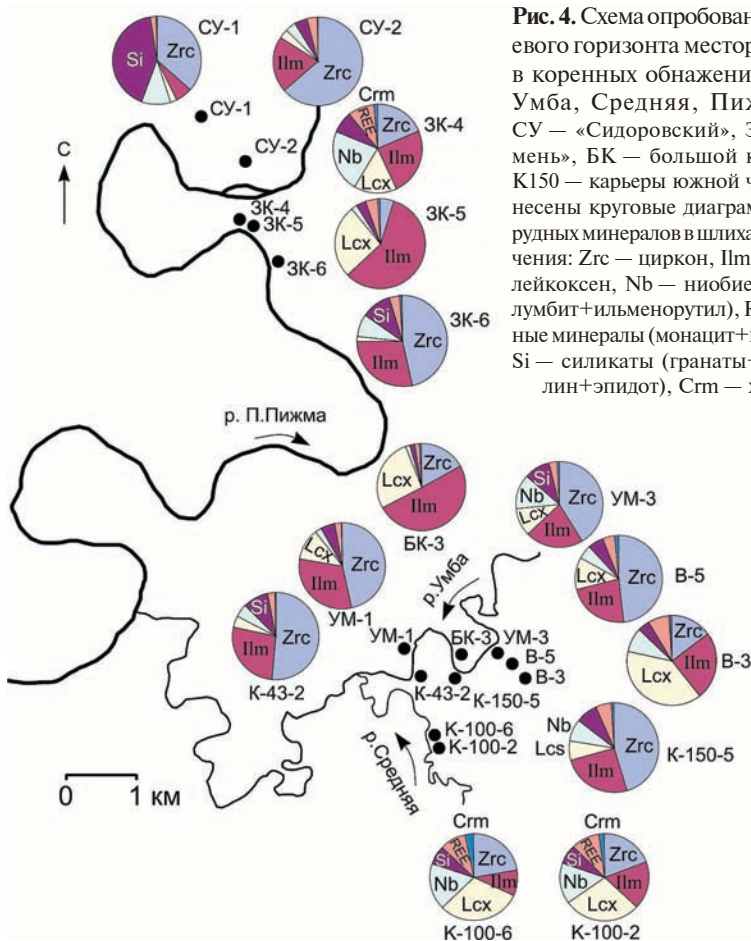


Рис. 4. Схема опробования конглобрекчи-евого горизонта месторождения Ичтью в коренных обнажениях по бортам рек Умба, Средняя, Пижма и карьерах. СУ — «Сидоровский», ЗК — «Золотой камень», БК — большой карьер, К43, К100, К150 — карьеры южной части площади. Вынесены круговые диаграммы распределения рудных минералов в шлахтах. Условные обозначения: Zrc — циркон, Ilm — ильменит, Lcx — лейкоксен, Nb — ниобиевые минералы (колумбит+ильменорутит), REE — редкоземельные минералы (монацит+куларит+ксенотим), Si — силикаты (гранаты+ставролит+турмалин+эпидот), Crm — хромшпинелиды

Парастерезис конглобрекчиного горизонта месторождения Ичтью (из пяти минеральных ассоциаций)

Минеральная ассоциация	Тип источника
1 Золото-кварцевая	Кварцевые жилы с золотом
2 Алмаз (эклогитового мантийного источника) с минералами спутниками (Zn-хромшпинелид, гранат — пироп-альмандин, рутил)	Алмазоносные мантийные эклогиты (транспортёр — кимберлиты, лампроиты, лампрофиры)?
3 Циркон, ставролит, турмалин, гранат (альмандин-гроссуляр), эпидот	Метаморфические породы фундамента
4 Редкоземельно-редкометалльная (колумбит, ильменорутит, куларит, монацит, ксенотим)	Кварцевые жилы с Nb-REE в рифейских сланцах (аналоги Бобровское, Ново-Бобровское и Октябрьское проявления Четласского Камня)
5 Титановая (Mn-ильменит, рутил, лейкоксен)	Пижмское титановое месторождение (лампрофиры)

коксена) снизу из титаноносной свиты. Концентрация всех этих минеральных ассоциаций в конглобрекчиевом горизонте зависит от близости расположения коренных источников — месторождений аналогов, предположительно находящихся в рифейской сланцевой толще фундамента под Пижемской депрессией.

Второе защищаемое положение

На Среднем Тимане прослежена цепочка находок высокоцинкистых хромшпинелидов от коренных тел лампрофировых даек на плато Четласского Камня с акцессорным метаморфизованным хромшпинелидом и каймами цинкистого хроммагнетита к палеогеновым корам выветривания и современным аллювиальным отложениям на восточном склоне Четласского Камня и далее к среднедевонским алмазоносным конглобрекциям месторождения Ичетью. Цинкистый хромшпинелид предлагается использовать как минерал-индикатор при поисках алмазов на подобие знаменитой «пироповой дорожки».

Выявлена интересная особенность состава акцессорных хромшпинелидов в месторождении Ичетью. Необычность состава этих хромшпинелидов проявилась в высоком содержании изоморфного цинка, в десятки и сотни раз превышающим содержание цинка в хромшпинелидах из альпинотипных ультрабазитов. Наряду с типичными бедными цинком разновидностями хромшпинелида в ряде мест были обнаружены ксеноморфные зерна и кристаллы октаэдрического габитуса, содержащие в своем составе от 1 до 12 % ZnO. Цинксодержащие хромшпинелиды обнаружены уже в четырех районах исследования на Среднем Тимане: 1) в конглобрекчиевом горизонте Вольско-Вымской гряды, месторождение алмазов Ичетью (Макеев А., Макеев Б., 2005); 2) в палеогеновых корах выветривания марганцевых проявлений и в четвертичных аллювиальных отложениях вдоль всего Восточного склона Четласского Камня; 3) в среднеюрских песчаниках сысольской свиты на севере Ухтинской площади (Макеев А., Юманов, 2002); 4) в лампрофировых дайках Четласского Камня (Макеев А., Лебедев, Брянчанинова, 2008). Кроме того, высокоцинковые хромшпинелиды обнаружены на Приполярном Урале (Макеев А., Ефанова, Филиппов, 1999) в верхнекембрийско-нижнеордовикских песчаниках, алькесвожской свиты в верховьях р. Балбанью. В этом же районе в поисковых горных выработках найдены два мелких (0.1—0.3 мм) октаэдрических кристалла алмаза.

Загадкой оставался коренной источник и генезис цинковых разностей хромшпинелида, найденных ранее в различных районах и обстановках, установление которых должно приблизить к решению проблемы коренных источников алмазов.

Хромшпинелиды присутствуют в тяжелой фракции в виде черных и коричневых зерен неправильной формы, реже октаэдрических, кубооктаэдрических кристаллов, различной степени окатанности (рис. 5, а—в). Поверхность зерен гладкая, блестящая у черных октаэдров, а у округлых коричневых — корродированная. Размеры индивидов изменяются от 0.2 до 0.6 мм, средний размер зерен 0.45 мм. Обычная доля хромшпинелидов в тяжелом шлихе 1—2 %, а максимальная концентрация достигает 30 г/м³.

Содержание хромшпинелидов в алмазоносном горизонте коррелируется с содержанием монацита, куларита, колумбита, рутила, а также наблюдается качественная положительная связь с концентрацией алмаза. Среди хромшпинелидов преобладают (рис. 7) глиноземистые разности — хромпикотиты, алюмохромиты, субфер-

риалуохромиты. Впервые с помощью электронного микроскопа в режиме «Сотро» на поверхности многих зерен хромшпинелидов обнаружены светлые каймы (рис. 5, а, б) с высоким содержанием цинка.

Точно такие же составы хромшпинелидов (рис. 6) в аналогичной ассоциации вместе с ильменитом, рутилом, ильменорутилом, колумбитом, монацитом, ксенотимом и породообразующими силикатами метаморфических пород встречены почти в двадцати пробах тяжелой фракции шлихов из палеогеновых кор выветривания и современного аллювия вдоль всего Восточного склона гряды Четласский Камень (кроме собственного материала были исследованы пробы любезно предостав-

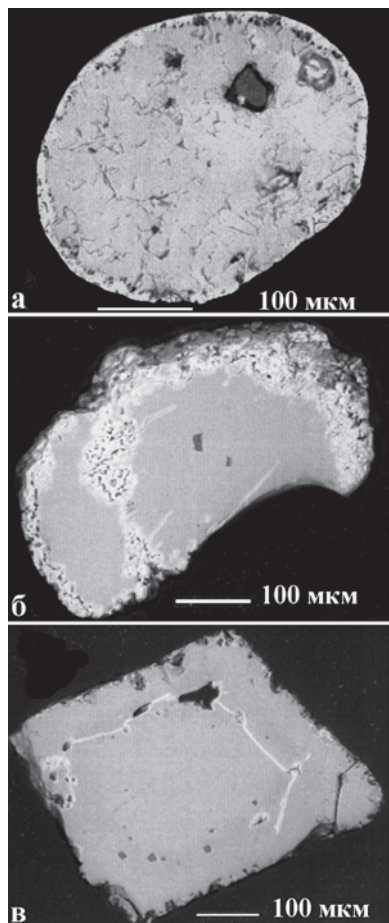


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение хромшпинелидов месторождения Ичетью, полированные препараты, режим «Сотро». Видны остатки не до конца эродированной светлой высокоцинкистой каймы

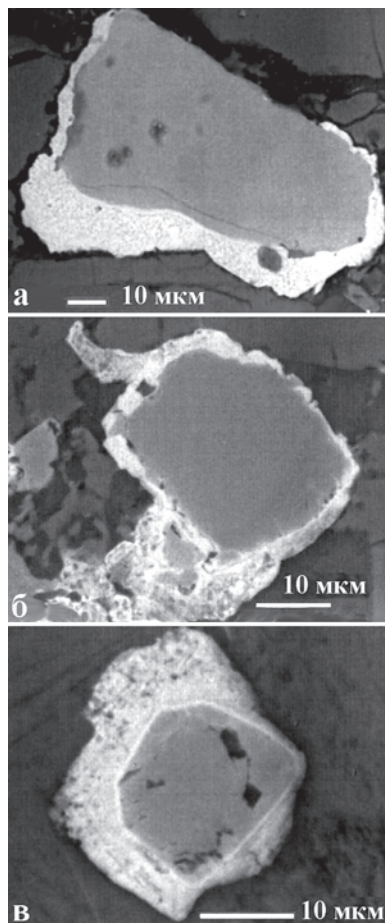


Рис. 6. Зональные акцессорные хромшпинелиды лампрофировых даек с высокоглиноземистым ядром и железо-цинковой хроммагнетитовой (светлой) каймой (гряда Четласский Камень), режим «Сотро», полированные препараты

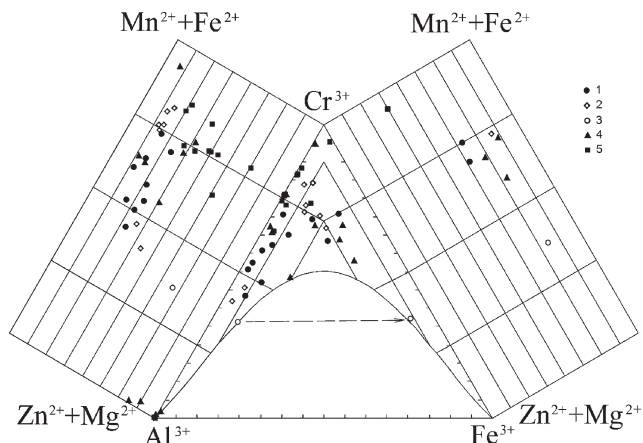


Рис. 7. Фигуративные точки составов цинковых хромшпинелидов на треугольнике Н. В. Павлова.

1 — хромшпинелиды Среднего Тимана из конглобрекчиевого горизонта месторождения Ичетью; 2 — из кор выветривания и аллювия восточного склона Четласского Камня; 3 — акцессорный зональный хромшпинелид из лампрофиров Четласского камня (стрелкой соединены фигуративные точки состава ядра и каймы); 4 — из среднеюрских терригенных отложений р. Сюзью; 5 — марганеццинкохромиты Приполярного Урала из терригенных отложений алькесвожской свиты верхнекембрийско-нижнеордовикского возраста

ленные ухтинскими геологами В. А. Лебедевым и Н. В. Повонской). На поверхности примерно у половины всех изученных хромшпинелидов также обнаружены каймы с высоким содержанием цинка.

В последнее время при детальном изучении химического и минерального составов лампрофировых даек Четласского Камня рифейского возраста установлено (Макеев А., Лебедев, Брянчанинова, 2008), что акцессорный хромшпинелид из этих даек представлен мелкими ксеноморфными и округлыми, реже октаэдрическими (0.04—0.80 мм) зональными зернами, ядерная часть которых желто-коричневого цвета весьма постоянного состава соответствует алюмохромиту или хромпикотиту из типичных альпинотипных лерцолитов (рис. 7). Тонкие черные каймы вокруг высоко глиноземистых хромшпинелидов толщиной от 3 до 20 мкм представляют собой поздние метаморфические или гидротермально-метасоматические образования, резко отличные по составу от первичных ядер. Края зерен также имеют зональный состав. Ближе к ядру располагается цинксодержащая кайма, сложенная субалюмохроммагнетитом, по периферии она замещается более толстой магнетитовой или титаномгнетитовой каймой. Цинкистый акцессорный зональный хромшпинелид в лампрофировых телах ассоциируется с цинксодержащим вермикулитом, а метасоматические альбитит-слюдитовые оторочки вокруг лампрофировых тел содержат сфалеритовую минерализацию. В целом лампрофировые тела и метасоматические оторочки вокруг них заметно обогащены цинком, содержание которого по данным химического анализа варьируется от следов до 0.08 %.

Таким образом, на Среднем Тимане прослежена цепочка находок высокоцинковых хромшпинелидов от коренных тел лампрофировых даек на плато Четласского Камня с акцессорным метаморфизованным хромшпинелидом и каймами цинкисто-

го хромагнетита к палеогеновым корам выветривания и современным аллювиальным отложениям на восточном склоне Четласского Камня и далее к среднедевонским алмазонасным конглобрекциям месторождения Ичетью. Можно предположить, что именно в этом направлении с запада на восток на расстояние 60—70 км проходили древние пути миграции терригенного материала, а цинкистый хромшпинелид является одним из ярких индикаторов направления сноса полезных компонентов. Кроме цинкистого хромшпинелида в трассировании этой дороги принимают участие и все другие, характерные для тяжелой фракции месторождения Ичетью минералы: ильменит, рутил, ильменорутит, колумбит, монацит, ксенотим и др. На плато Четласского Камня известно несколько проявлений редких минералов ниобиевых, иттриевых и редкоземельных. И даже сам алмаз носит на себе доказательство сходного происхождения или одного и того же коренного источника. На поверхности многих кристаллов алмаза месторождения Ичетью (Вольско-Вымская гряда) и на одном кристалле алмаза из современных четвертичных отложений р. Косью (Четласский Камень) здесь обнаружены одинаковые по составу металлические сингенетичные пленки природного золото-палладиевого (Au_2Pd_3) сплава (Макеев А., Дудар, 2001).

Итак, установлен коренной источник цинкистых хромшпинелидов на Среднем Тимане — это лампрофировые дайки Четласского Камня, а сам **цинкистый хромшпинелид может быть использован как минерал-индикатор при поисках алмазов на подобие знаменитой «пироповой дорожки»**. Можно предположить, что и на Вольско-Вымской гряде будут найдены лампрофиры подобные четласским на Среднем Тимане с аксессуарными цинковыми хромшпинелидами.

Третье защищаемое положение

Редкоземельно-стронциевые алюмофосфаты, часто встречающиеся в месторождениях в ассоциации с алмазом, а также в виде вторичных гипергенных примазок на его поверхности и нередко поверх сингенетичных (алмазу) металлических пленок, а также в виде вторичных включений в поровом пространстве карбонадо и лейкоксена, являются вторичными минералами-индикаторами алмаза и не только на Среднем Тимане.

Алюмо-фосфато-сульфаты широко распространенная группа гипергенных минералов в проявлениях Среднего Тимана. Ранее они обнаружены в виде примазок на кристаллах алмаза месторождения Ичетью (Макеев А., Макеев Б., 2000; Макеев А., Дудар, 2001) в бокситоносной коре выветривания полевошпатовых метасоматитов (Швецова, Лихачев, Ширяева, 1989), и микронных включений в зернах лейкоксена Пижемского месторождения, а также отмечались П. П. Битковым (1992ф) в современном аллювии рек Вольско-Вымской гряды — Средний и Левый Кыввож, Белая Кедва. Образование этих редкоземельных минералов в виде корочек на поверхности минералов или мелких самостоятельных зерен обязано вторичным процессам, проходящим в корках выветривания или в россыпях в гипергенных условиях при низких Р-Т параметрах.

В известном алмазонасном месторождении Ичетью отсутствуют классические спутники алмаза ультраосновного парагенезиса (высокохромистый пироп, высокохромистый хромшпинелид и пикроильменит), но присутствуют минералы-индикаторы эклогитового парагенезиса (пироп-альмандин, Мп-ильменит, рутил и др.), это наряду с относительно легким изотопным составом углерода алмаза (Макеев А.,

Макеев Б., 2003) свидетельствуют о происхождении этих местных алмазов из мантийных эклогитов. Бедность и неоднозначность выборки минералов-индикаторов алмаза в месторождениях Среднего Тимана, до сих пор не приведших к открытию коренных первоисточников, заставляют предпринимать дополнительные усилия по поиску нетрадиционных. Объект настоящих исследований — алюмофосфаты отобранные из: рудных песчаников красноцветной толщи Пижемского титанового месторождения, алмазоносных конглобрекций месторождения Ичетью и современного аллювия реки Умбы.

С помощью сканирующего электронного микроскопа с энергодисперсионной приставкой (JSM-6400) изучены особенности морфологии зерен и определен химический состав алюмофосфатов, примазок и включений в них.

Форма зерен алюмофосфатов Пижемского титанового месторождения, как и у монацитов лепешковидная (рис. 8), с максимальными линейными размерами не пре-

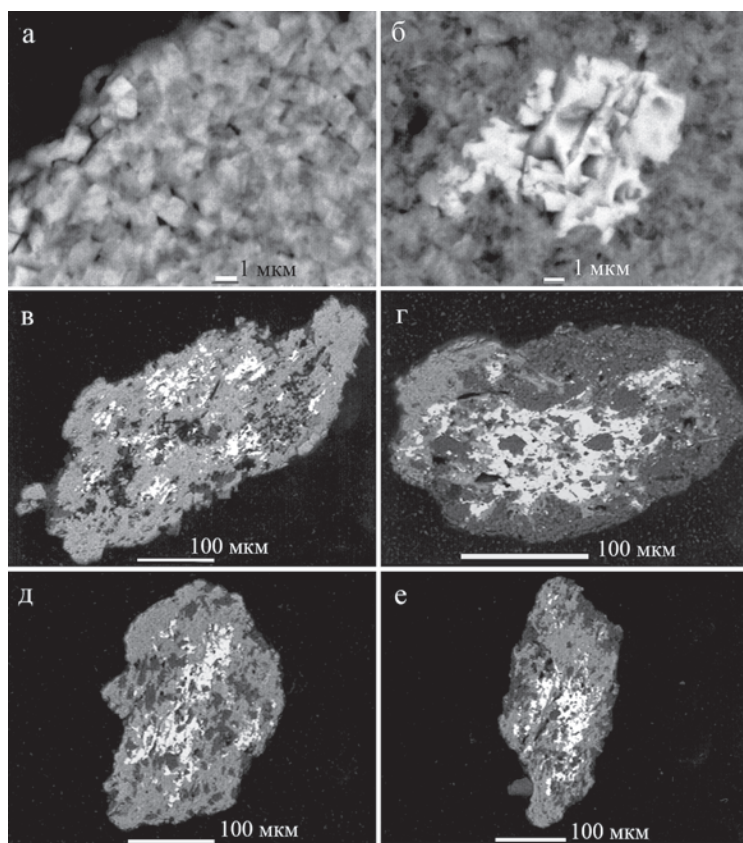


Рис. 8. Электронно-микроскопические изображения флюоренсита:

а — поликристаллическое строение поверхности зерна алюмофосфата месторождение Ичетью; б — включение пирита во флюоренсита месторождение Ичетью; в-е — полированные препараты флюоренсита из руд Пижемского титанового месторождения. Светлые участки — реликты монацита, серые — флюоренсит, темные — включения кварца

вышающими 0.5 мм. Флоренситы окрашены в основном в красные тона, что объясняется включениями тонкодисперсного гематита. Поверхность зерен бугристая, что является следствием их неравномерного растворения. В отдельных случаях на поверхности таких зерен наблюдаются микрокристаллиты — следы возможной перекристаллизации. Рентгеноструктурным анализом выявлена их поликристаллическая структура и диагностированы включения. Флоренситы Пижемского месторождения содержат большое количество реликтов монацита, а также включения: ильменита ($\text{Fe}_{0.87}, \text{Mn}_{0.13}$) TiO_3 , рутила, кварца, пирита, слюды, оксидов железа. Их состав характеризуется повышенным содержанием редких земель и ThO_2 до 1.3 %.

Окраска алюмофосфатов месторождения Ичетью разнообразна: от желто-коричневой и оранжевой до серо-зеленой пятнистой. Алюмофосфаты представлены, как правило, окатанными зернами размером до 5 мм. Из всех отобранных из тяжелых шлихов зерен, третья часть превышает размер 0.75 мм. Большие зерна найдены в местах скопления относительно крупных других аксессуарных минералов шлиха. Внутреннее строение зерен также имеет поликристаллическое строение (рис. 9) и зональную окраску: поверхность темно-серая, внутренняя часть желто-оранжевая.

Типоморфная особенность некоторых ичетьюских алюмофосфатов — наличие на поверхности их зерен налетов другого новообразованного минерала белого цвета Sr-алюмофосфата $\text{SrAl}_3[(\text{P}_{0.88-0.94}, \text{S}_{0.06-0.12})\text{O}_4]_2(\text{OH})_6$ или ярозита $\text{K}_2\text{Fe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$ (рис. 8, а).

Флоренситы алмазозного месторождения Ичетью содержат единичные реликты монацита, а также включения кварца, Th-фосфата, слюды, ксенотима ($\text{Y}_{0.80}, \text{Dy}_{0.06}, \text{Er}_{0.06}, \text{Gd}_{0.05}, \text{Yb}_{0.03}$) PO_4 , пирита $\text{Fe}(\text{S}_{1.95-1.98}, \text{As}_{0.02-0.05})_2$, циркона ($\text{Zr}_{0.98}, \text{Hf}_{0.02}$) SiO_4 . Их состав характеризуется близким соотношением редких земель и стронция. Поверхность зерен обогащена BaO (0.8—1.7 %), а внутренняя часть зерен — Gd_2O_3 (0.6—1.7 %).

Зерна из современного аллювия р. Умбы характеризуются высокой степенью окатанности — округлыми формами, с максимальными линейными размерами до 0.6 мм, преимущественного серой окраской поверхности. В качестве включений в алюмофосфатах современного аллювия р. Умбы встречен только гематит и в этом они похожи на алюмофосфаты из красноцветов Пижемского месторождения. Состав зерен характеризуется повышенным содержанием SrO и BaO. Некоторые типоморфные признаки алюмофосфатов (морфология и размерность зерен, включения гематита) кроме химического со-

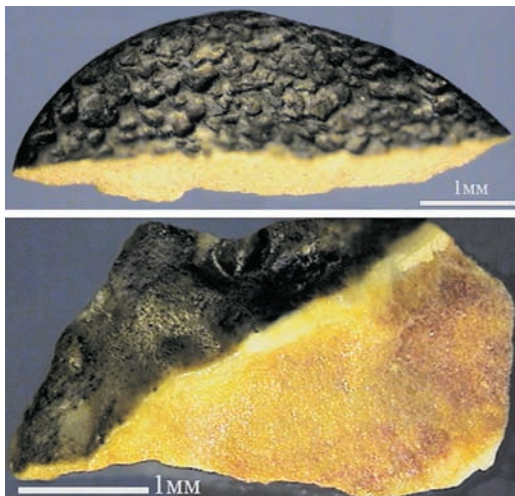


Рис. 9. Морфология, внутреннее строение и зональность зерен флоренсита из алмазозных конглобрекций месторождения Ичетью

става (который после частичного растворения может измениться) из современного аллювия р. Умбы совпадают с таковыми из красноцветных титаноносных песчаников, а значит пижемские песчаники могут быть коренным источником аллювиальных зерен. Из-за своей хрупкости алюмофосфаты в тяжелом шлихе современного аллювия сохраняются довольно плохо, и обнаруживаются в шлихах, так же как и лейкоксен, на расстоянии не дальше 1 км от коренного источника.

Методом наименьших квадратов рассчитаны параметры элементарной ячейки алюмофосфатов из (1) титановых руд Пижемского месторождения, (2) месторождения Ичетью и (3) современного аллювия р. Умба (Е): 1) $a_o = 6.995 \pm 0.013$, $c_o = 16.31 \pm 0.14$; 2) $a_o = 6.95 \pm 0.02$, $c_o = 16.31 \pm 0.17$; 3) $a_o = 6.992 \pm 0.008$, $c_o = 16.35 \pm 0.05$. Параметры элементарной ячейки флоренсита изучаемых объектов близки (в пределах погрешности измерения), что объясняется небольшими колебаниями их состава.

О том, что флоренсит развивается по монациту, свидетельствуют реликты этого минерала в центральных частях зерен флоренсита Пижемского месторождения (рис. 8), а также реликты микронных частиц, обнаруженные под электронным микроскопом на поверхности алюмофосфата из месторождения Ичетью. Установлено наследование соотношения главных редких земель Ce, La, Nd от монацита к флоренситу (рис. 10). Дополнительную информацию дает соотношение $\Sigma REE - Ca^{2+} - Sr^{2+}$ в составе алюмофосфатов Пижемской депрессии (рис. 11). Образовался непрерывный ряд составов алюмофосфатов от собственно флоренсита до Sr-алюмофосфата. Четко разделились богатые редкими землями флоренситы из песчаников Пижемского титанового месторождения и флоренситы — примазки на кристаллах алмаза от богатых стронцием крупных зерен флоренситов из конглобрекций месторождения Ичетью и Sr-алюмофосфаты из тяжелого шлиха современного аллювия р. Умбы.

Плохая сохранность алюмофосфатов в современном аллювии и небольшой ареал распространения позволяют путем шлихования найти дорожку к коренным источникам.

На поверхности среднетиманских алмазов, имеющих синее свечение (N3 центры) катодолюминесценции разной интенсивности, обнаружено желто-зеленое свечение (N4 и N3 центры) в виде пятен различной величины от 10 до 600 мкм (Макеев А., Дудар, 2001). Часть из них совпадает с расположением зеленых радиационных пигментных пятен, видимых на поверхности кристаллов алмаза или полос дислокаций. Можно предположить, что это следы воздействия на алмаз примазок радиоактивных минералов — торийсодержащего монацита, ксенотима и флоренсита, которые несколько сотен миллионов лет находились вместе с алмазом в одних отложениях (ичетьюских конглобрекциях).

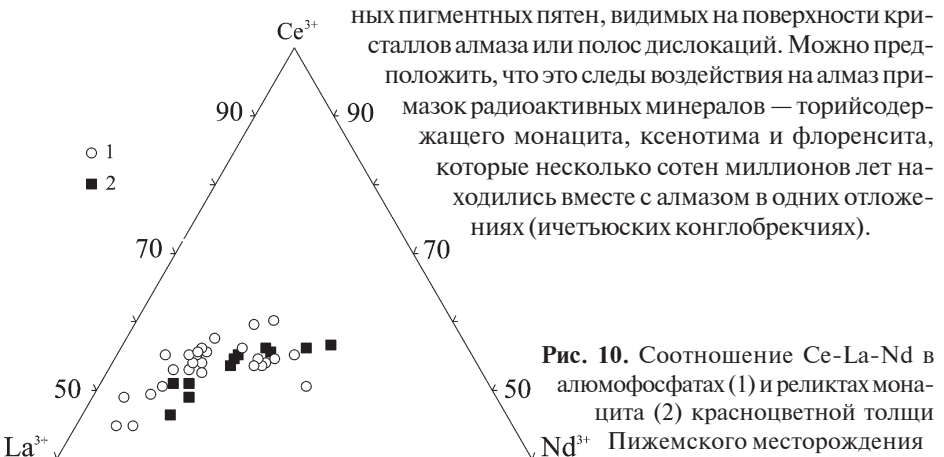


Рис. 10. Соотношение Ce-La-Nd в алюмофосфатах (1) и реликтах монацита (2) красноцветной толщи Пижемского месторождения

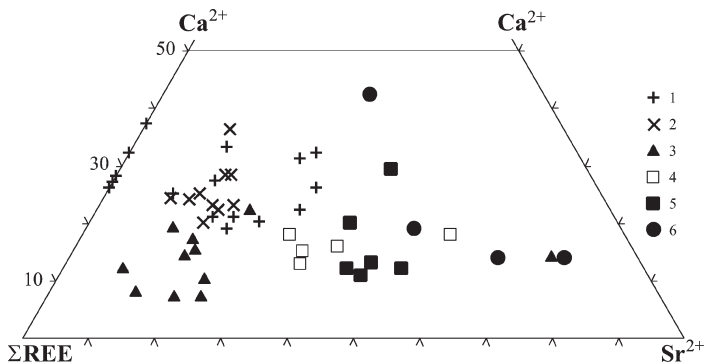


Рис. 11. Соотношение $\Sigma\text{REE}-\text{Ca}^{2+}-\text{Sr}^{2+}$ в алюмофосфатах Пижемской депрессии: 1 — пленки на алмазах южного участка месторождения Ичетью; 2 — пленки флоренсита на алмазах Золотокаменного и Сидоровского участков месторождения Ичетью; 3 — флоренсит «красноцветной» титаносной толщи Пижемского месторождения; 4–5 — флоренсит месторождения Ичетью 4 — ядерная часть, 5 — поверхность; 6 — современный аллювий Вольско-Вымской гряды, р. Умба

Моноцит и развивающийся по нему флоренсит хорошо растворяются в воде. На этом основана гидрогеохимическая методика поиска коренных и россыпных проявлений алмаза (Макеев А., Брянчанинова, 2006). Вблизи алмазопоявлений на расстоянии 0.5–1.0 км от них наблюдаются контрастные редкоземельные и Al-Fe-Mn водные аномалии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Кристаллы **алмаза** месторождения Ичетью демонстрируют все признаки (изотопный состав углерода, парагенетические включения и др.) своего происхождения из мантийных эклогитов и местных тиманских коренных источников. Большая часть алмазов (кривогранные, ювелирного качества) не имеют признаков дальнего переноса, а общность химического состава золото-палладиевых металлических пленок на гранях алмаза (из месторождения Ичетью Вольско-Вымской гряды и современного аллювия р. Косью — Четласский Камень) свидетельствуют о возможно едином типе коренного источника (эклогиты) и транспортера из мантии — глубинных вулканических пород лампрофиров.

2. Результаты расчета **кноррингита** и других экзотических миалов, зависят от последовательности их расчета. Предложена новая номенклатура гранатов, основанная на формульных коэффициентах. Для визуального отображения состава гранатов предлагается использовать два вида диаграмм двух и трех валентных катионов.

3. Впервые установлено, что **колумбит** месторождения Ичетью представлен почти полным Fe-Mn изоморфным рядом от колумбита ($\text{Fe}_{0.96}, \text{Mn}_{0.04}$) Nb_2O_6 до манганоколумбита ($\text{Mn}_{0.81}, \text{Fe}_{0.19}$) Nb_2O_6 . Типоморфной особенностью колумбита является наличие в объеме и на поверхности кристаллов обильных включений ильменорутила.

4. В конглобрекциях месторождения Ичетью **колумбит** и **ильменорутил** накапливаются совместно с постоянным соотношением ~ 1:3. В зернах ильменорутила в качестве включений встречен колумбит, а в колумбитах ильменорутил. Из вышесказанного можно сделать вывод, что ильменорутил и колумбит являются акцес-

сорными минералами одной и той же породы и имеют единый коренной источник близкий к Октябрьскому и Бобровскому REE-Nb-проявлениям.

5. В лейкоксенизированном **ильмените** обоих рудных объектов присутствует постоянная изоморфная примесь MnO от 0.21 до 2.17 % (в месторождении Ичетью), что обеспечивает изоморфную примесь пирофанитового минала $MnTiO_3$ от 0.44 до 4.62 %; и (в Пижемском месторождении) от 2.10 до 5.11 %, с примесью пирофанитового минала от 4.47 до 10.88 %. Следует отметить высокое содержание Al_2O_3 от 0 до 0.90 % и V_2O_5 от 0.19 до 1.09 % в составе измененных зерен ильменита. Все перечисленные признаки позволяют сделать вывод о полной аналогии состава и свойств ильменита месторождения Ичетью и Пижемского месторождения. Подобный марганцовистый ильменит типоморфный акцессорный минерал четласских лампрофиров.

6. По химическому составу, минеральным включениям (каолинит, мусковит, флоренсит, ильменорутил, кварц) и всем другим признакам **лейкоксен** из конглобрекций Ичетью ничем не отличается от лейкоксена нижележащего Пижемского титанового месторождения. В связи с этим можно предположить, что источником этого рудного компонента являются именно малоручейские титаноносные песчаники.

7. Флоренсит и другие редкоземельные алюмофосфаты являются вторичными минералами-индикаторами алмаза, присутствующие вместе с ним во многих коренных и промежуточных коллекторах.

8. Установлен коренной источник среднетиманских **цинкистых хромшпинелидов** — это лампрофировые дайки Четласского Камня, а сам цинкистый хромшпинелид предложено использовать как минерал индикатор при поисках алмазов на подобие знаменитой «пироповой дорожки». Можно предположить, что и на Вольско-Вымской гряде будут найдены лампрофиры подобные четласским с акцессорными цинкистыми хромшпинелидами. Недавно Криулиной Г. Ю. (2010) цинкистый хромит с 5.84 % ZnO впервые найден в качестве включения в алмазе Архангельской кимберлитовой трубки.

Список основных публикаций по теме диссертации

1. Макеев, А. Б. Цинковые хромшпинелиды Среднего Тимана и Приполярного Урала / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев // Докл. РАН, 2005. Т. 404. № 2. С. 235—240.
2. Makeev, A. B. Zn-Chromspinel of Middle Timan and the Near-Polar Urals / A. B. Makeev, B. A. Makeev // Doklady Earth sciences, 2005. Vol. 404. No 7. pp. 1078—1083.
3. Макеев, Б. А. Редкоземельные и стронциевые алюмофосфаты Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман) / Б. А. Макеев, А. Б. Макеев // ЗРМО, 2010. Ч. 139. № 3. С. 95—102.
4. Makeev, B. A. Rare-earths and strontium aluminophosphates of the Vol-Vym ridge of the Middle Timan / B. A. Makeev, A. B. Makeev // Geology of Ore Deposits, 2011. V. 53. No 7. pp. 657—662.
5. Макеев, Б. А. Классификация пиропов алмазной ассоциации / Б. А. Макеев // Вестник Института геологии КНЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2001. № 11. С. 9—10.
6. Макеев, Б. А. Закономерности накопления минералов тяжелой фракции в алмазонасном горизонте месторождения Ичетью / Б. А. Макеев // Вестник Института геологии КНЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2002. № 1. С. 7—8.
7. Макеев, Б. А. Сортированность минералов тяжелой фракции, как показатель гидродинамических процессов на примере современного аллювия Четласского Камня и алмазонасного проявления Ичетью / Б. А. Макеев // Вестник Института геологии КНЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2007. № 8. С. 23—24.
8. Макеев, А. Б. Новые данные об алмазах и минералах-спутниках Тимана / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев // (Научные доклады / Коми НЦ УрО РАН. Вып. 424). Сыктывкар, 2000. 32 с.

9. Макеев, Б. А. Исследование состава хромшпинелидов из аллювиальных отложений и кимберлитовых трубок среднего Тимана с целью определения их генетической принадлежности / Б. А. Макеев // Тезисы XIII Коми республиканской молодежной научной конференции. Сыктывкар, 1997. С. 69—70.

10. Макеев, Б. А. Минералы-спутники алмазов из трех новых туффзитовых диатрем Южного и Среднего Тимана / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 7-й научной конференции. Сыктывкар, 1998. С. 109—111.

11. Макеев, Б. А. Проблемы пересчета составов гранатов на миналы и способы их решения / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Материалы 8-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 1999. С. 111—113.

12. Макеев, Б. А. Пакет компьютерных программ для пересчетов минералов на кристаллохимические коэффициенты и миналы / Б. А. Макеев // Материалы XIII Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, 1999. С. 70—73.

13. Макеев, Б. А. Особенности распределения минералов тяжелой фракции продуктивного пласта месторождения Ичетью / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 10-й научной конференции. Сыктывкар, 2001. С. 129—131.

14. Макеев, Б. А. К проблеме о последовательности пересчета химического состава на миналы на примере хромшпинелидов / Б. А. Макеев // Севергеоэкотех-2001. Ухта, 2001. С. 5—7.

15. Макеев, Б. А. Новая номенклатура гранатов / Б. А. Макеев // Новые идеи и концепции в минералогии: Материалы III Международного минералогического семинара. Сыктывкар, 2002. С. 101—102.

16. Макеев, Б. А. Гидродинамические спутники алмаза россыпи Ичетью, средний Тиман / Б. А. Макеев // Минералогические музеи. Материалы IV Международного симпозиума. СПб., 2002. С. 190—191.

17. Макеев, Б. А. Состав тяжелой фракции шлиха современных аллювиальных отложений Четласского камня и межгрядовой долины / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 15-й научной конференции. Сыктывкар, 2006. С. 98—102.

18. Макеев, Б. А. Уменьшение плотности минералов с увеличением размера зерен как результат гидродинамической сортированности на примере современного аллювия Четласского камня и проявления Ичетью / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 16-й научной конференции. Сыктывкар, 2007. С. 120—122.

19. Макеев, Б. А. Минеральный состав шлихов современного аллювия Вольско-Вымской гряды и Четласского камня (Средний Тиман) / Б. А. Макеев // Молодежь и наука на севере: Материалы I Всероссийской молодежной научной конференции Т. I. Сыктывкар, 2008. С. 147—148.

20. Макеев, Б. А. Сравнительный минералогический анализ тяжелой фракции современных отложений Четласского камня и алмазоносного проявления Ичетью / Б. А. Макеев // Структура и разнообразие минерального мира: Материалы V Международного минералогического семинара. Сыктывкар, 2008. С. 168—170.

21. Макеев, Б. А. Минеральный состав шлихов современного аллювия рек Средняя и Умба (Средний Тиман) / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 17-й научной конференции. Сыктывкар, 2008. С. 164—167.

22. Макеев, Б. А. Алюмофосфаты Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман) / Б. А. Макеев // Минералы: строение, свойства, свойства, методы исследования. Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. Миасс: УрО РАН, 2009. С. 216—218.

23. Макеев, Б. А. Минералы тяжелой фракции малоручейской титаноносной толщи D_2m_1 (Средний Тиман) / Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 18-й научной конференции. Сыктывкар, 2009. С. 99—102.

24. Макеев, Б. А. Флоренситы Среднего Тимана / Б. А. Макеев, А. Б. Макеев // Структура и разнообразие минерального мира. Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар, 2008. С. 249—252.

25. Макеев, Б. А. Происхождение Н4-дефектов на алмазах россыпи Ичетью / Б. А. Макеев, С. И. Исаенко // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 11-й научной конференции Института геологии КНЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2002. С. 112—114.

26. Макеев, А. Б. Возможные источники полезных компонентов месторождения Ичетью / А. Б. Макеев, В. А. Дудар, Б. А. Макеев // Геология девонской системы: Материалы Международного симпозиума. Сыктывкар, 2002. С. 287—289.

27. Макеев, А. Б. Проверка гипотезы о возможных источниках полезных компонентов месторождения Ичетью / А. Б. Макеев, В. А. Дудар, Б. А. Макеев // Сыктывкарский минералогический сборник. Сыктывкар, 2002. № 31. С. 117—123. (Труды Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Вып. 110).

28. Макеев, А. Б. Программа пересчетов анализов хромшпинелидов на минеральный и формульный составы / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев // Сыктывкарский минералогический сборник. Сыктывкар, 1996. № 25. С. 109—113. (Труды Института геологии КНЦ УрО РАН. Вып. 90).

29. Макеев, А. Б. Природа россыпных и коренных алмазопоявлений Республики Коми / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев // Алмазы и алмазность Тимано-Уральского региона: Материалы Всероссийского совещания. Сыктывкар, 2001. С. 32—35.

30. Котова, Е. Н. Структурные дефекты в кварце россыпи Ичетью / Е. Н. Котова, Б. А. Макеев // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Материалы 10-й научной конференции. Сыктывкар, 2001. С. 110—112.

31. Макеев, А. Б. Алмазы проявления Ичетью (Средний Тиман) — производные эклогитовой мантии / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев // Углерод: Минералогия, геохимия и космохимия: Материалы Международной конференции. Сыктывкар, 2003. С. 37—39.

32. Макеев, А. Б. Химический и минеральный состав глинистых пород Пижемского месторождения (Средний Тиман) / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. С. 398—400.

33. Макеев, А. Б. Золото проявления Ичетью / А. Б. Макеев, В. А. Дудар, Н. И. Брянчанинова, Б. А. Макеев // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Материалы Всероссийской конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2010. Т. II. С. 12—14.

34. Макеев, А. Б. Пижемское титановое месторождение: проблемы генезиса / А. Б. Макеев, В. Т. Дубинчук, Л. З. Быховский, А. В. Лаломов, Б. А. Макеев // Материалы XIV Международного совещания по Геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ—2010). Новосибирск, 2010. С. 417—422.

35. Макеев, А. Б. Ниобиевые и титановые минералы проявления Ичетью (Средний Тиман) / А. Б. Макеев, Б. А. Макеев, В. Н. Филиппов // Новые горизонты в изучении процессов магма- и рудообразования: Материалы совещания. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 273—274

36. Макеев, Б. А. Колумбит проявления Ичетью и Ново-Бобровского месторождения (Средний Тиман) / Б. А. Макеев, А. Б. Макеев // Минералы, строение, свойства, методы исследования: Материалы III Всероссийской молодежной научной конференции. Екатеринбург-Миасс: УрО РАН, 2011. С. 216—217.