

ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ МИНЕРАЛОВ В ОСАДОЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ФОРМИРОВАНИЯ СКЛАДЧАТОСТИ

А. М. Хмельков

АК «АЛРОСА», Амакинская геологоразведочная экспедиция

Поступила в редакцию 6 октября 2014 г.

Аннотация: *приведены новые сведения по морфологии и морфогенезу кимберлитовых минералов из осадочных коллекторов поздне триасового возраста, подвергнутых эпигенетическим изменениям в процессе формирования складчатости. С помощью современной аппаратуры детально изучены характер изменений минералов, топография их поверхностей, строение и фазовый состав полиминеральных кайм. Сформулированы рекомендации по диагностике поверхностей и определению их генезиса на минералах из отложений, подвергнутых складчатости.*

Ключевые слова: *минералы-индикаторы кимберлита, пирамидально-черепачатый тип растворения, метагенез, эпигенетические изменения.*

EPIGENE CHANGES OF KIMBERLITE MINERALS IN A SEDIMENTATION RESERVOIR AS A RESULT OF FOLDING

Abstract: *the new data are given in the domain of morphology and morphogenesis of kimberlite minerals from the Late Triassic sedimentation reservoirs subjected to epigene changes in the process of folding. We thoroughly studied the character of mineral changes, their surface topography, structure and phase composition of polymineral rims by means of up-to-date equipment. Defined are the guidelines on surface diagnosing and identifying their genesis in minerals from folding subjected sediments.*

Key words: *kimberlite tracer mineral, pyramidal-tiled type of resorption, metagenesis, epigene changes.*

Введение

Поведение кимберлитовых минералов в осадочном коллекторе при формировании складчатости на сегодня еще недостаточно исследовано, и существует много неопределенностей в диагностике поверхностей и определении конкретных механизмов (физико-химических параметров) образования различного типа микрорельефа на минералах в данных обстановках. В настоящей работе приведены данные по конкретным районам окраинных частей Сибирской платформы, касающиеся экзогенных изменений кимберлитовых минералов (граната, пикроильменита и хромшпинелида), которые получены в процессе проведения прогнозно-минерагенических исследований АК «АЛРОСА».

На Лено-Оленекском междуречье, начиная от устьевой части р. Оленек и далее на восток вдоль побережья моря Лаптевых и Оленекской протоки р. Лены, широко распространены отложения T_{1-3} , интенсивно смятые в складки в связи с развитием Оленекской ветви Верхоянской складчато-надвиговой области. Отложения карнийского яруса T_3 (осипайская свита) в данном районе являются промежуточным кол-

лектором минералов-индикаторов кимберлитов (МИК). Их коллекторские свойства и алмазоносность установлены в конце 70-х – начале 80-х гг. [1, 2].

Сотрудниками АК «АЛРОСА» данные отложения были опробованы на участках Устьевого, Побережного, Станых-Хочо и Протока (рис. 1). Все они характеризуются схожим геологическим строением, типом поисковых обстановок, литодинамическими условиями осадконакопления и характером последующих преобразований осадков. В пределах каждого участка были наработаны и подвергнуты комплексному изучению представительные партии МИК, как непосредственно из верхнетриасового коллектора, так и из современного аллювия водотоков, дренирующих данные отложения. Наиболее продуктивный коллектор в отношении МИК установлен в пределах участка Протока, откуда наработано и изучено наибольшее количество минералов. В пределах других участков кимберлитовые минералы, независимо от их количества, обладают аналогичными морфологическими особенностями, что свидетельствует об их эволюции в схожих экзогенных условиях.

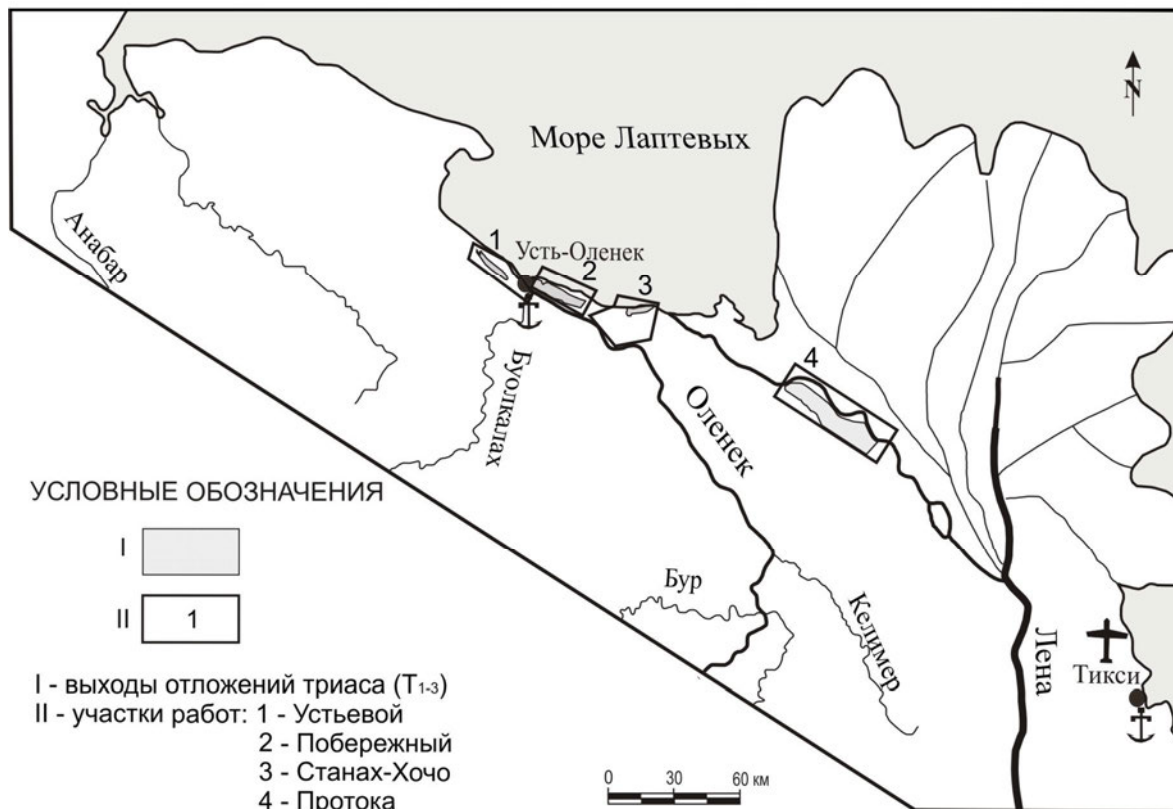


Рис. 1. Схема расположения участков опробования верхнетриасовых коллекторов

Методика исследований

Внешняя морфология зёрен МИК и топография их поверхностей были подвергнуты специализированным минералогическим исследованиям с применением традиционной оптической микроскопии. Изучение проводилось с использованием компьютерной системы для визуализации и качественной обработки изображений макро- и микроморфологии минералов на базе бинокля «Leica» (Германия). Данная система включает бинокляр MZ16A, видеокамеру Leica DFC-490 (8 Мгп) и рабочую станцию с программным комплексом («ImageScope M», «ImageScope Archive», «Leica Application Suite»), обеспечивающим компьютерный интерфейс. Оптическое оборудование позволяет проводить увеличение объектов до 920 крат с выводом цветного изображения на монитор и цифровой записью получаемого изображения. Имеющееся программное обеспечение («Leica Application Suite») предоставляет возможность делать уникальные снимки с высочайшей глубиной резкости, что достигается серией снимков через заданный шаг (в микронах) и последующей автоматической «сшивкой» получаемых изображений.

Особенности состава примазок и кайм на минералах были изучены в Центральной аналитической лаборатории Ботубинской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» на современной электронно-зондовой системе «Superprobe-8800R» фирмы «Джеол» (Япония), объединяющей возможности растрового электронного микроскопа высокого разрешения, анализатора изображений и высокочувствительного

микроанализатора. Непосредственно определения химического состава выполнено на электронном микроанализаторе JXA-8800R фирмы «Джеол» с пятью волновыми спектрометрами и энергетическим параллельным спектрометром-приставкой OXFORD-LINK-300 фирмы «Линк» (Англия) с энергетическим разрешением 133 Эв (аналитик А. С. Иванов). Концентрации элементов определены с относительной ошибкой менее 5 % и чувствительностью, при увеличении времени накопления импульсов, до 10хп ррм и менее. Полный количественный анализ выполнен при ускоряющем напряжении 20 кВт и токе пучка 10 нА. Для внутреннего контроля при изучении составов минералов применялись минеральные стандарты, изготовленные и аттестованные в ИГГиМ СО РАН г. Новосибирска.

Приведенный комплекс исследований МИК позволяет обосновать выводы в отношении генезиса поверхностей и минеральных кайм, интерпретировать их морфологические особенности, расшифровать условия морфогенеза.

Результаты исследований и их обсуждение

Для гранатов из отложений Т₃ наиболее характерен пирамидально-черепитчатый тип растворения (рис. 2), образование которого в пределах Верхоянской складчатой области связывается с условиями метагенеза в процессе формирования складчатости [3]. Агентами растворения в данных условиях являются минерализованные (термальные) растворы при повышенном давлении [4]. Под их воздействием на

гранатах развиваются своеобразные микроформы рельефа, среди которых наиболее часто встречаются такие поверхности как черепитчатая, ступенчатая, тетрагональных пирамид [5] и их комбинации (рис. 2). Различия в элементах микро рельефа обусловлены преимущественно кристаллографической ориентировкой растворяемого участка, однако в значительной степени зависят от химического состава среды растворения (ее агрессивности), температуры, давления и продолжительности воздействия. Зачастую на одном зерне можно встретить комбинацию сразу нескольких поверхностей. Данные поверхности, как правило, хорошо выражены и благодаря своим характерным микроформам и рельефности легко диагностируются.

Изучение МИК из карнийского коллектора показало, что не менее часто, чем типичные пирамидально-черепитчатые поверхности, на гранатах встречается своеобразная «сахаровидная» поверхность, очень схожая с первичной эндогенной матировкой (рис. 3). Данная поверхность имеет широкое распространение и на гранатах из современных аллювиальных отложений. Наиболее характерна подобная «сахаровидная» матировка для гранатов участка Протока, хотя встречается спорадически в пределах всех исследованных участков. При детальном исследовании минеральных ассоциаций изученных участков (рис. 1) обращало на себя внимание то, что «матировка» в большинстве случаев распространена по всей площади гранатов, включая противоположные стороны зерен, разделенных резкими перегибами (рис. 3, а). Как правило, первичные поверхности на первичном сколе характеризуются иным типом микро рельефа по отношению к более «грубой» магматогенной поверхности основного зерна. К примеру, крутые перегибы на гранатах при эндогенных сколах характеризуются обычно комбинацией матированной поверхности с шероховатой или шероховатой с бугорчатой поверхностью [5]. Вероятность того, что абсолютно все угловатые гранаты с данной псевдоматированной поверхностью являются выколками из первично трещиноватых зерен, поверхность которых ограничена исключительно первичными сколами, представляется едва ли возможной. В процессе дальнейших исследований в пределах участка Протока в отложениях карнийского яруса удалось обнаружить существенно изношенные трещиноватые зерна гранатов с наложенной псевдоматированной поверхностью (рис. 3, б), которые однозначно свидетельствовали о вторичном генезисе подобных поверхностей в данном конкретном случае. Наличие псевдоматировки, абсолютно одинаковой как на свежих сколах данного зерна, так и на окатанной поверхности, не позволяет относить видимую на рисунке трещиноватость к первичной, сохранившуюся в результате износа минерала в «мягкой среде» с тонкими частицами. К тому же против таких шадящих условий в карнийское время свидетельствует грубообломочный материал вмещающих отложений (гравелиты, конгломераты) и полное отсутствие гранатов с признаками полировки, по крайней мере, в пределах участка Протока.



Рис. 2. Внешний вид гранатов с пирамидально-черепитчатым типом растворения: участок Протока, проба 1003

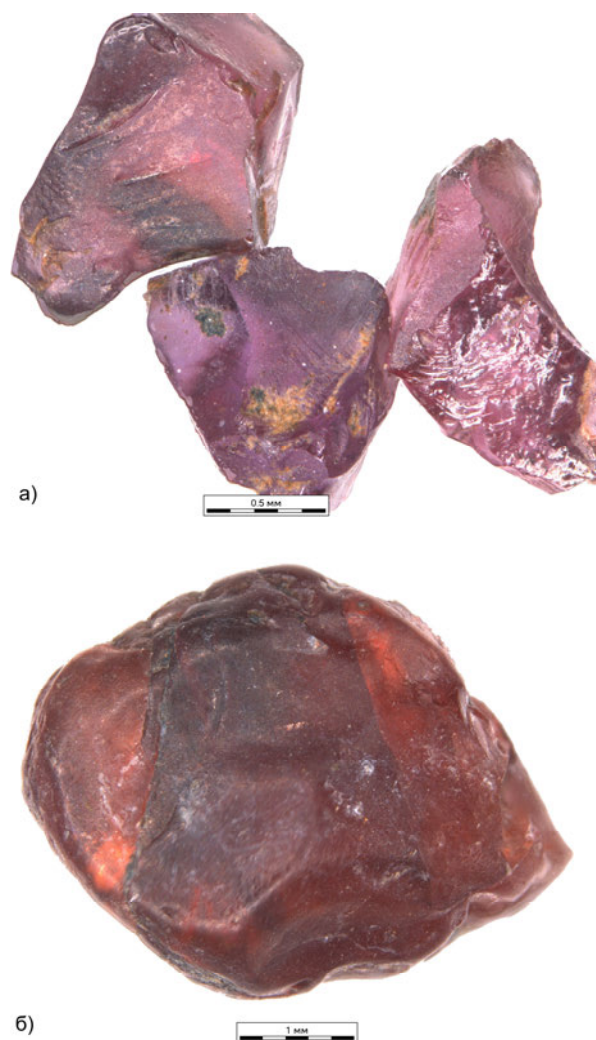


Рис. 3. Внешний вид гранатов с «сахаровидной» псевдоматированной поверхностью из отложений карнийского яруса (участок Протока, проба 4191): а) неизношенные осколки; б) изношенное зерно с наложенной псевдоматированной поверхностью

Для гранатов из верхнетриасового коллектора в пределах большинства исследованных участков были характерны такие типоморфные особенности как однотипная цветовая гамма, минимальное содержание или полное отсутствие неустойчивых оранжевых разностей и зерен с включениями, отсутствие зерен с первичной морфологией, однотипность поверхностей. Обычно даже в отдельно взятом кимберлитовом теле, при преобладании какой-либо одной или двух поверхностей на минералах, присутствуют и другие типы первичного микрорельефа. Тем более в россыпях должно присутствовать более широкое разнообразие поверхностей, так как в этом случае происходит смешивание минералов из различных источников. Кроме этого нельзя было не заметить, что наличие такой псевдоматированной поверхности в пределах изученных участков характерно почти исключительно для остроугольных и угловатых осколков (рис. 3, а), развитие которой отмечалось, в том числе, по вторичным сколам. В пользу вторичности данных сколов свидетельствовала частичная матировка сколотой поверхности.

Детальные исследования гранатов показали, что в отдельных случаях развитие псевдоматировки происходит уже по хорошо сформированным пирамидально-черепитчатым поверхностям. В результате наложения псевдоматированной поверхности на пирамидально-черепитчатый тип растворения, последний, по причине отсутствия специфического блеска, так характерного для процессов химического растворения, можно легко спутать с первичными магматогенными поверхностями. При отсутствии суммарного отблеска от поверхности растворения даже более «грубый» вторичный рельеф можно принять за эндогенные поверхности, такие как шероховатая или бугорчатая.

При каких конкретных физико-химических параметрах происходит образование данной специфической псевдоматированной поверхности (рис. 3) на гранатах не до конца ясно. Однако развитие ее на отдельных зернах по пирамидально-черепитчатому типу коррозии в данных случаях свидетельствует о ее более позднем формировании. Учитывая то, что пирамидально-черепитчатый рельеф растворения на гранатах изученных участков сформировался в процессе складчатости, образование псевдоматированной поверхности также происходило непосредственно в осадочном коллекторе. В то же время в карнийских отложениях встречались зерна граната с развитой на них псевдоматированной поверхностью, которые были расколоты и на свежих сколах наблюдался пирамидально-черепитчатый тип растворения, но уже с характерным блеском. Данное обстоятельство свидетельствует об образовании псевдоматировки в этом конкретном случае до формирования пирамидально-черепитчатого типа растворения. Одновременно на некоторых гранатах из верхнетриасового коллектора наблюдался очень тонкий пирамидально-черепитчатый рельеф растворения, приближающийся по размерности микроформ к псевдоматировке, а на отдельных зернах – псевдоматированная поверхность,

постепенно переходящая в черепитчатую поверхность в результате увеличения размера микроформ.

Все вышеизложенное позволяет предполагать о взаимосвязи псевдоматированной поверхности и пирамидально-черепитчатого типа растворения и образования их в схожих условиях. Вполне вероятно, что как псевдоматированная поверхность, так и пирамидально-черепитчатый тип растворения могут формироваться еще при диагенезе осадков. О возможности образования пирамидально-черепитчатого рельефа в этих условиях отмечалось ранее и другими исследователями [6,7]. При этом корродированные поверхности, образованные в условиях диагенеза, будут выражены слабее и выглядеть менее рельефно в отличие от рельефа растворения, сформированного в более поздний этап, собственно стадии метагенеза. Опыт работ показывает, что гранаты с «сахаровидной» псевдоматировкой, как и типичный пирамидально-черепитчатый тип растворения, имеют более широкое распространение и встречаются за пределами складчатости, хотя и не в таком массовом количестве. В частности гранаты с подобными поверхностями отмечаются по периферии Виллюйской синеклизы и Приверхожанского прогиба, в том числе в поле развития юрских отложений, где отсутствуют известные коренные источники. Однако зачастую псевдоматированная поверхность, к сожалению, ошибочно принимается за эндогенную матировку.

Образование псевдоматированной поверхности может происходить также в начальный этап метагенеза (катагенеза [8], или эпигенеза [9,10]), в условиях незначительной агрессивности среды и малого давления. При более длительном воздействии агентов растворения или в более «агрессивной» остановке, в процессе интенсивного формирования складчатости (собственно метагенеза), будут образовываться более выраженные рельефные поверхности, относимые к пирамидально-черепитчатому типу. В то же время, наблюдаемое развитие псевдоматированной поверхности по уже сформированным пирамидально-черепитчатым поверхностям, свидетельствует о возможности образования псевдоматировки также и на заключительном этапе складчатости, в условиях спада давления и понижения температуры. Таким образом, образование псевдоматированной поверхности непосредственно в осадочном коллекторе может происходить в достаточно широком диапазоне обстановок – как в стадию диагенеза, так и в условиях метагенеза, в частности в начальную и/или заключительную стадии складчатости.

Получается, что и диагенетические, и последующие метагенетические преобразования минералов в осадочном коллекторе в процессе формирования складчатости взаимосвязаны и проявляются в совокупности. Разделить их достаточно сложно. Именно поэтому на гранатах из отложений T_3 зачастую на одном и том же минерале можно встретить комбинацию пирамидально-черепитчатых и псевдоматированной поверхностей. Как правило, более распространен собственно черепитчатый рельеф с наложенной вторич-

ной псевдоматировкой. Реже встречается псевдоматированная поверхность с развитием на отдельных участках пирамидально-черепитчатых форм растворения, которые узнаются по отдельным слабо выраженным треугольным формам черепиц. В последнем случае более позднее по сравнению с псевдоматировкой растворение, приводящее к образованию пирамидально-черепитчатого микрорельефа, уничтожает специфичную матовость, придавая при этом поверхности растворения характерный блеск. Повторим, что данная комбинация поверхностей встречается достаточно редко. Практически всегда при более качественной оптической микроскопии и внимательном просмотре гранатов из триасового коллектора, подвергнутого складчатости, на зернах можно обнаружить участки с пирамидально-черепитчатыми поверхностями. Даже на зернах с преобладанием псевдоматированной поверхности можно найти отдельные характерные пирамидально-черепитчатые формы, и это должно являться надежным критерием отличия вторичных поверхностей от первичных. Напомним, что к первичным относятся поверхности, образованные непосредственно в кимберлитовых телах, включая как магматический, так и постмагматический (гидротермальный) этап их становления. К вторичным поверхностям относятся все поверхности, приобретенные МИК вне кимберлитовых тел [8]. Как правило, характерный пирамидально-черепитчатый рельеф растворения на гранатах лучше узнается по сколам или в местах резких перегибов, так как поверхности свежих сколов и их ребра легче поддаются растворению. Чаще это собственно черепитчатый рельеф, иногда ступенчатая или занозистая поверхности, в зависимости от ориентировки растворяемого участка.

Таким образом, появление на гранатах так называемой псевдоматированной поверхности в пределах исследованных участков, очень напоминающей первичную матировку (рис. 3), связано с изменением минерала непосредственно в осадочном коллекторе. В отличие от эндогенной матированной поверхности, вторичная псевдоматировка имеет сахаровидный облик, иногда с суммарным отблеском, придающим поверхности шелковистый вид. Однако связывать формирование псевдоматированной поверхности, как и пирамидально-черепитчатого типа растворения, исключительно только с условиями метазенеза в процессе складчатости не совсем правильно. Учитывая то, что до сих пор при характеристике стадий литогенеза у исследователей нет единства в применяемой терминологии, для характеристики описанных трансформаций кимберлитовых минералов в осадочном коллекторе более подходит определение «эпигенетические изменения» в широком понимании этого термина. В свое время понятие «эпигенез» было рекомендовано не употреблять для обозначения конкретной стадии литогенеза [11] и данный термин уже давно используется в геологии для обозначения вообще всех вторичных процессов.

Помимо описанных выше поверхностей растворения, на отдельных гранатах из карнийского коллекто-

ра встречаются сплошные, иногда достаточно мощные каймы из ярко зеленого минерала (рис. 4, а).

Данные каймы были изучены с помощью современной микронзондовой аппаратуры, в результате чего было установлено, что в их составе присутствует хлорит, а также глинистоподобное вещество с повышенной концентрацией глинозема, калия и низким содержанием железа (рис. 4, б; таблица). По составу данное

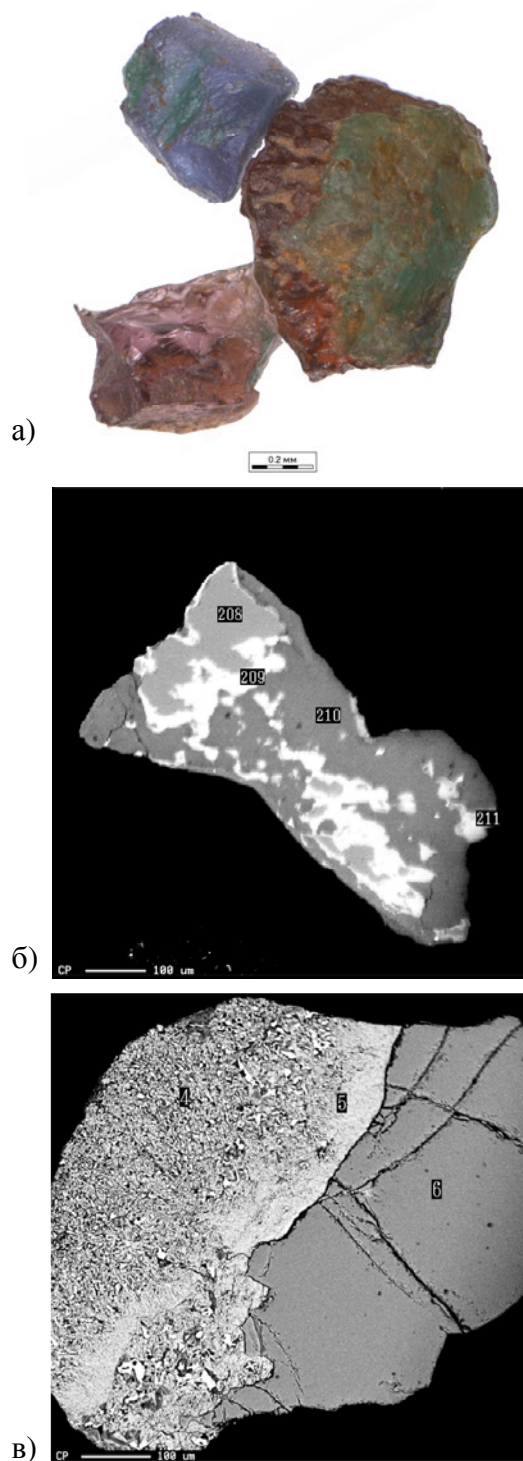


Рис. 4. Гранаты с участка Протока, подвергнутые хлоритизации: а) проба 6494, общий вид зерен; б) проба 6494, зерно граната в режиме фазового контраста; в) проба 4159 (номера точек совпадают с номерами анализов в таблице)

Таблица

Результаты макроэlementовых исследований МИК из верхнетриасового коллектора, подвергнутого складчатости

Привязка	Номер и место анализа	Минерал	SiO ₂	CaO	Cr ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O/NiO*	TiO ₂	Na ₂ O	MnO	Сумма
гранат													
участок Протока, проба 6494 (рис. 4, б)	208 (центр)	пироп	42,23	4,39	2,58	21,54	7,66	19,72	0,04	0,76	0,13	0,29	99,33
	209 (кайма)	хлорит	24,47	0,14	2,51	4,29	33,16	21,78	0,03	0,00	0,10	0,20	86,67
	210 (кайма)	иплит?	46,26	0,04	3,18	0,26	1,00	32,03	9,67	0,00	0,33	0,00	92,77
участок Протока, проба 4159 (рис. 4, в)	211 (кайма)	хлорит	24,47	0,26	2,18	4,70	32,94	22,89	0,06	0,08	0,00	0,13	87,73
	4 (кайма)	хлорит	27,86	0,38	6,62	6,45	23,79	22,00	0,03	0,05	0,13	0,10	87,40
	5 (кайма)	хлорит	21,15	0,38	13,18	7,66	23,48	24,41	0,03	0,05	0,04	0,23	90,60
	6 (центр)	пироп	40,75	6,02	10,50	19,56	7,19	15,52	0,00	0,16	0,04	0,41	100,15
хромшпатель													
участок Протока, проба 6494	1-е зерно (кайма)	лейкоксен	8,58	0,31	0,04	0,27	2,82	6,61	0,57	73,29	0,16	0,06	92,72
	2-е зерно (кайма)	лейкоксен	2,95	0,47	0,00	0,01	1,37	3,52	0,21	83,66	0,21	0,06	92,46
участок Устьевой, проба 9641 (рис. 9, а, б)	лейкоксеноподобное вещество		14,39	0,10	0,08	2,28	19,74	12,16	0,45	42,18	0,11	0,13	91,61
	216 (центр)	пикроильменит	8,91	0,09	0,06	1,25	14,77	7,64	0,04	57,98	0,01	0,08	90,82
	217 (кайма)	пикроильменит	0,02	0,02	0,37	7,61	42,75	0,35	0,00	47,77	0,00	0,25	99,16
	288 (центр)	анагаз	0,16	0,02	0,70	0,03	0,93	0,13	0,00	96,98	0,00	0,00	98,94
	289 (кайма)	пикроильменит	0,01	0,02	1,06	10,08	36,57	0,22	0,07	51,47	0,01	0,32	99,83
участок Побережный, проба 5305/2, IV класс сохранности (рис. 9, а, 10, а)	290 (кайма)	анагаз	0,19	0,02	0,23	0,00	0,35	0,11	0,00	97,82	0,02	0,01	98,76
	294 (центр)	анагаз	0,06	0,01	2,68	0,01	0,11	0,03	0,01	95,73	0,00	0,01	98,65
	295 (кайма)	пикроильменит	0,02	0,00	0,88	6,76	44,59	0,25	0,02	47,18	0,10	0,27	100,06
сохранности (рис. 10, б)		анагаз	0,17	0,04	0,81	0,14	2,23	0,76	0,00	91,61	0,06	0,02	95,82

Примечание: * K₂O – для араната и хромилитиленита, NiO – для титроильменита

вещество близко к иллиту (?), образование которого связывается, в том числе, с диагенезом осадков [4, 11]. Хлоритизация гранатов происходит в результате их инконгруэнтного растворения в условиях метагенеза и свойственна для отложений, подвергнутых складчатости [12]. Примечательно то, что хлоритизация происходит, в том числе, по изношенным зернам (рис. 4, а). Причем при существенном растворении и хлоритизации происходит их интенсивное растрескивание (рис. 4, в). Из рис. 4, в хорошо видно, что трещиноватость никак не прослеживается по кайме, из чего следует, что растворение и замещение осуществлялось не по первично трещиноватому зерну, а растрескивание произошло в результате изменения граната непосредственно в осадке. При этом, минерализованные растворы проникали по трещинам, частично изменяя и растворяя поверхность сколов. Не трудно предположить, что в результате распада такого трещиноватого зерна на отдельные блоки, угловатые осколки с псевдоматированной поверхностью растворения будут выглядеть практически неизношенными. Таким образом, повышенное содержание неокатанных угловатых зерен и остроугольных осколков в пределах исследованных участков обусловлено их изменением непосредственно в промежуточном коллекторе в результате диагенеза и последующего метагенеза (катагенеза) осадков в процессе складчатости. В пользу данного вывода также свидетельствует несоответствие угловатых и остроугольных форм гранатов с существенно окатанным в прибрежно-морских условиях грубообломочным материалом вмещающих осадков карнийского коллектора.

Для хромшпинелидов из верхнетриасовых отложений, подвергнутых складчатости, также присущи каймы. Цвет их светло-серый и коричневатый. Часто они в виде сплошных эмалевидных корочек покрывают всю поверхность зерен данного минерала, что особенно характерно для участков Протока и Станак-Хочо. Изучение состава данных кайм с помощью электронно-зондовой аппаратуры, результаты которого по двум зернам приведены в таблице, показало, что выполнены они лейкоксеном, а также лейкоксеноподобным веществом с повышенным содержанием глинозема и железа и несколько пониженной концентрацией титана по сравнению с типичным лейкоксеном. Образование лейкоксена по хромшпинелидам не вполне характерно, однако здесь следует учитывать то обстоятельство, что шпинелиды с изученных участков в большинстве своем представлены ферришпинелями «серкинского» типа с повышенным содержанием магнетитовой и ульвошпинелевой компонент [5]. Иногда на шпинелидах с изученных участков отмечалась «сахаровидная» псевдоматировка, включая и существенно изношенные зерна, которая по внешнему виду аналогична таковой на гранатах. Кроме этого для шпинелидов из верхнетриасового коллектора также свойственна повышенная дефектность и колотость зерен.

Пикроильменит из отложений T_3 значительно менее подвержен экзогенным изменениям по сравнению

с гранатом. В то же время довольно часто на зернах пикроильменита из карнийских отложений, подвергнутых складчатости, наблюдались тонкие каймы коричневого и бурого цвета, иногда в виде пленок покрывающих все зерно сплошным слоем (рис. 5, а). На отдельных зернах пикроильменита из данного коллектора наблюдался типичный коррозионный рельеф вторичного происхождения без видимого присутствия вторичных продуктов замещения, но проявлен он слабо и поэтому выглядит менее рельефно по сравнению с первичными реакционно-коррозионными поверхностями [5]. Нередко встречались зерна, краевые части которых довольно интенсивно замещены вторичными продуктами коричневатого, желтого и золотистого цвета (рис. 5, а; б), заполняющие отрицательные микроформы рельефа. Замещение краевых частей пикроильменита вторичными минералами наблюдалось как на существенно изношенных зернах (рис. 5, а; б), так и на зернах пикроильменита без видимых следов износа. При том, что изношенные зерна зачастую изменены интенсивнее, составы кайм и на первых, и на вторых идентичны и представлены исключительно анатазом (рис. 6; таблица).

Таким образом, замещение пикроильменита вторичными продуктами в осадочном коллекторе в результате складчатости происходит по зернам независимо от их мехизноса, и данное обстоятельство является важной особенностью при генетической диагностике поверхностей. На слабо изношенных зернах данные вторичные замещения можно спутать с первичным реакционно-коррозионным рельефом по причине их внешнего сходства, что неудивительно, так как агенты растворения в обоих случаях схожи. Однако при эпигенетических изменениях пикроильменита, происходящих непосредственно в осадках в результате их складчатости, характерны беспорядочные замещения с преобладанием отрицательного рельефа при полном отсутствии шипов и четко выраженных микропирамидок, характерных для первичного микропирамидального рельефа. Справедливости ради следует отметить, что определить, первичный или вторичный тип поверхности имеет место в конкретном случае, достаточно сложно, однако в большинстве случаев все же возможно при наличии опыта.

Нередко в пределах всех исследованных участков в отложениях T_3k встречались пикроильмениты с хорошо выкристаллизованными по внешней поверхности зерен относительно крупными кристалликами анатаза коричневатого цвета (рис. 5, в). Такие крупные выделения анатаза не наблюдались при образовании вторичных минералов в постмагматическую стадию [13] и подобные замещения возможны при значительной агрессивности среды. Кроме этого отмечались единичные зерна пикроильменита с вторичной агрегативностью [5]. Очень редко на пикроильменитах наблюдался пирамидально-черепитчатый рельеф растворения (рис. 5, з), практически идентичный таковому на гранатах. Подобный тип коррозии наиболее характерен для силикатов (граната, оливина). В литературе до недавнего времени отсутствовали какие-

либо сведения о развитии его на пикроильменитах. Лишь в последнее время пикроильмениты с пирамидально-черепитчатым типом растворения установлены во многих районах ЯАП [14]. Состав пикроильменитов с подобными поверхностями во всех случаях подтвержден рентгеноспектральным анализом. Данный факт свидетельствует в пользу того, что в опре-

деленных обстановках, в том числе в условиях метатекстур (эпигенеза) при формировании складчатости, могут возникать условия для образования пирамидально-черепитчатого типа растворения помимо силикатов и на других минералах, в том числе на окислах.

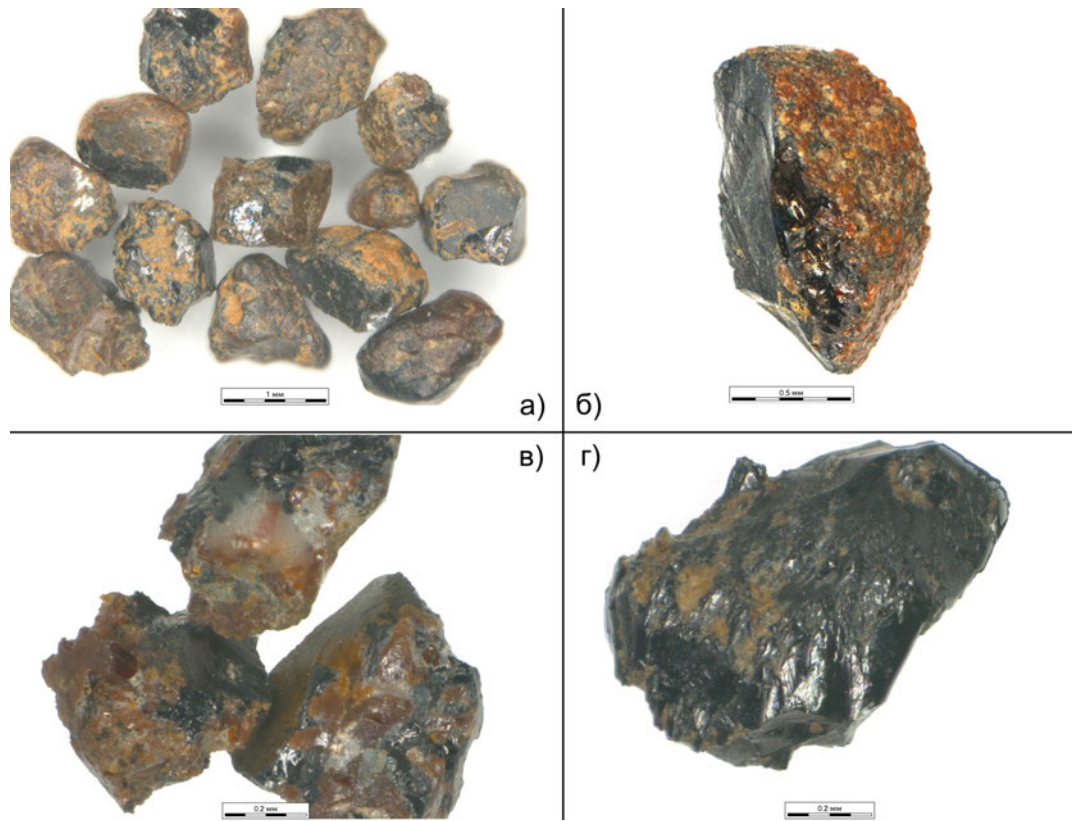


Рис. 5. Внешний вид зерен пикроильменита из отложений карнийского яруса, подвергнутых изменениям в результате складчатости: а) участок Побережный, пробы 5302/2; б) участок Устьево, проба 9641; в) участок Станах-Хочо, проба 8687; г) участок Протока, проба 4091

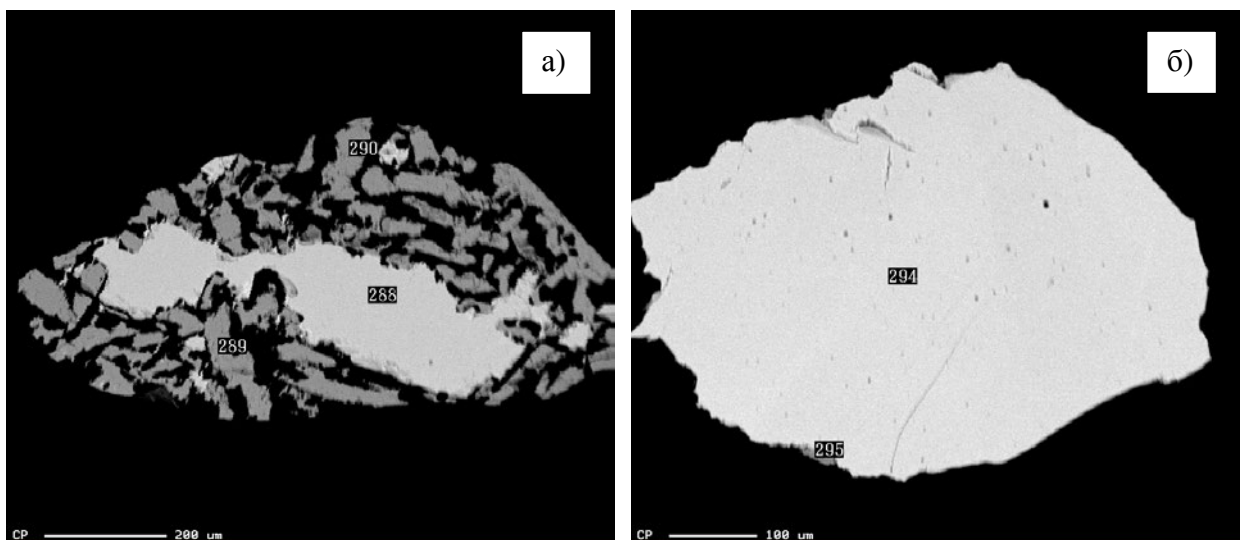


Рис. 6. Особенности строения измененных зерен пикроильменита из отложений верхнего триаса в режиме фазового контраста (номера точек совпадают с номерами анализов в таблице): участок Побережный, проба 5305/2, а) изношенное зерно; б) зерно без следов износа

Заключение

Результаты комплексного исследования МИК показывают, что эпигенетические изменения минералов, происходящие в осадочном коллекторе в условиях складчатости, существенно меняют первоначальный облик кимберлитовых минералов, чем затрудняют диагностику их поверхностей. Нередко на гранатах в данных условиях образуется рельеф, который легко можно спутать с эндогенными (магматическими) поверхностями – матированной или шероховатой. При наложении на минералы эпигенетических изменений, по единичным зернам достаточно трудно достоверно диагностировать генезис поверхностей и определить степень их удаления от первоисточника. В этих случаях необходимо изучать и анализировать в совокупности всю минеральную ассоциацию, включая не только гранат, но и другие минералы, а также соседние пробы с более представительным набором и количеством минералов и искать признаки или первичности, или вторичности микрорельефа. Наличие на гранатах из осадочного коллектора, подвергнутого складчатости, пирамидально-черепитчатого рельефа растворения, образование которого связывается не только с процессами метагенеза, но и с диагенетическими изменениями отложений, в большинстве своем в совокупности с другими признаками говорит в пользу его вторичности. Даже слабые признаки в виде присутствия на зернах граната форм рельефа, представленных единичными треугольными «черепицами», должны приниматься в качестве доказательства вторичности микрорельефа, даже если этот микрорельеф представлен матированной поверхностью.

Необходимо отметить, что псевдоматированная поверхность, подобная описываемой на гранатах из отложений триаса, может образовываться в любых схожих условиях, где агентами растворения являются термальные растворы – в условиях метагенеза, метасоматоза, а также и в гидротермальную стадию непосредственно в кимберлитах. Во всяком случае, поверхности, очень схожие с сахаровидной псевдоматировкой, характерной для минералов из триасовых коллекторов, встречаются непосредственно в кимберлитовых трубках. В частности в тех из них, где широко проявлены гидротермальные процессы. В таких телах под действием термальных растворов в постмагматическую стадию первичная матированная поверхность на гранатах трансформируется, приобретая характерную шелковистость. Примером таких кимберлитовых тел могут являться многие трубки Верхне-Мунского поля. Следует признать, что по единичным зернам МИК из механических ореолов рассеяния, измененных в подобных условиях, практически невозможно определить генезис таких поверхностей. Однако, это можно сделать по комплексу признаков всей минеральной ассоциации. При диагностике поверхностей на минералах необходимо обращать внимание на характер распространения микрорельефа по поверхности зерна. Наличие псевдоматировки по площади всего зерна, одинаковой на противоположных сторонах, разделенных резкими переги-

бами, должно ассоциироваться с их вторичным генезисом. Также, должны настораживать такие типоморфные особенности минералов как однотипная цветовая гамма гранатов, отсутствие неустойчивых оранжевых разностей и зерен с включениями, однотипность поверхностей и отсутствие характерных первичных макроформ, таких как «бородавчатость» и овальность зерен и др. Следует учитывать и такие признаки, как наличие пикроильменитов с вторичной агрегативностью [5], являющихся индикатором метagenетических или метасоматических процессов, а также форму зерен МИК. Преобладание угловатых и остроугольных зерен, в том числе среди хромшпинелидов и пикроильменитов, может являться результатом их вторичного коррозионного растрескивания. И если, к примеру, среди окатанных хромшпинелидов отмечается высокий процент колотых зерен с доминированием остроугольных форм, то тем более гранаты должны содержать повышенное количество осколков, так как данный минерал более подвержен коррозионному растрескиванию и все это может указывать на их изменения непосредственно в осадочном коллекторе. Необходимо отметить, что при замещении пикроильменитов и хромшпинелидов вторичными продуктами при эпигенетических изменениях, каймы развиваются, как правило, по всему объему зерен и существенного рельефа растворения при этом не возникает (рис. 5, а). В тех случаях, когда на поверхности зерен пикроильменитов при их интенсивном изменении образуются крупные кристаллы анатаза (рис. 5, б), границы отрицательных форм микрорельефа, образующиеся при этом, преимущественно ровные и резкие. Следует также обращать внимание на окатанные зерна минералов: характерны ли для них каймы из вторичных минералов и специфическая псевдоматированная поверхность (рис. 3, б). Если да, то вывод должен быть сделан в пользу вторичности подобных образований и на угловатых зернах.

В заключении необходимо отметить, что при определении генезиса поверхностей на минералах из механических ореолов рассеяния, включая древние промежуточные коллектора, подвергнутые эпигенетическим изменениям в процессе формирования складчатости, необходимо учитывать совокупность свойств, как отдельных минеральных индивидов, так и всей минеральной ассоциации. Лишь по комплексу признаков можно судить о первичности конкретного микрорельефа по отношению к процессам ореолообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гогина, Н. И. Находка алмаза в низовьях р. Лены / Н. И. Гогина // Докл. АН СССР, 1978. – Т. 239. – № 5. – С. 1168–1169.
2. Натанов, Л. М. Новый промежуточный коллектор алмазов и их спутников на Сибирской платформе / Л. М. Натанов, Ю. М. Сибирцев, Н. И. Гогина, В. Д. Огородников, А. К. Уфлянд // Геология и методы прогнозирования алмазных месторождений. – Труды ЦНИГРИ. – М., 1981. – Вып. 156. – С. 34–40.

3. Афанасьев, В. П. Основы шлихо-минералогических поисков месторождений алмазов: автореф. дис. ... докт. геол.-мин. н. / В. П. Афанасьев. – М., 1991. – 43 с.
4. Минералогическая энциклопедия. – Л. : Недра, 1985. – [К. Фрей, ред.]. – 512 с.
5. Хмельков, А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции) / А. М. Хмельков. – Новосибирск: АРТА, 2008. – 252 с.
6. Гужий, Д. В. О ступенчатой (черепитчатой) форме гранатов / Д. В. Гужий, Л. Г. Ткачук // Минерал. Сб. Львовского ун-та, 1959. – № 13. – С. 65–73.
7. Францссон, Е. В. Петрология кимберлитов / Е. В. Францссон. – М. : Недра, 1968. – 199 с.
8. Вассоевич, Н. Б. О терминологии, применяемой для обозначения стадий и этапов литогенеза / Н. Б. Вассоевич // Геология и геохимия, ВНИГРИ. – М : Гостоптехиздат, 1957. – С. 33–42.
9. Коссовская, А. Г., Шутов В.Д. Фации регионального эпигенеза и метагенеза / А.Г. Коссовская, В. Д. Шутов // Изв. АН СССР. – Сер. геол., 1963. – № 7. – С. 20–36.
10. Коссовская, А. Г. Минерагения терригенного мезозойского комплекса Вилюйской впадины и Западного Верхоянья / А. Г. Коссовская. – М. : Из-во АН СССР, 1962. – 204 с.
11. Диагенез и катагенез осадочных образований. – Науки о земле. – М. : Мир, 1971. – [Н. Б. Вассоевич, ред.]. – Т. 36. – 464 с.
12. Афанасьев, В. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов / В.П.Афанасьев, Н.Н.Зинчук, Н.П.Похиленко. – Новосибирск, 2001. – 276 с.
13. Хмельков, А. М. О генезисе кайм на пикроильменитах Тайгикун-Нембинского кимберлитового поля (Эвенкия) / А. М. Хмельков // Геология и геофизика, 2005. – Т. 46. – № 2. – С. 198–205.
14. Хмельков, А. М. О пирамидально-черепитчатом типе растворения и возможности его образования на пикроильменитах / А. М. Хмельков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2011. – № 2. – С. 256–263.

АК «АЛРОСА», Амакинская геологоразведочная экспедиция

Хмельков Александр Михайлович, ведущий геолог, кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: KhmelkovAM@alrosa.ru
Тел.: 8 (41136) 6-44-85

ALROSA Co. Ltd, Amakinskaya geological expedition

Alexander Mickailovich Khmelkov, Chief geologist, Candidate of geologic-mineralogical sciences
E-mail: KhmelkovAM@alrosa.ru
Tel.: 8 (41136) 6-44-85