

НОВЫЕ НАХОДКИ ЕКАТЕРИНИТА В КИМБЕРЛИТАХ ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

И. И. Никулин*, Р. В. Еремеев**

*ООО «Белгородская горнодобывающая компания», г. Белгород

**ОАО «АЛРОСА» «Мирнинский ГОК», Якутия

Поступила в редакцию 1 марта 2011 г.

Аннотация. Проведен краткий обзор ассоциаций вторичных минералов кимберлитовой трубки Интернациональная. Изучены основные особенности вторичной минерализации. Минералы бора определены как екатеринит. Екатеринит исследован макроскопически и изучен лабораторно-аналитическими методами (рентгенография, термический анализ, инфракрасная спектроскопия и химический анализ). Он подтверждён всеми характеристиками, известными по литературным данным. Содержание B_2O_3 в екатерините колеблется в пределах 36.9–37.7%. Широкое распространение и приуроченность к большим глубинам говорит о его генезисе, связанном со вмещающими кимберлиты породами.

Ключевые слова: екатеринит, сепиолит, кальцит, ангидрит, галит, тальк, кимберлитовая трубка.
Abstract. Short survey of associations of sec minerals of International'naya kimberlitic pipe has been spent. The basic habits of a sec mineralization are studied. Boron minerals are determined as ekaterinite. The ekaterinite is investigated by macroscopic and studied by laboratory-analytical methods (X-radiography, the thermal analysis, IR-spectroscopy and chemical analysis). It is confirmed by all performances known on literary data. Maintenance B_2O_3 in an ekaterinite fluctuates within 37%. Widespread occurrence and dependence on the big depth speak about its genesis linked to formations containing kimberlites.

Key words: ekaterinite, sepiolite, calcite, anhydrite, halite, talc, kimberlitic pipe

Геодинамические факторы оказывают немаловажное влияние на развитие вторичных процессов как в кимберлитовом теле в целом, так и в отдельных его частях [6]. В зависимости от импульса внедрения, соотношения в магме жидкой и газовой фаз, а также состава перекрывающих пород возникает различная по величине и агрегатному состоянию зона приконтактового дробления, изменяются при этом количество, размеры и направление трещиноватости в окружающих кимберлитовые тела породах [1, 2]. От состава и свойств последних в значительной степени зависит неоднородность кимберлитовых пород, как по вертикали, так и по латерали, а вместе с тем и различная их устойчивость в отношении вторичных (и повторно вторичных) изменений.

Объект исследований

Кимберлитовая трубка Интернациональная вскрыта в пределах Малоботубинского алмазного района, в пятнадцати километрах на юго-запад от кимберлитовой трубки Мир (рис. 1, а). Трубка прорывает терригенно-карбонатные поро-

ды нижнего палеозоя и перекрывается нижнеюрскими отложениями мощностью от 2,1 до 9,2 м. В позднепалеозойское время трубка была перекрыта пластообразным телом долеритов мощностью 15–20 м. Поверхность кимберлитовой трубки под юрскими осадками неровная, с мелкими локальными впадинами и поднятиями. В доюрском эрозионном срезе трубка имеет форму неправильного овала, слегка вытянутого в северо-западном направлении. В вертикальном разрезе можно разграничить раструб и цилиндрический канал.

В верхних горизонтах трубки обособляются два типа кимберлитовых пород: кимберлитовые брекчии и массивные кимберлиты; резко преобладает первый тип породы (около 99% объема). Кимберлитовые породы состоят из псевдоморфоз серпентина и кальцита по оливину, единичных зерен пиропы, хромшпинелида и пикроильменита, сцементированных карбонат-серпентиновым агрегатом. Из ксенолитов распространены обломки карбонатных пород нижнего палеозоя (5–15, редко 30%), в небольших количествах присутствуют траппы, обнаружены единичные обломки кристаллических сланцев фундамента платформы. Повышенное количество ксенолитов карбонатных

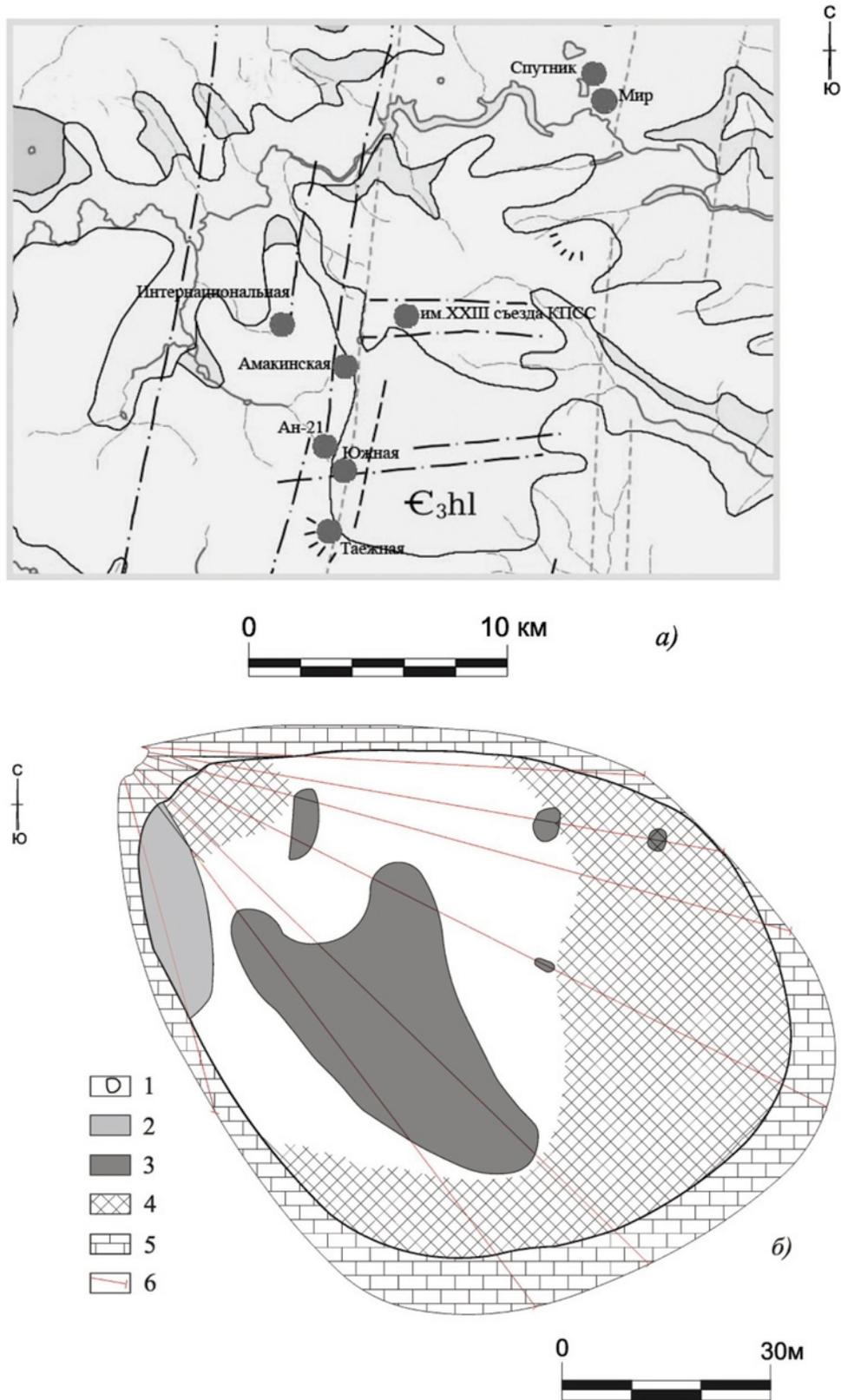


Рис. 1. Кимберлитовая трубка Интернациональная и её географическое положение относительно трубки Мир. Примечание: а – схема расположения кимберлитовых тел в Малоботубинском алмазоносном районе; б – зоны распространения екатеринита в трубке Интернациональная, глубина 1086 м: 1 – основная масса (автолитовая кимберлитовая брекчия) кимберлитового тела; 2 – карбонатная брекчия; 3 – порфировый кимберлит; 4 – зона минерализации екатеринита; 5 – карбонатные породы вмещающего цоколя; 6 – ствол скважины

пород (40–60 %) фиксируется в приконтактной зоне, особенно на участках пологого залегания контактов. Характерной особенностью кимберлитовых пород верхних горизонтов трубки (до глубины 370 м) является высокое содержание примеси терригенного материала вмещающих пород. Терригенный материал представлен песчанистой, алевритовой и глинистой фракциями и состоит из кварца, полевого шпата, плагиоклаза, турмалина, алмадина, сфена, ставролита. Глинистая фракция имеет монтмориллонитовый и каолинитовый состав. Глубже 370 м количество перечисленных минералов резко снижается, а начиная с глубины 500 м, они фактически исчезают.

Включения типа «кимберлит в кимберлите» встречаются довольно часто, их количество с глубиной увеличивается, достигая в интервале 300–525 м 16,2 %.

С глубиной строение кимберлитового тела усложняется; здесь выделены кимберлиты трех фаз внедрения. Значительный объем трубки на глубине выполняют автолитовые кимберлитовые брекчии, сложенные округлыми, овальными выделениями кимберлита ранней генерации. Автолиты обычно имеют более мелкопорфировую структуру, чем вмещающие их кимберлиты; доля оливина в них значительно ниже, чем в цементе [10].

Особенности вторичной минерализации кимберлитов Малоботуобинского района

В прожилках и гнёздах кимберлитов среди вторичных минералов в основном встречаются галит различной окраски (бесцветный, оранжево-красный и голубой), ангидрит, кальцит, серпентин с офитовой структурой (серпофир) и минералы бора.

Кальцит – один из наиболее распространенных минералов кимберлитовых пород, характеризующийся широким многообразием форм выделений [5]. Основная его масса вместе с минералами группы серпентина слагает большой объем пород большинства кимберлитовых тел, “цементируя” дезинтегрированные породы и минералы различного происхождения. Часть кальцита выполняет пустотно-трещинные образования, формируя в кимберлитах прожилки и друзы, жеоды, щетки. В кимберлитах глубоких горизонтов трубки Интернациональная отмечаются игольчатые образования кальцита. В целом, карбонаты кимберлитов, их форма выделения и агрегаты довольно обширно опубликованы в большом количестве работ [4, 8].

В Малоботуобинском районе **сепиолит** встречается кимберлитовых трубках Мир и Интернациональная. Наибольшие концентрации минерала отмечены в кимберлитовой трубке Интернациональная. Его находки приурочены к зонам трещиноватости кимберлитовой брекчии, где совместно он с кальцитом образует прожилки зонального строения мощностью от 0,2 до 5,0 см.

В ассоциации с кальцитом и серпентином на глубоких горизонтах многих трубок (Интернациональная, Мир, Удачная, Юбилейная и др.) встречается пирроаурит. Часто пирроаурит совместно с серпентином слагает крупные (до 6–7 см) зеленовато-серые жеоды; также в виде отдельных голубовато-зеленых ромбоэдрических кристаллов, а иногда и в виде сферических и волокнистых образований, слагающий маломощные прожилки и отдельные жеоды.

Ангидрит наиболее характерен для кимберлитовых пород глубоких горизонтов трубки Интернациональная, а также трубки Мир и др. Иногда его таблитчатые кристаллы покрывают трещины в кимберлитах сплошной коркой.

Галит – единственный минерал класса галогенидов в кимберлитах Якутии [5]. Наиболее часто он встречается в кимберлитах глубоких горизонтов трубки Интернациональная, а также трубки Мир и Удачная.

Тальк встречается редко в кимберлитах верхних горизонтов отдельных кимберлитовых трубок или в зонах сильно измененных приконтактных условиях пород. В отдельных случаях в составе серовато-белых новообразованных прожилков в кимберлитах трубок Интернациональная и Мир, и других отмечены содержания талька до 5 % в основной массе.

Минерал бора в кимберлитах трубки Интернациональная на основании всесторонних минералогических исследований отнесён к **екатериниту** [7]. Ранее другими исследователями он был отмечен в трубке Мир [3, 9]. В трубке Интернациональная проявления екатеринита отмечаются только ниже глубины 800 м. Приурочен этот минерал в основном к автолитовой кимберлитовой брекчии (АКБ). В порфировом кимберлите (ПК) екатеринит в незначительных количествах наблюдался в тех случаях, когда зоны развития ПК были приурочены к краевым частям кимберлитовой трубки. Особенностью также является его зональность, так как он тяготеет к зоне эндоконтакта кимберлитового тела (см. рис. 1, б). Мощность зоны развития минерализации екатеринита от пе-

риферийной части кимберлитового тела к центру варьирует от 15 до 37 м. Наличие екатеринита в северо-западной части трубки Интернациональная также приурочено к периферийной части тела и отмечается исключительно в АКБ. Мощность зоны минерализации в этой части трубки составляет не более 14 м.

Развитие екатеринита в трубке Интернациональная

Екатеринит наблюдался в керне 11 скважин на глубине от 809 до 1086 м, где он нередко образует фактически мономинеральные гнёзда и прожилки мощностью до 4,5 см (рис. 2). В ассоциации с екатеринитом всегда наблюдаются галит в виде идиоморфных кристаллов, единичные мелкие зёрна кварца и тонкодисперсного серпентина.

Екатеринит в раздувах прожилков и гнёздах обычно представлен натёчными мономинеральными образованиями, почковидные выделения неправильной формы, а иногда и в виде листоватых агрегатов с шелковистым блеском, рост которых зафиксирован параллельно друг другу и перпендикулярно кимберлитовому субстрату. В наиболее мелких гнёздах и прожилках екатеринит отмечается в белых порошкообразных минеральных массах. В свежем сколе минерала имеет ярко-красную, насыщенную окраску. После некоторого времени яркость теряется, и образования этого минерала становятся розовыми или светло-фиолетовыми. Отмечены зелёные агрегаты различных оттенков, где в смеси присутствуют в разном количестве и екатеринит, и серпентин.

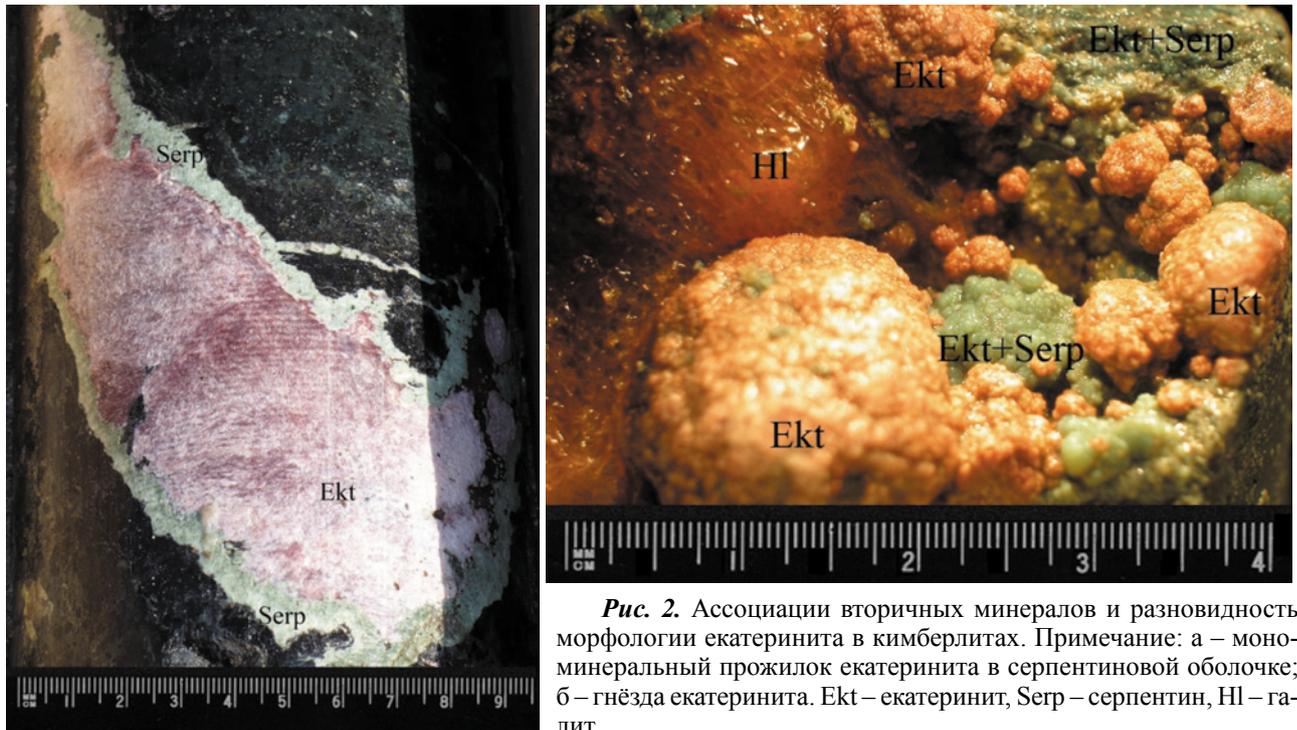


Рис. 2. Ассоциации вторичных минералов и разновидность морфологии екатеринита в кимберлитах. Примечание: а – мономинеральный прожилок екатеринита в серпентиновой оболочке; б – гнёзда екатеринита. Ekt – екатеринит, Serp – серпентин, Hl – галит

По данным рентгенографического анализа екатеринит характеризуется следующими межплоскостными расстояниями: $d = 11.33; 10.64; 4.77; 3.25; 3.087; 2.76; 2.696; 2.59; 2.52; 2.32; 2.174; 2.102; 2.047; 1.909; 1.763 \text{ \AA}$ (рис. 3, а). Дополнительным подтверждением диагностики екатеринита является его переход после отжига при $T = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в соединение CaB_2O_4 , характеризующегося межплоскостными расстояниями: $d = 5.82; 3.36; 3.006; 2.901; 2.873; 2.736; 2.605; 2.241; 2.140;$

$2.030; 1.940; 1.840; 1.682; 1.500 \text{ \AA}$ (карточка 18-281 JCPDS) (рис. 3, б).

При насыщении образца водой с глицерином происходит увеличение первого межплоскостного расстояния до величины $d = 14.2 \text{ \AA}$, против первоначального 11.18 \AA , что указывает на способность структуры минерала поглощать воду с увеличением объема элементарной ячейки.

Термический анализ был проведен для нескольких образцов, среди которых обр. 1 пред-

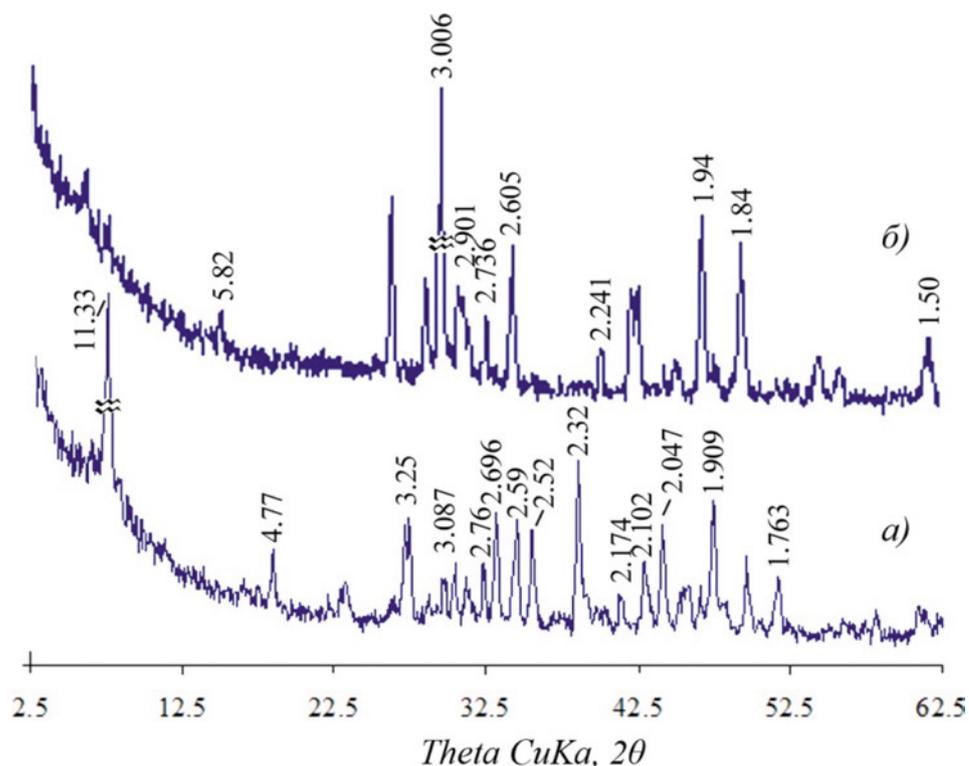


Рис. 3. Дифрактограмма екатеринита из кимберлита трубки Интернациональная и его производного образования. Примечание: а – исходный образец; б – продукт отжига екатеринита при $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ – CaV_2O_4 . Аналитик Лисковская Л. В., НИГП АК «АЛРОСА»

ставляет собой мономинеральные почковидные образования екатеринита и обр. 2 зелёной окраски, похожий по форме на первый образец, но принципиально отличающийся минеральным составом. Термографический анализ подтверждает диагностику екатеринита по наличию характерных интенсивных эндоэффектов при $T = 238, 395, 462\text{ }^{\circ}\text{C}$, сопровождающихся потерей массы, обусловленной выходом кристаллизационной и конституционной воды (рис. 4, а). Общая потеря массы при прокаливании до $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 27,3 %, что соответствует потере суммарного количества воды и хлора, содержащихся в екатерините. Экзоэффект при $T = 678$ и $1031\text{ }^{\circ}\text{C}$ отвечает перекристаллизации дегидратированного минерала. Термографическим методом в натёчных минеральных образованиях зелёной окраски подтверждено наличие серпентина и галита по соответствующим эндоэффектам $T = 621$ и $784\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 4, б). По данным полуколичественного рентгенографического анализа зелёное образование состоит из ангидрита – 39 %, галита – 35 %, серпентина – 23 % и екатеринита – 3 % (аналитик Лисковская Л. В., НИГП АК «АЛРОСА»). Ангидрид на дериватограмме проявился нетермоактивным до $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Порошкообразный образец после длительного пребывания в сухом помещении и запрессованный в KBr-таблетку изучался при помощи ИК-спектроскопии. ИК спектр екатеринита содержит полосы поглощения H_2O ($1653, 3430$ и 3546 см^{-1}). Максимумы поглощения, относящиеся к колебаниям боратного аниона, зарегистрированы в области от 950 до 1180 см^{-1} (рис. 5), что свидетельствует о его преимущественно четверной координации [7].

Результаты химического анализа (микронзонд) екатеринита свидетельствуют о незначительной вариации содержаний основных компонентов (табл. 1). Содержания V_2O_3 колеблются в пределах известных значений екатеринитов трубки Мир (анализы 1 и 2) 36,9–37,7 %. В тоже время отмечены пониженные содержания Fe_2O_3 и SiO_2 , что указывает на незначительную примесь других минеральных фаз в исследуемых образцах екатеринита.

Обсуждение результатов

Генезис разных ассоциаций вторичных минералов может быть чрезвычайно различным и в кимберлитовых породах. Их генезис не всегда поддается однозначной интерпретации: многие из

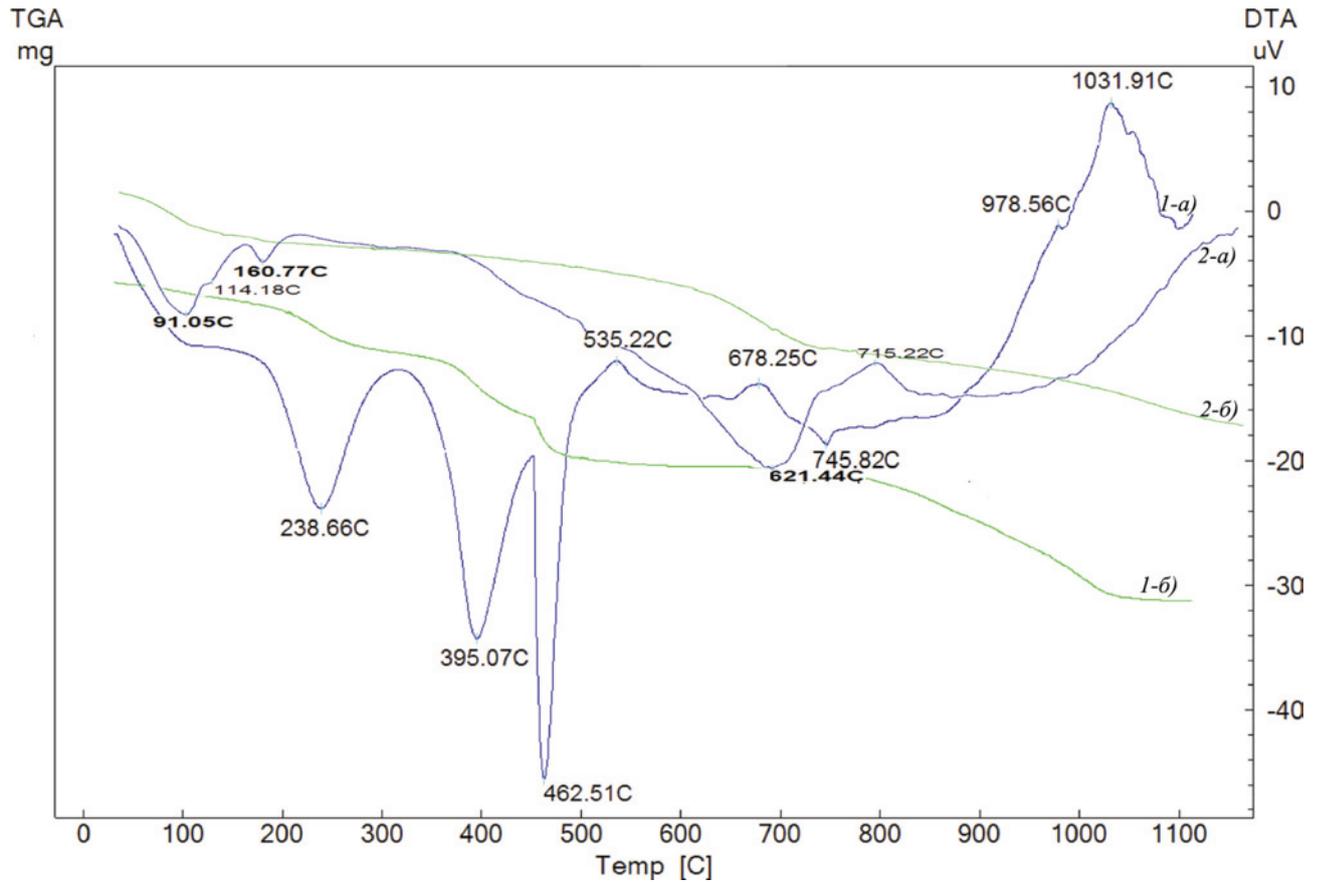


Рис. 4. Дериватогаммы образцов с екатеринитом. Примечание: 1а и 1б – мономинеральное почковидное образование екатеринита; 2а и 2б – натёчное минеральное образование зелёной окраски. Аналитик Лисковская Л. В., НИГП АК «АЛРОСА»

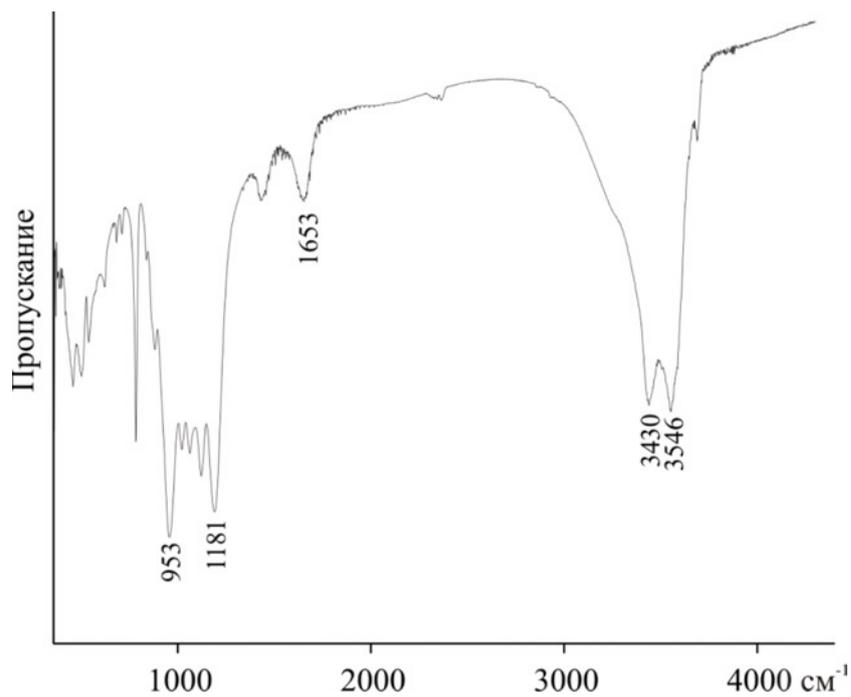


Рис. 5. ИК-спектр екатеринита

Химический состав (мас. %) представительных образцов екатеринита из трубок Мир (анализы 1 и 2) и Интернациональная (анализы 3 и 4)

Состав	Анализ 1	Анализ 2	Анализ 3	Анализ 4
SiO ₂	–	1.36	0.637	0.98
TiO ₂	–	–	–	–
B ₂ O ₃	35.96	39.95	37.67	36.92
Al ₂ O ₃	0.28	0.60	0.44	0.31
Fe ₂ O ₃	0.32	0.32	0.227	0.32
FeO	–	0.56	Нет свед.	Нет свед.
MnO	Нет свед.	Нет свед.	–	–
MgO	0.40	0.40	0.303	0.25
CaO	33.92	35.89	31.33	34.91
Na ₂ O	2.94	2.56	1.45	2.75
K ₂ O	–	–	0.14	–
H ₂ O (расч.)	14.23	10.17	12.71	12.2
CO ₂	0.88	4.40	2.64	Не обн.
Cl (попр.)	14.29	12.33	11.82	13.31
Сумма	100.00	108.54	99.37	101.94
Cl ₂ = 0	-3.22	-2.78	Не рассчит.	Не рассчит.
CaCO ₃	2.00	9.00	Не рассчит.	Не рассчит.
NaCl	5.53	4.82	Не рассчит.	Не рассчит.

Примечание. Аналитики: Л. А. Кулева (анализы 1-2), МГУ; А. С. Иванов (анализы 3-4), ЦАЛ БГРЭ АК «АЛРОСА».

них образуются в результате метасоматических, гидротермальных, пневматолитических процессов, также они могут формироваться в результате преобразования (трансформации) других минералов со слоистыми структурами, образовываться в постмагматическую фазу или присутствовать в качестве обломочных компонентов. Широкая распространённость и разнообразие разновидностей вторичных минералов создают благоприятную основу для выявления генетических связей между структурой, химическим составом и геологическими обстановками распространения этих минералов.

В связи с тем, что борový минерал отмечается только в прожилковых формах минерализации небольших размеров, источником образования екатеринита возникает двойной вопрос. С одной стороны, его распространение характеризуется хоть и прожилковой минерализацией, но достаточно широким распространением по объёму, что говорит о, возможно, осадочном источнике бора. С другой стороны, для кимберлитов по данным ранних исследований предшественников отмечена прямая зависимость содержания бора от летучей фазы, по воздействию которой осуществлялись метасоматические (автометасоматические) изменения. Поэтому обогащение подземных рассолов

бором можно в значительной степени связывать с глубинными источниками.

Заключение

Таким образом, екатеринит ассоциирует с галитом, ангидритом и серпентином. Выявлена способность екатеринита к разбуханию с увеличением объема элементарной ячейки при взаимодействии со смесью воды и глицерина. Все полученное согласуется с литературными сведениями о екатерините, который обладает способностью к гидратации – дегидратации и имеет свойство вспучиваться при контакте с водой и растворяться в ней.

Так как екатеринит по большинству своих свойств является нетоксичным адсорбентом, подсчёт запасов широкого распространения этого минерала в кимберлитовых трубках может привести к попутному промышленному освоению для целого ряда отраслей.

Изучение вторичной минерализации в кимберлитах Малоботуобинского алмазоносного района показало, что у трубок Мир и Интернациональная общая характеристика кристаллизации субстрата и взаимодействия с вмещающими терригенно-карбонатными породами вмещающего цоколя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благулькина В. А. К минералогии связующей массы кимберлита / В. А. Благулькина, В. С. Ровша, Н. Н. Сарсадских // ЗВМО. 1965. – Ч. 94, Вып. 1. – С. 471–476.

2. Владимиров Б. М. Классификация кимберлитов и внутреннее строение кимберлитовых трубок / Б. М. Владимиров, С. И. Костровицкий, Л. В. Соловьева. – М. : Наука, 1981. – 136 с.

3. Затхей Р. А. О екатерините из кимберлитов Якутии / Р. А. Затхей, В. А. Хмелевский // Минералог. журн. – 1982. – Т. 4, № 5. – С. 70–75.

4. Зинчук Н. Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы / Н. Н. Зинчук. – Новосибирск : Изд-во Новосибирского ун-та, 1994. – 240 с.

5. Зинчук Н. Н. Постмагматические минералы кимберлитов / Н. Н. Зинчук. – М. : Недр-Бизнес-центр, 2000. – 538 с.

ООО «Белгородская горнодобывающая компания», Белгород
И. И. Никулин, главный геолог
ivnikulin@rambler.ru
Тел. 8-915-570-38-21

ООО «АЛРОСА» «Мирнинский ГОК», Якутия
Р. В. Еремеев, участковый геолог подземного рудника
eremeev@mail.ru
Тел. 8-914-255-16-62

6. Кривонос В. Ф. Петрохимические и фациальные особенности мантийных изверженных горных пород, определяющие их алмазоносность / В. Ф. Кривонос // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков алмазных месторождений, Мирный : Изд-во Мирнинской типографии, 1998. – С. 55–57.

7. Малинко С. В. Екатеринбург – новый минерал бора / С. В. Малинко [и др.] // ЗВМО. – 1980. – № 4. – С. 469–476.

8. Маршинцев В. К. Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Якутии / В. К. Маршинцев. – Новосибирск : Наука, 1986. – 240 с.

9. Мельник Ю. М. Бораты из кимберлитов / Ю. М. Мельник, Н. Н. Зинчук, А. Д. Харьков // Минер. сб. Львовск. ун-та. – 1984. – № 38, Вып. 1. – С. 12–18.

10. Петрохимия кимберлитов / сост.: А. Д. Харьков [и др.]. – М. : Недра, 1991. – 304 с.

«Belgorod mining company ltd.», Belgorod
I. I. Nikulin, the great geologist
ivnikulin@rambler.ru
Tel. 8-915-570-38-21

«Mir» mine of the «ALROSA ltd.»
R. V. Ereemeev, local geologist
eremeev@mail.ru
Tel. 8-914-255-16-62