

Акционерная компания «АЛРОСА» (ПАО)  
Научно-исследовательское геологическое предприятие (НИГП)

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА АЛМАЗЫ:  
ПРОГНОЗНО-РЕСУРСНЫЕ, МЕТОДИЧЕСКИЕ,  
ИННОВАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ**

Материалы V Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием, посвященной  
50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ –  
НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)

29 мая – 1 июня 2018 г.

г. Мирный

УДК 550.8:553.81(571.56)  
ББК 26.342  
Э94

Редакционный совет:  
д.г.-м.н. **А.В. Толстов** (ответственный редактор)  
д.г.-м.н., проф., академик АН РС (Я) **Н.Н. Зинчук**  
д.г.-м.н., проф., академик РАЕН **В.К. Гаранин**

**Э94 Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения:** Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) – Мирный, 2018. – 416 с.

ISBN 978-5-6041056-0-3

В книге изложены материалы докладов геологов и ученых на V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические и инновационно-технологические направления ее повышения», проведенной в г. Мирный Республики Саха (Якутия) в мае-июне 2018 г. и посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). Конференция организована и проведена АК «АЛРОСА» (ПАО) в тесном содружестве с научными и научно-производственными учреждениями Министерства природных ресурсов РФ, Российской академии наук, Академии наук РС (Я), с участием ученых Национальной академии наук Украины, а также профильных отечественных и зарубежных ВУЗов. Ее целью является обсуждение и выработка предложений и рекомендаций по повышению эффективности геологоразведочных работ на алмазы, росту инновационной составляющей геологоразведочного комплекса Компании для обеспечения минерально-сырьевой базы группы «АЛРОСА».

Материалы в сборнике сгруппированы по следующим основным разделам: 1) Актуальные проблемы (геология, минералогия, геофизика, геохимия, петрология) и прогнозно-ресурсные аспекты ГРР на алмазы; 2) Геолого-экономические вопросы, научно-методические, технологические инновационные пути совершенствования ГРР на алмазы и решение проблем повышения их эффективности; 3) Краткие сообщения. Книга рассчитана на широкий круг специалистов ученых-геологов, занимающихся проблемами геологии, прогнозированием и поисками месторождений алмазов, их изучением и тонкими исследованиями вещественного состава кимберлитов с целью укрепления сырьевой базы алмазной отрасли.

УДК 550.8:553.81(571.56)  
ББК 26.342

*Публикация выполнена в авторском варианте с незначительными редакционными правками*

*Утверждено к печати Ученым советом НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО)*

*Издание осуществлено на средства АК «АЛРОСА» (ПАО)*

*На обложке: алмаз «30 лет ЯНИГП ЦНИГРИ»*

ISBN 978-5-6041056-0-3

© АК «АЛРОСА» (ПАО), 2018  
© Коллектив авторов, 2018

## РАСТВОРЕНИЕ АЛМАЗОВ КИМБЕРЛИТОВЫМИ РАСПЛАВАМИ В КУМУЛЯТИВНЫХ ОЧАГАХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Ю.А. Литвин<sup>1</sup>, А.В. Кузюра<sup>1</sup>, Д.А. Варламов<sup>1</sup>,  
А.В. Бовкун<sup>2</sup>, А.В. Спивак<sup>2</sup>, В.К. Гаранин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИЭМ РАН, г. Черноголовка

<sup>2</sup>МГУ, г. Москва

<sup>3</sup>Минмузей РАН, г. Москва

Экспериментально при 0.15 ГПа и 1200-1250 °С исследовано растворение монокристаллических алмазов расплавами Нюрбинского кимберлита. За 2 часа (порядок времени кимберлитового транспорта из верхне-мантийных алмазообразующих очагов в коровые кумулятивные центры) потери алмазной массы составляют 3–4.5%. В течение 4 и 7-9 суток (в условиях кумулятивных центров) масса алмазов уменьшается, соответственно, на 13.5 и 24.5-27.5% при заметном объемном растворении. Обсуждены физико-химические причины снижения алмазоносности кимберлитовых трубок. В основе данного исследования – мантийно-карбонатитовая теория генезиса алмазов и ассоциированных фаз.

В мантийно-карбонатитовой теории генезиса алмаза [1,2] согласованы данные физико-химического эксперимента и аналитической минералогии включений в алмазах, обобщаются решения главных генетических задач: (1) алмазообразующие расплавы мантии имеют силикат-оксид-карбонатит-углеродные составы; (2) обобщенные диаграммы алмазообразующих сред характеризуют изменчивые составы ростовых расплавов алмазов и парагенных фаз, их генетические связи с веществом мантии, классификационные отношения первичных включений; (3) в экспериментальных диаграммах сингенезиса алмазов и первичных включений отражены условия нуклеации и роста алмазов, захвата ими парагенных и ксеногенных минералов; (4) фракционные фазовые диаграммы сингенезиса алмазов и включений раскрывают закономерности ультрабазит-базитовой эволюции и парагенетических переходов в алмазообразующих системах мантии. Получены доказательства физико-химически единого способа генезиса алмаза на глубинах мантии с различной минералогией.

Алмазоносность кимберлитов формируется поэтапно в процессах кристаллизации и растворения алмазов – (1) кристаллизация - в мантийных алмазообразующих очагах силикат-карбонат-углеродных расплавов, образование которых связывается с воздействием метасоматических щелочных CO<sub>2</sub>-содержащих агентов на ультрабазитовое вещество верхней мантии; (2) растворение – в кимберлитовых магмах после разрушения ими мантийных алмазообразующих очагов и при кратковременном транспорте ими алмазов вместе с гетерогенным материалом как самих очагов, так и вмещающих пород верхней мантии в промежуточные кумулятивные очаги на глубинах земной коры; (3) растворение – в постепенно остывающих и затвердевающих кимберлитовых магмах с растворенными летучими соединениями и, возможно, в сильно сжатой газо-флюидной фазе, выделяющейся при затвердевании магм в кумулятивных очагах; накопившаяся в итоге газо-флюидная фаза осуществляет перемещение содержимого очагов к центрам кумуляции с взрывоподобным образованием кимберлитовых трубок и с ними алмазных месторождений.

Главные цели настоящей работы состоят в экспериментальном исследовании воздействия кимберлитовой магмы на алмазы при их скоростном подъеме из верхне-мантийных алмазообразующих очагов в коровые кумулятивные очаги. При подъеме Са-карбонат-содержащая транспортирующая кимберлитовая магма растворяет алмазы, однако масштабы растворения и, соответственно, понижения алмазоносности лимитируются фактором времени. В коровых кумулятивных очагах кимберлитовые расплавы-растворители контактируют достаточно продолжительное время с алмазами в метастабильном состоянии. В связи с этим можно ожидать существенные потери алмазной массы.

Как стартовый материал использован порфиновый кимберлит из высокоалмазоносной трубки Нюрбинская (Якутия) состава: SiO<sub>2</sub> 31.47, TiO<sub>2</sub> 0.52, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.03, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.11, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8.53, MnO 0.08, NiO 0.15, MgO 30.30, CaO 8.09, Na<sub>2</sub>O 0.06, K<sub>2</sub>O 0.83, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.54, п.п.п. 15.21, сумма 99.92 (по данным химического анализа). Порфировая фаза представлена серпентином по оливину, а основная масса состоит из равномерно распределенных микровыделений серпентина и кальцита. Флогопит, магнетит и пирротин являются аксессуарными минералами. Использованный в опытах кимберлит сопоставим с Нюрбинскими порфировыми кимберлитами [3].

Эксперименты по плавлению кимберлита выполнены в платиновых ампулах диаметром 7 мм и высотой 8 мм. Ампулы заполнялись порошком кимберлита массой 200 мг с размещенными внутри монокристаллами природных алмазов размерами 3–4 мм и весом 30–50 мг. Опыты проведены при 0.15±0.01

ГПа и  $1200-1250 \pm 2$  °С в цилиндрическом газовом аппарате-«бомбе» с аргонной сжимающей средой. Температура поддерживается автоматическим регулятором с погрешностью  $\pm 2$  °С. Закалочное охлаждение образца после опыта от  $1200-1250$  °С до  $800$  °С происходило за  $1.5-2.5$  мин. Алмазы до и после опытов взвешивались с точностью  $\pm 0.01$  мг. Кимберлитовые закалочные образцы и алмазы после опытов исследовались методом сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе CamScanMV2300 (VEGATS 5130MM) с энергодисперсионным микроанализатором INCA -Energy-250.

Взаимодействие транспортирующей кимберлитовой магмы с алмазами исследовано в опытах при  $0.15$  ГПа,  $1200$ °С с выдержкой  $2$  час., что сопоставимо с минимальным временем подъема магмы из верхней мантии в земную кору (по различным оценкам). В условиях опытов кимберлит плавится.

После закалки основная масса сложена равномерно распределенными участками с преобладанием округленных микрозерен оливинового состава или игольчатых и дендритных Са-карбонатно-силикатных микрофаз (рис. 1).

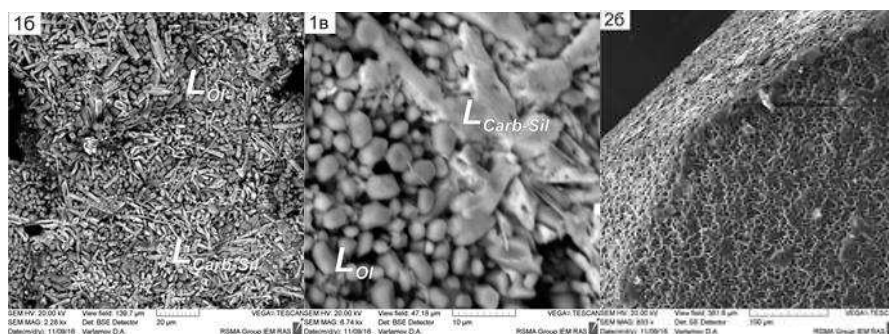


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

Встречаются и относительно крупные дендритные закалочные формы карбонатно-силикатного расплава (рис. 2). Алмазы испытали слабое поверхностное растворение (рис. 3) с потерями массы  $3-4.5\%$ .

Взаимодействие кимберлитовой магмы с алмазами в кумулятивных очагах изучалось при  $1.5$  ГПа и  $1200-1250$  °С. Выдержки до  $4$  и  $7-9$  суток сопоставимы с продолжительностью высокотемпературной стадии остывания кимберлитовых расплавов в кумулятивных очагах в контактах со вмещающими низкотемпературными породами коры. Основная масса кимберлитового расплава после закалки представлена однородными сплавами мелких зерен оливинового и Са-карбонат-силикатного составов для выдержек до  $4$  час (рис. 4) и  $7-9$  час (рис. 5). В основной массе изредка встречаются отпечатки пузырей фазы летучих, вероятно,  $CO_2$  (рис. 4). У пузырей обнаруживается Са-карбонат-силикатный расплав их растекшейся оболочки пузыря.

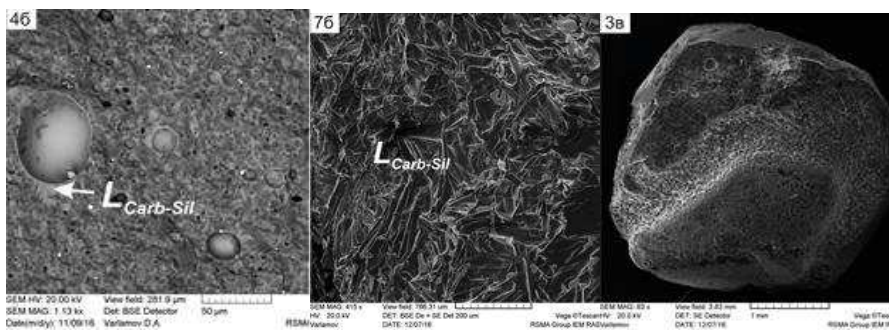


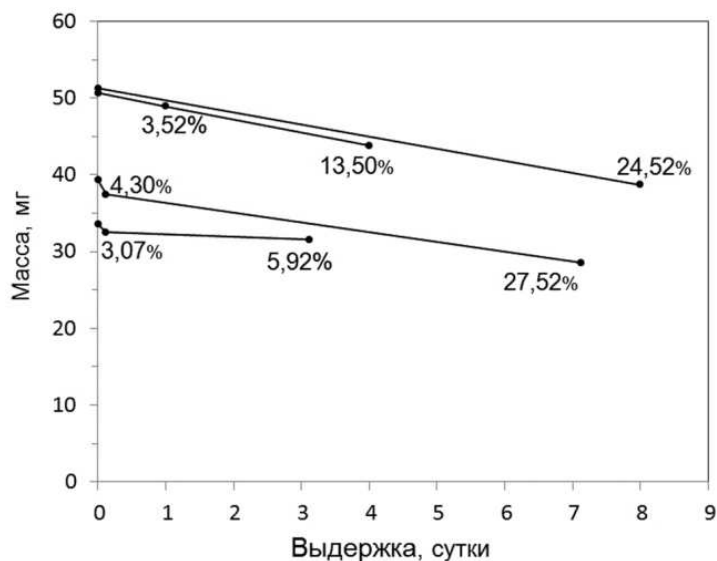
Рис. 4

Рис. 5

Рис. 6

Источником  $CO_2$  для пузырей могли стать примеси вторичных метасоматических карбонатов сидерита и доломита [4], которые, - в отличие от  $CaCO_3$ , - неустойчивы и диссоциируют с образованием  $CO_2$  при РТ параметрах данных опытов. Образование и разрушение пузырей можно связать со стадией закалки кимберлитового расплава при понижении температуры, когда первичное выделение оливиновой фазы в кимберлитовом расплаве повышало концентрацию  $CO_2$  в остаточных Са-карбонат-силикатных расплавах. Естественно, что при выделении растворенной углекислоты  $CO_2$  именно содержащие ее Са-карбонат-силикатные остаточные расплавы образовали оболочки пузырей. Оболочки в дальнейшем разрушались, не выдерживая внутреннее газо-флюидное давление, которое возрастало с затвердеванием кимберлитовой системы при закалке. По-видимому, подобный механизм осуществлялся и в коровых кумулятивных кимберлитовых очагах при их затвердевании. Образцы природных алмазов заметно растворяются в кимберлитовом расплаве в опытах с выдержками до  $9$  суток (рис. 6). Диаграмма «масса алмаза (мг) -

выдержка (сутки)» на рис. 7 демонстрирует экспериментальные данные по потерям массы алмазами при их растворении в кимберлитовых расплавах (проценты потерь нанесены возле точек на диаграмме).



**Рис. 7.** Экспериментальные данные по потерям массы алмазами при их растворении в кимберлитовых расплавах

По экспериментальным данным возможные потери массы природными алмазами при растворении их остывающими кимберлитовыми магмами в кумулятивных очагах могут быть значительными, от нескольких десятков процентов и, по всей вероятности, до полного растворения.

Физико-химические факторы алмазоносности кимберлитовых месторождений могут быть оценены следующим образом. Алмазоносность кимберлитовых месторождений первоначально формируются в процессах нуклеации и массовой кристаллизации алмазов в верхне-мантийных очагах силикат-карбонатит-углеродных материнских расплавов-растворов. Она зависит также от физико-химических условий при подъеме алмазов кимберлитовыми магмами в земную кору, где в коровых кумулятивных очагах алмазы подвержены химическому растворяющему воздействию остывающих кимберлитовых расплавов и взрывному выбросу вместе с частично или полностью затвердевшими вмещающими кимберлитами к поверхности Земли. В деградации потенциальной алмазоносности кимберлитов существенны различные механические и химические факторы. Если механические потери алмазов не поддаются оценке, то масштабы и механизмы химических потерь могут быть определены в физико-химическом эксперименте при высоких давлениях и температурах. Главные особенности генетической истории алмаза зависят от термодинамических и кинетических состояний твердых фаз углерода – алмаза и графита, особенностей их взаимодействия с силикат-карбонатными алмазообразующими расплавами, а также с карбонат-содержащими транспортирующими кимберлитовыми магмами.

Растворение алмазов в транспортирующих кимберлитовых магмах и особенно в кумулятивных кимберлитовых очагах представляется наиболее эффективным фактором понижения алмазоносности кимберлитовых месторождений за счет частичных или практически полных потерь алмазной массы. При этом значение приобретают стартовые РТ условия в кумулятивных очагах, скорость их остывания, химические и фазовые составы полных или частичных расплавов кимберлитов, соотношение в их составах силикатных и карбонатных компонентов. Важно также время существования кимберлитовых расплавов до накопления критической величины кумулятивной энергии в сильно сжатой флюидизированной фазе летучих для взрывного механизма формирования кимберлитовых трубок, в особенности, алмазоносных. Количественные оценки факторов понижения алмазоносности кимберлитовых месторождений могут быть получены исключительно в физико-химическом эксперименте.

#### Список литературы

1. Литвин Ю.А., Спивак А.В., Кузюра А.В. Основы мантийно-карбонатитовой концепции генезиса алмаза // Геохимия – 2016 – №10 – С. 873-892.
2. Litvin Yu.A. Genesis of Diamonds and Associated Phases. Springer – 2017 - 137 p.
3. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаас Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции. Мирный, НИИГП АК АЛРОСА – 2015 – 480 с.
4. Dawson J.B. Kimberlites and Their Xenoliths. Berlin et al., Springer-Verlag – 1980 – 252 p.