

Успехи в науках о природе

Achievements in Natural Sciences / Fortschritte in der Naturwissenschaften

УДК 543.42:549.02:549.211



Искрина А.В.

Расплав-флюидные микровключения в алмазах месторождения им. М.В. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция)

Искрина Анастасия Витальевна, студентка 4 курса кафедры петрологии Геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-1579-9663>

E-mail: anastasiia-v-iskrina@j-spacetime.com; archi3@yandex.ru

Изучены расплав-флюидные включения в 11 алмазах месторождения им. М.В. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция). Методом рентгеноспектрального анализа в них определен химический состав микровключений и получены дополнительные сведения по химическому составу методом ИК-спектроскопии. Впервые для алмазов Архангельской провинции установлена ведущая роль водосодержащих силикатно-карбонатных расплавов с широким диапазоном концентрации силикатных компонентов.

Ключевые слова: алмаз; Архангельская алмазоносная провинция; расплав-флюидные микровключения; рентгено-спектральный анализ; ИК-спектроскопия.

Микровключения в природных алмазах — материал мантийных флюидов или расплавов, из которых кристаллизуются такие алмазы и дают уникальную информацию о составе алмазообразующих сред, необходимую для понимания процессов образования алмазов, а также эволюции мантии Земли в целом. Микровключения в алмазах представляют хорошо сохранившиеся глубинные расплавы, доступные для непосредственного изучения современными методами. В ходе последующей эволюции происходит их частичная раскристаллизация, так что большинство из них представлено в виде полиминеральных агрегатов, включающих также аморфное стеклоподобное вещество и пузырьки летучих компонентов. Твердые фазы представлены оксидами, силикатами, карбонатами и сульфидами, а также раскристаллизованным рассолом.

К настоящему времени в результате проведенных исследований для алмаза из некоторых кимберлитовых провинций и трубок установлены присущие им особенности состава микровключений и, тем самым, реконструированы составы материнских алмазообразующих расплавов [Буланова и др. 1993; Ширяев и др. 2005; Zedgenizov et al. 2004, 2007, 2008; Israeli et al. 2001; Navon et al. 1988]. Данные результаты были получены преимущественно для алмазов кубического габитуса (кубоидов), кристаллов волокнистого строения и алмазов с облаковидными замутнениями и с оболочкой, значительно в меньшей степени для кристаллов октаэдрического габитуса. В ряде случаев установлена эволюция алмазообразующих расплавов по зонам роста кристаллов алмаза. Все эти сведения можно рассматривать как типоморфные особенности алмазов тех или иных регионов, а также конкретных трубок [Zedgenizov et al. 1998, 2007].

**Искрина А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

В этой связи необходимо расширить область изучения микровключений в природных алмазах и их химических составов. Целью данной работы является изучение расплав-флюидных включений в алмазах месторождения им. М.В. Ломоносова.

Задачей является изучение морфологии алмазов, содержащих микровключения, изучение распределения включений в кристаллах, отбор представительных кристаллов для последующего изучения методами ИК-спектроскопии, и определение химического состава включений методом рентгеноспектрального анализа. Данные о составе микровключений в алмазах Архангельской алмазоносной провинции в настоящей работе получены впервые.

Результаты исследования

С помощью бинокля было просмотрено более 300 алмазов, и отобрана коллекция, состоящая из 31 образца. В дальнейшем с помощью стереомикроскопа подробно исследована морфология кристаллов, и из них отобраны 11 алмазов (**рис. 1**), обладающих следующими характеристиками:

1. Морфология кристаллов: отобраны кубы, октаэдры и полукруглые индивиды.
2. Цвет кристаллов: для кубов предпочтительной являлась желто-зеленая окраска, но отобраны также образцы, имеющие сероватую окраску. Октаэдры в большинстве своём бесцветны.
3. Разновидность по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов 1984]: нами были отобраны кристаллы I, II и IV разновидности.

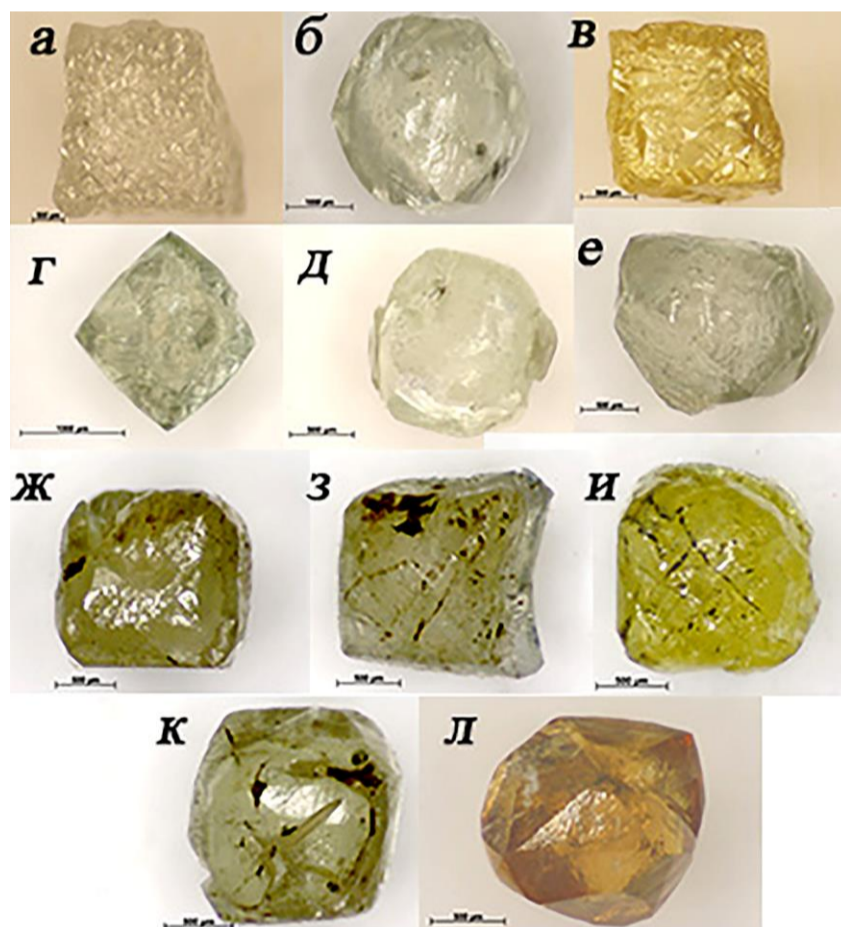


Рис. 1. Фотографии 11 образцов, отобранных для исследования в них расплав-флюидных микровключений: **а** — образец 829-6-1, трубка Юбилейная; **б** — образец К1-кратер, трубка Архангельская; **в** — образец 840-19-1, трубка Удачная; **г** — 1784-34-7, трубка Архангельская, **д** — образец 1784-33-5, трубка Архангельская; **е** — образец 1784-25-1, трубка Архангельская; **ж** — образец А207, трубка Архангельская; **з** — образец 1787-313, трубка Архангельская; **и** — образец А213, трубка Архангельская; **к** — образец А210, трубка Архангельская; **л** — образец 1784-38-3, трубка Архангельская. Масштабная линейка для образцов **а, в, д-л** имеет размер 500 мкм; для образцов **б** и **г** — 1000 мкм.

Отобранные образцы принадлежат трем разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов 1984]:

I разновидность – прозрачные и полупрозрачные октаэдры, в большинстве своём бесцветные. Некоторые образцы со сноповидной штриховкой на гранях, треугольными фигурами и пирамидами растворения и матировкой (**рис. 2**).



Рис. 2. Образец 1784-34-7, трубка Архангельская. Пример кристалла, принадлежащего к I разновидности по классификации Ю.Л. Орлова.

**Искрина А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

II разновидность — желтые полупрозрачные и непрозрачные кубы, с притупленными поверхностями, некоторые с отдельными крупными трещинами на гранях и редкими кавернами (**рис. 3**).

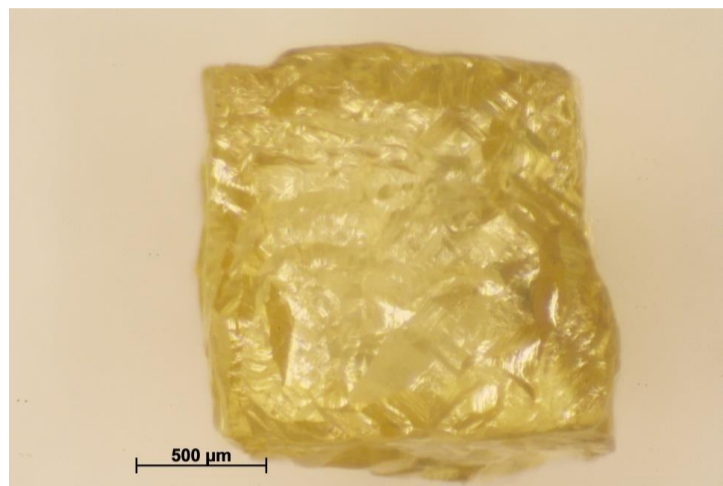


Рис. 3. Образец 840-19-1, трубка Удачная. Пример кристалла, принадлежащего ко II разновидности по классификации Ю.Л. Орлова.

IV разновидность — алмазы в «оболочке», кристаллы, имеющие волокнистое строение внешней непрозрачной зоны серо-зеленоватой окраски и бесцветное прозрачное ядро. Внешняя зона у некоторых кристаллов частично растворена (**рис. 4**).



Рис. 4. Образец 1784-33-5, трубка Архангельская. Пример кристалла, принадлежащего к IV разновидности по классификации Ю.Л. Орлова, алмаз «в оболочке».

Для дальнейшего исследования из образцов были приготовлены плоскопараллельные пластины.

Катодолюминесценция и фотолюминесценция. Методом катодолюминесценции и фотолюминесценции изучено внутреннее строение, зональность и смена секторов роста кристаллов (**рис. 5–6**). На **рис. 5** и **6** явно различимы отдельные зоны и их границы в кристаллах. Выделенные зоны напрямую соотносятся с количеством микровключений, содержащихся в данной области.

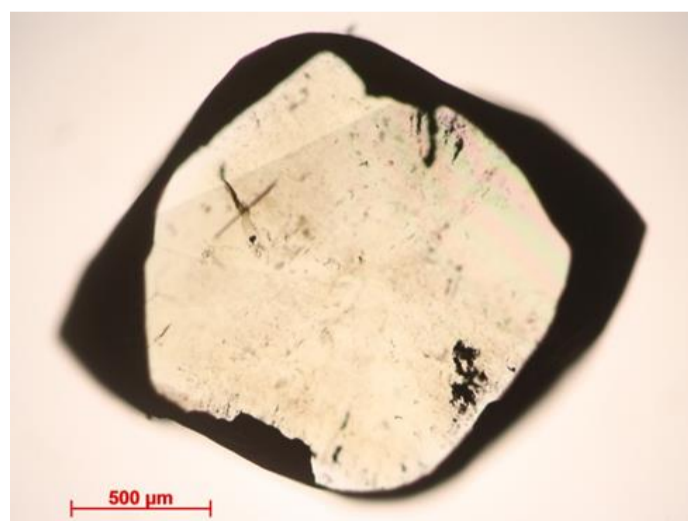
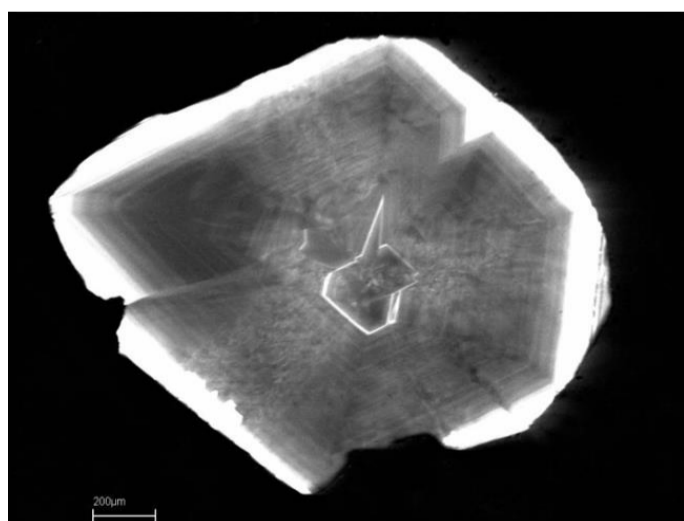


Рис. 5. Образец 1784-34-7, трубка Архангельская: фотография, полученная методом катодолюминесценции (слева) и фотография плоскопараллельной пластины алмаза (справа)

На **рис. 5** (слева) видим сложное внутреннее строение кристалла: кубические сектора роста имеют волокнистое строение и в них концентрируются микровключения; октаэдрические сектора роста сформированы, как видно, при послойном механизме роста. В центральной зоне кристалла расположено ядро более ранней генерации.

**Искрина А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

**Искрина А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

На **рис. 6**, полученном с помощью метода катодолюминесценции, мы видим волокнистое строение с зональным распределением по кубу. Зональность в кристаллах связана с постепенным нарастанием кристалла в нестабильных условиях (изменение РТ-параметров и пересыщение). Периферийная зона кристалла существенно обогащена микровключениями (обильно захватывались на последней стадии роста).

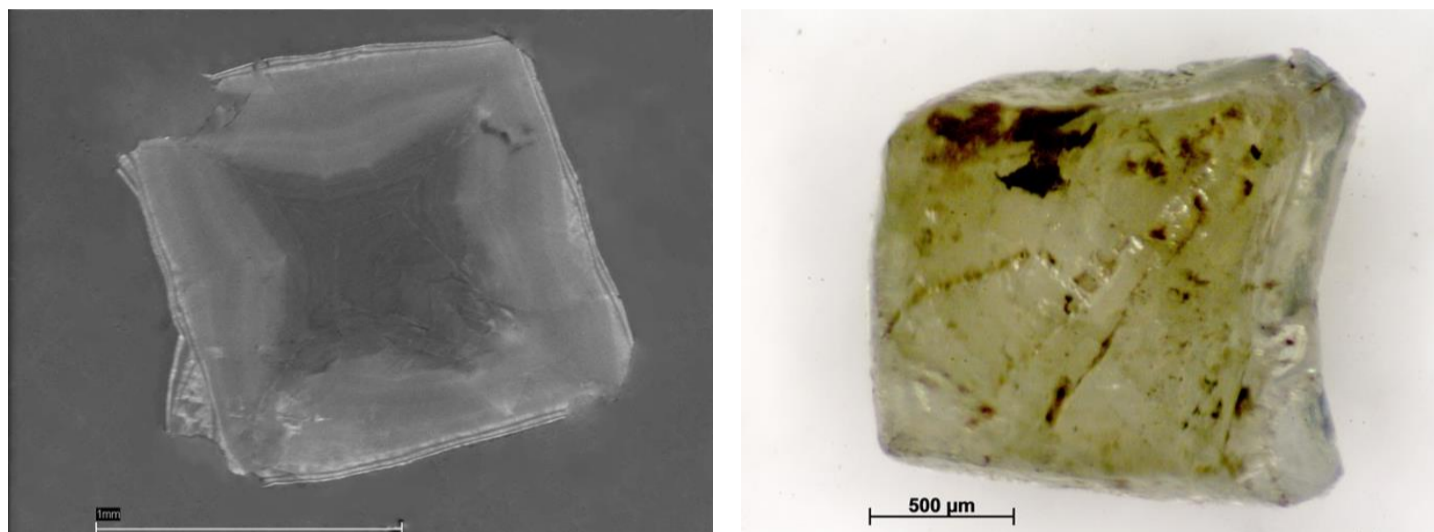


Рис. 6. Образец 1787-313, трубка Архангельская: фотография, полученная методом катодолюминесценции (слева) и фотография плоскопараллельной пластины алмаза (справа)

Съёмка фотолюминесценции кристаллов позволила выделить доминирующие азотные центры и дефекты в кристаллах алмаза.

Кристаллы с тонкой оболочкой IV разновидности для месторождения им. М.В. Ломоносова не характерны. Изученный нами кристалл (**рис. 7**) имеет частично сохранённую оболочку, основной объём кристалла сформирован при послойном механизме роста и мы видим послойную октаэдрическую зональность (**рис. 7**, слева). Ядро кристалла имеет кубические сектора роста с С-дефектом, дающим желтый цвет люминесценции. Расположение включений связано с резким изменением условий роста, вследствие чего они концентрируются в периферийной зоне.

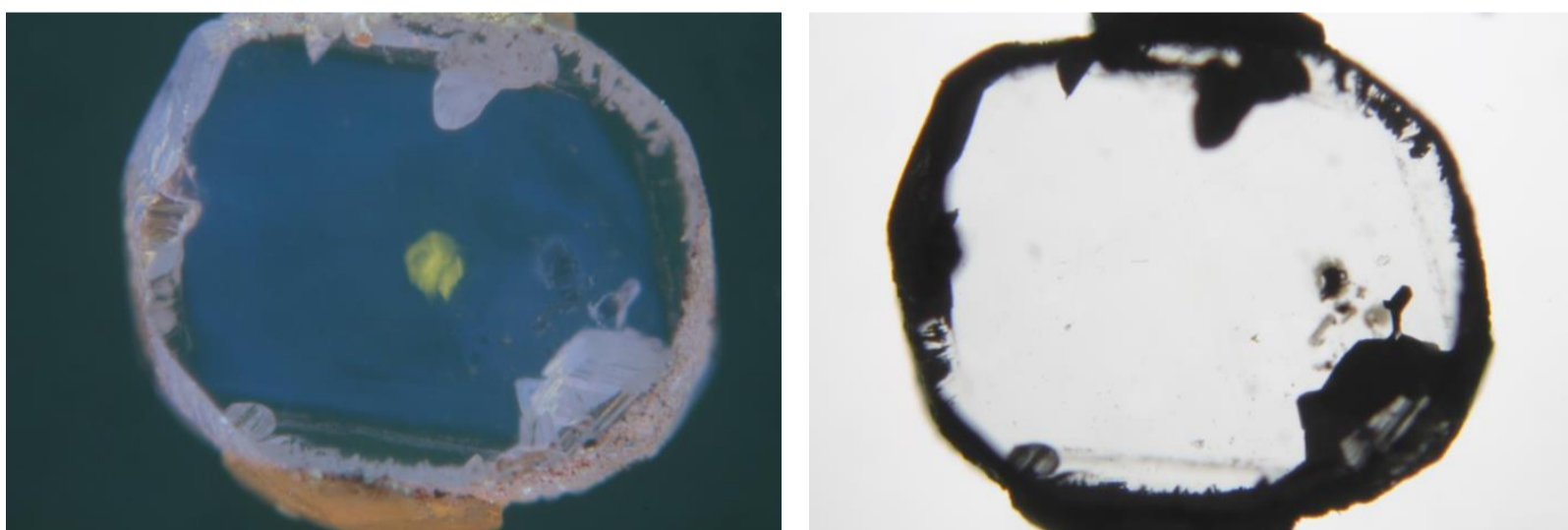


Рис. 7. Образец 1784-33-5, трубка Архангельская: фотография люминесценции кристалла (слева) и фотография плоскопараллельной пластины алмаза (справа)

ИК-спектроскопия. Метод ИК-поглощения является одним из наиболее распространенных методов исследования дефектно-примесного состава кристаллов, позволяющий характеризовать тип алмаза и оценивать содержание примесного азота и водорода. Также с помощью данного метода были выявлены составы основных фаз в микровключениях. С каждой из 11 полированных пластинок была снята серия спектров, в результате чего мы получили «профиль» по каждому кристаллу.

Согласно данным ИК-спектроскопии, изученные алмазы относятся к типу IaA, в которых преобладают примесные А-центры (пара изоморфно замещающих углерод атомов азота), но также содержатся и В₁-центры (азотные сегрегации в плоскостях октаэдра (111)). Общее содержание азота в кристаллах варьирует от 400 до 1100 ppm.

В спектрах исследуемых алмазов также отмечается линия 3107 см⁻¹, связываемая с присутствием структурной примеси водорода. Помимо полос собственного поглощения алмаза, полос поглощения водорода и полос поглощения, относя-

**Искрина А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

щихся к примесным центрам азота, наблюдаются полосы поглощения, связанные с присутствием различных фаз в микровключениях. При этом интенсивность поглощения этими фазами в полученных спектрах определяется количеством микровключений в разных алмазах и в разных зонах одного алмаза. Таким образом, ИК-спектры отражают валовый состав всех содержащихся в анализируемом объеме фаз (**рис. 8, 9**).

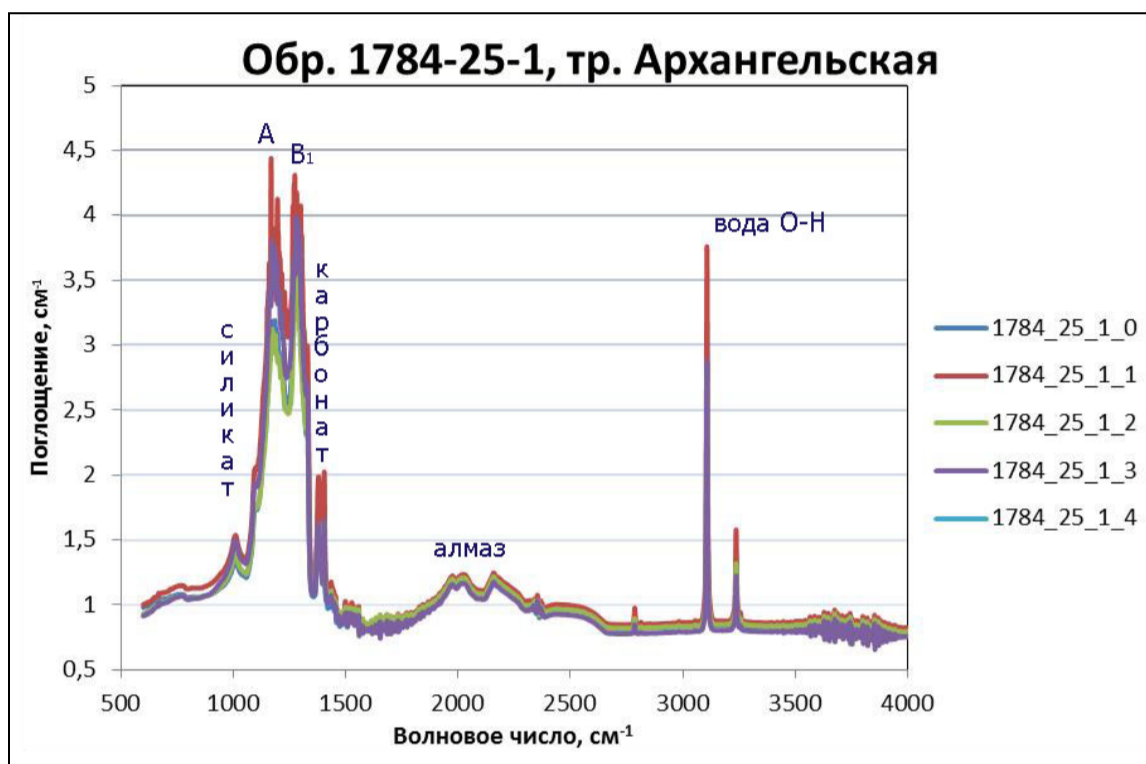
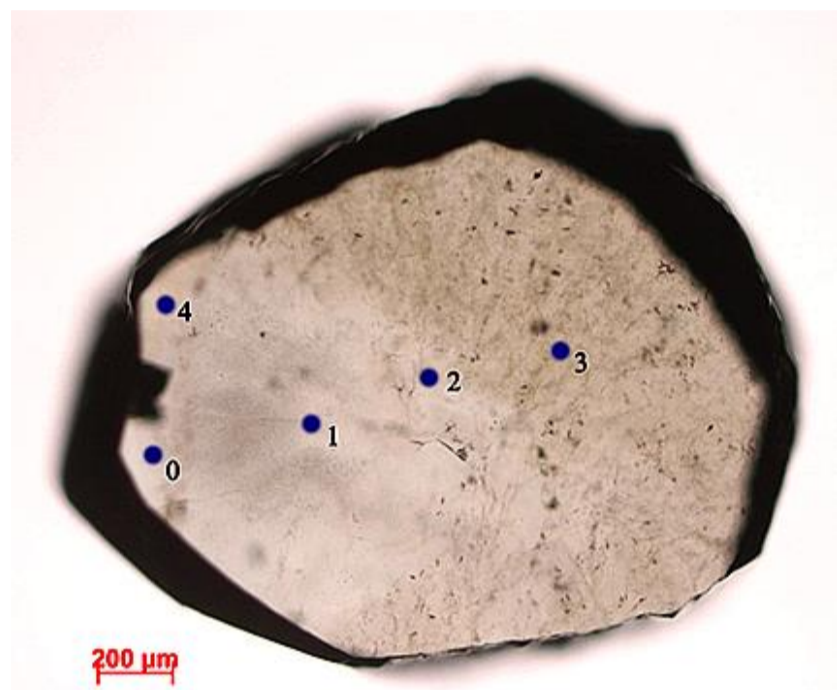


Рис. 8. Образец. 1784-25-1, трубка Архангельская с отмеченными точками съёмки ИК-спектров (слева) и совмещенный ИК-спектр по всем точкам (различаются по цвету линии) для данного кристалла (справа)

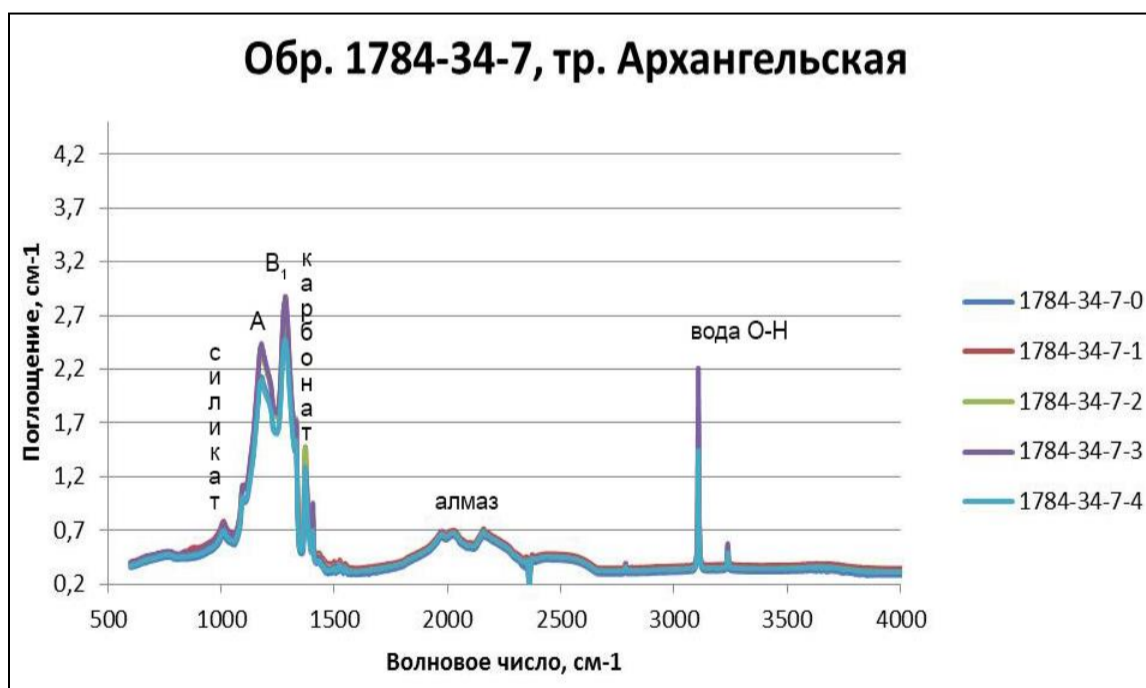
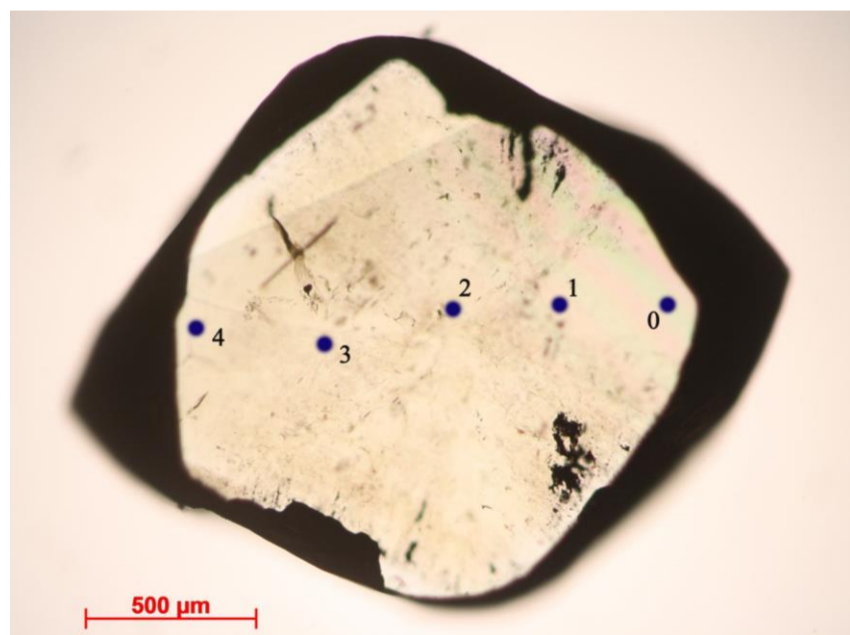


Рис. 9. Образец 1784-34-7, трубка Архангельская с отмеченными точками съёмки ИК-спектров (слева) и совмещенный ИК-спектр по всем точкам (различаются по цвету линии) для данного кристалла (справа)

Наиболее часто наблюдаются полосы поглощения, связанные с присутствием воды ($3420, 1650 \text{ см}^{-1}$), карбонатов ($1430, 880 \text{ см}^{-1}$) силикатов ($1050, 1015, 970 \text{ см}^{-1}$). Соотношение фаз может значительно изменяться в разных образцах, но в пределах одного кристалла вариации незначительны.

Рентгено-спектральный анализ. Применение энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС) осуществлялось с целью полуколичественной оценки состава микровключений. Индивидуальные микровключения, расположенные вблизи полированной поверхности (на глубине $< 0,5 \text{ мкм}$), распознавались с использованием детектора обратнорассеянных электронов (BSE). Микровключения, состав которых определялся, полностью заключены в алмазной матрице и не соединяются с поверхностью трещинами.

**Искрина А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

Для природных расплавов устанавливаются широкие вариации составов. Методом рентгено-спектрального анализа были получены средние составы микровключений в изучаемых образцах (**рис. 10**).

При нанесении составов на диаграмму видно, что точки составов располагаются вдоль грани с карбонатно-силикатными составами.

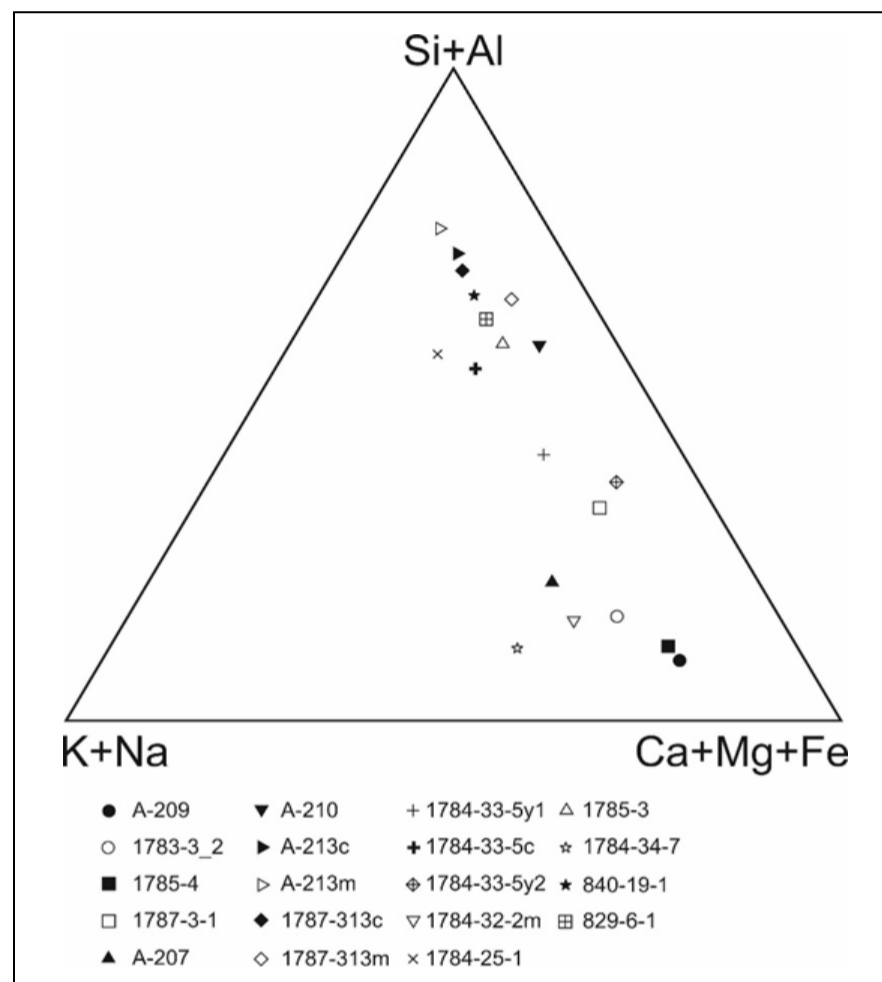


Рис. 10. Диаграмма средних составов расплав-флюидных микровключений в изученных образцах.

Существенно карбонатный тип микровключений характеризуется высоким содержанием двухвалентных катионов (Ca, Mg, Fe и др.) и относительно низким содержанием SiO₂ и Al₂O₃. Соотношение K₂O/Na₂O варьирует.

Существенно силикатный тип микровключений отличается высоким содержанием SiO₂ и Al₂O₃. Содержание K₂O преобладает над содержанием Na₂O.

Соотношение CO₂/H₂O варьирует, благодаря чему расплав-флюидные микровключения в изучаемых образцах могут быть классифицированы как карбонатно-силикатные.

Для алмазов Архангельской провинции не характерен уход в область хлоридных составов. При этом даже в случае высоких концентраций щелочей (K₂O + Na₂O), содержание хлора в расплавах остается на низком уровне, так что в составе микровключений явно присутствует щелочно-карбонатная составляющая.

Сопоставление с данными по другим кимберлитовым провинциям. В результате проведенных исследований изучена коллекция кристаллов алмаза, состоящая из образцов, относящихся к I, II и IV разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова [Орлов 1984]. Упомянутые разновидности, по литературным данным [Богуш и др. 2016; Титков и др. 2006; Зедгенизов 2011], расценивались как «содержащие микровключения и подходящие для их изучения», что и было подтверждено при непосредственной работе с отобранными алмазами.

Многие из изученных кристаллов обладают зональным распределением микровключений, что удалось выяснить с помощью метода катодolumинесценции и фотolumинесценции. Часть алмазов имеет внутреннюю зону с высокой плотностью (концентрацией) микровключений, в то время как внешняя оболочка их не содержит. Также присутствуют образцы как с прямо противоположным, так и с промежуточным распределением микровключений. Расположение микровключений в кристалле напрямую связано со структурой алмаза, то есть они находятся только в областях с волокнистым строением.

Содержание азота в изученных образцах варьирует от 400 до 1100 ppm. Большая часть кристаллов принадлежит к типу IaA, в которых преобладают примесные А-центры (пара изоморфно замещающих углерод атомов азота), но также содержатся и В₁-центры (азотные сегрегации в плоскостях октаэдра (111)). Связь между наличием и количеством микровключений в кристаллах и степенью агрегации азота в них не выявлена. Молярное соотношение H₂O и CO₂ (рассчитанное в карбонатной фазе) в микровключениях изученных кристаллов варьирует от 0,08 до 0,19.

**ИСКРИНА А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

Микровключения в изученных алмазах имеют довольно широкие вариации составов. Для кристаллов месторождения имени М.В. Ломоносова выявлен карбонатно-силикатный тип материнского расплава. В отличие от алмазов Южной Африки и Канады, для Архангельска устанавливается отсутствие хлоридов в расплавах, и это делает их похожими на алмазы Якутии, причем ближе всего Архангельским алмазам соответствуют данные по трубке Интернациональная.

При сравнении алмазов из трубки Интернациональная и алмазов Архангельской провинции можно отметить, что микровключения характерные для этих кристаллов относятся к карбонатно-силикатному типу, но хлоридная составляющая несколько выше в образцах из трубки Интернациональная. Вариации Mg# как для Архангельска, так и для трубки Интернациональная составляют от 0,02 до 0,8 [Zedgenizov et al. 2008]. Также можно отметить, что сравниваемые кристаллы характеризуются повышенным содержанием SiO₂, Al₂O₃ и K₂O для силикатных составов микровключений, а для карбонатных составов характерно повышенное содержание CaO, MgO и FeO.

Также отмечается постоянное присутствие воды, доля которой максимальна в существенно силикатных включениях. Соотношение H₂O и CO₂ различается в зависимости от зоны кристалла. Корреляция между зоной и количеством H₂O и CO₂ не установлена.

Таким образом, комбинация использованных в работе методов рентгеноспектрального и спектроскопического методов позволила нам впервые определить состав расплав/флюидных микровключений в алмазах Архангельской алмазоносной провинции и реконструировать состав материнских алмазообразующих расплавов. Полученные данные, в силу их ограниченного объема, пока следует рассматривать как предварительные. Для более убедительных выводов о химических контурах алмазообразующей среды для Архангельских алмазов требуется увеличение выборки кристаллов.

Заключение

Применение комплекса методов исследования (визуальное описание под биноклем, ИК-спектроскопия, рентгено-спектральный анализ) позволило нам установить наличие и химический состав микровключений в 11 кристаллах алмаза месторождения им. М.В. Ломоносова, отобранных из более значительной выборки (31 кристалл).

Изученные образцы принадлежат I, II, IV разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова, а некоторые кристаллы алмаза содержат концентрические зоны с разной плотностью (концентрацией) микровключений.

По данным ИК-спектроскопии для каждого образца было рассчитано содержание азотных дефектов, а также количество воды и карбонатов для микровключений. Содержание азота в изученных алмазах составляет 400—1100 ppm. В ИК-спектрах поглощения исследованных алмазов, помимо полос собственного поглощения алмаза и полос поглощения, относящихся к примесным центрам азота, наблюдаются полосы поглощения, связанные с присутствием различных фаз в микровключениях.

Наиболее часто наблюдаются полосы поглощения, связанные с присутствием воды (3420, 1650 см⁻¹), карбонатов (1430, 880 см⁻¹) силикатов (1050, 1015, 970 см⁻¹). Соотношение фаз может значительно варьировать в разных образцах и редко в пределах одного кристалла.

Методом рентгено-спектрального анализа был установлен средний состав микровключений. При нанесении составов на диаграмму видно, что точки составов располагаются вдоль грани с карбонатно-силикатными составами.

Все изученные алмазы характеризуются карбонатно-силикатными составами расплав/флюидных микровключений с очень незначительной (вплоть до полного отсутствия) концентрацией хлора. Полученные предварительные данные указывают на близость изученных алмазов кристаллам Якутии и, напротив, демонстрируют их отличие от алмазов Южной Африки и Канады. Из Якутских алмазов, данные по составам микровключений лучше всего соотносятся с результатами по трубке Интернациональная.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богуш И.Н., Специус З.В., Ковальчук О.Е., Помазанский Б.С. Распределение структурных примесей и флюидных микровключений в кристаллах кубического габитуса и алмазах в «оболочке» из трубки Удачная (Якутия) // Геохимия. 2016. № 8. С. 708—717.
2. Буланова Г.П., Барашков Ю.П., Тальникова С.Б., Смелова Г.Б. Природный алмаз — генетические аспекты. Новосибирск: Наука, 1993. 168 с.
3. Зедгенизов Д.А. Состав и эволюция среды кристаллизации волокнистых алмазов литосферной мантии Сибирской платформы. Автореф. дисс. ... д. г.-м. н. Новосибирск, 2011. 32 с.
4. Титков С.В., Горшков А.И., Зудин Н.Г., Рябчиков И.Д., Магазина Л.О., Сивцов А.В. Микровключения в

**ИСКРИНА А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

темно-серых кристаллах алмаза октаэдрического габитуса из кимберлитов Якутии // Геохимия, 2006. № 11. С. 1209–1217.

5. Ширяев А.А., Израэли Е.С., Хаури Э.Г., Захарченко О.Д., Навон О. Химические, оптические и изотопные особенности волокнистых алмазов из Бразилии // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 12. С. 1207–1222.
6. Izraeli E.S., Harris J.W., Navon O. "Brine Inclusions in Diamonds: A New Upper Mantle Fluid." *Earth Planet. Sci. Lett.* 187.3–4 (2001): 323–332.
7. Navon O., Hutcheon I.D., Rossman G.R., Wasserburg G.J. "Mantle-derived Fluids in Diamond Micro-inclusions." *Nature* 335 (1988): 784–789.
8. Zedgenizov D.A., Araujo D., Ragozin A.L., Shatsky V.S., Kagi H., Griffin W.L. Carbonatitic to Hydrous-silicic Growth Medium of Diamonds from Internatsionalnaya Kimberlite Pipe (Yakutia). *Ext. Abst. 9th Intern. Kimb. Conf. (Johann Wolfgang Goethe-University, Frankfurt, Germany 10–15 Aug. 2008)*. Moscow, 2008.
9. Zedgenizov D.A., Fedorova E.N., Shatsky V.S. Microdiamonds from the Udachnaya Kimberlite Pipe." *Russian Geology and Geophysics* 39.6 (1998): 756–764.
10. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Sobolev N.V. "Carbonatitic Melts in Cuboid Diamonds from Udachnaya Kimberlite Pipe (Yakutia): Evidence from Vibrational Spectroscopy." *Miner. Mag.* 68.1 (2004): 61–73.
11. Zedgenizov D.A., Rege S., Griffin W.L., Kagi H., Shatsky V.S. "Composition of Trapped Fluids in Cuboid Fibrous Diamonds from the Udachnaya Kimberlite: LAM-ICPMS Analysis." *Chem. Geol.* 240 (2007): 151–162.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11–2011:

Искрина, А. В. Расплав-флюидные микровключения в алмазах месторождения им. М.В. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция) [Электронный ресурс] / А.В. Искрина // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. — 2017. — Т. 15. — Вып. 1: Studia studiosorum: успехи молодых исследователей. — Стационарный сетевой адрес: 2227-9490e-aprovr_e-ast15-1.2017.11.

MELT/FLUID INCLUSIONS IN DIAMONDS FROM THE LOMONOSOV DEPOSIT (ARKHANGELSK KIMBERLITE PROVINCE)

Anastasiia V. Iskrina, 4th year student at Geological Department of Lomonosov Moscow State University

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-1579-9663>

E-mail: anastasiia-v-iskrina@j-spacetime.com; archi3@yandex.ru

Melt/fluid inclusions in diamonds provide material of parental mantle fluids or melts of diamond crystallization. It is necessary to expand the area of study of microinclusions in natural diamonds and their chemical compositions. The aim of this work is to study the melt/fluid inclusions in diamonds from Arkhangelsk kimberlite province (Lomonosov deposit). My work included the study of morphology of diamonds containing microinclusions, distribution of inclusions in the crystals. After preliminary examination, I selected representative crystals for further study by IR-spectroscopy and X-ray spectral analysis.

After detailed examination under binocular, I selected 11 diamond crystals from a representative collection (31 crystals) selected samples belong to three types, according to the classification by Yu.I. Orlov: 1st, 2nd and 4th types. Polished slices were prepared from these crystals. I selected the areas enriched in microinclusions and studied them by cathodoluminescence and photoluminescence.

Application of IR-spectroscopy allowed me to calculate the content of nitrogen defects, as well as the amount of water and carbonates in microinclusions. The nitrogen content in the studied diamonds ranges from 400 ppm until 1100 ppm. IR spectra of microinclusions in diamonds show the presence of water (3420, 1650 cm^{-1}), carbonates (1430, 880 cm^{-1}), and silicates (1050, 1015, 970 cm^{-1}). The proportion of the phases varies considerably in different samples and almost constant within the

**ИСКРИНА А.В. РАСПЛАВ-ФЛЮИДНЫЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА
(АРХАНГЕЛЬСКАЯ АЛМАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ)**

same crystal. The molar proportion of H₂O and CO₂ (calculated from the carbonate phase) varies in microinclusions from 0.08 to 0.19 (H₂O/(H₂O+CO₂)).

X-ray spectral analyses allowed me to study the composition of fluid/melt microinclusions and showed that they were carbonate-silicate with significant variations between these two components. It is important that microinclusions in diamonds studied did not contain chloride components even in the case of high concentrations of alkalis (K₂O + Na₂O), so that most of inclusions contained alkaline carbonate end-member. Comparison of the data obtained allowed me to conclude that the composition of microinclusions in diamonds from the Arkhangelsk province is the most similar to that in diamonds from the Internatsional'naya pipe (Yakutia).

Keywords: diamond; Arkhangelsk kimberlite province; melt/fluid microinclusions; X-ray spectral analysis; IR spectroscopy.

References:

1. Bogush I.N., Specuchus Z.V., Kovalchuk O.E., Pomazansky B.S. "Distribution of Structural Impurities and Fluid Microinclusions in Crystals of Cubic Habit and Diamonds in a 'Shell' from Udachnaya Pipe (Yakutia)." *Geochemistry* 8 (2016): 708 – 717. (In Russian).
2. Bulanova G.P., Barashkov Yu.P., Talnikova S.B., Smelova G.B. *Natural Diamond: Genetic Aspects*. Novosibirsk: Nauka Publisher, 1993. 168 p. (In Russian).
3. Izraeli E.S., Harris J.W., Navon O. "Brine Inclusions in Diamonds: A New Upper Mantle Fluid." *Earth Planet. Sci. Lett.* 187.3–4 (2001): 323 – 332.
4. Navon O., Hutcheon I.D., Rossman G.R., Wasserburg G.J. "Mantle-derived Fluids in Diamond Micro-inclusions." *Nature* 335 (1988): 784 – 789.
5. Titkov S.V., Gorshkov A.I., Zudin N.G., Ryabchikov I.D., Magazin L.O., Sivtsov A.V. "Microinclusions in Dark Gray Crystals of Diamond Octahedral Habit from Kimberlites of Yakutia." *Geochemistry* 11 (2006): 1209 – 1217. (In Russian).
6. Shiryaev AA, Izraeli Ye.S., Khauri EG, Zakharchenko OD, Navon O. "Chemical, Optical and Isotope Characteristics of Fibrous Diamonds from Brazil." *Geology and Geophysics* 46.12 (2005): 1207 – 1222. (In Russian).
7. Zedgenizov D.A. *Composition and Evolution of the Crystallization Medium of Fibrous Diamonds from Lithospheric Mantle of the Siberian Platform*. Synopsis of Doctoral diss. Novosibirsk, 2011. 32 p. (In Russian).
8. Zedgenizov D.A., Araujo D., Ragozin A.L., Shatsky V.S., Kagi H., Griffin W.L. Carbonatitic to Hydrous-silicic Growth Medium of Diamonds from Internatsionalnaya Kimberlite Pipe (Yakutia). *Ext. Abst. 9th Intern. Kimb. Conf. (Johann Wolfgang Goethe-University, Frankfurt, Germany 10–15 Aug. 2008)*. Moscow, 2008.
9. Zedgenizov D.A., Fedorova E.N., Shatsky V.S. Microdiamonds from the Udachnaya Kimberlite Pipe." *Russian Geology and Geophysics* 39.6 (1998): 756 – 764.
10. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Sobolev N.V. "Carbonatitic Melts in Cuboid Diamonds from Udachnaya Kimberlite Pipe (Yakutia): Evidence from Vibrational Spectroscopy." *Miner. Mag.* 68.1 (2004): 61 – 73.
11. Zedgenizov D.A., Rege S., Griffin W.L., Kagi H., Shatsky V.S. "Composition of Trapped Fluids in Cuboid Fibrous Diamonds from the Udachnaya Kimberlite: LAM-ICPMS Analysis." *Chem. Geol.* 240 (2007): 151 – 162.

Cite MLA 7:

Iskrina, A. V. "Melt/Fluid Inclusions in Diamonds from the Lomonosov Deposit (Arkhangelsk Kimberlite Province)." *Electronic Scientific Edition Almanac Space and Time* 15.1 (Studia Studiosorum: Achievements of Young Researchers) (2017). Web. <2227-9490e-aprov_r_e-ast15-1.2017.11>. (In Russian).