

УДК 553+550.4

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА АЛМАЗОНОСНЫХ ЗЮВИТОВ КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЫ (ПАЙ-ХОЙ)

Т. Г. Шумилова<sup>1,2,\*</sup>, Н. С. Ковальчук<sup>1</sup>, Б. А. Макеев<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН А.М. Асхабовым 09.03.2017 г.

Поступило 27.03.2017 г.

Впервые приводятся результаты геохимических исследований алмазоносных зювитов Карской астроблемы (Пай-Хой) с применением нового подхода, основанного на использовании площадных микронзондовых анализов матрикса и обособлений конденсированных импактных расплавов с последующей обработкой данных методами многомерной статистики. Выделены три разновидности зювитов, существенно различающиеся по геоморфологическим, минералого-петрографическим и геохимическим критериям. На основе комплексного анализа данных предложены преимущественные протолиты исходных пород мишени для выделенных типов зювитов.

*Ключевые слова:* зювиты Карской астроблемы, площадные микронзондовые анализы, протолиты.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524862233-236>

Большие астроблемы вызывают интерес с точки зрения возможной алмазоносности, в том числе в крупных и гигантских масштабах. Три крупнейшие астроблемы в России — Попигайская (100 км в диаметре), Пучеж-Катунская (80 км) и Карская (65 км), являются в разной степени алмазоносными [1]. Как правило, образование алмаза при импактном процессе связывают с твердофазной трансформацией графита в алмаз в результате так называемого мартенситного (бездиффузионного) структурного превращения под воздействием ультравысоких ударных давлений. В то же время Карская астроблема характеризуется уникальным типом алмазов, образовавшихся не по графиту, а по слабо упорядоченному углеродистому веществу углистого типа, находящемуся в рассеянном виде в чёрных сланцах и в виде прослоев углей в осадочных породах мишени [2, 3].

Данный объект интенсивно изучался в 1970–1980-е годы производственниками и сотрудниками ВСЕГЕИ [2, 4]. В более поздние годы исследования геологических особенностей астроблемы и отдельных вопросов вещественного состава импакти-

тов периодически возобновлялись [5, 6]. Ранее среди импактитов Карской астроблемы выделялись разновидности по количеству импактного стекла (тагамиты и зювиты) и по размеру обломочного материала (лапшилиево-агломератовые брекчии, глыбово-агломератовые и глыбовые зювиты) [4]. Также ранее отмечалось, что петрографический состав зювитов сильно различается на отдельных участках и даже в пределах одного и того же обнажения. При этом до настоящего времени не было произведено чёткого петрографического описания и выделения разновидностей карских зювитов. Многие аспекты, в частности минералого-петрографическая и геохимическая спецификация разновидностей импактитов, а также изучение импактных углеродных веществ остались на уровне работ двадцати-тридцатилетней давности.

Нами на основании полевых наблюдений и последующих детальных исследований каменного материала, отобранного в ходе полевых работ 2015 года, впервые выделены по меньшей мере три разновидности алмазоносных зювитов [3, 7], существенно различающиеся по геоморфологическим, минералого-петрографическим и геохимическим критериям.

Выделение разновидностей было проведено в три этапа. Сначала в полевых условиях оценивались геоморфологическая специфика зювитов, их взаимо-

<sup>1</sup>Институт геологии им. Н.П. Юшкина

Коми научного центра

Уральского отделения Российской Академии наук,  
Сыктывкар

<sup>2</sup>Hawaii Institute of Geophysic and Planetology,  
University of Hawaii, USA

\*E-mail: [shumilova@geo.komisc.ru](mailto:shumilova@geo.komisc.ru), [tg\\_shumilova@mail.ru](mailto:tg_shumilova@mail.ru)

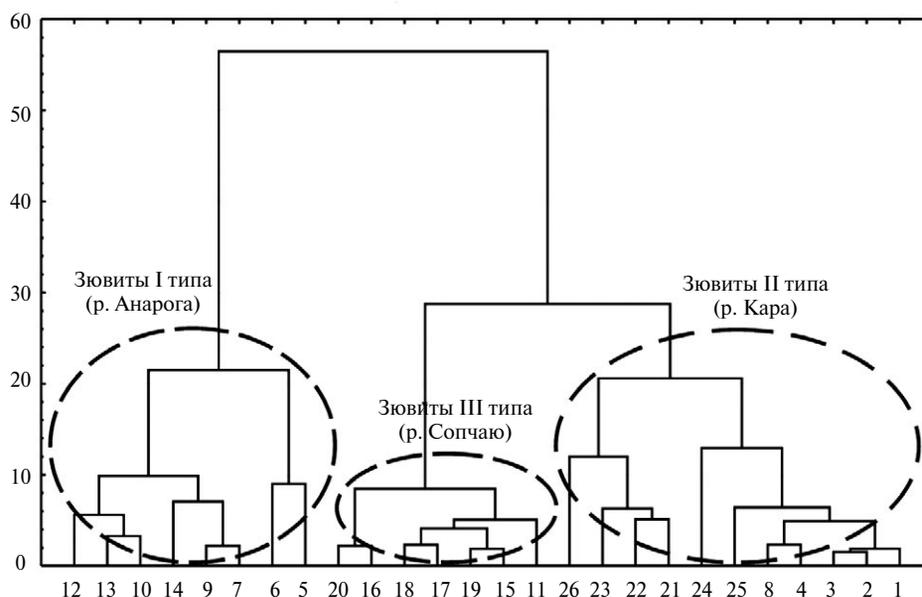
отношения с вмещающими породами мишени импактного события, структурно-текстурные особенности, минералого-петрографический состав обломочной части и матрикса зювитов. На основании полевых наблюдений среди исследованных зювитов нами были предварительно выделены три разновидности [7], которые существенно разделены в пространстве, различаются по характеру выветривания, образуют в обнажениях стенки с разным углом наклона (от субвертикальных обрывов до существенно пологих склонов), имеют разную окраску матрикса зювита и породы в целом, различную литологическую специфику брекчиевых обломков, отличаются характером и величиной пористости. Далее проводились петрографические наблюдения, позволившие подтвердить имеющиеся различия обломочной части и матрикса между выделенными разновидностями на качественном уровне.

На третьем этапе применялся разработанный нами новый подход к изучению геохимических особенностей импактных пород с существенной долей несортированного обломочного материала (зювитов) на основе анализа элементного состава цементирующей массы (литовитрокластического матрикса зювита) и состава обособленных микротел конденсированных импактных расплавов (КИР), представленных импактными стёклами и раскристаллизованными импактными расплавами.

Элементный анализ матрикса и импактных стёкол производился с помощью площадных микронзондовых исследований путём выделения соразмерных площадей основной тонкодисперсной матрицы зювитов и относительно обособленных монолитных участков КИР с накоплением данных по выделенным участкам и последующей статистической обработкой полученных результатов микронзондового анализа методами многомерной статистики, в частности факторным и иерархическим кластерным анализами.

Математическая обработка геохимических данных на основе исследований матрикса зювитов позволила разделить зювиты (рис. 1) по геохимическому критерию на те же три типа, выделенные предварительно на первой стадии. При этом нами установлено, что применение аналогичной математической обработки силикатных анализов валовых составов зювитов соответствующих типов не выявляет никакой закономерности ввиду большого вклада разнородной относительно крупнообломочной компоненты в геохимический фон пород. Таким образом, предложенный нами новый подход имеет существенное преимущество по сравнению с традиционным использованием данных силикатного анализа валовых составов пород с большой долей обломочного несортированного материала.

Исследование геохимической специфики позволило установить широкий спектр составов импакт-



**Рис. 1.** Дендрограмма кластерного анализа выделенных типов зювитов Карской астроблемы по данным площадных микронзондовых анализов матрикса зювитов. По оси абсцисс указаны номера, соответствующие номерам анализов, по оси ординат — критические расстояния, по которым выделялись кластеры (метод объединения кластеров — метод Варда, способ определения близости между объектами — “Сити-блок” (Манхэттенское) расстояние).

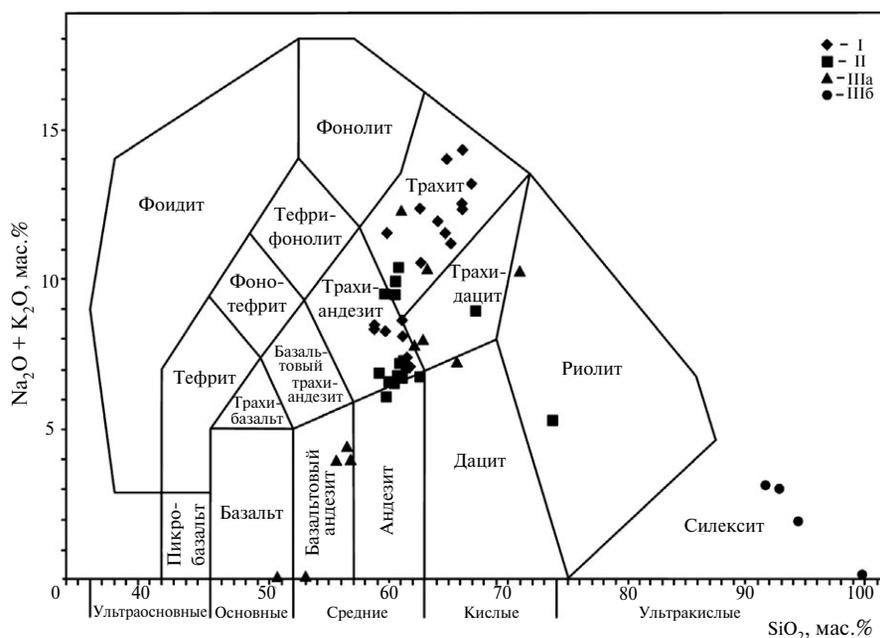
ных стёкол и раскристаллизованных расплавов, охватывающих обширное поле от основного до ультракислого состава и широкий диапазон содержаний щелочной компоненты (рис. 2). Статистические данные указывают на отсутствие значимых положительных корреляций главного стеклообразующего компонента  $\text{SiO}_2$  от каких-либо других компонентов. Наиболее широкие вариации были зафиксированы для катионной части — щелочей и щёлочно-земельных компонентов, а также  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , находящегося в сильной корреляционной связи с  $\text{MgO}$ ; последнее хорошо согласуется с выделением из стекловатой силикатной части высокотемпературных кристаллитов пироксена. В целом геохимическая специфика исследованных КИР указывает на гетерогенный характер пород подложки, затронутых процессами импактного плавления, определяемый сложностью литологического переслаивания осадочных пород, и на отсутствие признаков смешивания расплавов при формировании зювитов.

Полученные данные о главных геохимических компонентах импактных стёкол и раскристаллизованных импактных расплавов Карской астроблемы указывают на их существенное отличие от составов пород вулканического происхождения, что определяется перекрытием с большей частью полей вулканических пород на TAS-диаграмме [8], а также значительным покрытием “пустой зоны” (“запрещённой зоны”) на треугольной диаграмме анортит-аль-

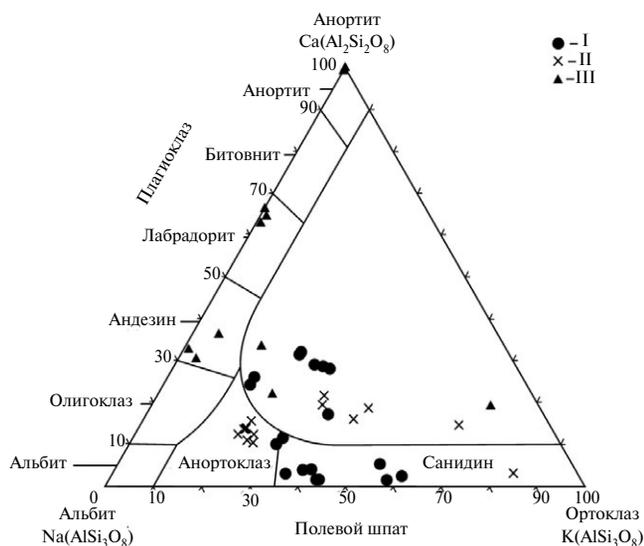
бит-ортоклаз (рис. 3). Выявленная геохимическая специфика конденсированных импактных расплавов в дополнение ко всем имеющимся признакам указывает на импактную природу формирования Карской структуры.

Таким образом, в ходе проведённых нами исследований предложен новый подход к изучению импактитов, позволяющий произвести геохимическую типизацию зювитов с использованием площадных микрозондовых анализов. Кроме номинального разделения пород на типы по геохимической специфике матрикса и КИР зювитов данный подход в совокупности с геологическими и структурно-текстурными особенностями зювитов позволил оценить специфику преимущественного прототипа исходной породы подложки для импактного расплава конкретного типа зювита. Проведённые исследования указывают на то, что зювиты I типа образовались преимущественно по существенно алюмосиликатным породам (по полимиктовым песчаникам и алевролитам), зювиты II типа — преимущественно по породам с существенной долей карбонатной составляющей (по глинистым известнякам), протолит зювитов III типа был существенно обогащён углеродистым веществом (чёрные сланцы и угли).

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность В.Л. Масайтису, М.С. Машаку и Ю.А. Ткачеву за научные консультации.



**Рис. 2.** Составы импактных конденсированных расплавов Карской астроблемы в сравнении с составами вулканических пород на TAS-диаграмме (Total Alkalies-Silica diagram) по Миддлмест (Middlemost) [8]. Условные обозначения: I–IIIa — алюмосиликатные импактные конденсированные расплавы, IIIb — стёкла  $\text{SiO}_2$  состава; I — в зювитах I типа (р. Анарога); II — в зювитах II типа (р. Кара); IIIa, IIIb — в зювитах III типа (р. Сопчаю).



**Рис. 3.** Составы алюмосиликатных импактных конденсированных расплавов на диаграмме анортит-альбит-ортоклаз [9]. Условные обозначения: I — в зювитах I типа (р. Анарога); II — в зювитах II типа (р. Кара); III — в зювитах III типа (р. Сопчаю).

**Источник финансирования.** Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы УрО РАН № 15–18–5–43.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масайтис В.Л., Мащак М.С., Райхлин А.И., Селивановская Т.В., Шафрановский Г.И. Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 179 с.

## GEOCHEMICAL FEATURES OF DIAMOND-BEARING SUEVITES OF THE KARA ASTROBLEME (PAY-KHOY)

T. G. Shumilova<sup>1,2</sup>, N. S. Kovalchuk<sup>1</sup>, B. A. Makeev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>N.P. Yushkin Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation

<sup>2</sup>Hawaii Institute of Geophysics and Planetology, University of Hawaii, USA

Presented by Academician of the RAS A.M. Askhabov March 09, 2017

Received March 27, 2017

Results of geochemical studies of suevites of the Kara astrobleme (Pay-Khoy) produced by a new approach based on square microprobe analysis of suevite matrix and consolidated impact melts with multivariate statistics have been described for the first time. At list three suevite varieties have been divided which are essentially differ by geomorphological, mineralogical, petrological and geochemical criteria. The protoliths of the initial rocks of the target for the suevite varieties have been supposed on the basis of a complex analysis.

**Keywords:** suevites of the Kara astrobleme, square microprobe analysis of suevite matrix, protoliths.

2. Езерский В.А. Гипербарические полиформы, возникшие при ударном преобразовании углей // Зап. ВМО. 1986. Ч. 115. В. 1. С. 26–33.
3. Shumilova T.G., Isaenko S.I., Makeev B.A., Ulyashev V.V. Aftercoal Diamonds: Enigmatic Type of Impact Diamonds // European J. Mineralogy. 2018. V. 30. № 1. P. 61–76.
4. Импактные кратеры на рубеже мезозоя и кайнозоя. Сб. ст. / Под ред. В.Л. Масайтис. Л.: Наука, 1990. 191 с.
5. Юшкин Н., Лысюк А. Сценарий и основные параметры Карского импактного события // Вест. ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2001. № 8. С. 14–17.
6. Шишкин М.А., Шкарубо С.И., Молчанова Е.В., Маркина Н.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1 : 1 000 000. Третье поколение. Сер. Южно-Карская. Лист R-41 — Амдерма. Объясн. зап. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 383 с.
7. Шумилова Т.Г., Исаенко С.И., Ковальчук Н.С., Уляшев В.В., Makeev Б.А. Разновидности импактитов, апоугольных алмазов и сопутствующих углеродных фаз Карской астроблемы. В сб.: Материалы минер. семинара с междунар. участием: Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2016). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. С. 270–271.
8. Middlemost E.A.K. Naming Materials in the Magmatic Rock System // Earth Sci. Rev. 1994. V. 37. P. 215–224.
9. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Rock-Forming Minerals. V. 4a. Framework Silicates — Feldspars. 2nd ed. L.: The Geol. Soc., 2001. 972 p.