DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10040

УДК 549.3 [470.5)
© В.Г.Кориневский, Е.В.Кориневский, 2019

# Металлические микросферулы в трахибазальтах Южного Урала

В.Г.КОРИНЕВСКИЙ, Е.В.КОРИНЕВСКИЙ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт минералогии Уральского отделения Российской академии наук (Институт минералогии УрО РАН); 456317, Челябинская область, г. Миасс, территория Ильменский Заповедник)

В среднедевонских паргасит-авгитовых трахибазальтах субвулканической фации в Сакмарской зоне Южного Урала впервые обнаружены железистые микросферулы. Их основной объём сложен сплавом состава Si-Ti-Fe-Mn-Ca-Al-Mg с примесью K, Zn. В этой матрице располагаются мелкие сферы самородного железа с незначительной примесью Mn, Ti, Ca, Si. Микросферулы из трахибазальтов аналогичны по строению и составу подобным образованиям из разнообразных магматических пород и из эксплозивно-гидротермальных пород.
*Ключевые слова*: трахибазальты, железистые микросферулы, самородное железо, Сакмарская зона, Южный Урал.

Кориневский Виктор Григорьевич
доктор геолого-минералогических наук
vgkor@mineralogy.ru

Кориневский Евгений Викторович
кандидат геолого-минералогических наук
ujoe@yandex.ru

# Metallic microspherules in trachybasalts of South Urals

V.G.KORINEVSKY, E.V.KORINEVSKY (Federal State Budget Institution of Science Institute of Mineralogy of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences (Institute of Mineralogy UB RAS))

Ferruginous microspherules were found for the first time in Middle Devonian pargasite-augite subvolcanic facies trachybasalts in Sakmarskaya zone of the South Urals. They are mainly composed of Si-Ti-Fe-Mn-Ca-Al-Mg alloy with K and Zn admixture. Small native iron spheres with minor Mn, Ti, Ca and Si admixture are located in this matrix. Microspherules from trachybasalts are structurally and compositionally similar to those from various magmatic and explosive-hydrothermal rocks.
*Key words*: trachybasalts, ferruginous microspherules, native iron, Sakmarskaya zone, South Urals.

Сведения о находках мелких твёрдых округлых металлических частичек (микросфер, сферул, шариков) в магматических горных породах России довольно многочисленны. Они описаны в траппах Сибири [16, 19], в ультрабазитах [9, 10], в продуктах гидротермального изменения вулканитов [2, 15, 17, 21], в эксплозивных фациях среди осадочных алмазоносных пород [22], в гранитоидах [4, 13, 14, 24], игнимбритах [3] и кимберлитах [23]. Многие выделения самородных металлов и их твёрдых растворов в разнообразных гидротермальных и магматических породах имеют сферическую форму [8, 12].

Мелкие сферы железа наблюдались и в составе лунного грунта [1, 11]. Наибольшее число находок металлических сферул в продуктах современной и «недавнего» прошлого вулканической деятельности сейчас зафиксировано в районах Тихоокеанского побережья России [2, 3, 12, 15, 17, 20, 21]. Сообщение авторов данной статьи посвящено породам Урала, в которых прежде металлические сферулы не находили. Это среднедевонские трахибазальты субвулканической фации.

**Геологическая ситуация.** В составе тел субвулканической фации среднедевонского чанчарского вулканогенного комплекса казахстанской части Сакмарской зоны Южного Урала часто встречаются порфировые трахиандезиты и трахибазальты [7]. Помимо вкрапленников клинопироксена, биотита и плагиоклаза, они иногда содержат выделения роговых обманок, которые в трахибазальтах являются паргаситами.

Несколько субвулканических тел паргаситсодержащих трахибазальтов выявлены авторами на правобережье р. Жаксы-Каргала в Ленинском районе Актюбинской области Казахстана вдоль шоссе Актюбинск – Орск в 3,5 км северо-восточнее моста через эту реку (рис. 1). Самое крупное из них размером в поперечнике 80×170 м слагает изолированную сопку с обрывистыми

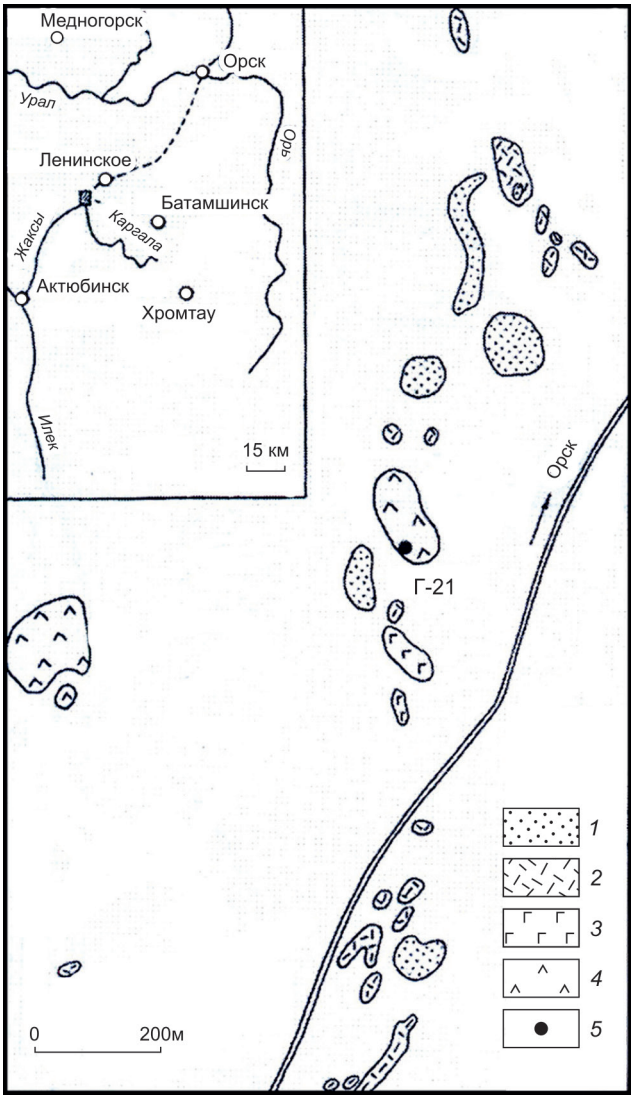



**Рис. 1. Выходы тел субвулканической фации чанчарского комплекса среднего девона на правобережье р. Жаксы-Каргала (Сакмарская зона Урала, Актюбинская область Казахстана) [7]:**

*1* – биотитовые трахиты; *2* – трахиандезиты; трахибазальты: *3* – авгитовые, *4* – паргасит-авгитовые трахибазальты; *5* – место отбора пробы Г-21

привершинными уступами. Координаты обнажения: 50°41′0,43″ с.ш., 57°48′24,4″ в.д. Химический состав паргаситсодержащей породы определён в Институте минералогии УрО РАН (в мас.%): $SiO_2$ – 51,39, $TiO_2$ – 0,70, $AL_2O_3$ – 16,66, $Fe_2O_3$ – 3,95, FeO – 4,54, MnO – 0,16, MgO – 4,55, CaO – 6,10, $Na_2O$ – 4,76, $K_2O$ – 1,66, $P_2O_5$ – 0,27, $CO_2$ – 0,12, $H_2O^-$ – 1,18, $H_2O^+$ – 4,20, Σ – 100,24. По принятым критериям [6], эта порода попадает в поле состава трахибазальтов. Её плотность составляет 2,66 г/см$^3$, а средние содержания (по 4 определениям): Rb – 32 и Sr – 426 г/т.

Трахибазальты имеют массивную текстуру и отчётливую порфировидную структуру (рис. 2, А). Вкрапленники занимают около 35% объёма породы. Резко преобладают (25%) таблитчатые выделения плагиоклаза, достигающие в поперечнике 4 – 6 мм. По ним развиваются мелкие чешуйки серицита. Большая часть зёрен представлена альбитом, меньшая – олигоклаз-андезином. Светло-зелёные, без заметного плеохроизма, короткостолбчатые фенокристаллы авгита чаще всего в поперечнике составляют 0,4×0,6 мм, иногда вырастая до 0,8×2,0 мм. Авгитом сложено около 5% объёма породы. Кроме порфировых выделений в основной массе породы, клинопироксен и плагиоклаз содержатся в виде включений в фенокристаллах паргасита. Макроскопически чёрные призматические кристаллы последнего встречаются в породе относительно редко. Их размеры в поперечнике изменяются от 1×1,7 мм до 10×30–50 мм. Местами они образуют шлирообразные скопления крупных кристаллов с оплавленными гранями и занимают до 3% объёма породы.

Основная масса породы раскристаллизована и сложена преимущественно разноориентированными лейстами полевых шпатов размерами в поперечнике от 0,15×1 мм до 0,4×0,6 мм. Боковые грани лейст имеют зазубренные очертания, и структура мезостазиса местами напоминает бостонитовую. Среди полевых шпатов основной массы породы две трети объёма принадлежит зёрнам альбита, частично замещённого чешуйками серицита. Примерно одна треть количества полевых шпатов представлена мелкими таблитчатыми кристаллами пелитизированного калишпата, между которыми изредка встречаются скопления бесцветных радиально-лучистых призмочек цеолита. 3% объёма породы занимают мелкие (0,01–0,3 мм) зёрнышки титанистого магнетита, мелкой сыпью распределённые по породе. Содержание $TiO_2$ в этом магнетите достигает 9,5%. Магнетитовые зёрнышки в виде включений присутствуют во всех минералах основной массы, а в крупных вкрапленниках их нет. Примерно 3 – 5% основной массы породы образуют мелкие (до 1 мм) кристаллики авгита. Скопления неправильной формы в породе слагает светло-зелёный хлорит (3%), весьма редко – кальцит, сульфиды меди, чешуйки бурого биотита.

Магнитные микросферулы обнаружены лишь в одном субвулканическом теле паргасит-авгитовых трахибазальтов (см. рис. 1, обнажение Г-21).

**Методы исследования.** Образцы трахибазальтов, отобранные В.Г.Кориневским, после их дробления были отмыты в воде. Полученный остаток просматривался под бинолупой. Отбор металлических микросфер производился вручную с помощью магнита. Морфология

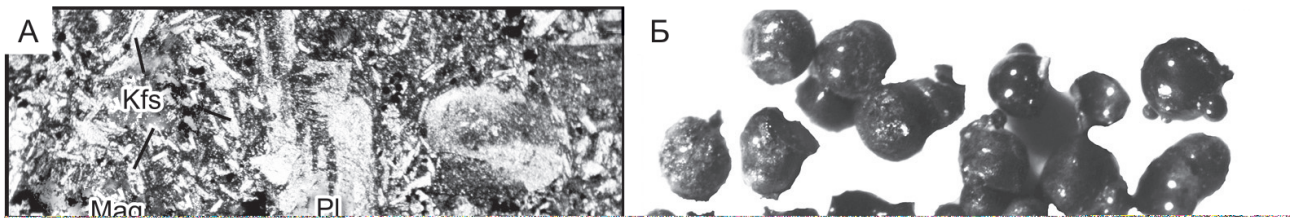



**Рис. 2. Порфировидный паргасит-авгитовый трахибазальт (шлиф Г-21) субвулканической фации (А) и содержащиеся в нём железистые микросферулы (Б):**

Aug – авгит; Pl – плагиоклаз; Kfs – калиевый полевой шпат

микросфер изучалась на СЭМ Tescan Vega 3 (аналитик И.А.Блинов). Их химический состав определён В.А.Котляровым на СЭМ РЭММА-202 М. На этом приборе были получены энерго-дисперсионные спектры с напылённых углеродом полировок микросферул, а с напылённых золотом поверхностей сфер спектры получены на СЭМ Tescan Vega 3. Рамановские спектры минералов на поверхности микросферул регистрировали в спектральном диапазоне 100–2000 $см^{-1}$ с помощью лазерного КР спектрометра IHR 320 LabRAM фирмы Jobin Yvon, снабжённого микроскопом Olympus BX41, TV камерой и охлаждаемым CCD детектором (аналитик С.М.Лебедева). Для идентификации спектров минералов использовалась база данных [25].

**Строение и особенности состава микросферул.** При просмотре образцов и петрографических шлифов трахибазальтов железистые микросферулы не наблюдались. Это вызвано крайне малым их содержанием (сотые доли процента) в породе. По этой причине микросферулы обнаружены лишь после дробления большого объёма материала. У многих микросферул наблюдаются плоские с одной стороны поверхности, в том числе и у слившихся индивидов (рис. 3, В, Е), что говорит о формировании их на плоских стенках трещин. Редкая встречаемость сфер свидетельствует о том, что таких трещин в породе было мало, и в массивных разностях их не было видно.

Чёрная поверхность микросферул обычно гладкая и блестящая, чаще всего правильной сферической формы, которая нередко усложняется «присыпкой» шариков диаметром около 0,1 мм (см. рис. 2, Б). Преобладающая часть микросферул в поперечнике составляет 0,3–0,6 мм. Местами на их поверхности видны системы пересекающихся бороздок (см. рисунки 3, А и 4, Б) или правильные ряды мелких бугорков (см. рисунки 3, Б и 4, А), участки скопления микропор (см. рисунки 3, Е и 4, Е). Полые сердцевины микросферул соединяются с поверхностью крупными округлыми в сечении порами (см. рис. 4, Г). Внутренние стенки полых сфер иногда покрыты параллельными желобками (см. рис. 4, В). Корка таких сфер нередко так тонка, что легко проламывается при нажатии (см. рис. 4, Д).

Внутреннее строение сферул неоднородно, часто бывает сложным. Наблюдались микросферы однородного сложения, состоящие в основном из оксидов Fe (табл. 1, анализы 1, 13–15) либо из сплава сложного состава (табл. 1, ан. 6–8). Наиболее примечательным является наличие в сферулах обособленных сферических глобулей самородного железа – составные микросферы (см. табл. 1, анализы 9–16). В большинстве случаев они окружены оболочкой из оксидов железа с примесью Si, Ti, Al, Mn, Ca (см. рисунки 5, А–Б и 6, А–Б). Из сказанного можно предположить полиминеральный состав оксидно-железистой матрицы микросферул. Об этом свидетельствуют и данные рентгеновского изучения этих образований (табл. 2). На дифрактограммах имеются интенсивные пики, которые могут

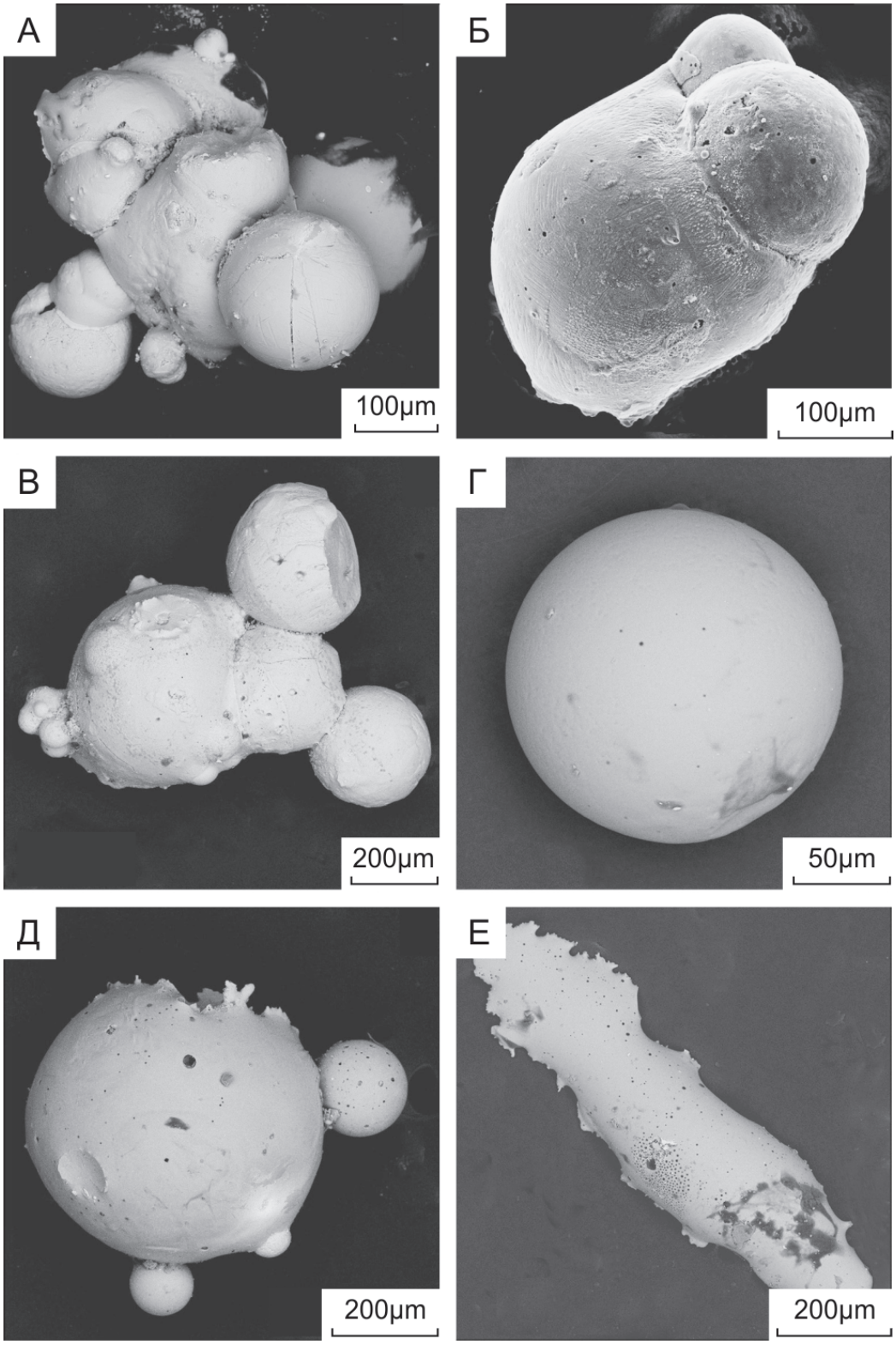



**Рис. 3. Морфология железистых микросферул в трахибазальтах; BSE фото, TESCAN VEGA 3:**

А–В – сростки микросферул; Г – шарообразная форма микросферулы (шарик); Д – слипшиеся с полой микросферулой железистые шарики; Е – слабовыпуклый железистый валик с мелкими порами на поверхности и с плоской подошвой

**1. Состав металлических микросферул в трахибазальтах, в мас.% (проба Г-21)**

| Компоненты | Сферулы | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Однородные | | | | | | Составные | | | | | | | | | |
| | Точки анализов | | | | | | | | | | | | | | | |
| | c | b | c | d | e | a | f | g | b | c | d | f | g | h | b | a |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| $SiO_2$ | | 1,74 | | 3,43 | 0,87 | 18,77 | 19,93 | 14,12 | 19,26 | 0,97 | – | 5,52 | – | – | – | 1,05 |
| $TiO_2$ | | 1,71 | 0,39 | 7,78 | 1,14 | 38,55 | 38,65 | 46,32 | 40,03 | 1,07 | 2,28 | 3,54 | – | – | – | 2,04 |
| $Al_2O_3$ | | 0,75 | – | 0,72 | – | 5,09 | 5,07 | 4,60 | 5,56 | – | – | 0,82 | – | – | – | 0,35 |
| $Cr_2O_3$ | | – | 0,22 | 0,39 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| FeO | | 90,05 | 97,25 | 79,30 | 94,03 | 10,48 | 12,12 | 15,04 | 9,16 | 87,23 | 86,32 | 80,12 | | | | 82,64 |
| Fe | 99,36 | | | | | | | | | | | | 99,41 | 99,38 | 99,35 | |
| MnO | | 0,33 | 0,12 | 3,01 | 0,72 | 11,38 | 10,75 | 8,10 | 10,19 | 0,85 | 0,95 | 5,19 | | | | 0,50 |
| Mn | 0,17 | | | | | | | | | | | | 0,17 | – | – | |
| MgO | | – | – | 0,06 | – | 2,11 | 2,13 | 2,09 | 2,41 | – | – | 0,05 | | | | – |
| CaO | | – | – | 0,85 | – | 5,90 | 6,32 | 6,27 | 6,40 | – | – | 0,85 | | | | 0,44 |
| $Na_2O$ | | | – | – | – | 0,42 | 0,27 | – | 0,56 | – | – | – | | | | – |
| $K_2O$ | | | – | – | – | 2,48 | 2,55 | 0,66 | 1,25 | – | – | – | | | | – |
| Ni | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 0,33 | – |
| Сумма | 99,53 | 94,58 | 97,98 | 95,54 | 96,76 | 95,18 | 97,79 | 97,20 | 94,82 | 90,12 | 89,55 | 96,09 | 99,58 | 99,38 | 99,68 | 87,02 |

*Примечание.* 1, 13–15 – самородное Fe; 2–5, 10–12, 16 – оксиды Fe; 6–9 – сплавы сложного состава; 9–11 – см. рис. 5, В; 12–14 – см. рис. 5, Б; 15, 16 – см. рис. 5, А; пустая клетка – не определялось; прочерк – не обнаружены; анализы выполнены В.А.Котляровым на СЭМ РЭММА–202 М (Институт минералогии УрО РАН).

принадлежать магнетиту, вюститу и самородному железу и, возможно, какому-то шпинелиду. Иногда эта оболочка соответствует металло-силикатному сплаву сложного состава (см. рисунки 6, В–Г, 7, В–Г). Относительно редки гомогенные микросферулы самородного железа (см. рисунки 5, Г, 7, А–Б). Микроглобули самородного железа с вмещающей их матрицей обладают резкими границами и распределены в ней несимметрично, а также имеют разный диаметр (см. рис. 5, А–В). По данным рамановских спектров подтверждено присутствие в составе поверхностных частей микросферул магнетита (рис. 8, А) и гематита (см. рис. 8, Б).

Наиболее однородными по химическому составу оказались глобули самородного Fe, в которых лишь иногда встречается незначительная (до 0,17 мас.%) примесь MnO (см. табл. 1. анализы 1; 13–15). В оксидно-железистой матрице (см. табл. 1, анализы 2–5,10–12, 16) постоянно присутствуют примеси (в мас.%): $SiO_2$ – 0,8–3,4, $TiO_2$ – 0,4–7,8, $Al_2O_3$ – 0–0,8, $Cr_2O_3$ – 0–0,4, MnO – 0,1–5,2, очень редко MgO – 0–0,06 и CaO – 0–0,8. Как уже говорилось, их минеральный состав представляет собой смесь микрокристаллов магнетита, гематита и вюстита.

Привлекает внимание состав матрицы микросферул, в которой зафиксированы содержания (в мас.%): $SiO_2$ – 14–20, $TiO_2$ – 38–46, $Al_2O_3$ около 5, FeO – 9–15, MnO – 8–11, MgO около 2, CaO около 6, $Na_2O$ – 0–0,6, $K_2O$ – 0,6–2,5 (см. табл. 1, анализы 6–9). В изученных образцах NiO не обнаружен. Эти данные близки к приведённым в работе [22] для сферул и шлаковидных частиц Ti-Fe-Mn системы из флюидизированных эксплозивных фаций алмазоносных вишеритов Пермского края, формирование которых предполагается при температурах 1200°–1500° С.

**Обсуждение результатов.** По представлениям последних лет [8], все микросферулы – это застывшие капли расплавов разнообразного состава (силикаты, металлы, сульфиды, оксиды). Их каплевидная и шаровидная форма свидетельствует о расплавной природе их вещества и свободно взвешенном нахождении самородных фаз в магме. Их обособление от силикатной матрицы (ликвация) происходит в мантийных условиях в процессе взаимодействия магмы с потоком восстановительного мантийного флюида, обогащённого водородом. Наличие в магме калия также способствует этому процессу [19]. Некоторое время они находились в размягчённом состоянии, о чём говорят слипшиеся микросферулы. Повышенная газонасыщенность отделившихся микросферул отражена в их пористости, в наличии полых индивидов (см. рисунки 3, Д , 4, Г–Е). Это происходит как при извержениях вулканов [20, 21], так и при воздействии на пирокластолиты взрывов на фронте ударной волны при декомпенсированном вскипании флюидизированной магмы [22]. Благоприятная обстановка для формирования микросферул создаётся и при вскипании и дегазации магматического расплава.

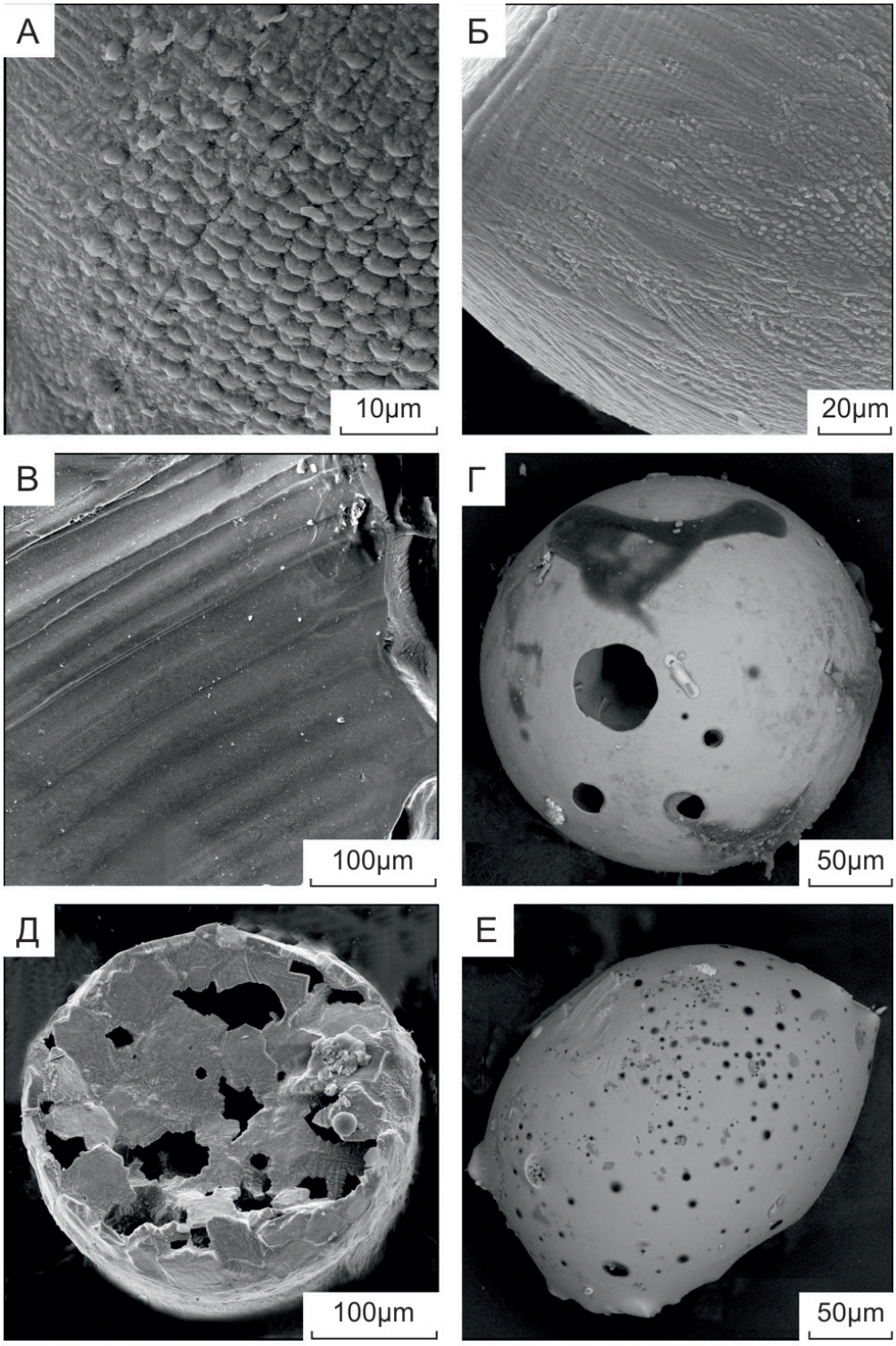



**Рис. 4. Детали строения поверхностей железистых микросферул из трахибазальтов; BSE фото, TESCAN VEGA 3:**

А – участок мелкобугристой поверхности, образованный закруглёнными торцами дендритовых кристаллов; Б – сочетание участков расположенных горизонтально сближенных дендритов и их вертикальных (мелкобугристых) сростков на поверхности микросферулы; В – параллельно-волнистая структура внутренней поверхности полой микросферулы; Г – крупные поры, соединяющие поверхность микросферулы с её полой сердцевиной; Д – раздавленная тонкая корка на поверхности полой тонкостенной микросферулы; Е – скопление микропор на поверхности железистой микросферулы

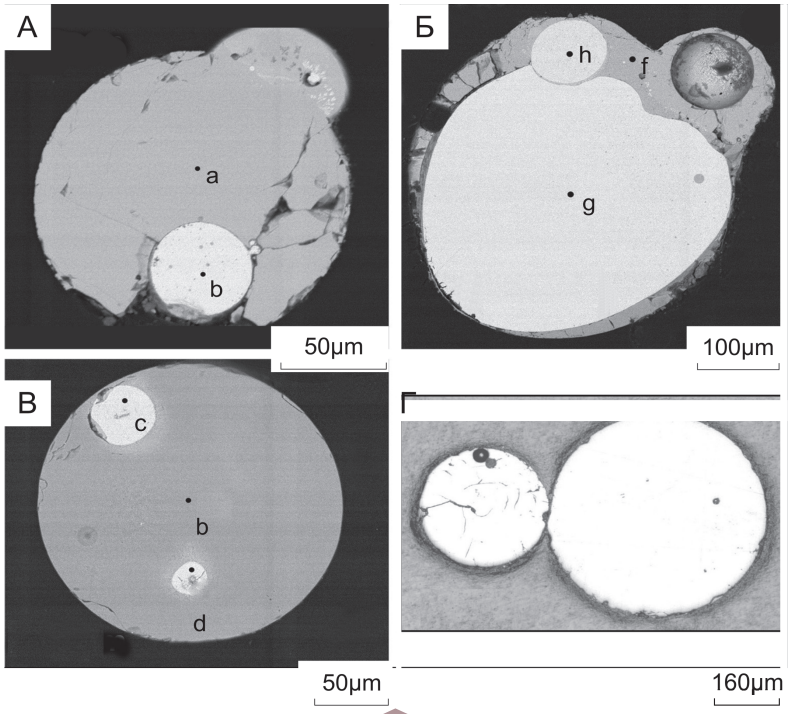



**Рис. 5. Распределение шариков самородного железа внутри железистых микросферул из трахибазальтов; BSE фото, РЭМ-МА-202 М:**

А – шарик самородного железа в матрице оксида железа с примесями Si, Ti, Al, Mn, Ca; Б – шарики самородного железа в оболочке оксида железа с примесями Si, Ti, Al, Mn, Ca; В – изолированные шарики железа с примесями Si, Ti, Mn внутри сферулы из сплава Ti, Si, Mn, Fe, Ca, Al, Mg, K, Na; Г – гомогенные шарики самородного железа

«Рудные» капли могут также осаждаться из высокотемпературной газовой среды на стенках пор и тонких трещин при помощи кавитационного механизма [5] на глубинных горизонтах гидротермальных систем вулканов островных дуг [17], при формировании игнимбритов [3] и кимберлитов [23]. На этой стадии вначале возникают сферулы самородных металлов. Сферулы, приросшие к стенкам газовых пустот и трещин, образуются в потоке газовых струй [8]. Судя по морфологии и текстуре микросферул из описываемых трахибазальтов (плоские основания и сферическая внешняя поверхность, микропористость), субвулканическим условиям формирования трахибазальтов, к части таких сфероидов применим кавитационный механизм образования при раскрытии тонких трещин [5, 18, 20, 21]. Самородное железо в траппах кристаллизуется в интервале 1500°–1550°С [19], а сплавы Ti-Fe-Mn-состава, слагающие корковые части многих сферул, образуются при температурах 1200°–1500°С [22]. Верятно, и железистые микросферулы в трахибазальтах возникли при этих температурах.

Появление оксидных и расплавных корок Ti-Fe-Mn-состава в сферулах объясняется [19] увеличением в магме содержания кислорода и заимствованием из неё

**2. Расшифровка дифрактограммы железистых микросферул из трахибазальтов**

| № п/п | d, Å | I, % |
|---|---|---|
| 1 | 4,913 | 18 |
| 2 | 4,078 | 12 |
| 3 | 3,747 | 27 |
| 4 | 3,50 | 12 |
| 5 | 3,012 | 19 |
| 6 | 2,965 | 17 |
| 7 | 2,762 | 75 |
| 8 | 2,559 | 95 |
| 9 | 2,528 | 41 |
| 10 | 2,483 | 64 |
| 11 | 2,243 | 24 |
| 12 | 2,149 | 100 |
| 13 | 2,128 | 27 |
| 14 | 2,028 | 87 |
| 15 | 1,984 | 13 |
| 16 | 1,871 | 37 |
| 17 | 1,733 | 14 |
| 18 | 1,639 | 37 |
| 19 | 1,616 | 14 |

*Примечание.* Дифрактометр ДРОН-2.0 с Cu-анодом, шаг съемки 0,02˚, внутренний стандарт кварц; аналитик П.В.Хворов (Институт минералогии УрО РАН).

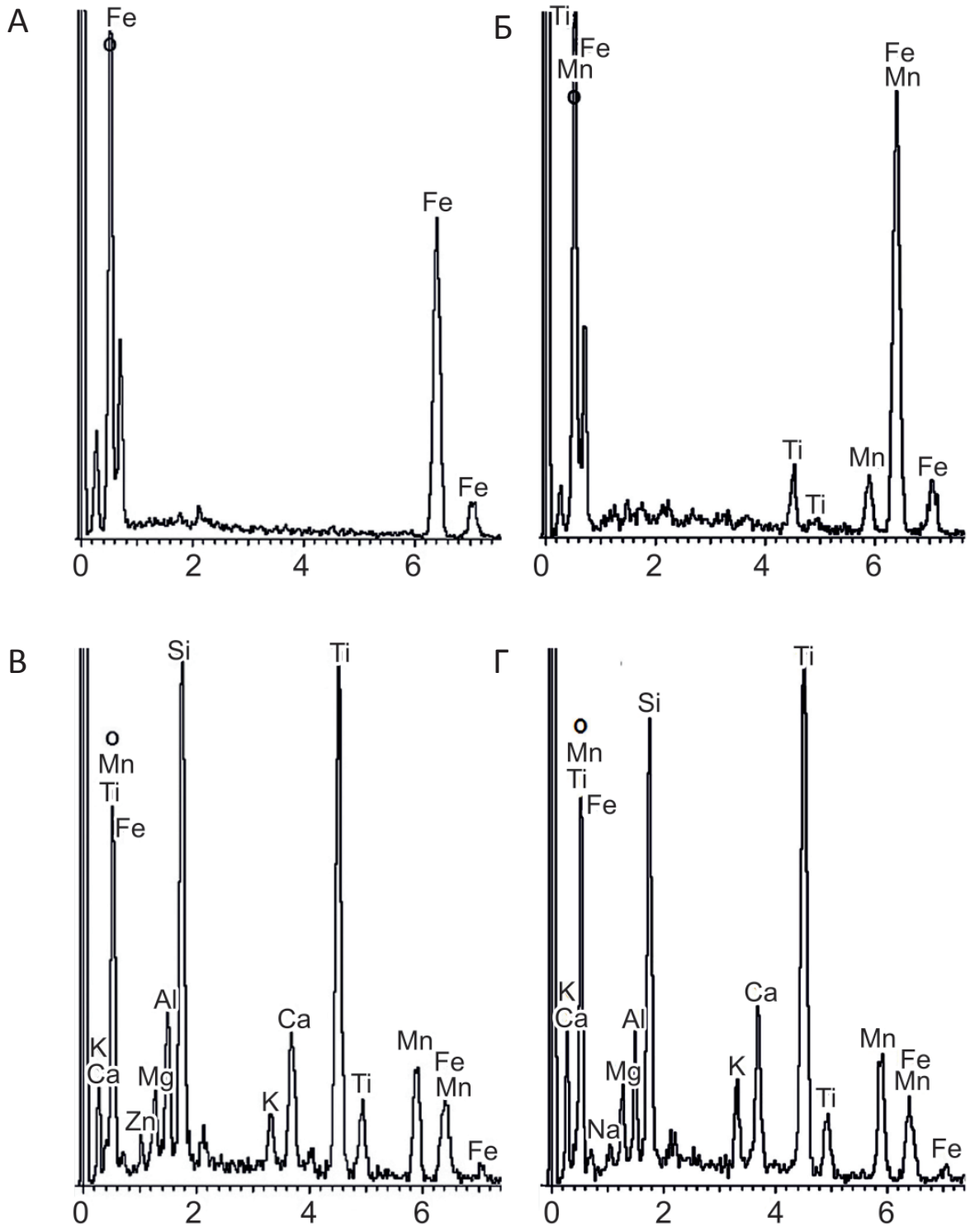



**Рис. 6. Энергодисперсионные спектры поверхностей некоторых железистых микросфер:**

А – оксид железа без заметных примесей; Б – оксид железа с примесью Ti, Mn; В, Г – металло-силикатные сплавы сложного состава (Ti, Si, Ca, Al, Mn, Mg, K, Fe, Zn, Na); Tescan Vega 3; оси: вертикальная – интенсивность, горизонтальная – энергия, КЭВ

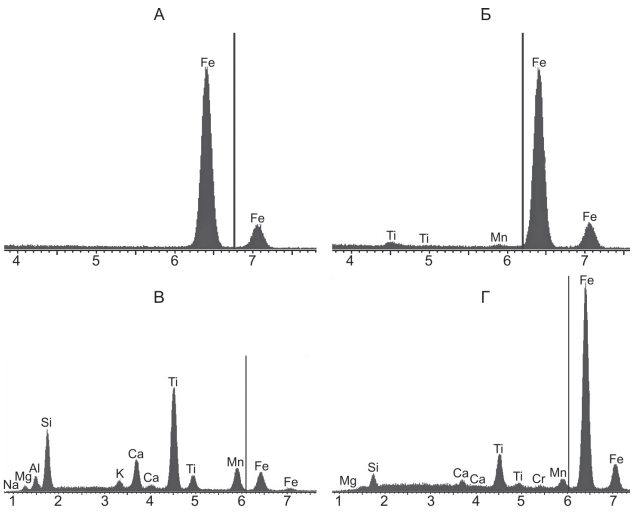



**Рис. 7. Примеры энергодисперсионных спектров внутренних частей микросферул:**

А – самородное железо без примесей; Б – самородное железо с незначительной примесью титана и марганца; В – металлосиликатный сплав сложного состава (Ti, Si, Ca, Mn, Fe, Al, Mg, K, Na); Г – титан-железистый сплав с незначительной примесью Si, Ca, Mn, Cr, Mg; РЭММА–202; оси: вертикальная – интенсивность, горизонтальная – энергия, КЭВ

Mn, Si и Ti. Диффузное окисление металлического Fe приводит к последовательному замещению его вюститом, затем магнетитом и гематитом [8]. Подобное явление отмечается и в составе микросферул трахибазальтов (см. табл. 1). Примечательно, что практически все исследователи признают, что первые металлические микросферы в магматических и гидротермально-эксплозивных породах появляются в процессе ликвационного расщепления магмы под воздействием трансмагматических флюидов. Последующее новообразование микросфер происходит уже путём кавитационного «схлопывания» пустот в твёрдой породе при воздействии на неё газовых струй.

Несмотря на разнообразие химического состава, условий залегания и генезиса пород, в которых обнаружены металлические микросферулы, очевиден однотипный характер морфологии (застывшие капли) и состава, представленного часто самородными металлами, структурно-текстурных особенностей этих сферических тел. Из этого следует вывод о единой причине (механизме) образования микросферул в изверженных горных породах. Исследователи подчёркивают ведущую роль в их возникновении процессов ликвационного расщепления магматического расплава в глубинных условиях, в которые вовлечены восстановительные газово-жидкие флюиды [3, 8, 12, 17, 19, 22, 23]. Последние способствуют распаду отделившейся металлической фазы на сферические обособления (глобули), которые этим трансмагматическим потоком выносятся в более высокие горизонты земной коры. Это подтверждается скоплением микросферул в корневых зонах действующих вулканов, в толщах игнимбритов, в кимберлитах, в осадках, подвергнутым воздействию флюидизитов [22].

Парагенетическая связь глубинных газово-жидких флюидов с появлением металлических сферул в окружающих вулканических породах может послужить одним из критериев потенциальной рудоносности таких объектов.

*Авторы выражают глубокую благодарность В.А.Котлярову, И.А.Блинову, С.М.Лебедевой и П.В.Хворову за проведённые исследования состава и свойств микросферул.*

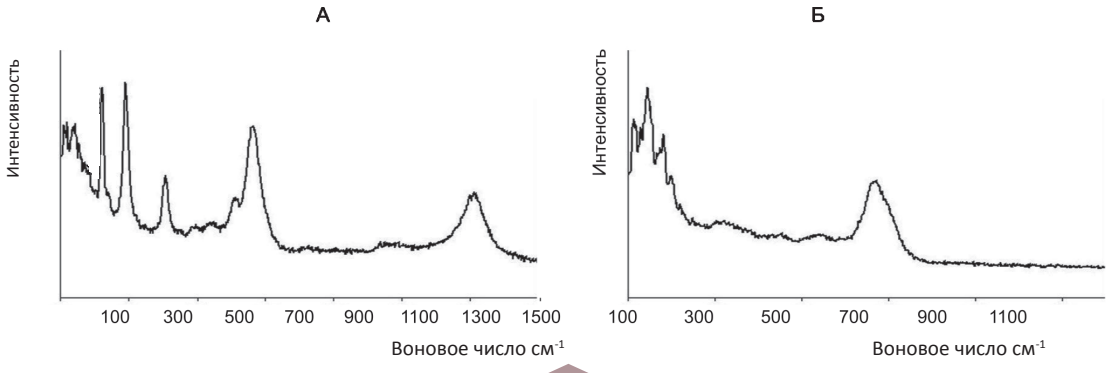



**Рис. 8. Рамановские спектры с поверхности железистых микросферул:**

А – магнетита и Б – гематита; спектрометр IHR 320 LabRAM

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**


1. *Барсуков В.Л., Назаров М.А., Тарасов Л.С.* Минералогия лунного вещества // Записки ВМО. 1979. № 1. С. 3–14.
2. *Бретштейн Ю.С., Цельмович В.А.* Особенности магнитных минералов палеозойских вулканитов Дальнего Востока // Материалы междунар. семинара по проблемам палеомагнетизма и магнетизма горных пород, 20–24 сентября 2010 г. – Санкт-Петербург, Петродворец, 2010. С. 29–36.
3. *Гребенников А.В., Щека С.А., Карабцов А.А.* Силикатно-металлические сферулы и проблема механизма игнимбритовых извержений (на примере Якутинской вулкано-тектонической структуры) // Вулканология и сейсмология. 2012. № 4. С. 3–22.
4. *Ермолов П.В., Королюк В.Н.* Состав и строение магнитных шариков гранитоидов // Доклады АН СССР. 1978. Т. 240 (1). С. 155–158.
5. *Кавитационные* эффекты в образовании минеральных микросферул в гидротермальных растворах / М.И.Новгородова, С.Н.Андреев, А.А.Самохин, Г.Н.Гамянин // Доклады РАН. 2003. Т. 389 (5). С. 669–671.
6. *Классификация* магматических (изверженных) пород и словарь терминов: Рекомендации Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук. Пер. с англ. – М.: Недра, 1997.
7. *Кориневский В.Г.* Первая находка паргасита в базальтоидах Урала // Уральский минералогический сборник. № 11. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. С. 115–123.
8. *Лукин А.Е.* Минеральные сферулы – индикаторы специфического флюидного режима рудообразования и нафтидогенеза // Геофизический журнал. 2013. Т. 35 (6). С. 10–53.
9. *Малич К.Н., Рудашевский Н.С., Соколова Н.И.* Микросферулы из ультрабазитов концентрически-зональных массивов Алданского щита, их генетическое и прикладное значение // Минералогический журнал. 1991. Т. 13 (4). С. 52–71.
10. *Металлические* и силикатно-оксидные сферулы из ультраосновных пегматитов в дунитах Нижнетагильского платиноносного массива на Среднем Урале (первые данные) / Е.В.Пушкарёв, Е.В.Аникина, Дж.Гарути и др. // Доклады РАН. 2002. Т. 383(1). С. 90–94.
11. *Мохов А.В., Карташов П.М., Богатиков О.А.* Луна под микроскопом. – М.: Наука, 2007.
12. *Новгородова М.И.* Самородные металлы в гидротермальных рудах. – М.: Наука, 1984.
13. *Новосёлов К.Л.* Генетические особенности самородного железа и продуктов его окисления в девонских гранитоидах Алейско-Змеиногорского комплекса (северо- западная часть Рудного Алтая) // Известия Томского политехнического института. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326 (9). С. 56–67.
14. *О магматической* природе самородного железа в гранитоидах и продуктах его окисления / В.Д.Тян, П.В.Ермолов, Н.В.Попов, Т.К.Рафиков // Геология и геофизика. 1976. № 5. С. 48–54.
15. *О типоморфных* особенностях магнитных сферул орогенных вулканитов Южного Сихотэ-Алиня / Л.Г.Филимонова, Г.А.Арапова, Р.В.Боярская, Н.В.Трубкин // Тихоокеанская геология. 1989. № 4. С. 78–84.
16. *Олейников Б.В., Округин А.В., Лескова Н.В.* Самородный кадмий в траппах Сибирской платформы // Доклады АН СССР. 1979. Т. 248 (6). С. 1426–1428.
17. *Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандимирова Е.И.* Рудные и силикатные магнитные шарики как индикаторы структуры, флюидного режима минерало-рудообразования в современной гидротермальной системе Баранского (о. Итуруп) // Геология рудных месторождений. 1996. Т. 38 (1). С. 31–40.
18. *Самородное* минералообразование в магматическом процессе // Тезисы докладов. – Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1981.
19. *Самородные* металлы в траппах Сибирской платформы / А.В.Округин, Б.В.Олейников, Н.В.Заякина, Н.В.Лескова // Записки ВМО. 1981. № 2. С. 186–204.
20. *Сандимирова Е.И.* Особенности химического состава силикатных сферул из вулканических пород Курильских островов и Южной Камчатки / Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды // Материалы всероссийской науч. конф., 24−30 сентября 2007 г. – Иркутск, 2007. Т. 2. С. 217−221.
21. *Филимонова Л.Г.* Закономерности развития вулканизма и рудообразования активизированных тихоокеанских окраин. – М.: Недра, 1985.
22. *Чайковский И.И., Коротченкова О.В.* Эксплозивные минеральные фазы алмазоносных вишеритов Западного Урала // Литосфера. 2012. № 2. С. 125–140.
23. *Шафрановский Г.И., Зинченко В.Н.* Сфероиды из пород кимберлитовой трубки Катока (Северо-Восточная Ангола) // Материалы междунар. науч. конф., Федоровская сессия. – СПб., 2010 С. 63–69.
24. *Юсупов Р.Г.* К минералогии герцинских интрузивных формаций Кураминских гор // Записки Узбекского отделения ВМО. 1978. № 31. С. 12–25.
25. *RRUFF* Project: an integrated database of Raman spectra, X-ray diffraction and chemistry data for minerals. http://rruff.info.
26. *Whitney D.L., Evans B.W.* Abbreviations for names of rock-forming minerals // Amer. Miner. 2010. Vol. 95. P. 185–187.