

УДК 549.01:669.046

**С.С. Потапов<sup>1</sup>, Н.В. Паршина<sup>1</sup>, В.П. Лютоев<sup>2</sup>, Р.А. Филенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс

<sup>2</sup>Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

<sup>3</sup>Институт природных ресурсов,  
экологии и криологии СО РАН, г. Чита

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПРЕДПОЛАГАЕМОГО МЕТЕОРИТА ЯБЛОНОВЫЙ

С применением комплекса методов (рентгенофазовый анализ, рентгенофлюоресцентный полуколичественный химический анализ, ИК-Фурье спектроскопия, синхронный термический анализ) изучен минеральный состав предполагаемого метеорита Яблоновый из Забайкалья. Установлено, что образец состоит из самородного железа (практически без примеси никеля; Ni – 0.18 %), окерманита, мелилита (геленита), магнетита, гётита, кальцита, сидерита, что не соответствует составу метеоритного вещества. Найденный образец не что иное, как шлак с большим количеством металлического железного сплава некоего, пока не установленного, исторического металлургического производства на территории Забайкалья.

*Ключевые слова: минеральный состав, метеорит, металлургический шлак, железо, окерманит, мелилит (геленит), Забайкалье.*

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.209**

**Введение.** Интерес исследователей к изучению космического (метеоритного) вещества, безусловно, резко возрос в связи падением метеорита Челябинск 15 февраля 2013 г. (рис. 1), о чем свидетельствует всплеск научной публикационной активности [1-9; 11-16 и мн. др.]. К поиску метеоритов подключились обычные граждане, и понесли на исследования предполагаемые метеориты.

Так, в своё время к нам на исследование попал остроугольный обломок от изометричной булги размером 30×30×30 см, что-то вроде мяча, найденной летом 2014 г. на обочине лесовозной дороги Гремячинск – заповедник «Басеги» инспектором заповедника В.О. Митрохиным. Вещество этого обломка дало хорошо разрешённую дифракционную картину, дешифрирование которой позволило диагностировать более десятка минеральных видов: фаялит  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , форстерит  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , ферросилит  $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , энстатит  $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , периклаз  $\text{MgO}$ , железо Fe, шамозит  $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$ , миллерит NiS, халькосидерит  $\text{CuFe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \times 4\text{H}_2\text{O}$ , антигорит  $(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

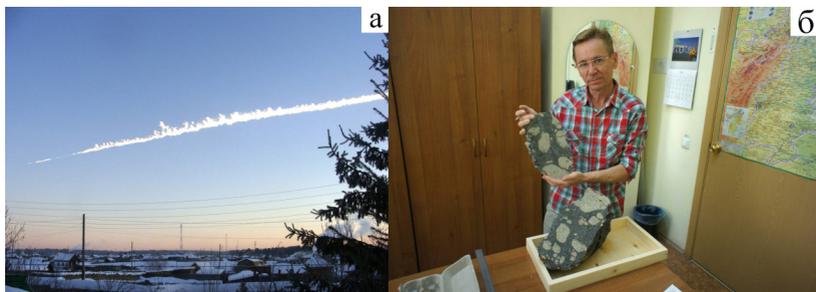


Рис. 1. След падения метеорита Челябинск (а) и его фрагмент, демонстрируемый С.В. Колисниченко (б).

и кальцит  $\text{CaCO}_3$  (?). Таким образом, в изучаемом образце встречаются первичные минеральные виды из группы оливинов и пироксенов, оксиды, сульфиды и самородные элементы; вторичные минералы (развивающиеся по первичным) и сомнительные (недостовверные) минералы, или минералы, загрязнители, как кальцит. При этом, казалось бы, оливин-пироксеновая ассоциация вполне типична для классических каменных метеоритов – хондритов.

Например, минеральный состав каменного метеорита Челябинск определяется умеренно-железистым оливином – форстеритом с содержанием фаялитового минала  $\text{Fa}_{24-36}$ , железомagneзиальными и кальциевыми пироксенами – ромбическими магнезиально-железистыми (энстатит-ферросилит) и моноклинными кальциевыми (диопсид-геденбергит), анортотклазом, высокохромистыми хромшпинелидами, моносulfидами ряда гексапирротин-троилит-макинавит, пентландитом, самородными металлическими фазами (никелистое железо, железосодержащий никель, медь), апатитом, доломитом, хиббингитом. В термогенных каймах обломков метеорита установлено стекло энстатитового состава с включениями магнетита [11].

В целом, минеральный парагенезис в изучаемом образце весьма специфичен и навряд ли отвечает составу метеорита. Мы пришли к выводу, что это не метеорит, а шлак Чусовского металлургического завода, которым отсыпали дорогу на Басеги. Для шлаков также характерна оливин-пироксеновая ассоциация минералов (см. список литературы по минеральному составу шлаков в источнике [10]). Кроме того, в шлаках часто встречаются капли (сфероиды) металлов, сульфиды [10]. Периклаз мог попасть в состав шлака из футеровки печей для плавки металла, а кальцит мог образоваться уже в наземных условиях за счёт извести или кальциевых силикатов при выветривании шлака.

**Предполагаемый метеорит Яблоновый.** 27 марта 2020 г. Р.А.Филенко прислал следующее письмо: «На днях один товарищ при- ташил нам метеоритное железо. Довольно крупный образец. Видно, что оно долго лежало в грунте. Фигур травления не даёт, вероятно, это атаксит. Есть в нём и каменная часть, и карбонаты. Вот сейчас попут- но еще его изучаем. Образец был показан Ю.С. Шевченко – экспер- ту в Забайкалье от Комитета по метеоритам РАН, который склонился к версии о внеземном его происхождении. Также в г. Чита был знаток из г. Санкт-Петербурга, который визуальнo определил этот образец как метеорит».

Географически место находки расположено в 20 км к северо-се- веро-западу от г. Читы в Читинском районе Забайкальского края в 300 м от автодороги 76А-138 «Улан-Удэ–Романовка–Чита» на полигоне ав- томобильной гоночной трассы (рис. 2). Название метеорита Яблоновый было дано по ближайшему крупному и известному географическому объекту – Яблоновому хребту, у подножья которого он был найден жи- телем города Читы Д.В. Шестаковым в 2018 г. Вес образца 5.307 кг; раз- меры составили 25 см по длине и от 5 до 15 см по ширине (рис. 3).

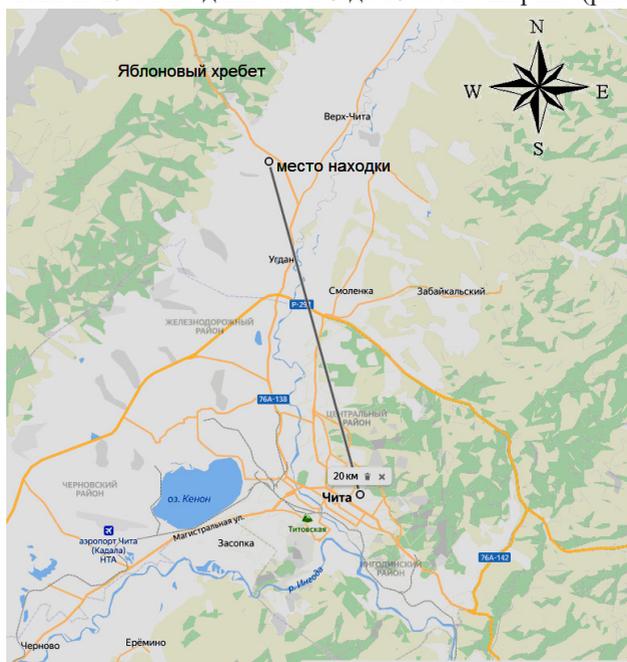


Рис. 2. Положение места находки образца предполагаемого метеорита Яблоновый на карте.



Рис. 3. Общий вид предполагаемого метеорита Яблоновий (а), его каменная часть (б), металлическая часть (в), периферическая кайма металлической части под оптическим микроскопом (г), окисленная гидроксидно-железистая часть (д)

Р.А. Филенко любезно предоставил для исследований фрагменты различных частей образца – отпиленный кусочек железной части и отбитые осколки от каменной, указав, что белёлые участки в каменной части – это и есть карбонаты. По термическому анализу получился кальцит. Началось параллельное исследование образца в Институте природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (г. Чита), в Институте минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс) и в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Для исследований образец был дефрагментирован и разделён на пять проб:

Мтр-20-1 – каменная часть в виде чёрных остроугольных кусочков;

Мтр-20-2 – карбонатная часть в виде небольшого количества светло-жёлтого порошка;

Мтр-20-3 – магнитные коричневые корочки с металлической части образца;

Мтр-20-4 – металлическая часть образца – отполированный спил;

Мтр-20-5 – немагнитные чёрные корочки с металлической части образца.

**Методы исследований.** Минеральный состав вещества исследован методом рентгеновской дифракции. Для этого были приготовлены порошковые препараты из разных частей предполагаемого метеорита и в лаборатории физических методов анализа минерального сырья Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (г. Миасс, аналитик Е.Д. Зенович) на дифрактометре ДРОН-2.0,  $\text{CuK}_\alpha$ -излучение был получен ряд рентгенограмм.

В ЦКП «Геонаука» при ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) на ИК-Фурье спектрометре Люмекс ФТ-02, были получены инфракрасные спектры ряда образцов (оператор М.Ф. Самотолкова) и методом рентгенофлуоресценции (РФХА) выполнен полуколичественный химический анализ на приборе XRF-1800, Shimadzu (аналитик С.Т. Неверов).

Белёная часть образца была подвергнута экспериментам с использованием синхронного термического анализа на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия) в ИПРЭК СО РАН (г. Чита), подтвердившая, что эта часть образца состоит из кальцита.

**Результаты исследований.** С вещества различных частей образца получены дифрактограммы (рис. 4), по результатам дешифрирования которых установлено, что каменная часть состоит из окерманита (акерманит – устаревшее название) и мелилита (геленита); белёное вещество состоит из кальцита с примесью гётита; магнитные коричневые корочки сложены магнетитом, гётитом и железом, немагнитные чёрные

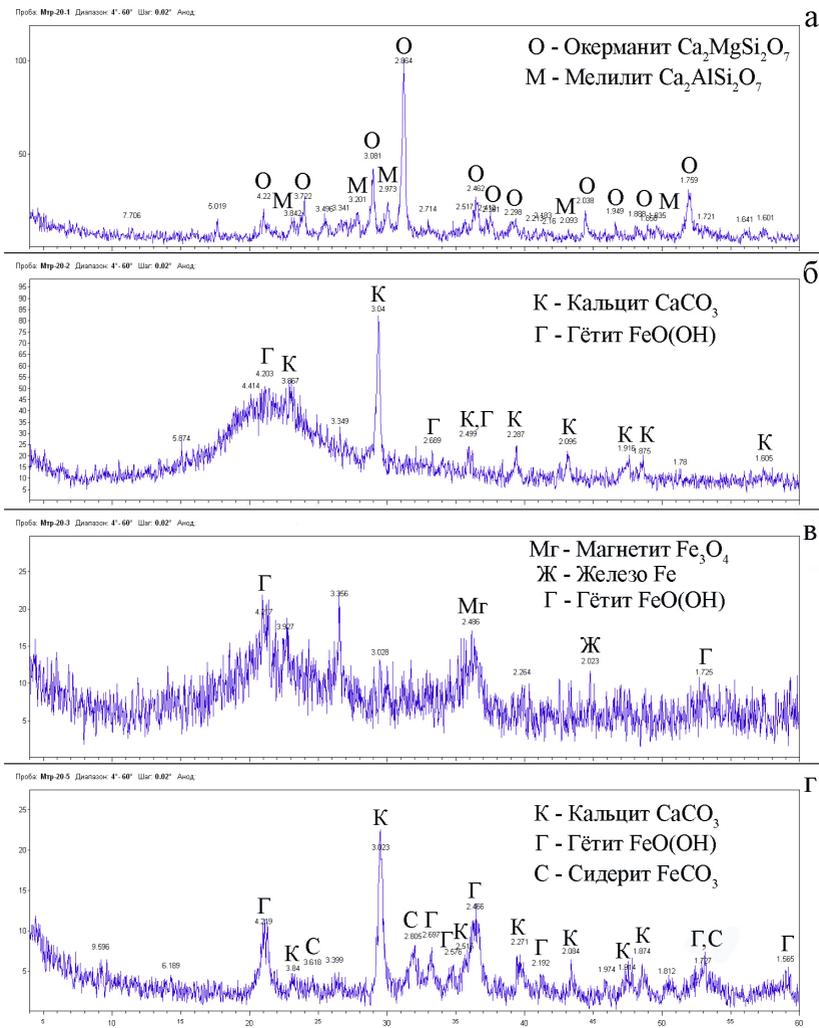


Рис. 4. Дифрактограммы различных частей образца: каменной части в виде чёрных остроугольных кусочков (Мтр-20-1) (а); карбонатной части в виде светло-жёлтого порошка (Мтр-20-2) (б); магнитных коричневых корочек с металлической части образца (Мтр-20-3) (в); немагнитных чёрных корочек с металлической части образца (Мтр-20-5) (г).

корочки представлены так же гётитом с примесью кальцита и сидерита. Металлическая часть образца методом рентгеновской дифракции не исследовалась. Но методом РФХА получен элементный состав металлического сплава, результаты которого представлены в табл.1. Практически, это чистое железо; на элементы-примеси, включая марганец, медь, хром, никель, титан и ванадий приходится не более 1.3 % состава.

Таблица 1

*Химический состав металлического сплава (Мтр-20-4) изучаемого образца по данным РФХА\**

Компоненты	Содержание, %
	Мтр-20-4
Fe	98.70
Mn	0.59
Cu	0.28
Cr	0.20
Ni	0.18
Ti	0.03
V	0.01
Сумма	99.99

**\*Примечание:** Приблизённо-количественный экспресс-анализ выполнен на приборе XRF-1800, Shimadzu (аналитик С.Т. Неверов). Содержание компонентов приведено к 100 % без учета ППП. Рассчитано без коррекции по контрольному образцу.

Химический состав каменной части (Мтр-20-1) и немагнитных чёрных корочек с металлической части (Мтр-20-5) изучаемого образца представлен в табл. 2.

Инфракрасный спектр пропускания каменной части образца (МТР-20-1) соответствует окерманиту (акерманиту) (рис. 5а). В качестве эталона сравнения на спектре образца МТР-20-1 включена врезка ИК-спектра окерманита из атласа Н.В. Чуканова. Небольшие сдвиги в положении полос связаны с вариацией состава и с примесью изоструктурной окерманиту минерала геленита из группы мелилита.

ИК-спектр поглощения немагнитной окалины (МТР-20-5) состоит в основном из полос гётита (голубой (нижней) линией представлен ИК-спектр эталонного образца гётита) и карбонатов, которым соответствуют полосы валентных колебаний  $1430\text{ см}^{-1}$  и линии их деформационных колебаний в области  $870\text{ см}^{-1}$  (рис. 5б). Последняя расщеплена на линии  $864\text{ см}^{-1}$  и  $875\text{ см}^{-1}$ . Первая, по-видимому, относится к сидериту, вторая – к кальциту. В спектре заметны также очень слабые линии в области  $720\text{ см}^{-1}$  и  $710\text{ см}^{-1}$ , которые отвечают вторым линиям деформационных колебаний  $\text{CO}_3$  в сидерите и в кальците, соответственно.

Таблица 2

Химический состав каменной части (Мтр-20-1) и немагнитных чёрных корочек с металлической части (Мтр-20-5) изучаемого образца по данным РФХА\*

Компонент	Содержание, %	
	Мтр-20-1	Мтр-20-5
SiO <sub>2</sub>	38.17	9.46
TiO <sub>2</sub>	0.61	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.83	3.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.02	67.34
MnO	1.63	0.37
MgO	3.18	0.89
CaO	36.07	12.41
Na <sub>2</sub> O	0.42	0.33
K <sub>2</sub> O	0.70	0.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.18
S <sub>общ.</sub>	0.45	4.50
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	0.11
CuO	-	0.09
NiO	-	0.08
BaO	0.54	-
SrO	0.06	0.10
Сумма	99.99	100

\*Примечание: Приближённо-количественный экспресс-анализ выполнен на приборе XRF-1800, Shimadzu (аналитик С.Т. Неверов). Содержание компонентов приведено к 100 % без учета ППП. Рассчитано без коррекции по контрольному образцу.

Таким образом, данные ИК-спектроскопии не противоречат результатам расшифровки рентгенограмм этих проб, а лишь подтверждают её, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

**Закключение.** Таким образом, нами установлено, что образец исследуемого предполагаемого метеорита Яблоновый состоит из самородного железа (практически без примеси никеля; Ni – 0.18 %), окерманита, мелилита (геленита), гётита, кальцита, сидерита, что не соответствует составу метеоритного вещества. Мы предполагаем, что найденный и изученный образец не что иное, как шлак с большим количеством металлического железного сплава некоего, пока не установленного, исторического (или даже древнего) металлургического производства на территории Забайкалья.

Авторы благодарны Е.Д. Зенович (Институт минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс), С.Т. Неверову и М.Ф. Самотолковой (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар) за выполнение аналитических работ.

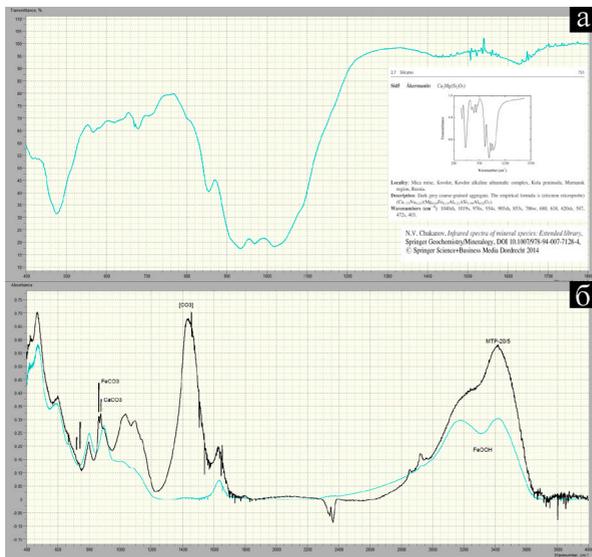


Рис. 5. Инфракрасные спектры: каменной части образца (МТР-20-1) с полосами окерманита-геленита (а); немагнитной окарины (МТР-20-5) с полосами гётита, кальцита и сидерита (б).

*Исследование выполнено в инициативном порядке неформальным творческим коллективом с использованием аналитических возможностей центров коллективного пользования академических институтов.*

### Библиографический список

1. Анфилогов В.Н., Белогуб Е.В., Еремяшев В.Е., Кабанова Л.Я., Лебедева С.М., Лонцакова Г.Ф., Хворов П.В. Петрография, минералогия и строение метеорита «Челябинск» // Литосфера. 2013. № 3. С. 118-129.
2. Берзин С.В., Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Хиллер В.В. Особенности минерального и геохимического состава метеорита «Челябинск» // Литосфера. 2013. № 3. С. 106-117.
3. Галимов Э.М. Челябинский метеорит // Наука в России. 2013. № 4 (196). С. 21-26.
4. Галимов Э.М., Колотов В.П., Назаров М.А., Костицын Ю.А., Кубракова И.В., Кононкова Н.Н., Рощина И.А., Алексеев В.А., Кашкаров Л.Л., Бадюков Д.Д., Севастьянов В.С. Результаты вещественного анализа метеорита Челябинск // Геохимия. 2013. № 7. С. 580-598.
5. Коротеев В.А., Берзин С.В., Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Хиллер В.В. Состав и строение метеорита «Челябинск» // Доклады Академии наук. 2013. Т. 451. № 4. С. 446-450.
6. Лютюев В.П., Потапов С.С., Лысюк А.Ю., Симакова Ю.С. Метеорит Челябинск: спектроскопические методы исследования // Минералогия техногенеза—2013. Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. С. 77-90.
7. Лютюев В.П., Потапов С.С., Исаенко С.И., Лысюк А.Ю., Симакова Ю.С., Самотолкова М.Ф. Минеральное вещество метеорита Челябинск: ИК-поглощение, комбинационное рассеяние и Мёссбауэровская спектроскопия  $^{57}\text{Fe}$  // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 7 (223). Сыктывкар: Геопринт, 2013. С. 2-9.
8. Лютюев В.П., Потапов С.С., Силаев В.И., Лысюк А.Ю. Спектроскопические исследова-

дования минерального вещества метеорита Челябинск // Метеорит Челябинск – год на Земле: материалы Всероссийской научной конференции. Челябинск, 2014. С. 413-427.

9. *Лютоев В.П., Силаев В.И., Астахова И.С.* Коллекция метеоритов геологического музея имени А. А. Чернова // Минералогия техногенеза–2015. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 214-218.

10. *Потапов С.С., Паришина Н.В., Наумкин Д.В.* Минеральный состав неметеоритного вещества // Девятнадцатые всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2018. С. 38-48.

11. *Силаев В.И., Голубева И.И., Филиппов В.Н., Лютоев В.П., Симакова Ю.С., Потапов С.С., Петровский В.А., Хазов А.Ф.* Метеорит «Челябинск»: минералогическо-петрографическая характеристика // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 2 (19). С. 8-27.

12. *Силаев В.И., Филиппов В.Н., Голубева И.И., Лютоев В.П., Потапов С.С., Симакова Ю.С., Петровский В.А., Хазов А.Ф.* Метеорит Челябинск. Результаты минералогическо-геохимических исследований // Метеорит Челябинск – год на Земле: материалы Всероссийской научной конференции. Челябинск, 2014. С. 443-473.

13. *Филенко Р.А.* Результаты термического анализа вещества метеорита Челябинск // Пятнадцатые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. С. 87-91.

14. *Шарыгин В.В., Карманов Н.С., Подгорных Н.М., Томиленко А.А.,* Минералогия и петрография «проплавленного» фрагмента метеорита Челябинск // Метеорит Челябинск – год на Земле: материалы Всероссийской научной конференции. Челябинск, 2014. С. 637-653.

15. *Шарыгин В.В., Тимина Т.Ю., Карманов Н.С., Томиленко А.А., Подгорных Н.М.* Минеральные ассоциации в коре оплавления фрагментов метеорита Челябинск // Метеорит Челябинск – год на Земле: материалы Всероссийской научной конференции. Челябинск, 2014. С. 654-666.

16. *Шарыгин В.В.* Na-Fe-фосфатные глобулы в импактных металл-сульфидных ассоциациях метеорита Челябинск: состав и КР-спектроскопия // Метеориты, астероиды, кометы. Материалы IV Международной конференции и школы молодых учёных. 2016. С. 146-150.

## RESULTS OF STUDYING THE MINERAL COMPOSITION OF THE SUPPOSED YABLONOVY METEORITE

**S.S. Potapov, N.V. Parshina, V.P. Lyutov, R.A. Filenko**

*s\_almazov@74.ru*

Using a complex of methods (X-ray phase analysis, X-ray fluorescence semi-quantitative chemical analysis, Infrared Fourier spectroscopy, synchronous thermal analysis), the mineral composition of the supposed Yablonovy meteorite from Transbaikalia was studied. It was found that the sample consists of native iron (practically free of nickel impurities; Ni – 0.18 %), okermanite, melilite (gelenite), magnetite, goethite, calcite, siderite, which does not correspond to the composition of meteorite matter. The found sample is nothing more than a slag with a large amount of a metallic iron alloy of some, not yet established, historical metallurgical production on the territory of Transbaikalia.

*Keywords: mineral composition, meteorite, metallurgical slag, iron, okermanite, gelenite, Transbaikalia.*