

УДК 553.064.32 (553.311.2)

DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-4-4

**РТ-УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД Pb-Zn-Fe
СКАРНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АКТАШ (ЗАПАДНЫЙ КАРАМАЗАР,
ТАДЖИКИСТАН)****У.А. Ятимов, Н.Н. Анкушева, М.А. Рассомахин***Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Институт минералогии,
г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; umed1990@list.ru*

Статья поступила в редакцию 02.11.2021 г., принята к печати 07.12.2021 г.

**PT-FORMATION CONDITIONS OF POLYMETALLIC ORES FROM THE Pb-Zn-Fe
AKTASH SKARN DEPOSIT (WESTERN KARMAZAR, TAJIKISTAN)****U.A. Yatimov, N.N. Ankusheva, M.A. Rassomakhin***South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy,
Miass, Chelyabinsk Region, 456317, Russia; umed1990@list.ru*

Received 02.11.2021, accepted 07.12.2021

Аннотация. С целью выяснения условий образования рудных жил сульфидно-магнетитового месторождения Акташ (Западный Карамазар, Таджикистан) изучены флюидные включения в кальците из магнетитовых руд и сульфидно-карбонатных жил. Месторождение залегает на контакте карбонатных (доломиты и известняки верхнего девона–нижнего карбона) и интрузивных (гранодиориты и гранодиорит-порфиры среднего карбона–нижнего триаса) пород Кансайского рудного поля. Термобарогеохимическими исследованиями установлено, что кальцит рудных жил отлагался из среднесоленых (4.4–10.8 мас. % NaCl-экв.) водных Na-K ± Mg хлоридных флюидов при снижении температур от 300 до 160 °C. Значения температур гомогенизации флюидных включений согласуются с данными расчетной термометрии по хлориту, сингенетичному с кальцитом (176–295 °C).

Ключевые слова: кальцит, хлорит, условия образования, термобарогеохимия, полиметаллические руды, магнетитовые руды, месторождение Акташ, Западный Карамазар.

Abstract. Fluid inclusions are studied in calcite from magnetite ores and sulfide-carbonate veins of the Aktash sulfide-magnetite deposit (Western Karanazar, Tajikistan) to identify their formation conditions. The deposit is confined to a contact zone between carbonate (Upper Devonian–Lower Carboniferous dolomite and limestones) and intrusive rocks (Middle Carboniferous–Early Triassic granodiorites and porphyry granodiorites) of the Kansai ore field. The fluid inclusion study showed that calcite of ore veins formed from moderately saline (4.4–10.8 wt. % NaCl-equiv.) aqueous Na-K ± Mg chloride fluids at a decreasing temperature from 300 to 160 °C. The homogenization temperatures of fluid inclusions are consistent with thermometric data for chlorite, which formed together with calcite (176–295 °C).

Keywords: calcite, chlorite, formation conditions, fluid inclusions, polymetallic ores, magnetite ores, Aktash deposit, Western Karamazar.

Для цитирования: Ятимов У.А., Анкушева Н.Н., Рассомахин М.А. РТ условия образования полиметаллических руд Pb-Zn-Fe скарнового месторождения Акташ (Западный Карамазар, Таджикистан). Минералогия, 7(4), 62–71. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-4-4.

For citation: Yatimov U.A., Ankusheva N.N., Rassomakhin M.A. PT formation conditions of polymetallic ores from the Pb-Zn-Fe Aktash skarn deposit (Western Karamazar, Tajikistan). Mineralogy, 7(4), 62–71. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-4-4.

Введение

Исследования скарновых месторождений (Коржинский, 1953; Овчинников, 1960; Вольфсон, Титов, 1965; Жариков, 1968; Шахов, 1976; Шабынин и др., 1984; Einaudi et al., 1981; Синяков, 1990; Meinert, 1993; Meinert et al., 2005) позволили охарактеризовать геологическую позицию их различных типов и понять главные особенности генезиса. Несмотря на это, задачи геологической практики и теории требуют дальнейшей разработки вопросов, касающихся условий образования и локализации скарновых месторождений, весьма важных в практическом и генетическом отношениях. Среди актуальных задач можно выделить выяснение причин различной геологической позиции скарнов; детальное изучение скарновой зональности для определения физико-химических условий формирования скарнов; уточнение геологического положения оруденения различных типов; определение причин и характера избирательного оруденения скарнов и источников рудного вещества в скарновых месторождениях.

Скарновое месторождение Акташ расположено в Западном Карамазаре (Таджикистан) и отличается от других объектов рудного поля совмещением магнетита и сульфидов в пределах контуров рудных тел и неравномерным развитием богатой Au-Ag-Bi-Te минерализации в сульфидных и магнетитовых рудах и скарнах. Изучение условий образования минералов и руд на месторождениях Юго-Западного Карамазара ранее проводилось для построения генетической модели постмагматических месторождений (Сазонов, 1966ф; Сафаралиев, 2013). Несмотря на большой объем работ, проведенный в районе рудного поля, полноценные исследования руд и пород на месторождении Акташ не были проведены, соответственно, исследование РТ условий формирования оруденения остается актуальным. Целью настоящего исследования стало изучение условий формирования полиметаллических руд месторождения с использованием термокриометрии флюидных включений и хлоритового геотермометра.

Геологическая характеристика месторождения

Месторождение Акташ расположено в Кансайском рудном поле (юго-западные отроги Кураминского хребта) в северной части Республики Таджикистан. Участок месторождения ограничен с

юга Альпийским надвигом, на западе, севере и востоке – массивом гранитоидов Чокадамбулакского интрузива. Район рудного поля находится в юго-западной части Кураминской структурно-фациальной зоны, которая представляет собой поднятие, оформившееся в девоне на фоне общего продолжительного погружения юго-западного Тянь-Шаня в конечные стадии коллизионного этапа, и характеризуется широким проявлением магматизма и гидротермальной деятельности (Левин, 1965; Nan, Zhao, 2017; Бискэ, 2018).

Район месторождения сложен осадочными и изверженными породами, а также скарнами (рис. 1). Первые представлены массивными карбонатными породами верхнего девона – нижнего карбона и палеогена, слагающими южную предгорную часть хребта Карамазар. Известняки занимают 45–50 % площади рудного поля, простираясь вдоль южной части гор в виде полосы, вытянутой в широтном направлении. Мощность карбонатных пород на западе месторождения – 300–400 м, к востоку уменьшается до 200–250 м. Элементы залегания карбонатных пород затушеваны в результате интенсивной перекристаллизации и осветления. На менее метаморфизованных участках отмечается северное падение полосчатости под углом 50–70° (Вольфсон, 1951; Рахимов, 1978).

С юга известняки ограничиваются Альпийским надвигом (обновленным Южно-Дарбазинским разломом), который простирается в субширотном направлении и падает на север под углом от 20 до 35–40° на глубине (рис. 1).

Изверженные породы на месторождении представлены гранодиоритами, малыми интрузиями гранодиорит-порфиров и дайками диоритовых и диабазовых порфиров (Вольфсон, Титов, 1965). Гранодиориты характеризуются изменчивостью структуры и минерального состава. С приближением к контакту карбонатных пород отмечается развитие порфировых вкрапленников. Дайки и малые интрузии распространены по всей площади рудного поля (рис. 2).

На месторождении широко распространены скарны и скарнированные породы, генетически связанные с интрузиями гранодиоритов. Скарны залегают на контакте карбонатных пород с интрузиями гранодиоритов, реже – гранодиорит-порфиров. Иногда скарны образуют жилообразные и трубообразные тела среди карбонатных пород, редко находятся среди изверженных и развиты главным образом вдоль тектонических трещин

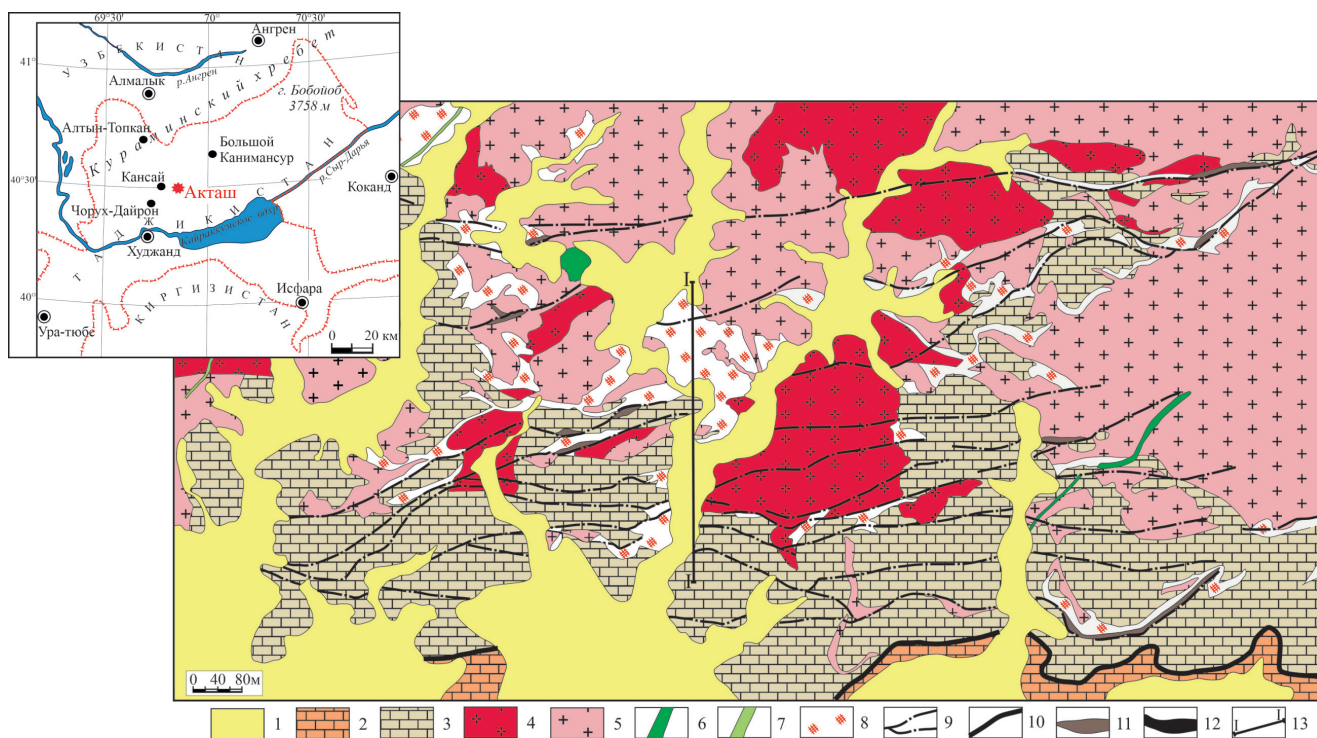


Рис. 1. Географическое положение (врезка) и геологическое строение месторождения Акташ, с упрощениями по (Фахриддинов и др, 1974ф).

Здесь и на рис. 2: 1 – четвертичные отложения; 2 – карбонатные породы палеогена; 3 – карбонатные породы верхнего девона–нижнего карбона; 4 – гранодиорит-порфиры среднего карбона–нижнего триаса; 5 – гранодиориты среднего карбона; 6 – диоритовые порфиры верхнего триаса; 7 – диабазовые порфиры верхнего триаса; 8 – скарны; 9 – разрывные нарушения; 10 – Альпийский надвиг; 11 – полиметаллические рудные тела; 12 – магнетитовые рудные тела; 13 – линия геологического разреза.

Fig. 1. Geographical position and geological structure of the Aktash deposit, simplified after (Fakhriddinov et al., 1974).

Here and in Fig. 2: 1 – Quaternary sediments; 2 – Paleogene carbonate rocks; 3 – Upper Devonian–Lower Carboniferous carbonate rocks; 4 – Middle Carboniferous–Early Triassic porphyry granodiorite; 5 – Middle Carboniferous granodiorite; 6 – Late Triassic porphyry diorite; 7 – Late Triassic porphyry diabase; 8 – skarns; 9 – ore zones; 10 – Alpine thrust; 11 – polymetallic ore bodies; 12 – magnetite ore bodies; 13 – cross-section line.

субширотного и северо-восточного направлений. Главными минералами скарнов являются гранаты рядаgrossуляр-андрадит, пироксены ряда диопсид-геденбергит, амфиболы (тремолит, актинолит, антофиллит), клинохлор, кальцит; рудные минералы – магнетит, гематит, пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит и др. По характерным минеральным ассоциациям на месторождении выделены магнетитовые (сульфидно-магнетитовые), сульфидные (халькопирит-пирротин-пиритовые) и полиметаллические (галенит-сфалеритовые) типы руд (Рахимов, 1978; Ятимов и др., 2019).

Методы исследования

Оптические исследования рудных минералов проведены в аншлифах при помощи микроскопа

Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP12 (ЮУ ФНИЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс). Для оценки температур, солевого состава и солёности минералообразующего флюида проанализированы флюидные включения в плоско-полированных шлифах кальцита рудных жил. Анализ проведен в термокамере Linkam TMS-600 с использованием оптического микроскопа Olympus BX51 и программного обеспечения LinkSystem 32 dV-NC в лаборатории термобарогеохимии Южно-Уральского государственного университета (г. Миасс). Погрешность измерительной аппаратуры составляет ± 0.1 °C в интервале от -20 до $+80$ °C и ± 1 °C – за пределами этого интервала. Солевой состав определен по температурам эвтектик растворов во включениях (Борисенко, 1977). Солёность флюида оценена по температурам плавления последних кристалли-

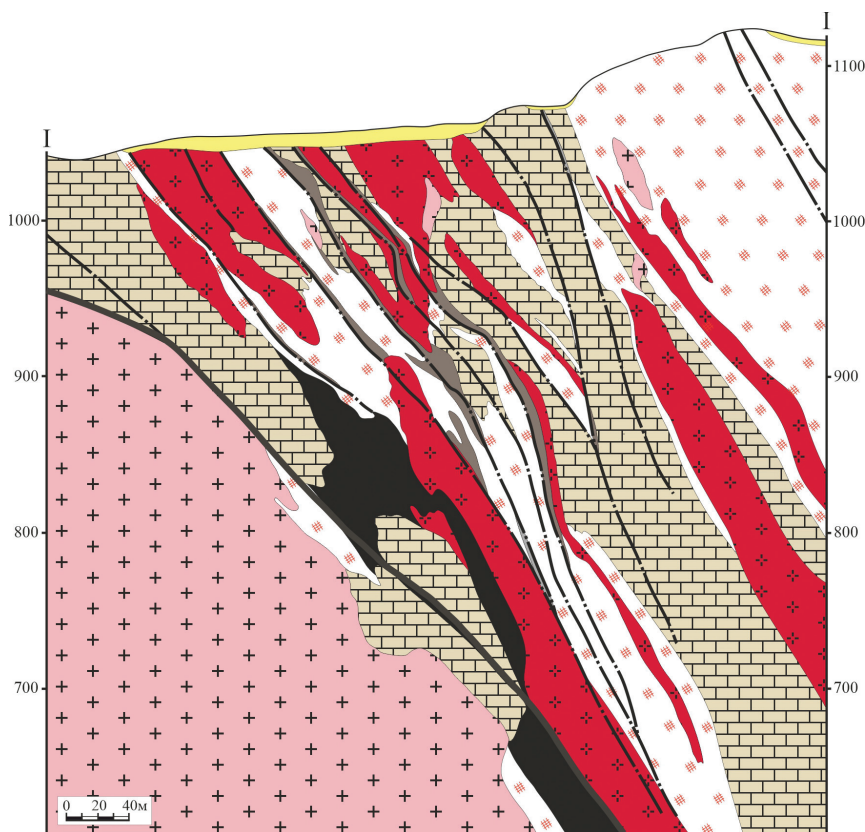


Рис. 2. Геологический разрез месторождения Акташ по линии I-I, с упрощениями по (Фахриддинов и др., 1974ф.).

Fig. 2. Geological section along line I-I of the Aktash deposit, simplified after (Fakhriddinov et al., 1974.).

ческих фаз во включениях (Bodnar, Vityk, 1994). Температуры гомогенизации включений фиксировались в момент растворения газовой вакуоли при нагревании в термокамере. Результаты измерений обработаны в программе Statistica 6.1.

Химический состав минералов исследован с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Tescan Vega 3 sbu с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (ЮУ ФНИЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс). Количественный анализ проведен с использованием эталонов MINM-25-53 фирм «ASTIMEX Scientific Limited» (стандарт № 01-044) и «Microanalysis Consultants Ltd.» (стандарт № 1362).

Результаты исследования

Условия образования кальцита. В рудах месторождения Акташ выделены три генерации кальцита. Кальцит-I редко встречается в магнетитовых рудах в виде мелких гнездообразных скоплений в ассоциации с пироксеном, магнетитом и ранними сульфидами (пиритом, халькопиритом, сфалери-

том и галенитом). Кальцит-II наиболее широко распространен на месторождении и образует мощные жилы, прожилки, зернистые скопления, гнезда, отдельные зерна и крупные кристаллы в пустотах в тесном срастании с галенитом, сфалеритом, гранатом, пироксеном, тремолитом и, реже, актинолитом. Кальцит-II местами замещает амфиболы, и, в свою очередь, интенсивно замещен сульфидами, хлоритом и кварцем. По данным предшественников, кальцит-III наблюдается в ассоциации с поздними сульфидами (галенитом, блеклой рудой, пиритом, сфалеритом) и замещает скарновые минералы, а также наблюдается в прожилках, рассекающих скарны и сульфидные руды (Дуброва, Титов, 1965). Флюидные включения проанализированы в трех морфологических разновидностях кальцита-II: друзовом (Ca-IIa), прожилковом (Ca-IIb) и гнездовом (Ca-IIc). (рис. 3а, б, 4в, г).

Прозрачные ромбоэдрические кристаллы кальцита-IIa размером до 1 см образуют друзу на контакте с магнетитом (рис. 3а). В этих кристаллах часто наблюдается заполнение трещин магнетитом. В кристаллах кальцита-IIa присутствуют

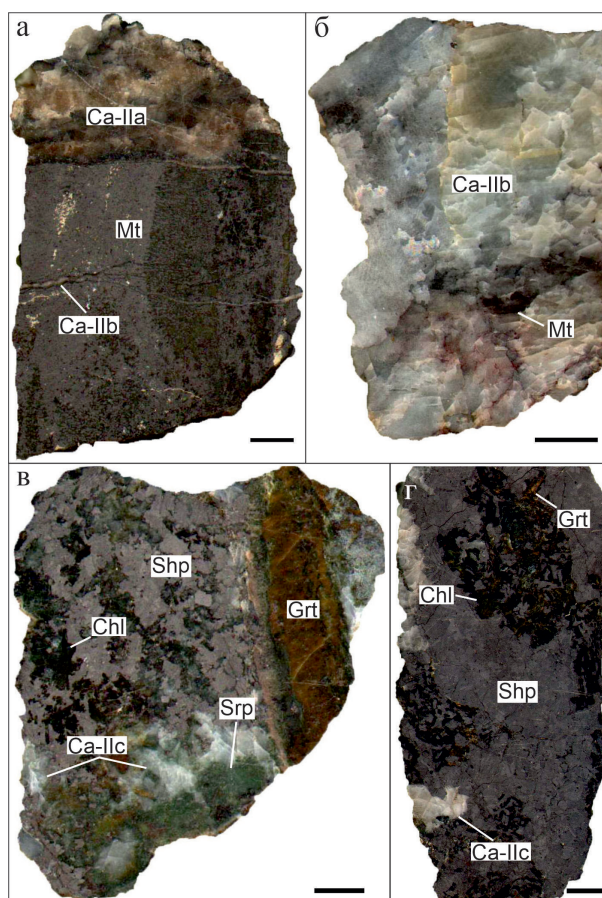


Рис. 3. Морфология кальцита-II месторождения Акташ:

а – друза кристаллов кальцита-IIа (Ca-IIa) на контакте с магнетитом (Mt), обр. АКШ-18-99; б – прожилок кальцита-IIб (Ca-IIb), секущий магнетитовые руды, обр. АКШ-18-101; в – сфалеритовые агрегаты (Shp) в ассоциации с кальцитом-IIс (Ca-IIc), серпентином (Srp), хлоритом (Chl), секущиеся прожилком граната (Grt), обр. АКШ-18-64а; г – сфалеритовые руды с агрегатами кальцита, граната и хлорита, обр. АКШ-18-75б.

Длина масштабной линейки 1 см.

Fig. 3. Morphology of calcite-II of the Aktash deposit:

а – druse of calcite-IIa (Ca-IIa) crystals associated with magnetite (Mt), sample АКШ-18-99; б – veinlet of calcite-IIb (Ca-IIb) in magnetite ores, sample АКШ-18-101; в – sphalerite aggregates (Shp) associated with calcite (Ca-IIc), serpentine (Srp) and chlorite (Chl), cut by a garnet veinlet (Grt), sample АКШ-18-64а; г – sphalerite ores with calcite, serpentine and chlorite aggregates, sample АКШ-18-75б.

Scale bar is 1 cm.

двухфазные газовой-жидкие включения размером 5–12 мкм с долей газовой фазы до 20 об. % (рис. 4а). Они имеют удлиненную, угловатую, близкую треугольной форму. Газовая вакуоль имеет четкие темные границы. Включения гомогенизировались в жидкую фазу при температурах 270–300 °C (табл. 1). Согласно температурам плавления последнего кристалла льда во включениях (от –4.4 до –6.2 °C) и температурам эвтектики (от –21 до –24 °C), концентрации солей в Na-K хлоридном минералообразующем флюиде составили 7.0–9.4 мас. % NaCl-экв.

Кальцит-IIб, слагающий прожилки крупных и мелких кристаллов в магнетитовых рудах, имеет серовато-белый цвет, содержит одиночные зерна пирита, халькопирита и редко пирротина. Трещины в нем выполнены скарновыми минералами (пироксен, гранат), сульфидами (пирит, халькопирит), магнетитом и гематитом (рис. 3б). Нередко наблюдаются срастания скарновых минералов и сульфидов с магнетитом и гематитом. Двухфазные газовой-жидкие включения размером 8–15 мкм в кальците-IIб характеризуются изометричной формой с элементами огранки (рис. 4б). Размеры газо-

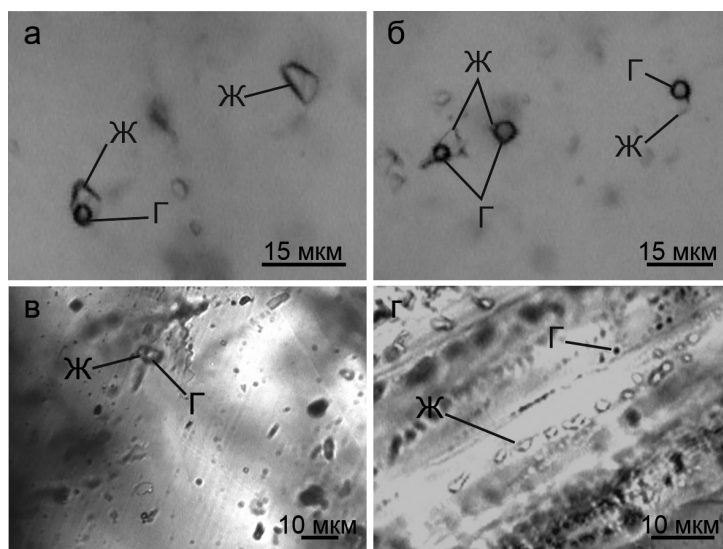


Рис. 4. Флюидные включения в кальците из месторождения Акташ:

а – первичные однофазные жидкостные (Ж) и двухфазные газовой-жидкие включения (ГЖ) из друзы кристаллов кальцита-IIa на контакте с магнетитом; б – первичные двухфазные газовой-жидкие включения из прожилков кальцита-IIb, пересекающих магнетитовые руды; в – первичные двухфазные газовой-жидкие включения из гнезд кальцита-IIc в сфалеритовых рудах; г – вторичные однофазные включения в кальците из сфалеритовых руд.

Fig. 4. Fluid inclusions in calcite of the Aktash deposit:

а – primary one-phase liquid (Ж) and two-phase liquid-vapor inclusions (ГЖ) from druse calcite-IIa crystals at the contact with magnetite; б – primary two-phase liquid-vapor inclusions in calcite-IIb veins in magnetite ores; в – primary two-phase liquid-vapor inclusions in calcite-IIc pockets in sphalerite ores; г – secondary one-phase liquid and vapor inclusions from sphalerite ores.

вых вакуолей достигают 20–30 % объема включения. Температуры эвтектики от -23 до -27 °C также указывают на Na-K хлоридный состав захваченного флюида (табл. 1).

Температуры плавления последнего кристаллика льда варьируют от -4.0 до -5.9 °C, и, соответственно, соленость флюида составляет 6.3–9.0 мас. % NaCl-экв. Часть включений гомогенизируется в газовую фазу при 213 – 220 °C, а часть – одновременно в жидкую при 235 – 245 °C. Это указывает на фазовую гетерогенность флюида и позволяет принять полученный интервал температур гомогенизации (213 – 245 °C) за истинные температуры образования минеральной ассоциации (Roedder, 1984; Коваленкер и др., 1988). Об этом же свидетельствует тесная ассоциация исследованных первичных/первично-вторичных двухфазных включений с однофазными существенно газовыми и жидкостными включениями размером первые микрометры. Трещины в кальците трассируются многочисленными вторичными включениями размером до 5 мкм (рис. 4г).

Кальцит-IIc в сфалеритовых рудах образует гнезда таблитчатых кристаллов изометричной формы размером до 1 см в ассоциации со сфалеритом, гранатом, пироксеном, серпентином и хлоритом

(рис. 3в, г). Кальцит-IIc содержит первичные и первично-вторичные газовой-жидкие включения (рис. 4в). Среди температур эвтектики преобладает интервал от -23 до -24 °C, достигая в единичных случаях -37 °C, что указывает на присутствие в захваченном флюиде хлоридов Na, K и Mg. Первичные и первично-вторичные включения гомогенизируются в жидкую фазу при температурах 159 – 263 °C (см. табл. 1). Согласно температурам плавления последнего кристаллика льда, варьирующим от -2.7 до -7.3 °C, концентрации солей во флюиде составили 4.4–10.8 мас. % NaCl-экв.

Условия образования хлорита. Для уточнения температур образования кальцита из полиметаллических руд был изучен химический состав сингенетического хлорита и на его основе рассчитаны температуры его формирования (табл. 2). Хлорит образует крупные ксеноморфные, удлиненные и пластинчатые агрегаты в ассоциации с кальцитом, сфалеритом, серпентином, гранатом и диопсидом (рис. 5а). Иногда хлорит вместе с поздним серпентином выполняют интерстиции между выделениями более раннего серпентина (рис. 5б). Размер агрегатов хлорита достигает 1 см. Проанализированный хлорит высокомагнезиальный

Результаты термобарогеохимических исследований кальцита месторождения Акташ

Таблица 1

Table 1

Fluid inclusion data of calcite from the Aktash deposit

№ п/п	№ обр.	Кальцит	n	T _{гом} , °C	T _э , °C	T _{пл. льда} , °C	C, мас. % NaCl-экв.
1	АКШ-18-99	Па	33	270–301	–21...–25	–4.4...–6.1	7.0–9.4
2	АКШ-18-101	Пб	33	213–247	–23...–27	–3.9...–5.9	6.3–9.0
3	АКШ-18-64а	Пс	52	159–263	–23...–37	–2.7...–7.3	4.4–10.8
4	АКШ-18-756		34	186–233	–21...–23	–4.0...–6.4	6.4–9.7

Примечание. Температуры: T_{гом} – гомогенизации; T_э – эвтектики; T_{пл. льда} – плавления последнего кристалла льда; C – солёность; n – число измерений.

Note. T_{гом} – homogenization temperature; T_э and T_{пл. льда} – first and final melting temperature, respectively; C – salinity; n – number of measurements.

Химический состав (мас. %) и формульные коэффициенты хлорита полиметаллических руд месторождения Акташ

Таблица 2

Table 2

Chemical composition (wt %) and formula coefficients of chlorite of polymetallic ores of Aktash deposit

№ анализа	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	31.54	34.11	30.67	32.84	32.57	31.00	32.34	33.11
Al ₂ O ₃	20.45	13.94	17.7	16.10	15.80	16.01	16.55	17.08
FeO*	0.59	4.12	1.92	3.17	2.98	5.33	3.69	2.83
MgO	35.51	34.34	35.03	34.64	35.21	34.71	34.87	35.12
H ₂ O _{расчет.}	12.71	12.63	12.71	12.67	12.54	12.76	12.79	13.01
Сумма	99.02	99.13	99.47	99.23	99.59	100.21	99.23	100.80
Fe/(Fe + Mg)	0.01	0.06	0.03	0.05	0.05	0.08	0.06	0.04
Формула								
1	(Mg _{4.85} Fe _{0.05} Al _{1.10}) _{6.00} [(Al _{1.11} Si _{2.89}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
2	(Mg _{4.86} Fe _{0.33} Al _{0.80}) _{5.99} [(Al _{0.76} Si _{3.24}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
3	(Mg _{4.99} Fe _{0.16} Al _{0.93}) _{6.08} [(Al _{1.07} Si _{2.93}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
4	(Mg _{4.87} Fe _{0.25} Al _{0.89}) _{6.01} [(Al _{0.90} Si _{3.10}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
5	(Mg _{4.96} Fe _{0.24} Al _{0.84}) _{6.04} [(Al _{0.92} Si _{3.08}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
6	(Mg _{4.94} Fe _{0.43} Al _{0.76}) _{6.13} [(Al _{1.04} Si _{2.96}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
7	(Mg _{4.88} Fe _{0.29} Al _{0.87}) _{6.04} [(Al _{0.96} Si _{3.04}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							
8	(Mg _{4.85} Fe _{0.22} Al _{0.93}) _{6.00} [(Al _{0.93} Si _{3.07}) _{4.00} O ₁₀](OH) ₈							

Примечание. * – железо условно принято, как Fe²⁺. Формульные коэффициенты вычислялись на основании суммы 28 зарядов. H₂O_{расч.} – расчет по стехиометрии.

Note. * – Fe is conventionally accepted as Fe²⁺. The formula coefficients are based on the sum of 28 atoms. H₂O_{расч.} – calculated from stoichiometry.

и относится к клинохлору (табл. 2). На основании оптических исследований можно заключить, что высокомагнезиальный хлорит по времени образования синхронен с отложением сфалерита и кальцита. Температуры образования хлорита из полиметаллических руд, оцененные с использованием двух хлоритовых геотермометров, составили 184–295 °C (T, °C = –61.92 + 321.98Al^{IV}; Cathalinea, 1988) и 176–285 °C (T, °C = 319Al^{IV} – 69, Al^{IV} = Al_{IV} + 0.1(Fe / [Fe + Mg]); Jovett, 1991). Значения для одного и того же анализа сходны и незначительно варьируют для разных зерен. Разница между рассчитанными температурами для разных способов расчета не превышает 9 °C.

Обсуждение и выводы

Полученные данные показали, что кальцит и сосуществующие с ним сульфиды месторождения Акташ, вероятно, сформировались из единого по солевому составу и солёности флюида в широком интервале температур (рис. 6). Температуры гомогенизации флюидных включений в разных морфологических типах кальцита-II отличаются. Флюидные включения в друзовом кальците (Са-Па), обладают относительно более высокими температурами гомогенизации (270–301 °C), а в прожилковом кальците (Са-Пб) – более низкими (213–247 °C). Температуры образования хлорита, рассчитанные по хлоритовым геотермометрам (176–295 °C), соответствуют интер-

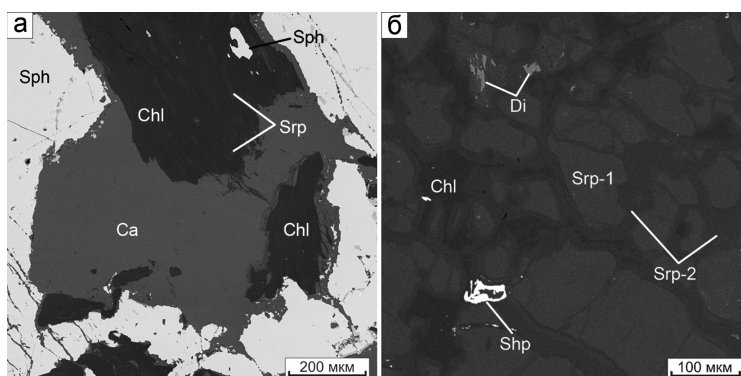


Рис. 5. Хлорит полиметаллических руд месторождения Акташ:

а – хлорит (Chl) в тесном сростании с серпентином (Srp) в ассоциации с кальцитом (Ca) и сфалеритом (Shp); б – хлорит с поздним серпентином (Srp-2) выполняют трещины между агрегатами раннего серпентина (Srp-1) с включениями диопсида (Di).

Fig. 5. Chlorite from sphalerite ores of the Aktash deposit:

а – chlorite (Chl) in intergrowth with serpentine (Srp) associated with calcite (Ca) and sphalerite (Shp); б – chlorite associated with latest serpentine (Srp-2) in fractures between early serpentine (Srp-1) aggregates with diopside inclusions (Di).

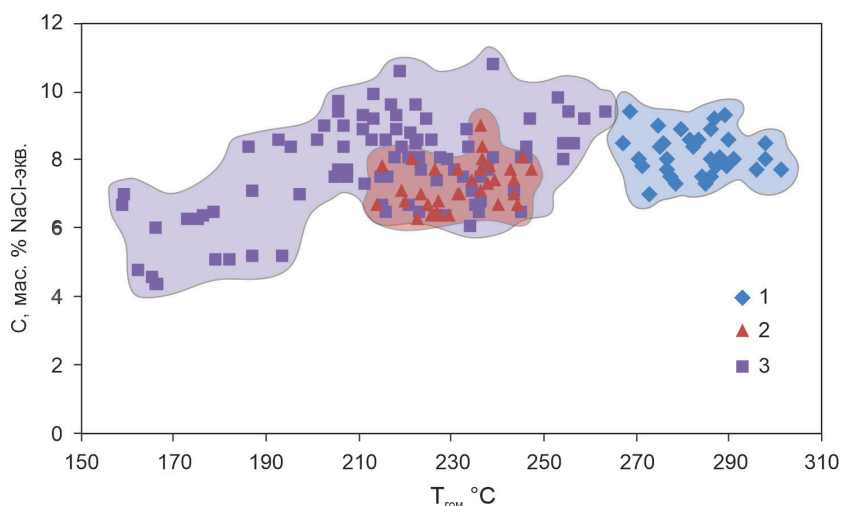


Рис. 6. Зависимость между температурами гомогенизации и соленостью растворов флюидных включений в кальците-IIa (1), IIb (2) и IIc (3).

Fig. 6. Homogenization temperatures vs salinity of fluid inclusions in calcite-IIa (1), IIb (2) and IIc (3).

валу температур гомогенизации флюидных включений в кальците из полиметаллических руд.

На скарново-магнетитовом месторождении Чокадамбулак в Западном Кармазаре также были определены температуры отложения карбонатов (Сафаралиев, 2013; Сафаралиев, Файзиев, 2013). Температуры гомогенизации кальцита-I из пироксен-гранат-магнетитовой ассоциации составили 535–425 °C, кальцита-II кварц-сульфидной стадии – 375–270 °C, а кальцита-III в сростании с поздним кварцем, гематитом и баритом – 180–120 °C. Несмотря на сходство минерального состава руд месторождений Чокадамбулак и Акташ, кальцит первой и второй генерации на месторождении Чокадамбулак образовался при гораздо более высоких температурах. Темпера-

туры гомогенизации кальцита из полиметаллических руд на месторождении Кансай, расположенного в одноименном рудном поле, составляют 225–250 °C (Сазонов, 1966ф), что сходно с температурами гомогенизации прожилкового кальцита месторождения Акташ.

Таким образом, кальцит в парагенезисе с полиметаллическими рудами на месторождении Акташ отлагался после скарнообразования и магнетитовых руд при формировании сульфидных руд из среднесоленого (4.4–10.8 мас. % NaCl-экв.) гетерофазного водного флюида с хлоридами Na, K и реже Mg при температурах 160–300 °C. Температуры образования хлорита (176–295 °C) подтверждают результаты термобарогеохимических исследований.

Авторы благодарны профессору чл.-корр. В.В. Масленникову за консультации. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН № АААА-А19-119072390050-9.

Литература

- Бискэ Ю.С.** (2018) Южный Тянь-Шань: к новому геологическому синтезу. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия: Науки о Земле*, **63**(4), 416–462.
- Борисенко А.С.** (1977) Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии. *Геология и геофизика*, **8**, 16–27.
- Вольфсон Ф.И.** (1951) Структура и генезис свинцово-цинковых месторождений Западного Карамазара. М., АН СССР, 245 с.
- Вольфсон Ф.И., Титов В.Н.** (1965) Основные особенности геологического строения Кансайского рудного поля / Геология свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. М., Наука, 21–29.
- Дуброва И.В., Титов В.Н.** (1965) Некоторые новые данные о минеральном составе руд свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля / Геология свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. М., Наука, 90–114.
- Жариков В.А.** (1968) Скарновые месторождения / Генезис эндогенных рудных месторождений. М., Недра, 220–302.
- Коваленкер В.А., Наумов В.Б., Прокофьев В.Ю.** (1988) Гетерогенизация флюидов как один из факторов отложения продуктивных ассоциаций при формировании золоторудных и золото-серебряных месторождений. *Труды конференции «Минералообразование из вскипающих растворов»*. Пермь, ПГУ, 217–218.
- Коржинский Д.С.** (1953) Очерк метасоматических процессов / Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М., Изд-во АН СССР, 335–456.
- Левин В.И.** (1965) Краткие черты геологического строения района Кансайского рудного района / Геология свинцово-цинковых месторождений Кансайского рудного поля. М., Наука, 7–19.
- Овчинников Л. Н.** (1960) Контактково-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. Свердловск, ГТИ УФАИ СССР, 495 с.
- Рахимов Ш.Х.** (1978) Геолого-структурные условия локализации скарново-полиметаллических месторождений Карамазар. Ташкент, Фан, 142 с.
- Сазонов В.Д.** (1966ф) Геохимическая и физико-химическая характеристика процессов гипогенной минерализации на полиметаллических месторождениях Юго-Западного Карамазара. Душанбе, Всесоюзный геологический фонд, 272 с.
- Сафаралиев Н.С.** (2013) Минералого-термобаро-геохимические особенности образования железорудного месторождения Шохкадамбулак (Чокадамбулак, Северный Таджикистан). *Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук*. Душанбе, 213 с.
- Сафаралиев Н.С., А.Р. Файзиев.** (2013) Минералого-геохимические особенности образования магнетитовых руд скарново-железорудного месторождения Шохкадамбулак. *Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. Проблемы геологии и освоения недр*. Томск, НИ ТПУ, 142–144.
- Синяков В.И.** (1990) Генетические типы скарновых рудообразующих систем. Новосибирск, Наука, 71 с.
- Фахридинов Т. и др.** (1974ф) Отчет по результатам геологоразведочных работ, проведенных в 1969–1973 гг. по объекту «Детальная разведка месторождения Акташ». Кайраккум, Фонды Кайраккумской ГРЭ, 165 с.
- Шабынин Л.И., Перцев Н.Н., Зотов И.А.** (1984) Вопросы образования рудоносных скарнов доломитовых контактов. М., Наука, 105 с.
- Шахов Ф.Н.** (1976) Геология контактовых месторождений. Новосибирск, Наука, 131 с.
- Ятимов У.А., Аюпова Н.Р., Блинов И.А., Котляров В.А.** (2019) Висмутовые минералы сульфидно-магнетитовых руд месторождения Акташ (Западный Карамазар, Таджикистан). *Минералогия*, **5**(4), 39–51.
- Bodnar R.J., Vityk M.O.** (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions In: Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Pontignana-Siena, 117–130.
- Cathelineau M.** (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, **23**, 471–485.
- Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J.** (1981) Skarn deposits. *Economic Geology 75th Anniversary Volume*, (75), 317–391.
- Jowett E.C.** (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. *GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto), Program with Abstracts*, **16**, A62.
- Han Y., Zhao G.** (2017) Final amalgamation of the Tianshan and Junggar orogenic collage in the southwestern Central Asian orogenic belt: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. *Earth-Science Reviews*, **186**, 129–152.
- Meinert L.D.** (1993) Igneous petrogenesis and skarn deposits / Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I., Duke J.M. (eds). *Geol. Assoc. Can. Special paper*, **40**, 569–583.
- Meinert L.A., Dipple G.M., Nicolescu S.** (2005) World skarn deposits. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, **100**, 299–336.
- Roedder E.** (1984) Fluid inclusions. *Reviews in mineralogy*, (12), 646 p.

References

- Biske Yu.S.** (2018) [South Tien Shan: toward a new geological synthesis]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle [Bulletin of St. Petersburg University. Series: Earth Sciences]*, **63** (4), 416–462. (in Russian)
- Borisenko A.S.** (1977) [Study of salinity of solutions of fluid inclusions in minerals by cryometry]. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, (8), 16–27. (in Russian)
- Bodnar R.J., Vityk M.O.** (1994) Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusions. In: *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignana-Siena, 117–130.
- Cathelineau M.** (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals*, **23**, 471–485.
- Dubrova I.V., Titov V.N.** (1965) [New data on mineral composition of ores of Pb–Zn deposits of the Kansai ore field] In: *Geologiya svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Kansayskogo rudnogo polya [Geology of Pb–Zn deposits of the Kansai ore field]*. Moscow, Nauka, 90–114. (in Russian)
- Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J.** (1981) Skarn deposits. *Economic Geology 75th Anniversary Volume*, (75), 317–391.
- Fakhrudinov T. et al.** (1974) [Unpublished report on the results of exploration works of 1969–73 carried out at the Aktash deposit]. Kairakkum, Fondye Kairakkumskoi GRE, 165 p. (in Russian)
- Jowett E.C.** (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. *GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting, Program with Abstracts*, **16**, A62.
- Han Y., Zhao G.** (2017) Final amalgamation of the Tianshan and Junggar orogenic collage in the southwestern Central Asian orogenic belt: Constraints on the closure of the Paleo-Asian Ocean. *Earth-Science Reviews*, **186**, 129–152.
- Kovalenker V.A., Naumov V.B., Prokof'ev V.Yu.** (1988) [Heterogenization of fluids as one of factors of deposition of productive assemblages during the formation of gold and gold-silver deposits]. *Trudy konferentsii «Mineraloobrazovanie iz vskipyushchikh rastvorov» [Proceedings of the Conference «Mineral Formation from Boiling Fluids»]*. Perm, PSU, 217–218. (in Russian)
- Korzhinsky D.S.** (1953) [Outline of metasomatic processes] In: *Osnovnye problemy v uchenii o magmatogennykh rudnykh mestorozhdeniyakh [Main Problems in Study of Magmatic Ore Deposits]*. Moscow, AN SSSR, 335–456. (in Russian)
- Levin V.I.** (1965) [Brief features of geological structure of the Kansai ore district] In: *Geologiya svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Kansayskogo rudnogo polya [Geology of Pb–Zn deposits of the Kansai ore field]*. Moscow, Nauka, 7–19. (in Russian)
- Meinert L.D.** (1993) Igneous petrogenesis and skarn deposits / Kirkham R.V., Sinclair W.D., Thorpe R.I., Duke J.M. (eds). *Geol. Assoc. Can. Special paper*, **40**, 569–583.
- Meinert L.A., Dipple G.M., Nicolescu S.** (2005) World skarn deposits. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, **100**, 299–336.
- Ovchinnikov L.N.** (1960) [Contact metasomatic deposits of Central and North Urals]. Sverdlovsk, GGI UFAN SSSR, 495 p. (in Russian)
- Rakhimov Sh.Kh.** (1978) [Geological and structural setting of skarn-polymetallic deposits of the Karamazar region]. Tashkent, Fan, 142 p. (in Russian).
- Roedder E.** (1984) Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, (12), 646 p.
- Shabynin L.I., Pertsev N.N., Zotov I.A.** (1984) [Issues of the formation of ore-bearing skarns of dolomite contacts]. Moscow, Nauka, 105 p. (in Russian)
- Safaraliev N.S.** (2013) [Mineralogical-thermobarogeochemical features of the formation of the Shokhkadambulak iron ore deposit (Chokadambulak, North Tajikistan)]. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeny kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk [Dissertation of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences]*. Dushanbe, 213 p. (in Russian)
- Safaraliev N.S., Fayziev A.R.** (2013) [Mineralogical and geochemical features of formation of magnetite ores of the Shokhkadambulak skarn-iron ore deposit]. *Trudy XVII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova. Problemy geologii i osvoeniya nedr [Proceedings of the XVII International Symposium Named after Academician M.A. Usova. Problems of Geology and Subsoil Exploitation]*. Tomsk, NI TPU, 142–144. (in Russian)
- Sazonov V.D.** (1966) [Geochemical and physicochemical characteristics of endogenic processes at polymetallic deposits of Southwest Karamazar]. Dushanbe, Vsecoyuznyy geologicheskii fond, 272 p. (in Russian)
- Sinyakov V.I.** (1990) [Genetic types of skarn ore-forming systems]. Novosibirsk, Nauka, 71 p. (in Russian)
- Shakhov F.N.** (1976) [Geology of contact deposits]. Novosibirsk, Nauka, 131 p. (in Russian)
- Vol'fon F.I.** (1951) [Structure and genesis of Pb–Zn deposits of Western Karamazar]. Moscow, AN SSSR, 245 p. (in Russian).
- Vol'fon F.I., Titov V.N.** (1965) [Main features of geological structure of the Kansai ore field] In: *Geologiya svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Kansayskogo rudnogo polya [Geology of Pb–Zn deposits of the Kansai ore field]*. Moscow, Nauka, 21–29. (in Russian)
- Yatimov U.A., Ayupova N.R., Blinov I.A., Kotlyarov V.A.** (2019) [Bismuth minerals of sulfide-magnetite ores from the Aktash deposit (Western Karamazar, Tajikistan)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, **5** (4), 39–51. (in Russian)
- Zharikov V.A.** (1968) [Skarn deposits] In: *Genezis endogennykh rudnykh mestorozhdenii [Genesis of endogenic ore deposits]*. Moscow, Nedra, 220–302. (in Russian)