

МИНЕРАЛЕН СЪСТАВ НА ЕПИТЕРМАЛНОТО ЗЛАТНО РУДОПРОЯВЛЕНИЕ МАКЕДОНЦИ, КЪРДЖАЛИЙСКО

Страшимир Страшимиров¹, Сергей Добрев¹, Хари Драгиев²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; sbs@mgu.bg; sergeydobrev@gmail.com

²Горубсо-Кърджали АД; hbdragievi@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Разгледани са геоложкия строеж и металогената позиция на рудопроявление Македонци, като част от епитермалните нискотемпературни златосъдържащи рудопроявления в Източните Родопи. Проведени са изследване на полирани препарати от рудни образци и е извлечен изкуствен шлих от 52 kg проба от рудопроявлението. Шлихът е подложен на минералогичен анализ, като са отделени няколко фракции. След обогатяване на концентрационна маса, концентратът е разделен на едра и дребна фракция, от последната са отделени лека, магнитна и тежка фракции. Тежката фракция е разделена на тежък концентрат и отпадък (чрез обработка на концентрационна масичка Micropanner). Получените концентрат и отпадък са разделени на електромагнитна и немагнитна фракции. От тежкия немагнитен концентрат и от тежкия електромагнитен концентрат след спояване са изготвени полирани препарати. Установена е сравнително ограничена по обем рудна минерализация включваща пирит, халкопирит, марказит, хематит, магнетит, железни хидроокси, галенит, халкозин, борнит, електрум, самородно сребро и йодаргирит (?). С рентгеноспектрален микроанализ е определен количествено химическия състав на електрума, самородното сребро и халкозина, като са регистрирани индикации за присъствието на йодаргирит. Въз основа на изследванията е направено заключение, че в рудопроявлението като носители на злато доминират фази отнасящи се към електрума, направени са и предложения за възможно гравитационно извличане на златото при обогатяване на рудите.

MINERAL COMPOSITION OF THE EPITHERMAL GOLD OCCURRENCE MACEDONTZI, KARDJALI DISTRICT

Strashimir Strashimirov¹, Sergey Dobrev¹, Hari Dragiev²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; sbs@mgu.bg; sergeydobrev@gmail.com

²"Gorubso-Kardjali" JSC; hbdragievi@mail.bg

ABSTRACT. Geological structure and metallogenic position of the ore occurrence Macedontzi are discussed as a part of epithermal; low-temperature gold-bearing mineralizations in the Eastern Rhodopes. Studies are performed on polished sections and extracted heavy concentration from 52 kg probe from the ore occurrence. The heavy concentration is investigated by mineralogical analysis of several fractions that are separated from the probe. After processing through concentration table, the product obtained is divided to coarse and fine fractions, from the last one are separated float, magnetic and heavy fractions. The heavy fraction is separated to heavy concentrate and waste (using "Micropanner" concentration table). Heavy concentrate and waste obtained have been separated to electromagnetic and non-magnetic fractions. From heavy electromagnetic and non-magnetic concentrate fractions after cementing polished sections were prepared. Ore mineralization found in the ore occurrence is very limited in distribution, including minerals such as pyrite, chalcopyrite, marcasite, hematite, magnetite, Fe-hydroxides, galena, sphalerite, chalcocite, bornite, azurite, covellite, electrum, native silver and jodagrinit (?). Quantitative microprobe analyses determined the chemical composition of gold nuggets as electrum; native silver and chalcocite are confirmed by microprobe as well. Based on the results obtained, conclusions have been made that the gold is represented mainly as electrum and suggestions for its gravitational extraction during mineral processing were suggested.

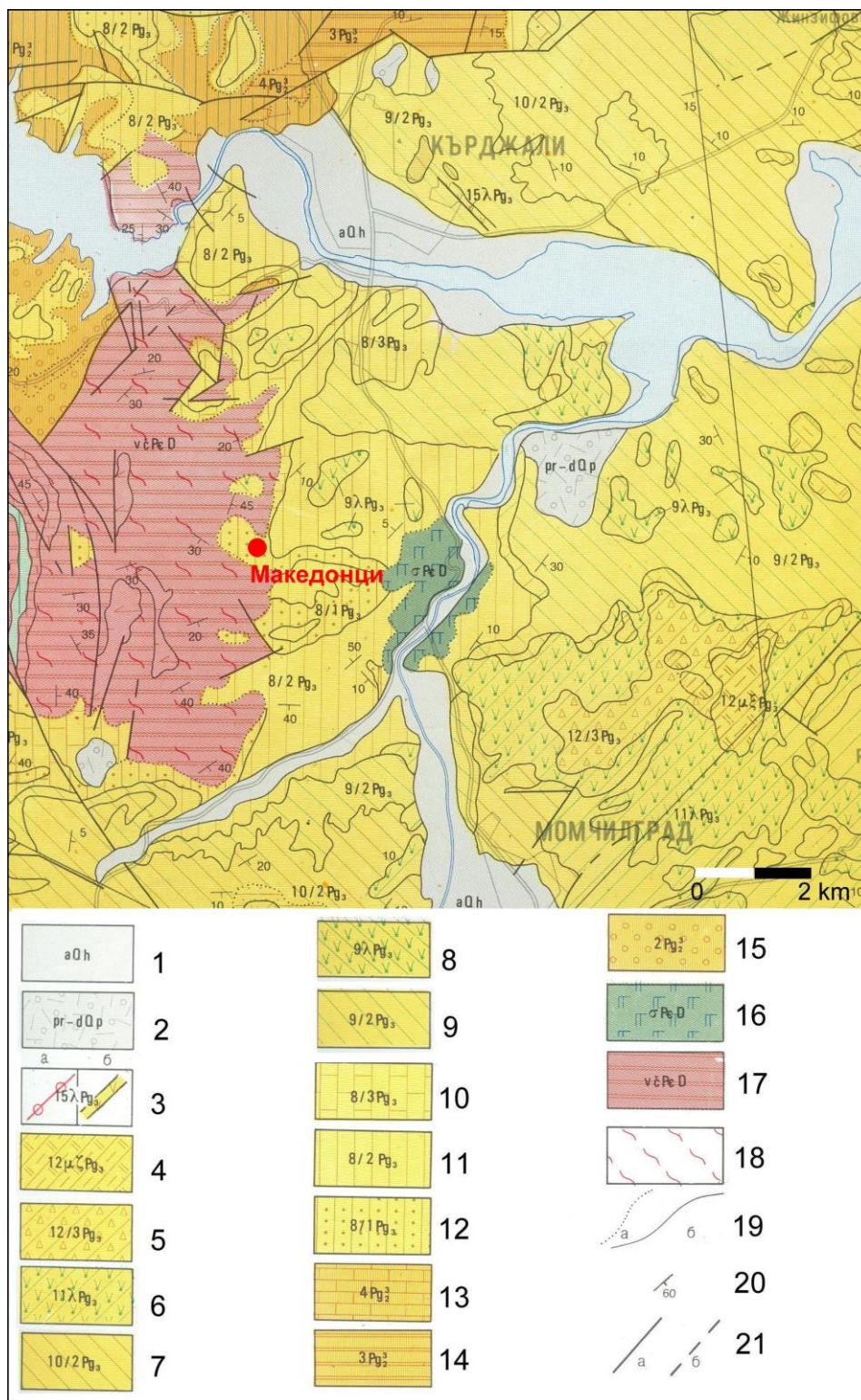
Въведение

Източнородопският руден район се характеризира с наличието на редица епитермални нискосулфидни кварц-златорудни рудопроявления и отделни находища. При проведените досега изследвания, присъствие на злато се отбелязва и в някои от полиметалните находища в района. Самородно злато под формата на неправилни, удължени или овални индивиди с големина до 10 µm е наблюдавано в рудите от оловно-цинковото находище Пчелояд (Младенова, 1989). В рудите от находище Седефче, повишените съдържания на Au според Младенова (1998; 1999) са свързани с т. н. "невидимо" злато, включено най-често в арсенипирит и в пиритови (марказитови) псевдоморфози по пиротин. В рудите от находище Чала, Au е установено в две парагенези – сулфидна и кварц-спекуларитова. Наблюдавани са електрум и самородно злато под формата на изометрични включения с големина от 0.1 до 100 µm в сулфидни минерали (сфалерит) или в

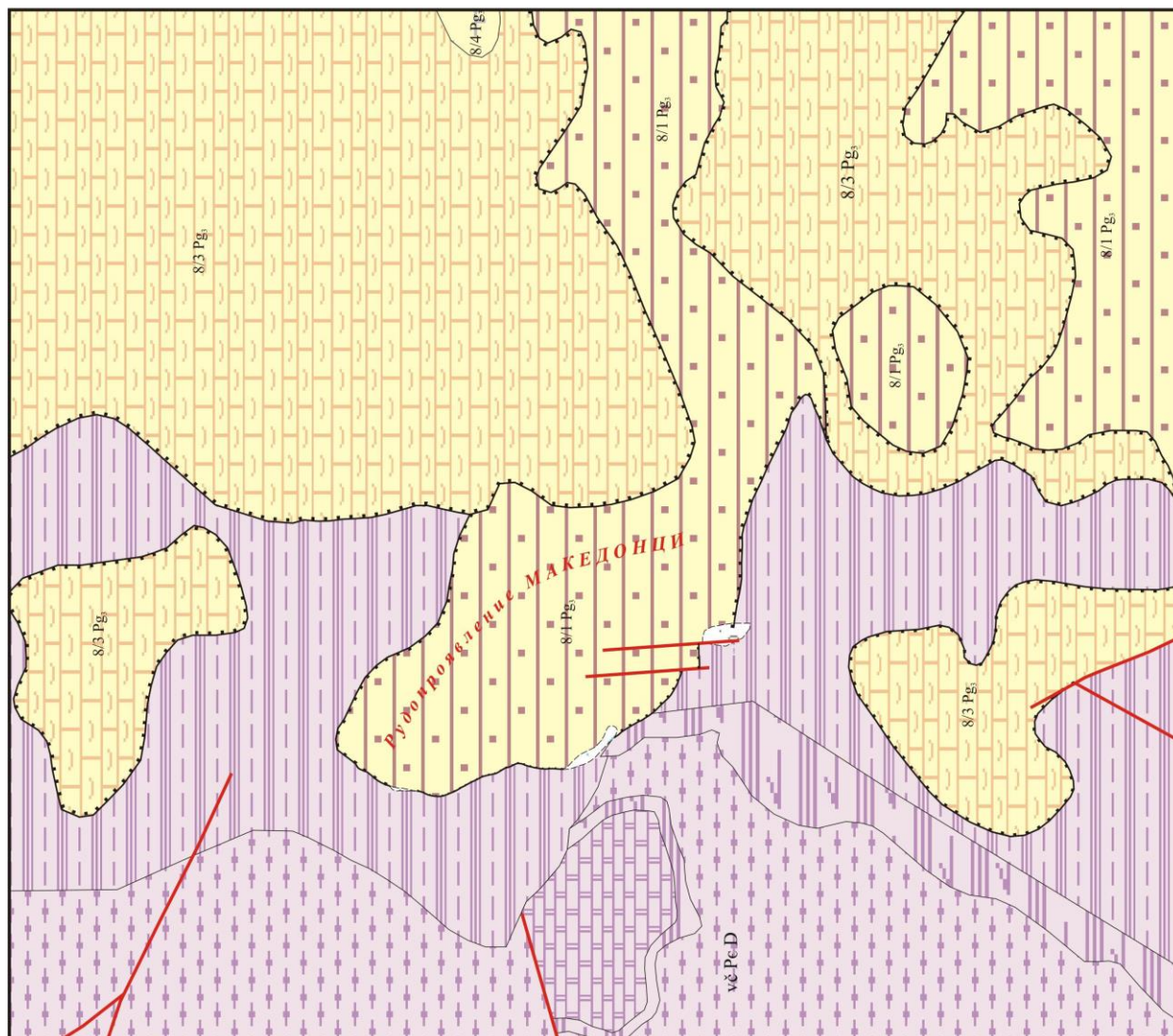
кварц. (Патрикова, 2000). Marinova (2005; 2006; 2007) изследва особеностите на златото в находище "Хан Крум", като установява, че то е разпространено предимно под формата на електрум.

Рудопроявление Македонци, разположено в близост до гр. Кърджали е едно от установените в последните години (1996 г.), проявления на злато в района, за което все още липсват публикувани данни за минералния състав и особеностите на носителите на злато в него.

Предмет на настоящата работа са резултатите от извършените изследвания за определяне на минералния му състав в полирани препарати и във фракции от концентрати, получени при обработка на 52 kg проба, взета от канавни изработки в рудопроявлението.



Фиг. 1. Схематична геоложка карта на района между Кърджали и Момчилград (по Кожухаров и др., 1995). **Кватернер:** 1 – алувиални образувания (aQh); 2 – пролувиално-делувиални образувания (pr-dQp); **Палеоген, Олигоцен:** 3 – латити, андезити, андезитобазалти, шошонити (λPg3) – а) дайки, б) тела; **Задруга на трети кисел вулканизъм (12Pg3):** 4 – риолити с перлити, 5 – пачка на агломератови кисели туфи; **Задруга на трети среднокисел вулканизъм (11Pg3):** 6 – базалти, андезитобазалти, андезити, латити, абсарокити, шошонити; **Задруга на втори кисел вулканизъм (10Pg3):** 7 – пачка на риолитови и риодацитови туфи и туфити; **Задруга на втори среднокисел вулканизъм (9Pg3):** 8 – дребнопорфирни латити, 9 – пачка на среднокисели туфи, туфити, органогенни (рифови) варовици; **Задруга на първи кисел вулканизъм (8Pg3):** 10 – пачка на органогенни (рифови) варовици, 11 – пачка на кисели туфи, туфити, алевролити, органогенни (рифови) варовици, 12 – конгломератно-пясъчникова пачка; **Горен Еоцен:** 13 – мергелно-варовикова задруга (органогенни варовици, пясъкливи варовици, мергели – 4Pg3), 14 – възелносно-пясъклива задруга (конгломерати, пясъчници, глинести алевролити, въглища – 3Pg3), 15 – брекчоконгломератна задруга (брекчоконгломерати, конгломерати, гравелити, пясъчници – 2Pg3); **Докамбрий. (Родопска надгрупа. Рупчоска група):** 16 – метаморфозирани ултрабазити (метасерпентинити – σPg3D), 17 – Вчанска пъстра свита (биотитови гнайси с прослойки от разнообразни шисти и гнайси, лептинити, железоносни кварцити, мрамори, амфиболити и др. – vcPg3D); 18 – Диафтореза; 19 – литоложка граница – а) несъгласна (трансгресивна), б) нормална литостратиграфска, на магмените скали и на кватернерните образувания; 20 – слоистост и фолиация; 21 – разсед и отсед а) установени, б) предполагаеми



Фиг. 2.

УСЛОВНИ ЗНАЦИ:

ПАЛЕОГЕН
ОЛИГОЦЕН

Задруга на първи кисел вулканизъм 8P_{g5}

8/4 P_g Пачка на кисели туфи

8/3 P_g Пачка на органогенни (рифови) варовици

8/1 P_g Пачка на пясъчници и алеролити

ДОКАМЕРИЙ
РОДОПСКА НАДГРУПА

Рупоска група

vč Pe D Вълчанска пясъра свита

Кварцови амфиболити и амфиболови шисти

Биотитови гнайсошисти

Лептитови гнайси

Мрамори с прослойки от калкошисти

Геоложки граници: А - нормални; Б - несъгласни

Разломи

Антични минни отвали

Рудопроявление МАКЕДОНЦИ Геоложка карта

(По геоложката карта в М 1:25000 на Шапатов, 1961;
Геоложка карта на България в М 1:100000, 1988
и данни от геолого-проучвателните работи, провеждани
от ГОРУБСО-АД, гр. Кърджали)

0 100 200 300 400 500m

Геоложки строеж на района на рудопроявлението

Епитермалните нискосулфидни кварц-златорудни находища и рудопроявления в Източните Родопи са разположени най-често по периферията на депресии, запълнени от вместващите ги палеогенски седименти. Най-много на брой епитермални нискосулфидни рудопроявления и едно находище (Хан Крум) са установени в Момчилградската депресия, главно в района на Крумовград (Крумовградско рудно поле). Орудяванията по югоизточния борд на Момчилградската депресия гравитират около Ирантепенския вулкан (Сърница, Скалак, Хан Крум, Подрумче и др.). Такова орудяване се среща и в теригенни скали от изолирани грабени, наложени върху метаморфитите, които са развити в южните бордови части на Източнородопското понижение (рудопроявление Розино). Формирането на кварц-злато-адуларовите орудявания, според Милев и др. (2007) е предшествовало вулканската дейност, но генетично е свързано с вулканизма и най-вероятно представлява негова първоначална изява.

В приабонските седименти, подстилащи вулканитите, са установени пластообразни монокварцови тела тип "sinter", за които се предполага, че са надрудни или горнорудни, по отношение на този тип орудявания. От друга страна установената епитермална нискосулфидна кварц-златорудна минерализация в теригенни скали от задругага на 1-ви кисел вулканизъм в централните части на Момчилградската депресия (рудопроявление Стремци) и в северозападната и периферия (рудопроявление Македонци) подсказват, че златорудната минерализация е най-малкото синхронна с първите прояви на вулканска дейност в съответните вулкански центрове.

Рудните тела са представени от линейни щокверки и зони на интензивно окварцяване (и адуларизация) и по-рядко от пластообразни залежи. Рудните минерали в епитермалните нискосулфидни находища в този район, според Милев и др. (2007) включват спорадични сулфиди (пирит, марказит, халкопирит, арсенопирит, пиротин, сфалерит, галенит), тетраедрит, електрум и Au-Ag телуриди.

Рудопроявлението е разположено в района на вр. Калето и попада в землището на едноименното кърджалийско село. Отстои на около 8 км южно от град Кърджали. То е открито и оценено от MINORKO и впоследствие интерпретирано от GRAMEX като "потенциално епитермално златно рудопроявление, вместено в теригенни седименти и благоприятна геолого-структурна позиция, подобна на доказаната промишлена минерализация в находище Перама Хил, Северна Гърция". Детайлните геолого-проучвателни работи се извършват от ГОРУБСО-АД, гр. Кърджали.

Районът на рудопроявлението попада в западния борд на Момчилградската вулcano-тектонска депресия и е изграден от пясъчници, конгломерати и органогенни варовици, разположени трансгресивно върху метаморфния фундамент (фиг. 1).

Метаморфният фундамент в района е изграден от Въчанската свита ($v\bar{c}PeD$) на Рупчоската група (Кожухаров, 1984). Върху един основен гнайсов фон от дребнозърнести биотитови гнайси (на места с гранат и графит) се наблюда-

дават различно дебели прослойки от двуслюдени гнайси до гнайсошисти, гранат-кианитови гнайси и шисти, мрамори, амфиболити, калкошисти и по-рядко амфибол-биотитови и амфиболови гнайси. В свитата е проявен базичен до ултрабазичен магматизъм, представен от послойни тела и лещи на метасерпентинити, дребнозърнести гранатови ортоамфиболити, послойни метавулкани и техните туфи. Всички скали са пресечени от послойни пегматити.

Палеогенските седименти са представени от материалите на задругата на първи кисел вулканизъм ($8Pg_3$), които залягат върху пестра подложка от метаморфните скали на кристалиния цокъл (фиг. 2). В основата си това са пясъчници и алевролити и в по-малка степен базални конгломерати от пясъчниково-конгломератната пачка ($8/1Pg_3$), върху които с ъглов дискорданс залягат варовиците от пачката на органогенните (рифови) варовици ($8/3Pg_3$). Те не са характерните за тази свита – по-скоро това са туфозни варовици, преминаващи често във варовити туфи. Границата между двата структурни етажа е контрастна, с добре проявено ъглово несъгласие.

В конгломератно-пясъчниковата пачка се наблюдават отделни разкрития и обширни блокажи от интензивно епитермално променени пясъчници и конгломерати. Промяната се проявява в кварц-серицитов до монокварцови фацеси. Повсеместно се срещат типично нискотемпературни опал-халцедон-баритови жили, маркирани малко по-високо от рудното ниво. В органогенните варовици не са проявени никакви следи от хидротермална дейност. По всяка вероятност епитермалната минерализация е обхващала значително по-голяма площ, но в по-голямата си част е еродирана, за което свидетелстват широко разпространените (до 4-5 km около сегашните разкрития) аналогични минерализирани блокове и късове.

В пясъчниците (по-често в южния хълм) се разкриват окварцени до кварцити пясъчници – обилно хематизирани и лимонитизирани. Очертани са контурите на две рудни тела – едното под вр. Калето, а другото – под южния хълм. Те са с максимална дебелина около 28 m.

Минерализацията в рудопроявление Македонци се характеризира с наличието на два морфоложки типа орудяване – линеен щокверков тип и пластовидни рудни тела. Макроскопски рудната минерализация е твърде оскъдна и видимо се установяват само участъци с по-интензивна пиритизация, в които пиритът е подчертано финозърнест.

Материал и методика

Изследванията са извършени върху образци от сондажна ядка, канали и от повърхностни разкрития в рудопроявление Македонци. От избраните представителни рудни образци са изготвени 40 броя аншлифи за изследване в отразена светлина под микроскоп и изучаване състава на рудната минерализация. Извършени са микроскопски изследвания на изготвените аншлифи за изучаване на рудната минерализация. При проведените минераложки изследвания бе установен твърде оскъден набор от рудни минерали и бяха наблюдавани отделни включения с малки размери, твърде сходни по оптически характеристики със самородното злато.

С оглед получаването на допълнителни резултати и най-вече за диагностиране на включенията, носители на злато в рудопроявлението, бе изготвен изкуствен шлих от 52 килограмова рудна проба, върху който бяха направени минераложки изследвания със стереомикроскоп, а впоследствие бяха изготвени споени препарати за наблюдения в отразена светлина.

Последователността на обработка на изследваната 52 kg рудна проба включва:

- предварително натрошаване до 3 mm, хомогенизиране и квартоване и отделяне на представителна проба от 2 kg;
- смилане на отделената представителна проба в топкова мелница в продължение на 5min;
- обогатяване на концентрационна маса в два цикъла (получаване на първоначален концентрат и повторното му обогатяване до краен концентрат (с тегло 127.3 g).

Получения краен концентрат е разделен на фракции, както следва:

- *едра фракция* (10.1 g) – получена чрез пресяване със сито 1mm;
- *дребна фракция*, от която са отделени, както следва:
- лека фракция (114. 8 g);
- магнитна фракция (1.17 g, извлечена с обикновен магнит);
- тежка фракция – 1.22 g; извлечена е чрез третиране с тежки течности (CHBr₃ бромформ, отн. тегло – 2.92).

Впоследствие тежката фракция отново е разделена с неодимов (NdFeB) магнит с по-силно магнитно поле и е извлечена по-слабо магнитна (магнитно-електромагнитна) фракция с тегло 0.46 g, в която са установени 2 златинки, едната от които е срастнала с железни хидроксиди, вероятно образувани по пирит.

Немагнитната фракция е обработена на концентрационна масичка Microrapner и е разделена на тежък концентрат и отпадък.

Както тежкия концентрат (0.29 g), така и отпадъка (0.47 g) са подложени на електромагнитна сепарация и са получени съответно тежък електромагнитен концентрат (0.12 g) и отпадък (0.38 g), тежък немагнитен концентрат (0.17 g), и немагнитен отпадък (0.09 g).

Електромагнитният и немагнитен отпадък са изследвани с бинокуларен стереомикроскоп при увеличение до 45x. Златинки в тях не са установени.

След изследване с бинокуларен стереомикроскоп на тежкия електромагнитен и на тежкия немагнитен концентрат и извличането на над 30 златинки за по-нататъшни изследвания от двете фракции са изработени споени полирани препарати за изучаване в отразена светлина.

За изучаване химизма на рудните минерали са проведени количествени рентгеноспектрални микроанализи, с помощта на сканиращ електронен микроскоп JEOL JSM 35CF, с рентгенов микроанализатор Tracor Northern TN-2000, в лабораторията на "Евротест-Контрол", ЕАД. Анализите са извършени с приставка EDEX, като стандарти са използвани чисти метали и природни съединения.

Резултати от проведените изследвания

А) Рудни минерали

Полираните препарати са изготвени от брекчирани, окварцени и ожелезненени пясъчници и кварцити от рудо-проявление Македонци. При тяхното изследване са установени сравнително ограничен брой рудни минерали, представени предимно от пирит и железни хидроксиди (гъотит), марказит, електрум, хематит, магнетит и др. В полирани препарати изготвени при спояване на зърна от различните фракции на изкуствения шлих, освен тези минерали са наблюдавани също така халкопирит, сфалерит, галенит, халкозин, малахит, азурит и пиротин.

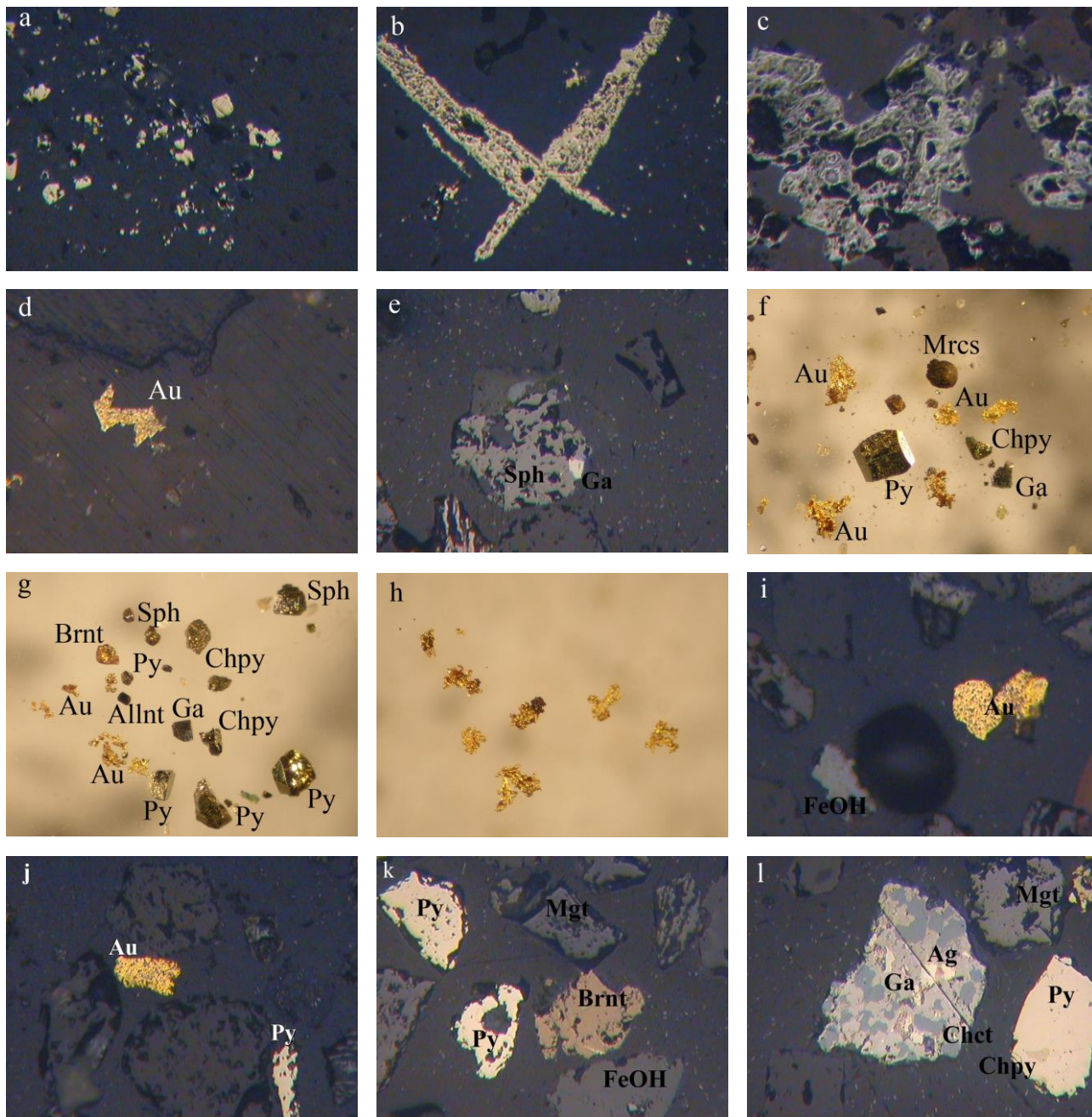
Пирит. Пиритът е преобладаващият руден минерал. Често е локализиран в по-късни, окварцени жилки, пресичащи вместващите скали. Представен е от няколко морфоложки разновидности. В някои от препаратите пиритът е изключително финозърнест, с размери на зърната под 20 µm и е локализиран в отделни участъци (фиг. 3a) и линейно изтеглени зони. Финозърнестият пирит на места е концентриран в интерстициите между кварцови зърна и агрегати и вероятно е по-късен, с метасоматичен произход. Наблюдава се и по-едрозърнест пирит с големина на индивидите около 50 µm, като една част от индивидите са идиоморфни, а друга част – хипидиоморфни и ксеноморфни. В централната част на някои от по-големите пиритови зърна се наблюдава излужване. Установени са и реликти от по-големи пиритови зърна, замествени впоследствие от кварц, с типична скелетна структура. Наблюдавани са процеси на марказитизация на пирита. В цвета на пирита, отложен в междузърновите пространства на кварцови индивиди, се установяват вариации – от по-светложълт до по-тъмносивобежов цвят, вероятно в резултат на прекристализация на част от пирита и образуването на марказит, често под формата на удължени индивиди (фиг. 3b). В повечето случаи пиритът е частично или напълно заместен от железни променителни продукти. Установени са единични агрегати с по-големи размери (100-300 µm), които могат да се разглеждат като фрагменти от първичен пирит, заместен впоследствие от железни хидроксиди. В най-външната част на подобни агрегати се наблюдават фини кантове от по-светлосив железноокисен минерал – хематит, а централните участъци са излужени.

Железни хидроксиди (гъотит). Железните хидроксиди образуват отделни агрегати с неправилни очертания с големина до 200-300 µm, в повечето случаи нехомогенни, неравномерно оцветени в сив цвят с различни оттенъци – от светло- до тъмносиво. В някои от агрегатите се наблюдава зоналност – централните части са изградени от по-тъмносиви участъци, а периферията – от по-светлосиви. В резултат на твърде интензивни променителни процеси, често се характеризират с каверни на излужване, като в някои случаи агрегатите показват типични скелетни структури. В други случаи железните хидроксиди имат коломорфен строеж. Наблюдават се и повлекла и жилки от железни хидроксиди, развити по пукнатини във вместващите скали или пресичащи кварцови зърна. В някои от наблюдаваните препарати железните хидроксиди се срещат под формата на налепи и кантове, облицоващи стените на фини пори и малки каверни. В единични случаи се срещат агрегати от железни хидроксиди с правоъгълни очертания, заместващи вероятно идиоморфни кристали от първичен

пирит. В един от изследваните препарати сред железните хидроксида е установено включение от самородно злато.

Марказит. В изследваните препарати е наблюдаван под формата на срастъци от линейно удължени индивиди, като формата на срастъците е Х-образна или неправилна, до радиалнолъчеста (фиг. 3b). Размерите на индивидите,

изграждащи срастъците по дългата ос варират от 50-60 до 200-300 μm . Възможно е образуването на минерала да е резултат от заместването на удължени сулфосолни минерали или пък марказитът е образуван при прекристализация на пирит. Единични марказитови зърна и срастъци, развити по пирит са наблюдавани в някои от изследваните препарати.



Фиг. 3. Микрофотографии на рудни минерали от рудопроявление Македонци (a, b, c, d, e, i, j, k, l – отразена светлина; f, g, h – стереомикроскоп; ширина на видното поле a, b, c, d, e, i, j, k, l – 320 μm ; f – 2.5 mm, g – 2.0 mm, h – 1.8 mm): a – участък с обилно развита фина пиритизация (отчетливо личат отделни пиритни зърна с евхедрален строеж, някои са с хипидиоморфозърнеста структура или неправилни очертания); b – Х-образен срастък от два удължени индивида от марказит; c – агрегат от железни хидроксида развит по пирит и частично излужен (скелетен тип структура); наблюдават се фрагменти от характерни за пирита очертания на зърната; d – включение с неправилна форма, много високо отражение и наситен жълт цвят, вероятно самородно злато; e – зърно от сфалерит с включение от галенит; f – самородно злато сред други рудни минерали в тежката немагнитна фракция; g – характерни рудни минерали, установени в тежката немагнитна фракция; h – различни по форма и размери златинки от тежката немагнитна фракция (най-фината златинка е с размери по дългата ос 0.02 mm, а най-едрата – 0.14 mm); i – две зърна от самородно злато с изометрична форма и недобре полирана повърхност, в резултат на ниската твърдост на златото; j – единично зърно от самородно злато, долу вдясно – удължен фрагмент от пиритов индивид.; k – зърна от борнит, магнетит, пирит, и железни хидроксида; l – зърно от галенит, сред което се наблюдават самородно сребро и халкоцит, встрани – по-голяма зърно от пирит, с включение от халкопирит, а над тях – магнетит. Съкращения: Ag – самородно сребро, Allnt – аланит, Au – самородно злато, Brnt – борнит, Chct – халкоцит, Chpy – халкопирит, FeOH – железни хидроксида, Ga – галенит, Mgt – магнетит, Mrcs – марказит, Py – пирит, Sph – сфалерит

Електрум. В изследваните препарати са наблюдавани няколко на брой включения от електрум. Включение от електрум е установено в агрегати от железни хидроксида (фиг. 3с). Вероятно, в случая железните хидроксида са заместили по-голям първичен пиритов кристал, в централната част на който е присъствала единична златинка с изометрична морфология. При окислението на пирита минералът е бил напълно заместен от променителните продукти, докато електрума е останал непроменен. Наблюдавано е включение от електрум с неправилна морфология, с големина около 10 μm , отложено по фина пукнатина в кварц (фиг. 3d). Наличие на златинки с неправилна морфология, с големина от порядъка на 20-30 μm , е установено в основната маса на окварцени и ожелезвени вместилища скали. Електрумът в отразена светлина се характеризира с високо отражение и специфичен жълт цвят. Разнообразни по форма, но със сравнително фини размери зърна се наблюдават в тежката немагнитна фракция (фиг. 3f, g, h, j, i). Химизмът на установените златинки е изследван с количествен рентгеноспектрален микроанализ, като резултатите са показани по-долу (табл. 1). От тях се вижда, че златото е представено под формата на електрум, т. е. във всички анализирани златинки съдържанието на сребро е над 17 тегл. % (варира между 21-28 тегл. %). По-широкото присъствие на сребро в минералната асоциация се подчертава и от установяването на самородно сребро, диагностирано като включения в галенит.

Самородно сребро. Установено е в единичен случай като малки капковидни включения в галенит (фиг. 3l). Фазата е изотропна и се характеризира с твърде високо отражение и бял цвят в отразена светлина. В Табл. 1. са показани получените количествени резултати от рентгеноспектралния микроанализ по отношение на състава на самородното сребро. Като примеси в него се установяват Fe, Cu, As и Sb. Възможно е анализираното зърно да е с твърде малка дебелина и тези елементи да се регистрират от разположен в дълбочина халкозин или сулфосолен минерал.

Хематит. Наличие на хематит е установено в няколко от изучаваните препарати. Хематитът се среща под формата на малки агрегати със сив цвят, с размери до около 100 μm , включени в основна маса от кварц. Минералът се среща и във вид на плочести индивиди, разположени в централната част на агрегати, съставени от железни хидроксида или е развит под формата на по-светъл сив кант по периферията на железните хидроксида. Наблюдавани са и единични зърна от плочест хематит с размери под 150 μm .

Магнетит. Присъствие на магнетит е установено в единични случаи. Минералът е с наситеносив цвят, слаб кафеникав оттенък, с относително висока твърдост и е изотропен. Наблюдаваните магнетитови зърна са често изронени, встрани присъстват фрагменти от железни хидроксида.

Халкопиритът е рядък минерал в асоциацията, среща се като фини капковидни или слабо удължени включения с микронни размери сред по-големи зърна от пирит (фиг. 3-i), както и като самостоятелни зърна с неправилна форма (фиг. 3к, i).

Сфалеритът асоциира с галенит като оформя неправилни по форма изометрични зърна (фиг. 3е).

Галенит. Освен като срастъци със сфалерит, галенитът се среща и като отделни по-големи индивиди в асоциация със самородно сребро и халкоцит (фиг. 3l).

Борнитът има ограничено разпространение, установен е като единични зърна с неправилна форма (фиг. 3g, k).

Халкоцит е наблюдаван в единични случаи в асоциация с галенит (фиг. 3l). Възможно е да се касае за вторично образуван халкоцит по халкопирит.

Азурит и ковелин са наблюдавани единствено в тежката немагнитна фракция. Вероятно са образувани като вторични минерали, заместващи халкопирит.

Йодаргирит(?) е наблюдаван при рентгеноспектралните изследвания като малко зърно с неправилни очертания, в което се регистрират като основни линииите на среброто и йода, но поради отсъствие на подходящ еталон за йод, минералът не е диагностиран количествено.

Б) Разпределение на минералите в различните фракции на изкуствения шлик

Резултатите за минералния състав на изследваните фракции, могат да бъдат обобщени по следния начин:

Магнитно-електромагнитна фракция

При изследването в бинокулярен стереомикроскоп се установява голямо количество магнетит, хематит, железни хидроксида, гранат, амфибол, илменит, пиротин, хромит и две златинки. Във фракцията се установяват единични зърна от пиротин и късчета с жълт цвят, с по-големи размери (1-2 mm), които след проверка на електронен микроанализатор, се оказаха артефакти (късчета от месингови стружки, попаднали в пробата, вероятно още в процеса на сондиране). Двете наблюдавани златинки са с неправилна дендритовидна форма, срastнали железни оксиди и хидроксида (хематит, гьотит).

Тежък електромагнитен концентрат

Наблюдения в бинокулярен стереомикроскоп:

Преобладават късчета от железни хидроксида (хидрохематит, лимонит, гьотит и др.), сред които се установяват единични включения от самородно злато, най-често в срastъци с железните хидроксида. Във фракцията присъстват също така турмалин, хромит(?), илменит, марказит, голямо количество гранати, амфибол, рутил, биотит.

Наблюдения на споен полиран препарат

В препарата изобилстват включения от железни хидроксида, магнетит, както и единични срastъци на железни хидроксида с пирит и халкопирит. Съвсем рядко се установяват единични зърна от халкопирит и сфалерит. Рядко се наблюдават коломорфни текстури, развити най-вероятно по агрегати от гьотит или псевдоморфози на железни хидроксида по кристали от пирит. Пирит се среща съвсем рядко, като срastъци с железни хидроксида. В пробата са наблюдавани и единични късчета от артефакти (месинг).

Тежък немагнитен концентрат

Наблюдения в бинокулярен стереомикроскоп

При наблюденията във фракцията са установени следните минерали: пирит, барит, самородно злато,

Таблица 1. Количествени рентгеноспектрални анализи на електрум (1, 2 и 3), самородно сребро (4 и 5) и халкоцит (6)

Анализ, №	Елементи (тегл. %)							Сума
	Au	Ag	Fe	Cu	As	Sb	S	
1	69.93	26.98	1.71	0.54	0.0	0.0	0.0	99.16
2	73.27	25.63	0.73	0.0	0.0	0.0	0.0	99.62
3	70.10	28.84	0.40	0.0	0.0	0.0	0.0	99.34
4	2.23	91.63	0.12	2.74	1.84	0.89	0.0	99.01
5	2.00	92.35	0.0	2.85	2.82	0.0	0.0	100.01
6	0.0	0.0	1.50	75.95	1.00	0.0	21.43	99.85

Кристалохимични формули: 1 – $Au_{0.55}Ag_{0.39}Fe_{0.05}Cu_{0.01}$; 2 – $Au_{0.60}Ag_{0.38}Fe_{0.02}$; 3 – $Au_{0.57}Ag_{0.42}Fe_{0.01}$; 4 – $Ag_{0.90}Cu_{0.05}Au_{0.01}As_{0.03}Sb_{0.01}Fe_{0.002}$; 5 – $Ag_{0.90}Cu_{0.05}Au_{0.01}As_{0.04}$; 6 – $(Cu_{1.89}Fe_{0.04}As_{0.02})_{1.95}S_{1.05}$

галенит, циркон, рутил, анатаз, апатит, корунд, шеелит(?), халкопирит, сфалерит, азурит, борнит, марказит, арсенопирит, каситерит. На фиг. 3-г са показани типични форми на златинки, установени в тежкия немагнитен концентрат в асоциация с други рудни минерали. На Фиг. 3-н са показани отделни характерни златинки, отделени от общата маса на тежкия немагнитен концентрат. Преобладават златинки с дендритовидна форма и размери между 50 и 150 μm . В немагнитния отпадък (след обработка с Мисгоранпер) са установени единични зърна от азурит и ковелин.

Наблюдения на споен полиран препарат

При микроскопските наблюдения в препарата са установени следните рудни минерали: самородно злато, самородно сребро, йодаргирит(?), пирит, халкопирит, галенит, сфалерит, борнит, халкоцит, магнетит, железни хидроксиди и единични късчета от артефакти (месинг). Самородното злато е представено от малки зърна с характерен жълт цвят и високо отражение. Наблюдавани са срастъци на самородно злато с пиритни кристали и агрегати. На фиг. 3i и 3j са показани наблюдавани златинки в споения препарат от тежката немагнитна фракция.

Изводи

В резултат на проведените изследвания може да се заключи, че наблюдаваните носители на злато са представени от дендритовидни златинки със сравнително фини размери (от 20 до 240 μm), които по химичен състав показват високи съдържания на сребро и могат да се номинират като електрум. По-широкото присъствие на среброто се подчертава и от наблюдаваните включения от самородно сребро и йодаргирит (?). Като цяло асоциацията от рудни минерали включваща освен златото и минерали като галенит, сфалерит, халкопирит и др. насочва към типичен хидротермален произход на златната минерализация, която най-вероятно е свързана с проявление на ниско до среднотемпературно орудаване от епитермален нискосулфиден тип. Особеностите на носителите на злато дават основание да се предположи, че е възможно голяма част от него да се извлече чрез гравитационна концентрация, което следва да се провери със съответните лабораторни и полупромишлени тестове, с прилагане на непрекъснат минералогичен контрол на междинните, отпадните и крайни продукти

Благодарности. Изказваме нашата благодарност на фирмата "Горубсо – Кърджали" АД за предоставената възможност за провеждане на изследванията, както и на А. Хаджиев и Т. Добрева за съдействието при извличането и изучаването на изкуствения шлик.

Литература

- Кожухаров, Д., А. Горанов, И. Боянов, Е. Кожухарова, Ж. Шилияфова, М. Русева. 1995. *Геоложка карта на България М 1:100000*, к.л. Кърджали. С., КГМР, Геология и Геофизика, АД (карта и обяснителна записка).
- Куйкин, С., Ю. Христова, К. Петрова, И. Георгиева, Т. Тодоров. 1996. Златоносни рудни комплекси в България. – *Геология и минерални ресурси*, 4, 4-9.
- Милев, В., Н. Обретенов, В. Георгиев, А. Аризанов, Д. Желев, И. Бонев, И. Балтов, В. Иванов. 2007. *Златните находища в България*. С., "Земя, 93", 208 с.
- Младенова, В. 1989. *Минералогия и генетични особености на Звездел-Пчелоядското рудно поле, Източни Родопи*. – Автореферат канд. дис., С., СУ "Кл. Охридски", ГГФ, 26 с.
- Младенова, В. 1998. Минералогия и проблемът на златото в находище Седефче, Източни Родопи. – *Год. СУ "Св. Кл. Охридски", ГГФ*, 90, 1, 101-130.
- Младенова, В. 1999. Благородните метали в находище "Седефче", Източни Родопи. – *Минно дело и геология*, 1-2, 36-40.
- Патрикова, В. 2000. Минералого-геохимични и генетични особености на орудавания в Спахиевското рудно поле, Източни Родопи. – *Автореферат канд. дис.*, С., СУ, "Св. Кл. Охридски", ГГФ, 38 с.
- Marinova, I. 2005. Hypogene and supergene minerals in "Khan Krum" gold deposit, "Stenata" site (Eastern Rhodopes), at Tokachka detachment fault contact. – *Proc. Jub. Intern. Conference "80 Years Bulgarian Geological Society"*, 168-170.
- Marinova, I. 2006. Preliminary data on the morphology of electrum from the layer-like pervasive silicification in Stenata outcrop, Khan Krum gold deposit, SE Bulgaria. – *Proceedings, Geoscience 2006*, 113-116.
- Marinova, I. 2007. Morphometry of electrum from layer-like pervasive silicification in Stenata outcrop, low-sulfidation Khan Krum gold deposit, SE Bulgaria. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 60, 983-990.
- Mladenova, V. 1989. Mineral parageneses from the Zvezdel-Pcheloyad ore fields periphery, East Rhodopes. – *Geologica Rhodopica*, 1, 487-490.
- Mladenova, V. 1994. Gold and its parageneses in the volcanic hosted Zvezdel-Pcheloyad ore field (Eastern Rhodopes, Bulgaria). – *International Volcanol. Congress IAVCEI*, 12-16 September, 1994, Ankara, Turkey, Abstracts.

Препоръчана за печат от
Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГГФ