



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ
Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“

Данаил Янков Йовчев

САМОРОДНО ЗЛАТО И ПЛАТИНА ОТ ИЗТОЧНА СТАРА ПЛАНИНА

Научно направление:

4.4 Науки за Земята (Геология и проучване на полезни изкопаеми)

Автореферат

за придобиване на
образователна и научна степен “доктор”

Научен ръководител:

доц. д-р Веселин Ковачев

Рецензенти:

доц. д-р Василка Младенова

доц. д-р Желязко Дамянов

София, 2019 г.

Защитата на дисертацията ще се състои на 01.10.2019 г. (вторник) от 14:00 ч. в аудитория 81 в Ректората на СУ "Св. Климент Охридски".

Материалите по защитата са на разположение в канцеларията на Геолого-географски факултет на Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. Цар Освободител № 15, етаж 2, стая 254.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен катедрен съвет на Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“ на Геолого-географски факултет при СУ „Св. Климент Охридски“, проведен на 30.05.2019 г. и насочен за защита на заседание на Факултетния съвет на ГГФ при СУ на 25.06.2019 г.

Научно жури:

1. доц. д-р Василка Младенова (председател и рецензент)
2. доц. д-р Желязко Дамянов (рецензент)
3. проф. д-р Камен Богданов
4. доц. д-р Камен Попов
5. доц. д-р Калин Русков

Настоящото изследване е осъществено благодарение финансовата подкрепа на два мултидисциплинарни проекта:

- „Археометрично изследване на златните находки от Варненския енеолитен некропол и идентифициране на източниците на злато“ (ДО 0260/10.12.2008) финансиран от Фонд „Научни изследвания“ към Министерството на образованието, младежта и науката;
- „Archäometallurgische und paläoanthropologische Untersuchungen des Gräberfeldes von Varna, Bulgarien“ (PE 405-25-1) финансиран от Немския изследователски фонд (DFG).

Изследванията по дисертационната работа са извършени в Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“ към СУ; в Лабораторията за лазерна аблация с масспектрометрия в индуктивно свързана плазма към Геологическия институт „Страшимир Димитров“, БАН, в лабораториите на Международния център по археометрия „Курт-Енгелхорн“ (Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie – CEZA) в Манхайм, Германия и в Катедра „Геология и проучване на полезни изкопаеми“ към Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“.

Характеристика на дисертационния труд

Дисертацията съдържа 212 страници текст, включващи 90 фигури, 9 таблици, 9 приложения и 15 страници литература (общо 251 цитирани заглавия, от които 124 на кирилица и 127 на латиница).

Текстът на дисертацията е структуриран в следните глави:

Увод – 2 стр.

1. Геоложка характеристика на изследваната област – 28 стр.

2. Материали и методика на изследване – 12 стр.

3. Характеристика на алувиалното злато – 76 стр.

4. Характеристика на алувиалната платина – 15 стр.

5. Съпътстващ минерален състав на шливите проби – 9 стр.

6. Дискусия – 6 стр.

7. Заключение – 3 стр.

Благодарности – 1 стр.

Литература – 20 стр.

Приложения – 40 стр.

Списък на съкращения в автореферата:

ИБТЗ – Източнобалканска тектонска зона

ЦБПТЗ – Централнобалканска-Предбалканска тектонска зона

ш. п. – шлихова проба

SEM – Сканиращ електронен микроскоп

F.I. – показател на сплеснатост (Flatness Index)

LA-ICP-MS – лазерна аблация с маспектрометрия в индуктивно свързана плазма

bdl – под прага на чувствителност на метода (below detection limit)

mdl – минимална гранична стойност на откриване (minimum detection limit)

МП – минерали от групата на платината

Уточнения:

Имената на шливите проби са съставени от имената на опробваните реки или близки села и число показващо поредността на пробата от изворните части към устието на реките (напр. LKAMCHIA2, DVOINITSA2), като по този начин дават представа за тяхното местоположение. Имената на изследваните зърна са съставени от абревиатурата на имената на шливите проби, буква G (за злато) или P (за платина) и пореден номер (напр. LK2G3, DV2P1).

В настоящия текст за краткост се използва обобщителното словосъчетание „златно зърно“ вместо термините „Au-Ag фази“, „самородно злато“, „електрум“ или „златен агрегат“. Със същата цел е използвано и словосъчетанието „платинови зърна“ вместо „минерали от групата на платината“, „самородна платина“, „Pt-Fe фази“ или „Os-Ir-Ru-Pt фази“. Там, където се изисква правилното посочване на термините са използвани именно те.

УВОД

Златото и платината са благородни метали, чиито ценни свойства обуславят постоянния ръст на потреблението им в цялата история на човешката цивилизация. В наши дни освен за бижутерийни цели и като валутен резерв, те намират широко приложение в най-различни сфери на промишлеността и в съвременната медицина. Това обуславя нестихващия интерес към тези метали от страна както на бизнеса и финансовия сектор, така и на учените от различни направления на природните науки.

Самородното злато и платината се отличават с високо относително тегло и химическа инертност, поради което тяхното поведение в природните разсипообразователни процеси е практически идентично. Много често те се локализируют съвместно в тежките фракции на шлихови проби от алувиални седименти и представляват подходящи обекти за изучаване на техните минераложки особености като индикатори за образуването, транспорта и предполагаемите им коренни източници. Особено когато данни за коренни златоносни минерализации в даден район напълно отсъстват или са изключително оскъдни. Именно такъв е районът на Източна Стара планина, на фона на множеството добре известни златосъдържащи находища и рудопроявления в други региони на страната (Средногорието, Родопите, Западен Балкан).

При настоящите изследвания самородно злато и платина са установени в отделни шлихови проби от алувиални седименти от реките в Източна Стара планина. Този район в геоложко отношение е изцяло доминиран от седиментни скали от различни литостратиграфски единици, които не могат да бъдат разглеждани като коренни източници на злато и платина. Магматичните прояви са силно ограничени по площ, а наличните данни за коренни златосъдържащи минерализации са много оскъдни.

Това обуславя необходимостта от научно познание върху особеностите на златото и платината от алувиалните седименти в района на Източна Стара планина и определя актуалността на изучаването им.

Основната цел на настоящия дисертационен труд е да се изяснят минералого-геохимичните особености на разсипното злато и платина в алувиалните седименти от Източна Стара планина чрез детайлно изследване и анализ на техните зърнометрични, морфоложки, химични, фазови и структурни характеристики, въз основа на което да се очертае предполагаемата им връзка с коренни източници от подхранващите масиви.

За постигане на целта на изследването са набелязани следните основни задачи:

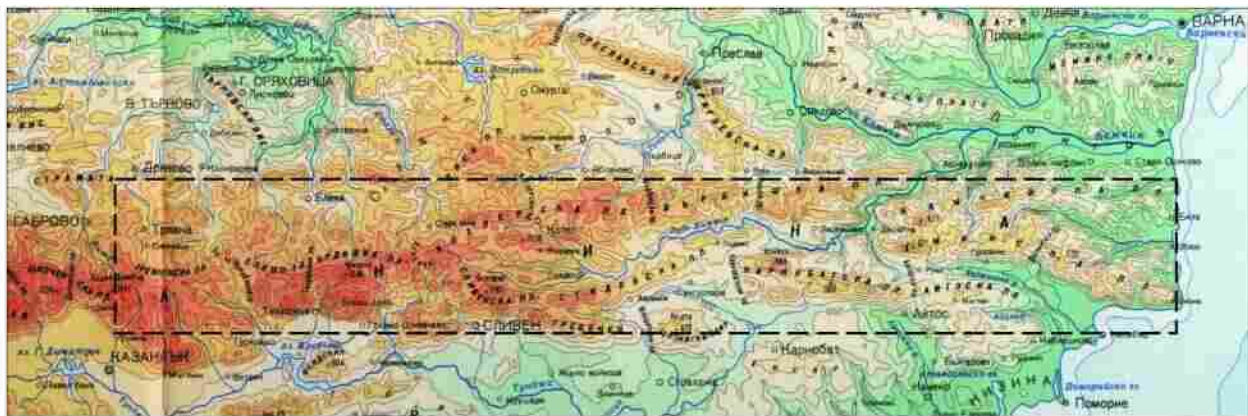
- шлихово опробване на основните реки в изследваната област;
- изучаване на зърнометричните и морфо-структурните характеристики (размер, форма, степен на механична обработка, деформации, характер на повърхността) на алувиалното злато и платина;
- изследване на химичните особености (състав, зоналност, химична нееднородност, минерални включения) на алувиалното злато и платина;
- характеризиране на шлиховите минерали, съпътстващи самородното злато и платина;
- анализ на индикаторните за генезиса характеристики на разсипното злато и платина и набелязване на техните предполагаеми коренни източници.

Морфоложките и химичните характеристики на самородното злато и платина от алувиални седименти, формирани в различни геоложки и географски обстановки, много често се използват като изходни базови индикатори при търсенето на техните коренни източници. В литературата са налице значителен брой изследвания, в които се прави опит за установяване на връзка между техните минераложки особености и потенциалните коренни скали. Тези изследвания са особено актуални през последните десетилетия с навлизането в изследователската практика на нови аналитични техники и методични подходи, които позволяват получаването на изключително детайлни характеристики дори и за подобни микрообекти. Въз основа на анализ на голям обем от данни редица автори стигат до заключението, че морфоложките особености на алувиалното злато и платина предоставят информация преди всичко за техния транспорт, а химичният състав показва по-скоро генетичния им произход.

1. ГЕОЛОЖКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ИЗСЛЕДВАНАТА ОБЛАСТ

1.1 Обхват

Изследваната област в орографски план обхваща източните дялове на Централна и цялата Източна Стара планина, както и най-южните територии от източните части на Централен и Източен Предбалкан (Фиг. 1.1).



Фиг. 1.1. Обхват на изследваната област.

В изследваната област шлиховото опробване е проведено по реките Луда Камчия, Двойница, Стара, Белица, Златаришка, Беленска и по някои от техните притоци, както и реките Елешница, Магаришка, Пчелнишка, Доделен, Топлата, Студената, Веселина, Брестова и Балабан дере.

1.2 Геоложка изученост

Първите по-значими резултати от изследванията върху тектонските, петрографските и литостратиграфски особености на изследваната област се намират в работите на Златарски (1907, 1908, 1911); Г. Бончев (1925, 1926); Радев (1926); Kockel (1927); Pollak (1933); П. Гочев (1932); Коен (1938); Яранов (1960); Петър Бакалов (1942); Берегов (1942) и други. Следват тези от 50-те до към края на 80-те години, които са в унисон с геосинклиналната теория – Ек. Бончев и др. (1955, 1957); Белмустаков (1958); Ганев (1961); Атанасов (1961); Цанков, Кехайова (1963); Кънчев (1962, 1964, 1966); Кънчев и др. (1965); Николов, Хрисчев (1965); Николов (1966, 1972, 1990); Кънчев, Енчева, (1967); Начев (1969); Николов, Сапунов (1970); Ек. Бончев (1971); Гочев (1971); Кънчев (1971); Кънчев, Иванова-Панайотова (1972); Симеонов и др. (1974); Иванов, Московски (1974); Карагулева, Костадинов (1977); Йолкичев (1986); Боков и др. (1987); Попов, Коюмджиева (1987) и други. В по-новите работи се забелязва преход към съвременните разбирания за тектоника на плочите – Джуранов, Пимпирев (1989); Dabovski et al. (1991); Кънчев (1995 а, б, в, г); Кънчев и др. (1995), Kiselinov et al. (2012); Вангелов, Синьовски (2013); Иванов (2017) и други.

Данни за геоложката еволюция на изследваната област публикуват В. Желев, Антонов (1994); Вангелов, В. Желев (1996); В. Желев, Вангелов (1997); Doglioni et al. (1996); Вангелов (2001); Дабовски и др. (2009б); Bergerat et al. (2010); Stuard et al. (2011); Georgiev et al. (2012), също така и работите на някои от по-горе изброените автори.

Данни за наличие на разсипно злато в изследваната област се откриват в работите на Шкорпил (1884), П. Бакалов (1942), В. Желев (1994), Русев и др. (2010) и В. Желев и др. (2016), а за злато от коренни орудявания в Кънчев и др. (1965), Янев и др. (1966) и Колев (1997).

1.3 Стратиграфия

Литостратиграфската подялба на Източния Балкан е значително усложнена, поради отделянето на голям брой официални и неофициални единици, често с латерални преходи между тях, както и от локално разпространени единици с контрастна литология. Затова тук е използвана литостратиграфската подялба на Кънчев (Кънчев, 1995а, б, в, г; Кънчев и др. 1995), която най-пълно описва изследваната област. В нея е включена въведената от Джуранов, Пимпирев (1989)

Двойнишка свита спрямо описаната от Кънчев (1995, а, б, в, г; Кънчев и др. 1995) „Задруга на дебелопластовия флиш“. На Фиг. 1.2 схематично (без оглед на техните граници и взаимоотношения) са представени възрастта, състава и дебелината на основните литостратиграфски единици формирани в периода Горен Триас – Горен Еоцен разкриващи се в изследваната област.

Палеоген	Еоцен	Обзорска свита (горен еоцен) полигенни конгломерати (късове от вулкански, интрузивни и седиментни скали) (≈150 m)	Долночифлишка свита (горен еоцен) пясъчници и мергели, по-рядко варовити глинни, алевролити, рахли и грубозърнести пясъчници, гравелити до дребнокъсови полигенни конгломерати с късове от седиментни и магматични скали (1100 m)	Теригено-карбонатна задруга (приабон) варовити пясъчници до пясъчливи варовици, полигенни конгломерати до брекчоконгломерат (седиментни литокласти с глинестопясъчлива или варовита спойка и варовити пясъчници) (≈80 m)	Пъстроцветна моласова задруга (горен еоцен) брекчоконгломерати до конгломерати (съставени от кварцити, пясъчници, варовици и мергели, пясъчници, андезити и кварцови късове) пясъчници, пясъчливи глинни и алевролити (350 m)
	Палеоцен	Двойнишка свита (ранен палеоцен-среден еоцен) дебелопластови до масивни, пясъчници, по-рядко ненаситени конгломерати и пясъчливи или микритни варовици (2000 m); <i>Гебешки член</i> (ранен-среден еоцен) дребнозърнести пясъчници, алевролити, мергели и аргилити (300 m); <i>Армерски член</i> (ранен-среден еоцен) дебелопластови до масивни, полимиктови, дребнокъсови до блокови конгломерати и брекчоконгломерати, прослоени с гравийни пясъчници (200-300 m)		Флишка задруга (среден еоцен) флиш – мергели и турбидитни полимиктови пясъчници	
Креда	Горна Креда	Беленска варовико-мергелна свита (мастрихт) дебелопластови, микритни варовици до варовити мергели (≈ 200 m)	Мездренска свита (мастрихт) варовици с кремъчни конкреции (250 m)	Еминска флишка свита (кампа-нолен палеоцен) флиш - алевролити, варовици и мергели (1500-2000 m)	Диоритови и сиенодиоритови порфирити, субинтрузивни тела и дайки* (горна креда)
		Варовикова задруга (кампа) варовици, варовити мергели, по-малко пясъчници и брекчоконгломерати (кварцови зърна, варовици, пясъчници и мергелна спойка) (250-400 m)			
	Флишоподобна задруга (турон-сантон) флиш - мергели, варовици, по-малко пясъчници и алевролити (100 m)	Флишка задруга (ценоман-турон) тънкопластов флиш (варовити глинни, пясъчници и алевролити), вулканогенно-седиментогенни пачки (андезитови разливи, андезитови лавобрекчи и андезитови туфи) (500-600 m)			
	Пясъчничкова задруга (ценоман) дебелопластови конгломерати (кварцови и кварцитни късове, пясъчлив матрикс), дебелопластови пясъчници с прислойки от варовици, глауконитни пясъчници и мергели (≈350 m)				
Долна Креда	Хъневска свита (бериас-хотрив) алевроитови глинести мергели, рядко пясъчници или алевролити (1000 m)	Камчийска свита (валанжин-хотрив) турбидитни пластовете от пясъчници и мергели (1600-1700 m)			
	Костелска свита (титон-бериас) груботеригенен флиш - конгломерати (късове от мергели, варовици, кварц, кварцити, метаморфити, гранитоиди и др.), полимиктови пясъчници, алевролити и алевроитови мергели (≈1000 m)				
Юра	Горна				
	Средна	Флишка задруга (Средна Юра) тънкопластов флиш - пясъчници, аргилити, рядко варовици (>1000 m)			
Триас	Горен	Флишка задруга (нор) тънкопластов флиш - мергели, алевролити и пясъчници (>1000 m)			

Фиг. 1.2. Възраст, състав и дебелина на основните литостратиграфски единици в изследваната област. Подчертаните единици се разполагат в Източния Предбалкан. Двойнишката свита се разполага в Източния Балкан и Предбалкан, а Еминска флишка свита – в Източния Балкан и Средногорската тектонска зона. Интрузивните скали (маркирани с шриховка) са внедрени във Флишката задруга с норска възраст.

Неогенът е представен от глинни, пясъци и чакъли с малка дебелина и ограничено разпространение (Кънчев, 1995г) а, кватернерните отложения (чакъли, глинни, пясъчници и пясъци) са основно по долното течение на р. Камчия, Черноморския бряг, в наложените грабени, в заливните тераси и руслата на реките и притоци им (Кънчев, 1995а, б, в, г; Кънчев и др. 1995).

1.4 Тектонски строеж

Според тектонската схема на Иванов (2017) изследваната област обхваща югоизточните части Централнобалканска-Предбалканската тектонска зона (ЦБПТЗ), Източнобалканската тектонска зона (ИБТЗ) и най-северните части на Средногорската тектонска зона. Границата между ЦБПТЗ с ИБТЗ се бележи основно от Тревненката дислокация и от Дислокация на Чудните стени (Kockel, 1927). В изследваната област попада най-източна единица на ЦБПТЗ – Севлиево-Преславската подутина (Иванов, 2017), чието ядро е изградено от нагънати горно-юрски и долнокредни флишки, теригени или мергелно-карбонатни седименти, а югоизточната ѝ периферия от нагънати кредни и палеогенски седименти.

ИБТЗ заема алохтонно положение спрямо ЦБПТЗ и се отличава с неразкриваща се на повърхността домезозойска подложка и покривка от нагънати горнокредно-неозойски седименти (Иванов, 2017). ИБТЗ се разделя на две субпаралелни тектонски единици: от север Котелска, а на юг Лудокамчийска (Иванов, 2017). Подложката на Котелската единица (приемаща се подложка и на самата тектонска зона) е изградена от догорнокредна седименти, които са несъгласно покрити от деформирани горнокредни и еоценски седименти. Лудокамчийската единица е изградена от нагънати горнокредно-палеогенски седименти.

На запад граница на ИБТЗ със Средногорската зона се бележи от Шипченско – Сливенския разлом и алохтона на Старопланинския навлак (Иванов, 2017), а на изток от Сливен тя е дискуссионна поради общата алпийска еволюция на двете зони (Bergerat et al., 2010 и др.)

Източния Балкан представлява късноалпийска гънково-навлачна постройка със срязване на покривката, формирана върху фрагменти от ранноалпийския ороген. Басейнът, в който са отложени седиментите на Източния Балкан се образува чрез дясна трансензия и се затваря чрез лява транспресия (Doglioni et al., 1996; Bergerat et al., 2010; Stuard et al., 2011; Vangelov et al. 2013). Седиментоатрупването в него по време на ценомана и мастрихта се контролира от екстензионна тектониката, докато палеоцен – средноеоценските последователности се характеризират с компресионна тектоника и синтектонска седиментация (Bergerat et al., 2010).

1.5 Геоложка еволюция

Днешният облик на Източно Балканската зона е предопределена от Ларамийската и Илирската нагъвателни фази (Дабовски и др., 2009). През първата (започнала през късния кампан) Средногорската и Странджанската зона са подложени северновергентни навличания (Vangelov, 2001; Stuart et al., 2011), довеждащи до формирането на форланд басейн на север от тях (Източен Балкан). В началото на палеоцена той се трансформира в „носен“ (piggy-back) басейн, в който се отлагат високоплътностните, пясъчливи, турбилити на Двойнишката свита (Bergerat et al., 2010; Вангелов, 2001, цит. по Stuart et al., 2011), подхранвани в по-голямата си част от вече издигнатият и денудираи вулкано-теригенен комплекс на Източното Средногорие. През лютеса започва да се проявява Илирската нагъвателна фаза, която през късния еоцен предизвиква затваряне и издигане на палеогенския носен басейн (Източен Балкан), в следствие на което изпълващите го седименти претърпяват значителна преработка и преотлагане в северна посока. Следва кратък орогенен колапс в Източния Балкан (Doglioni et al., 1996; Вангелов, 2001, цит. по Stuart et al., 2011), който води до формирането на Люляково-Дъскопненския грабен, в който се отлагат горноеоценските седименти на Пъстроцветна моласова задруга.

Периодът от късен еоцен до ранен олигоцен се характеризира с липса на седиментация в изследваната област, а през неогена тя е съсредоточена в плиткоморски и пресноводни басейни (Вангелов, 2001, цит. по Stuart et al., 2011). През кватернера се оформят съвременните речни мрежи, които чрез линейна ерозия формират алувиални седименти, в които се преотлагат алувиалното злато и платина.

1.6 Магматизъм

В изследваната област Dabovski et al. (1991) обособяват Лудокамчийският интрузивен район, в който се установяват ограничени по площ, плитко разположени, предимно средни по състав субвулкански тела и асоцииращите с тях вулканити. Според петрохимичната им характеристика те са нормално-алкални и преходноалкални видове от калциево-алкалната и висококалиевата калциево-алкална серии (Дабовски, 2009б; Georgiev et al., 2012). Възрастта на магматизма в района е в интервала ценоман-турон (Кънчев, 1966) и е синхронна с магмената активизация в Средногорската зона (Georgiev et al., 2012).

Най-значителните прояви на магматизма са установени в района между селата Веселиново и Звезда и в Трънашката синклинала (Фиг. 1.3), разположена на изток от тях (Кънчев, 1966; Кънчев, Иванова-Панайотова, 1972; Кънчев, 1995а).



Фиг. 1.3. Геоложка карта на част от Лудокамчийският вулcano-интрузивен район (по Кънчев, 1966 с промени от Дабовски, 2009б).

Според Банушев (2014) скалите в района между селата Веселиново и Звезда са кварцдиоритови, субалкални диоритови и субалкални кварцдиоритови порфирити, прехождащи в монцодиоритови и кварцмонцодиоритови порфирити, които формират малки интрузивни тела и дайки, внедрени предимно в норските седименти на Флишката задруга, докато при Трънашката синклинала сред флишки седименти се проследяват андезитови разливи и туфи (Кънчев, 1966).

По-малки прояви на магматизъм са установени в района на Ришкия проход, между селата Медвен и Садово, където се разкриват малки горнокредни тела и дайки изградени от диоритови и кварцдиоритови порфирити, както и андезити и базалтови андезити (Кънчев, 1995г; Банушев, 2013, 2015), както и северно от с. Градско, където се проследяват кисели туфи и кварцпорфирови разливи (Кънчев, 1995в). Около с. Вонеща вода се установяват малки по размери базалтовите силве с предполагаема неогенска възраст (Кънчев и др., 1995).

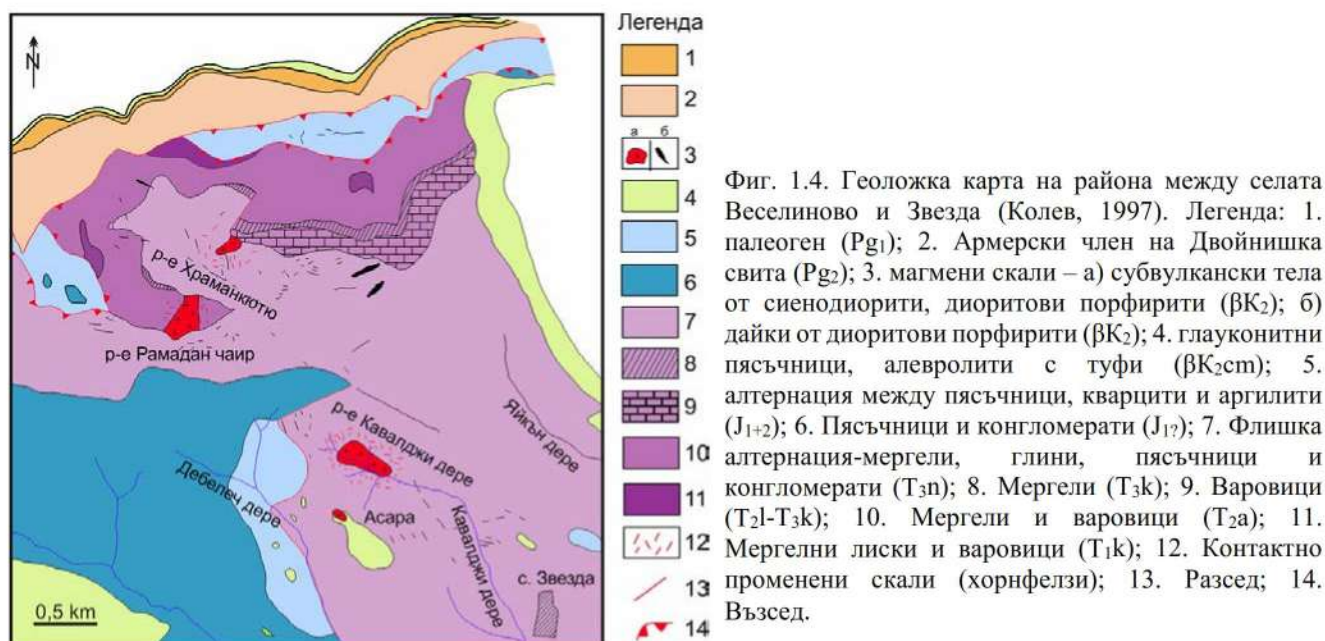
1.7 Златоносност и хидротермални минерализации в изследваната област

Шкорпил (1884) и Бакалов (1942) първи съобщават за наличието на разсипно злато в Рударски дол (приток на р. Котленска) протичащ югозападно от с. Медвен (Котелско). По-късно В. Желев (1994) установява две златинки от изкуствена шлихова проба от основата на Обзорската свита от района между нос Емине и с. Старо Оряхово. Русев и др. (2010) също установяват алувиално злато в района на Рударски дол и селата Кипилово и Раково, а В. Желев и др. (2016) доказват златоносността на Армерския член на Двойнишката свита (в местн. Немой дере, Ришки проход) и Обзорската свита (в местн. Чекелеза, западно от Обзор).

Направените изследвания върху алувиалното злато от предходните автори не са целенасочени, а по-скоро описателни.

Между селата Веселиново и Звезда се намират единствените коренни златоносни орудявания в изследваната област (Кънчев и др., 1965; Янев и др., 1966; Кънчев, Иванова-Панайотова, 1972; Колев, 1997). Това са сходните по строеж, неголеми, полиметални рудопроявления Кавалджи дере, Рамадан чаир и Храманкютю (Фиг. 1.4). Те са изградени от горнокредни субвулкански тела (диоритови порфирити, порфиroidни монцодиорити) и дайки (диоритови порфирити), които са внедрени сред седименти на Флишката задруга (нор), като формират хорнфелзи. Хидротермалните промени са представени от пропицитизация, аргилизация и слаба К-фелдшпатизация (Банушев, 2014). Рудната минерализация е от порфирен (прожилково-

впръслечен) тип: пирит, пиротин, халкопирит, молибденит, ковелин, халкоцит, спекуларит, малахит, галенит?, злато, сфалерит и Fe хидроксида (Колев, 1997). Кънчев и др. (1965) съобщават и за установено алувиално злато (до 10 зърна) от Кавалджи дере в близост до с. Звезда.



Фиг. 1.4. Геоложка карта на района между селата Веселиново и Звезда (Колев, 1997). Легенда: 1. палеоген (Pg₁); 2. Армерски член на Двойнишка свита (Pg₂); 3. магмени скали – а) субвулкански тела от сиенодиорити, диоритови порфирити (BK₂); б) дайки от диоритови порфирити (BK₂); 4. глауконитни пясъчници, алевролити с туфи (BK₂sm); 5. алтернация между пясъчници, кварцити и аргилити (J₁₊₂); 6. Пясъчници и конгломерати (J_{1?}); 7. Флишка алтернация-мергели, глини, пясъчници и конгломерати (T_{3n}); 8. Мергели (T_{3k}); 9. Варовици (T_{2l}-T_{3k}); 10. Мергели и варовици (T_{2a}); 11. Мергелни лиски и варовици (T_{1k}); 12. Контактно променени скали (хорнфелзи); 13. Разсед; 14. Възсед.

Кънчев (1995г) отбелязва западно от Ришкия проход горнокредни дайки с диоритов състав (с пропилитов тип промяна; Банушев, 2013), които формират хорнфелзи (с впръснати сулфиди) при контакта им с флишки седименти със средноюрска и триаска възраст.

Според Кънчев (1995г) в района на селата Медвен и Садово се наблюдават хидротермални промени (пропилитизация и аргилитизация с окислени сулфидни минерали; Банушев, 2015) по горнокредни субвулкански скали и дайки от андезити и базалтови андезити.

Нафтали и др., 1989 (по Кънчев, 1995в), съобщават за полиметална минерализация (халкопирит, борнит, тетраедрит, дигенит, ковелин, малахит и лимонит) в седиментите на пъстроцветната задруга (перм) северно от с. Градско (Сливенско).

Информацията за малкото на брой установени орудявания в изследваната област е оскъдна и непълна, което затруднява оценяването на техният златоносен потенциал.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

2.1 Теренни изследвания

Изследваната област е опробвана със 71 шлихови проби (промита около 25 kg алувиални отложения) включително 6 големи шлихови проби (около 250 kg алувиални седименти), 3 изкуствени шлихови проби от около 250 kg слабоспоени седиментни скали, 8 секционни проби на разрези (около 75 kg алувиални седименти), скални/рудни проби, като са извършени геоложки описания на местата на пробовземане и теренни наблюдения.

2.2 Лабораторни изследвания

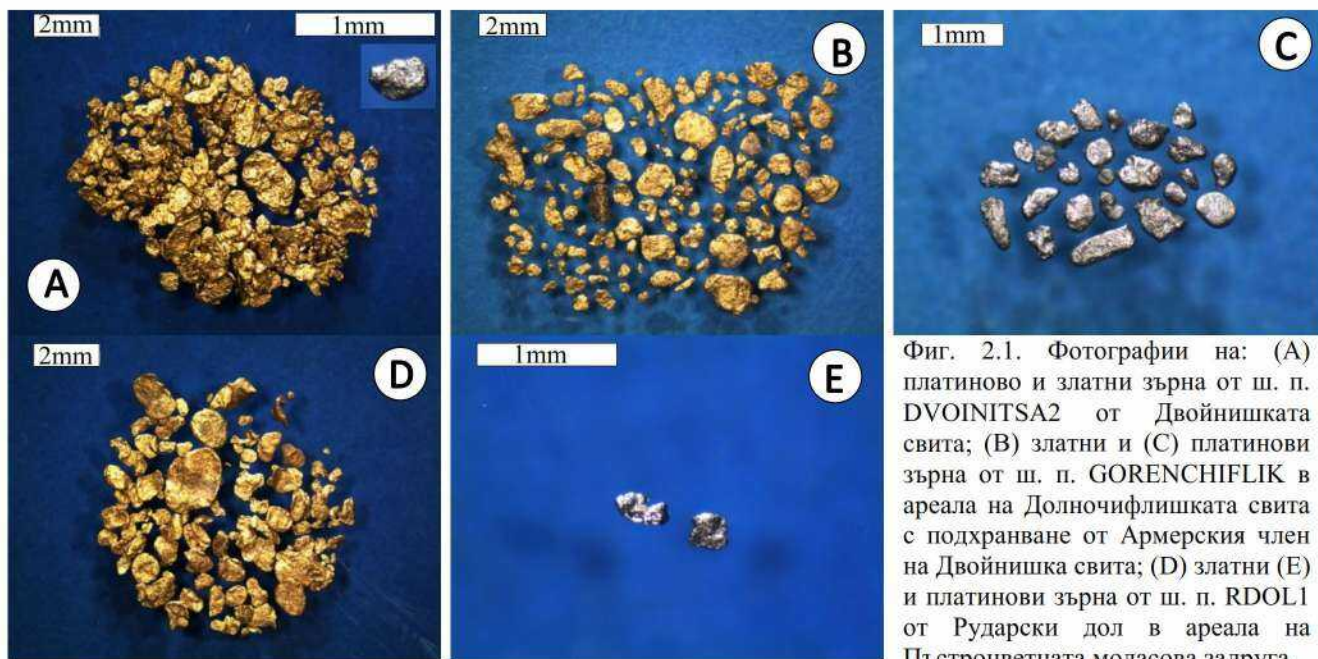
Шлиховите проби са подложени на изсушаване, пресяване (<2 mm) и разделяне на магнитна и немагнитна фракции. Морфологични изследвания златните и платиновите зърна са извършени чрез бинокулярна лупа и сканиращ електронен микроскоп, а химичните им изследвания чрез рентгенов микроанализатор (EDS) и лазерна аблация с маспектрометрия в индуктивно свързана плазма (LA-ICP-MS). Минераложката характеристика на шлиховите проби е извършена чрез магнитна сепарация, бинокулярна лупа и прахово-рентгенодифрактометричен анализ.

2.3 Местоположение и полева характеристика на пробите

Резултатите от шлиховото опробване (**Приложение 1**) показват наличие на разсипно злато в 34 шлихови проби (включително 4 с платина) взети от алувиалните отложения в обхвата на следните литостратиграфски единици:

- Палеогенските седименти на: Двойнишката свита (ранен палеоцен – среден еоцен; над 200 златни и 2 платинови зърна) и нейният Армерски член (ранен – среден еоцен; над 50 златни и 6 платинови зърна), Пъстроцветната моласова задруга (горен еоцен; над 50 златни и 2 платинови зърна), Долночифлишката свита (горен еоцен; над 50 златни и 24 платинови зърна), Флишката задруга (среден еоцен; 1 златно зърно) и Пясъчниковата задруга (долен еоцен; 1 златно зърно);
- Юрските седименти на Флишката задруга (средна юра) (2 златни зърна);
- Триаските седименти на Флишката задруга (нор) (7 златни зърна).

В палеогенските литостратиграфски единици Двойнишка свита и нейният Армерски член, Пъстроцветна моласова задруга и Долночифлишка свита, които покриват по-голямата част от изследваната област са установени повечето златни и всички платинови зърна (Фиг. 2.1). Златоносните шлихови проби (ш. п.) LKAMCHIA1, BREZOVETS, NEIKOVSKAREKA1, DVOINITSA1, ELESHNITSA3, SOLNIKDERE1, 2 и 3 са взети от реки, които се подхранват единствено от палеоцен – горноеоценските теригенни седименти на Двойнишката свита и нейния Армерски член. Това е косвено доказателство, че посочените седименти най-вероятно са преотложени източници на разсипно злато.



Фиг. 2.1. Фотографии на: (А) платиново и златни зърна от ш. п. DVOINITSA2 от Двойнишката свита; (В) златни и (С) платиновни зърна от ш. п. GORENCHIFLIK в ареала на Долночифлишката свита с подхранване от Армерския член на Двойнишка свита; (D) златни (E) и платиновни зърна от ш. п. RDOL1 от Рударски дол в ареала на Пъстроцветната моласова задруга.

Настоящото изследване потвърждава данните на Шкорпил (1884) и Бакалов (1942) за наличие на злато в Рударски дол. Освен злато при ш. п. RDOL1 се установиха и две зърна платина, която до този момент не е описвана в литературата за този район (Фиг. 1.2e). Те най-вероятно се подхранват от брекчоконгломератите и конгломератите на Пъстроцветна моласова задруга.

Ареала на Долночифлишката свита е опробван с трите ш. п. GORENCHIFLIK, PCHELNISHKAREKA и DODELEN взети от сравнително късите реки Армера, Пчелнишка и Доделен. В горното си течение реките се подхранват от злато- и платиноносните конгломерати на Армерския член на Двойнишката свита, което затруднява определянето на златоносността на Долночифлишката свита.

Флишката задруга (нор) е опробвана с 4 шлихови проби, като само при ZVEZDA2 са установени 7 златни зърна. Пробата е взета от Кавалджи дере, което в горното си течение се подхранва от медно-златните минерализации между селата Веселиново и Звезда. Тези минерализации са опробвани чрез късовите проби VESELINOVO-R1-2-3-4 като резултатите от атомно-абсорбционните анализи показват, че в тях не се отчита наличие на Au.

Златоносността на Флишката (среден еоцен), Пясъчниковата (долен еоцен) и средноюрската Флишка задруги се определя като ниска, защото от осемте шлихови проби, с които са опробвани, само в три са установени общо 4 златни зърна.

Само в 4 (GORENCHIFLIK, BYALATAVODA, RDOL1 и DVOINITSA2) от шестте големи шлихови проби се установи наличието на общо 34 платинови зърна, които най-вероятно са подхранени от Пъстроцветна моласова задруга, Двойнишка свита и нейният Армерски член.

Единствено в изкуствената шлихова проба RDOL-FS2 получена чрез механизизирано промиване на слабоспоени седименти от Пъстроцветната моласова задруга при Рударски дол се установиха 8 златни зърна, което доказва златоносността на свитата.

На този етап от шлиховото опробване злато и платина не се установи в алувиалните седименти подхранени от: Тенстарленска свита (г. палеоцен); Мездренска свита (мастрихт), Флишоподобна задруга (г. турон – д. сенон), Пясъчникова задруга (ценоман), Беленска варовиково-мергелна свита (турон – мастрихт), Еминска флишка свита (кампан – д. палеоцен), Камчийска свита (валанжин – хотрив) и Батошевски теригенен репер (валанжин).

Наличието на алувиално злато в следпалеогенските теригенни седименти е логично, предвид тяхното формиране след проявата на горнокредната магмена активизация, както в Източния Балкан, така и в южно разположената Средногорска вулкано-интрузивна зона отличаваща се с висок златоносен и платиноносен потенциал, която вероятно ги е подхранвала.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА НА АЛУВИАЛНОТО ЗЛАТО

3.1 Морфометрична характеристика на златните зърна

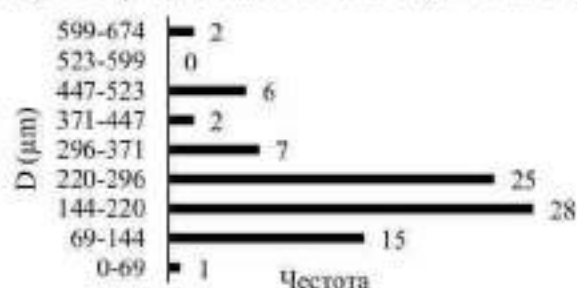
3.1.1 Въведение в проблематиката на морфоложките особености на разсипното злато

Морфологичният анализ на алувиалните златни и платинови зърна се свежда до измерването и определянето на техните размери (Lindgren, 1911, 1928; Петровская, 1973; Boyle, 1979 и др.), форми (Eyles, 1995 и др.), сплеснатост (Hérial et al. (1990); Youngson, Craw (1999); Wierchowiec (2002, 2011); Townley et al. (2003); Loen (1995); Rasmussen et al. (2007), степени на заобленост, минерални сраствания, характер на повърхността и други. Съществуват редица изследвания, които изучават изменението на морфологията на златото при алувиален транспорт (Hérial et al., 1990; Youngson, Craw, 1999; Knight et al., 1999a, 1999b; Wierchowiec, 2002, 2011; Townley et al., 2003; Márquez-Zavalía et al., 2004 и др.), глациален транспорт (DiLabio, 1990; Grant et al., 1991) и в латеритни терени (Grant et al., 1991).

В литературата съществуват малко на брой класификационни схеми за определяне на изминатото разстояние на златните зърна от коренните им източници, основаващи се на изброените морфоложки параметри (Averill, 1988; DiLabio, 1991; Youngson, Craw, 1999), като най-използвани са тези на Knight et al., (1999a) и Townley et al. (2003).

3.1.2 Размер

Размерът на златните зърна е определен чрез измерване на трите им ортогонални оси (дълга – L, средна – I и къса – S) и е представен чрез еквивалентния сферичен диаметър ($D = \sqrt[3]{LIS}$, Jennings, Parslow, 1988). Така размерите на изследваните 86 златни зърна варират от 68 μm до 632 μm (ср. 233 μm), докато 79% от зърната имат размер от 69 до 296 μm (Фиг. 3.1).



Фиг. 3.1. Хистограма показваща разпределението на размера на 86 измерени златни зърна изразен чрез еквивалентния сферичен диаметър (D).

Според класификацията на Петровская (1973), размерите на преобладаващата част от златни зърна са дребни (0,1 – 0,9 mm), а на останалите са много дребни (0,05 – 0,1 mm). Рядко в

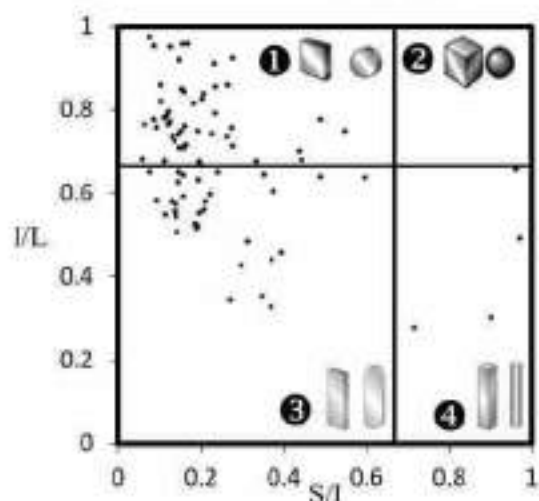
шлиховите проби са установявани по-едри златни зърна (Фиг. 2.1 на стр. 10). Преобладаващата част (93%) от зърната са макроскопични, а останалите (7%) са микроскопични (Harris, 1990).

Размерите на златните зърна от реките опробвани с повече от една шлихова проба показват колебанията в техния размер, което не съответства на закономерността, че в близост до своя източник, златните зърна показват по-големи размери, а с отдалечаване от него, размерът им намалява (Lindgren, 1911, 1928; Петровская, 1973; Boyle, 1979 и др.). Това показва, че подхранването на алувиални седименти със злато в повечето случаи е от междинни колектори, а не от коренни златоносни орудявания.

С най-големи размери (от 371 до 674 μm , Фиг. 3.1) се отличават всички златни зърна от ш. п. DRYANOVSKAREKA, по-голямата част от зърната от BYALATAVODA и GORENCHIFLIK и едно зърно от DVOINITSA2, което предполага към транспорт и близък източник. Като такъв източник следва да се приемат седиментите на Двойнишката свита и нейния Армерския член, тъй като те основно подхранват опробваните алувиални седименти при посочените шлихови проби.

3.1.3 Форма

Определянето на формата на златните зърна е извършено чрез класификационната система на Zingg (1935). Тя класифицира зърната чрез съотношенията на осите им, като по този начин ги дефинира като дисковидни, изометрични, плоскоудължени и цилиндрични. Така, с дисковидна форма се отличават 57 % (49 бр.) от зърна, докато плоскоудължените са 38 % (33 бр.), а цилиндричните само 5 % (4 бр.) (Фиг. 3.2).



Фиг. 3.2. Определяне на формата на изследваните златни зърна по класификационна диаграма на Zingg (1935), чрез съотношението на средната и дългата (I/L) спрямо късата и средната оси (S/L). 1 – дисковидни; 2 – изометрични; 3 – плоскоудължени; 4 – цилиндрични златни зърна.

Преобладаващият брой на дисковидните и плоскоудължените, спрямо сферичните златни зърна предполага, че те са претърпели значителни механични деформации вследствие на продължителен транспорт с многократно преотлагане в междинни колектори (Петровская, 1973, Wierchowicz, 2011). Според Wierchowicz (2002), плоскоудължените златни зърна са характерни за глациални и алувиални разсипи, докато дисковидните могат да се отнесат към големите алувиални конуси в подножието на орогените (piedmont fan sediments). Имайки предвид данните на Вангелов (2001) и Stuart et. al. (2011) за строежа на Източните Балканиди, освен в подножието, тези алувиални конуси са се формирали и върху самите орогени, в случаите на навличане със срязване на покривката, какъвто строеж откриваме и в Източния Балкан.

В десните квадранти на диаграмата на Zingg попадат само 4 цилиндрични златни зърна. Това са две зърна от ш. п. ZVEZDA2 и по едно от ш. п. BYALATAVODA и DRYANOVSKAREKA. Тези зърна най-вероятно са претърпели по-ниска степен на механична обработка вследствие на към алувиален транспорт, особено за златното зърно от ш. п. DRYANOVSKAREKA, което се разполага много близо до граничната стойност на квадранта определящ изометричната форма.

Липсата на видими шевове и шарнири при зърната с цилиндрична форма показва, че те не са формирани при огъване и последващо стъгане, което може да компрометираща тълкуванията.

Използването на класификацията на Zingg (1935) в това изследване е удачно предвид установените сравнително прости форми на златните зърна, като само четири от тях (RDIG6,

ZAG2, BVG1 и DOG1, съответно от ш. п. RDOL1, ZAIMCHEVO, BYALATAVODA и DODELEN) притежават дендритоподобна форма и сравнително гладка повърхност, което свидетелства за относително къс алувиален транспорт.

Наблюдават се случаи, в които златните зърна от една и съща шлихова проба показват различни форми, например – цилиндрични и дисковидни (BYALATAVODA), изометрични и дисковидни (DRYANOVSKAREKA) или дисковидни и дендритоподобни (RDOL1), което показва, че те са претърпели различна степен на механична обработка вследствие на различен по дължина седиментен транспорт и най-вероятно се подхранват от преотложен източник.

3.1.4 Сплеснатост

Някои автори (Hérail et al., 1990; Townley et al., 2003; Loen, 1995, Rasmussen et al., 2007 и др.) използват показателя на сплеснатост (Flatness Index – $F.I. = (L+I)/2S$) на Cailleux (1947) за да обвържат сплеснатостта на златните зърна с изминатото разстояние от техните източници до местата им на отлагане. Те стигат до заключението, че златни зърна с малък показател на сплеснатост ($F.I. = 3-4$) се установява много близо до източника им (от десетки метри до първите километри), а такива с по-голям показател ($F.I. = 7-9$) са значително отдалечени (до няколко десетки километри).

Показателя на сплеснатост ($F.I.$) на изследваните златни зърна варира от 1,3 до 21,5 (ср. 7,4; медиана 6,96 и стандартното отклонение 3,71), което показва, че една част от тях са претърпели много къс транспорт, а други значителен. Разпределението на показателите на сплеснатост на златните зърна (Фиг. 3.3) позволява да се обособят 4 интервала включващи зърна със сходни стойности на показателя на сплеснатост.



Фиг. 3.3. Хистограма на показател на сплеснатост $F.I.$ на изследваните златни зърна и обособени интервали.

В интервал I (14 златни зърна с $F.I.$ от 0 до 4) влизат повечето златни зърна от ш. п. ZVEZDA2, DRYANOVSKAREKA и BYALATAVODA, както и единични зърна от ш. п. BYALA, ELESHNITSA3, KAZANDERE2, DVOINITSA2 и NEIKOVSKAREKA1 (Фиг. 3.4).

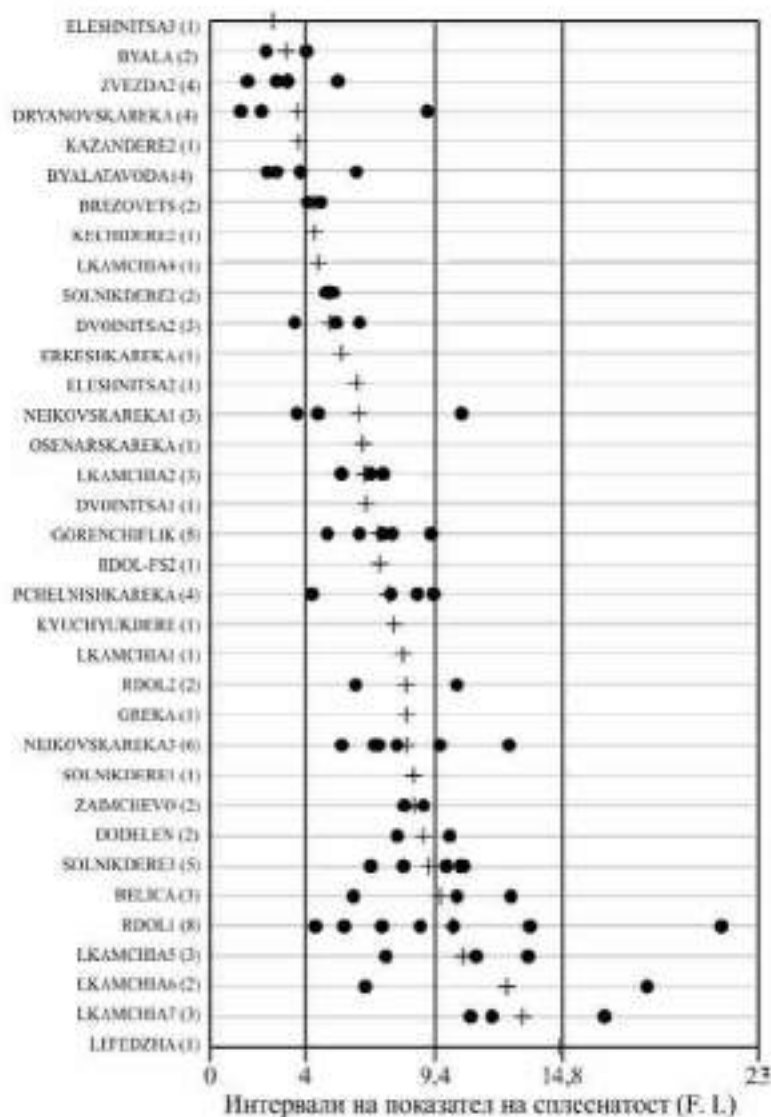
Повечето от златните зърна от ш. п. ZVEZDA2 имат много ниски стойности на $F.I.$ (от 1,5 до 3,2), което свидетелства, че техния източник е много близо и най-вероятно е свързан с горнокредните медно-златни минерализации в района между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.). Като най-вероятен и близък източник на останалите златни зърна от посочените проби могат да се посочат единствено теригенните скали, които ги подхранват, а това в повечето случаи са палеогенските седименти на Двойнишката свита и нейният Армерски член.

В интервалите II и III попадат по-голямата част от златните зърна, като те имат $F.I.$ от 4 до 14,9 (Фиг. 3.4). Това означава, че зърната са отдалечени на по-голямо разстояние от своите източници (от няколко километра до няколко десетки километри).

Тук се отличават златните зърна от ш. п. SOLNIKDERE3 (подхранени от скалите на Двойнишката свита) и ш. п. RDOL1 и 2 (подхранени от скалите на Пъстроцветната моласова задруга), при които се наблюдава несъответствия на показателя им на сплеснатост (от 6,7 до 10,6; ср. 9,2 за зърната от ш. п. SOLNIKDERE3 и от 4,4 до 13,4; ср. 8,4 за тези от RDOL1 и 2) спрямо дължината от началото на опробваните реки до местата на опробване (съответно Селски дол около 2,5 km и Рударски дол около 3 km). Също така златното зърно RDFS2G1 от изкуствената ш. п. RDOL-FS2 от седиментите на Пъстроцветната моласова задруга в района на Рударски дол, показва сравнително висок $F.I. = 7,1$, което сочи, че зърното е претърпяло значителни механични деформации осъществени по време на формиране на скалите на задругата.

Златните зърна от ш. п. GORENCHIFLIK, PCHELNISHKAREKA и DODELEN в ареала на Долночифлишката свита притежават F.I. от 4,3 до 10 (средно 7,56), което също означава, че те са изминали сравнително голямо разстояние, несъпоставимо с това на дължината на опробваните сравнително къси реки Армера, Пчелнишка и Доделен.

Всичко това показва, че седиментите на Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейният Армерски член вероятно се явява преотложен източник на разсипно злато от посочените шлихови проби, както и на голяма част от останалите златни зърна от посочените интервали.



Фиг. 3.4. Вариации на F. I. на всички измерени златни зърна (в нарастващ ред, от горе надолу) посочените шлихови проби. В скобите е посочен броят на зърна. С черна точка е означен F. I. на всяко зърно, а с плюс – средната стойност на F. I. на всички зърна от дадена проба. Стойността на F. I. на самостоятелните зърна от шлиховите проби е показана с плюс.

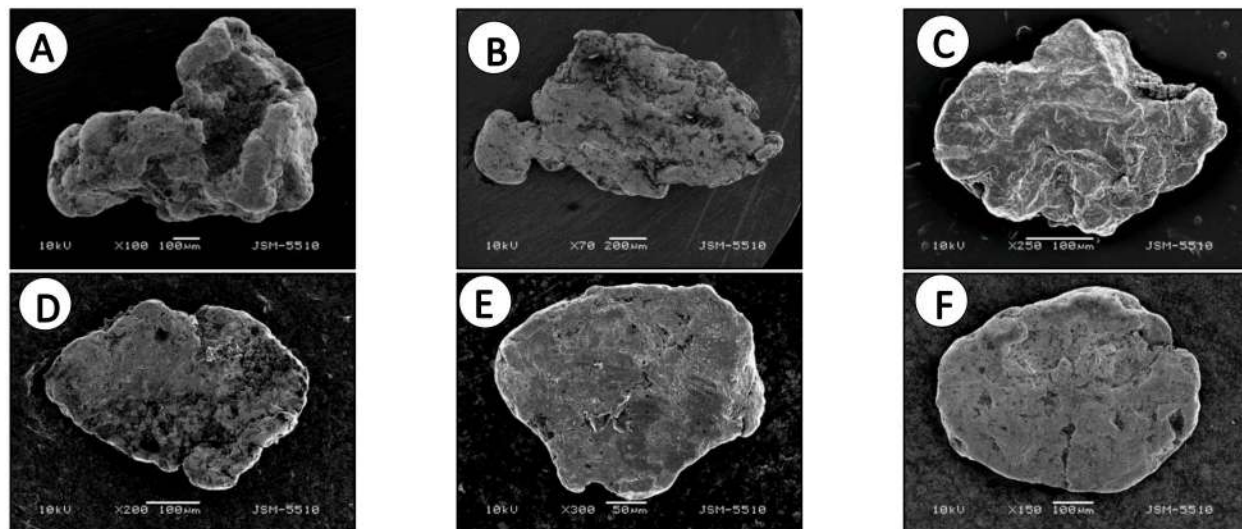
В интервал IV (F.I. от 14,8 до 23) се включват три зърна от ш. п. RDOL1, LKAMCHIA6 и 7, като следва те да са претърпели най-дълъг транспорт (няколко десетки километра). Златните зърна от ш. п. LKAMCHIA6 и 7 се разполагат в долното течение на р. Луда Камчия, което най-вероятно обуславя техния висок показател на сплеснатост, докато златното зърно RDOL1 взета от късия Рударски дол е с най-висок показател на сплеснатост от всички изследвани зърна – 21,5 и най-вероятно е преотложено от седиментите на Пъстроцветната моласова задруга.

Увеличаване на F.I. на златни зърна от шлихови проби взети по течението на по-дългите реки не е наблюдавано, което още веднъж потвърждава, подхранването от междинни колектори. Същевременно, предположенията за това, че палеогенските теригенни скали на Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейният Армерски член се явяват преотложен източник на алувиално злато въз основа на показателя на сплеснатост, трябва да бъдат потвърдени и от останалите морфоложки характеристики на златните зърна, които свидетелстват за това.

При съпоставянето на размера и показателя на сплеснатост на златните зърна се установява, че по-голямата част от зърната с по-малки размери (от 60 до 300 μm) притежават F.I. между 1,6 и 14,6, докато тези с по-големи размери (от 400 до 650 μm) показват по-малък F.I. от 1,3 до 7,6. По-малкият F.I. при по-големите зърна показва, че те са претърпели незначителни механични деформации и абразия, което е указание за сравнително къс транспорт от техния източник. Такива са част от златните зърна от ш. п. DRYANOVSKAREKA, BYALATAVODA и GORENCHIFLIK, подхранвани от палеогенските теригенни скали на Двойнишката свита и нейния Армерски член.

3.1.5 Степен на заобленост

Степените на заобленост на златните зърна е определена чрез еталонната таблица на Powers (1953), като на Фиг. 3.5 са показани техни примери.



Фиг. 3.5. Примери за: (A) *много ръбесто* златно зърно BVG1 с ъгловати придатъци и частично заоблени ръбове, с грапав релеф и детритусни минерали в негативните участъци от повърхността му; (B) *ръбесто* златно зърно GOG1 с голям брой ямки; (C) *полуръбесто* златно зърно SD3G4 с мидест характер на повърхността; (D) *полузаоблено* златно зърно LK5G2 с неравномерно оцветяване дължащо се на химическа корозия; (E) *заоблено* златно зърно LK7G2 с плоски браздови участъци; (F) *много заоблено* златно зърно RD1G7 с гладък релеф и малки ямички.

Полуръбестите и полузаоблените златни зърна преобладават над останалите, като те съставляват 45% (39 бр.) от всички зърна, докато *много ръбестите* и *ръбестите* зърна представляват 30% (26 бр.), а 24 % (21 бр.) са *заоблени* и *много заоблени* (Фиг. 3.6).



Фиг. 3.6. Хистограма, показваща разпределението на изследваните златни зърна спрямо степента им на заобленост.

Към *много ръбестите* златни зърна, които се предполага, че са претърпели сравнително къс транспорт се отнасят тези от ш. п. DRYANOVSKAREKA, BYALATAVODA и единични зърна от RDOL1, ZVEZDA2, KYUCHYUKDERE, BELICA, GORENCHIFLIK и DODELEN. Прави впечатление, че повечето от тези точки се подхранват от палеогенските конгломерати на Армерския член на Двойнишката свита и Пъстроцветната моласова задруга.

Наличието на *много ръбесто* и две *ръбести* златни зърна от ш. п. ZVEZDA2 предполага, че те са претърпели сравнително къс алувиален транспорт, а техния източник отстои на малко разстояние. Такъв източник вероятно са горнокредни медно-златни минерализации в района между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.).

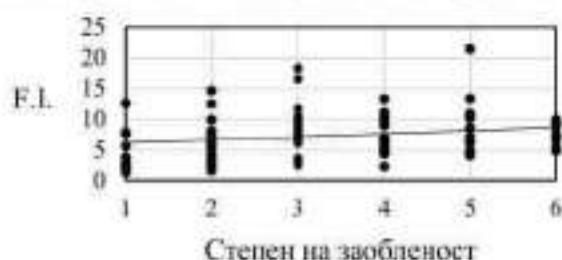
По-голямата част от *много заоблените* златни зърна от ш. п. LKAMCHIA5 (LK5G1), RDOL1 (RD1G1 и RD1G7), DVOINITSA1-2 (DV1G1 и DV2G3), SOLNIKDERE2 (SD2G1),

GORENCHIFLIK (GOG2) и PCHELNISHKAREKA (PRG1) се подхранват от Двойнишката и Долночифлишката свити, което води до извода, че *заоблените* и *много заоблени* зърна най-вероятно са преотложени от по-стари разсили.

Златни зърна от ш. п. RDOL1 показват степени на заобленост от *много ръбести* до *много заоблени*, което разкрива един сложен механизъм на транспорт на златните зърна при формирането на горноеоценските брекчоконгломерати до конгломерати на Пъстроцветната моласова задруга и последвалото им преотлагане в опробваните алувиални седименти.

Като особеност при този анализ трябва да се отчете факта, че *много ръбестите* златни зърна са по-разпространени в реките, които директно са подхранвани от палеогенските конгломерати, а *много заоблените* са по-разпространени в проби, подхранени от палеогенски пясъчинци.

При съпоставянето на F.I. и степента на заобленост на златните зърна се наблюдава много слаба позитивна корелация, която е в съгласие с общия тренд за увеличаване на степента на заобленост с увеличаване на изминатото разстояние (Youngson, Crawl, 1999 и др.). Същевременно, корелацията по отношение на максималните стойности на F.I. и степента на заобленост липсва, което предполага подхранване от преотложени източници (Фиг. 3.7).



Фиг. 3.7. Съпоставяне на показателя за сплеснатост (F.I.) и степента на заобленост на златните зърна. 1 – много ръбести; 2 – ръбести; 3 – полуръбести; 4 – полузаоблени; 5 – заоблени и 6 – много заоблени.

3.1.6 Механични деформации

Общо 7 златни зърна са определени като сгънати и огънати. Повечето от тях са напълно или частично сгънати зърна – GRG1, LK6G1, NE1G3, RDIG3 и DRG3, съответно от ш. п. GREKA, LKAMCHIA6, NEIKOVSKAREKA1, RDOL1 и DRYANOVSKAREKA. При тях се наблюдават запазени ясни граници между прегънатите участъци. Не са установени златни зърна, които вследствие на сгъване да са увеличили своята дебелина, и по този начин да показват по-голям F.I.. Слабо огънатите златни зърна са установени в ш. п. RDOL-FS2 (RDFS2G1) и DODELEN (DOG1).

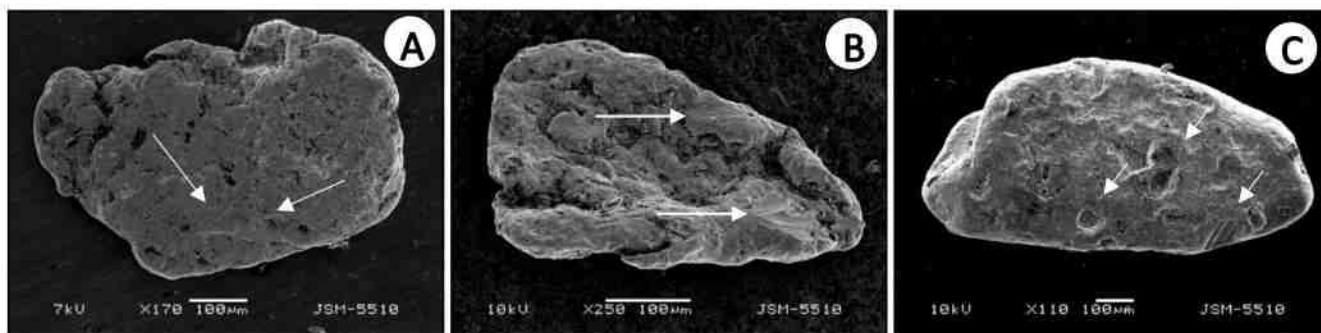
Наличието на сгънати и огънати златни зърна е вследствие на значителни механични деформации, които предполагат значителен транспорт и многократно преотлагане (Tishchenko, 1981; Héral et al., 1990; Youngson, Crawl, 1999). При разглеждането на местоположението на шливовите проби, в които се наблюдават такива зърна, не се установява увеличаване на броя им с увеличаване на дължините на реките. Вероятната причина за това е преотлагането им от палеогенските теригенни скали на Двойнишката свита и Пъстроцветната моласова задруга.

3.1.7 Характер на повърхността

Повърхността на златни зърна се характеризира с гладък до груб релеф, който съпоставен спрямо формата им показва, че повече от половината от тези с дисковидна форма притежават гладък релеф, докато при цилиндричните преобладава грубия релеф. Тези закономерности в първия случай показват, че зърната се подлагат на по-продължителна механична обработка вследствие на продължителен транспорт, докато във втория те най-вероятно са вследствие на по-ниска степен на механична обработка от сравнително по-къс транспорт. При плоскоудължените не се забелязва доминиращ характер на релефа им.

При съпоставяне на степента на заобленост на златните зърна и характера на повърхността им се установява, че с нарастване на тяхната заобленост се увеличава броя на зърната с гладък релеф, а броя на тези с грапав релеф намалява, като при *заоблените* и *много заоблените* зърна грапавата повърхност отсъства. Тази закономерност е вследствие на увеличаване на механичната обработка на златото при продължителен алувиален транспорт. Същевременно, някои от златните зърна с грапавата повърхност показват добре заоблени ръбове и неправилни полусферични издутини на фона на по-грубо релефни участъци.

По повърхността на златните зърна се наблюдават също следи от удари, удължени и плитки, както и по-широки и дълбоки бразди (Фиг. 3.8). Те са получени в резултат от съприкосновенията на златните зърна със скални късове, както и с изпъкналости от подложката при придвижването на алувиалните седименти по талвега на реката.



Фиг. 3.8. Примери за деформационни структури по повърхността на златните зърна: (A) удължени и плитки бразди при златното зърно DV2G1; (B) следи от по-широки бразди (LK6G2); (C) следи от удари и бразди (GOG5).

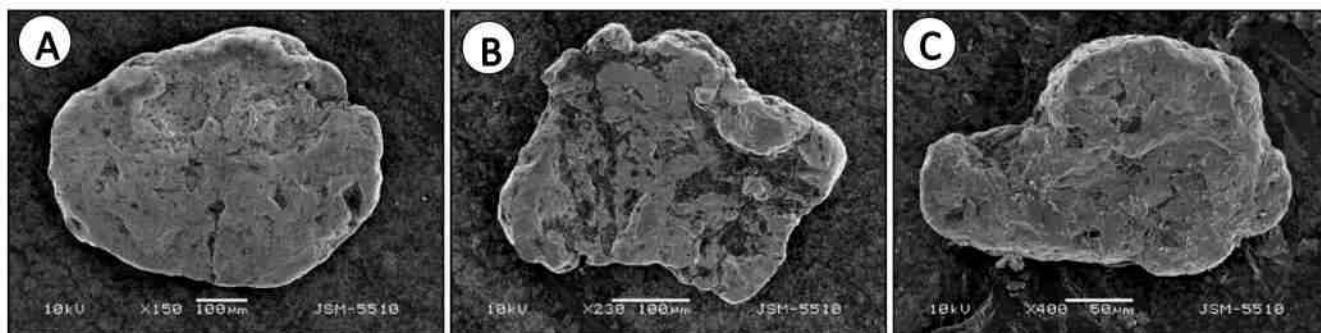
Съвкупното абразивно действие на всички процеси довели до образуването на наблюдаваните праволинейни драскотини и бразди, следи от абразия, удари и очуквания върху повърхността на златните зърна водят до намаляване на техния размер с увеличаване на транспорта предимно чрез остъргване или отнемане на фини частици от повърхността им.

Изследваните алувиални златни зърна се характеризират с липса на запазени кристални форми, които свидетелстват за много къс транспорт и близък източник. Само в две златни зърна LK2G2 и LK2G3 от ш. п. LKAMCHIA2 подхранени от седиментите на Двойнишката свита (в най-горното течение на р. Луда Камчия) са наблюдавани частично запазени стени и ръбове на първични златни кристали. Това вероятно се дължи на по-късно им освобождаване от златоносен къс, както и от по-къс транспорт.

По повърхността на златните зърна с гладък релеф често се срещат многобройни ямки с неправилни или кръгла форми с размери от 50 до около 100 μm (Фиг. 3.9а), като те са характерни за расипи от планински райони (Петровская, 1969). При повечето златни зърна с груб релеф се установяват голям брой по-големи ямички и неправилни вдлъбнатини. Повечето от тях се запълват с железни оксиди (лимонит, хематит), манганови оксиди и глинести минерали (Фиг. 3.9b). Тяхното наличие по повърхността на златните зърна показва освобождаването им от зоната на окисление на рудни находища (Grant, 1991).

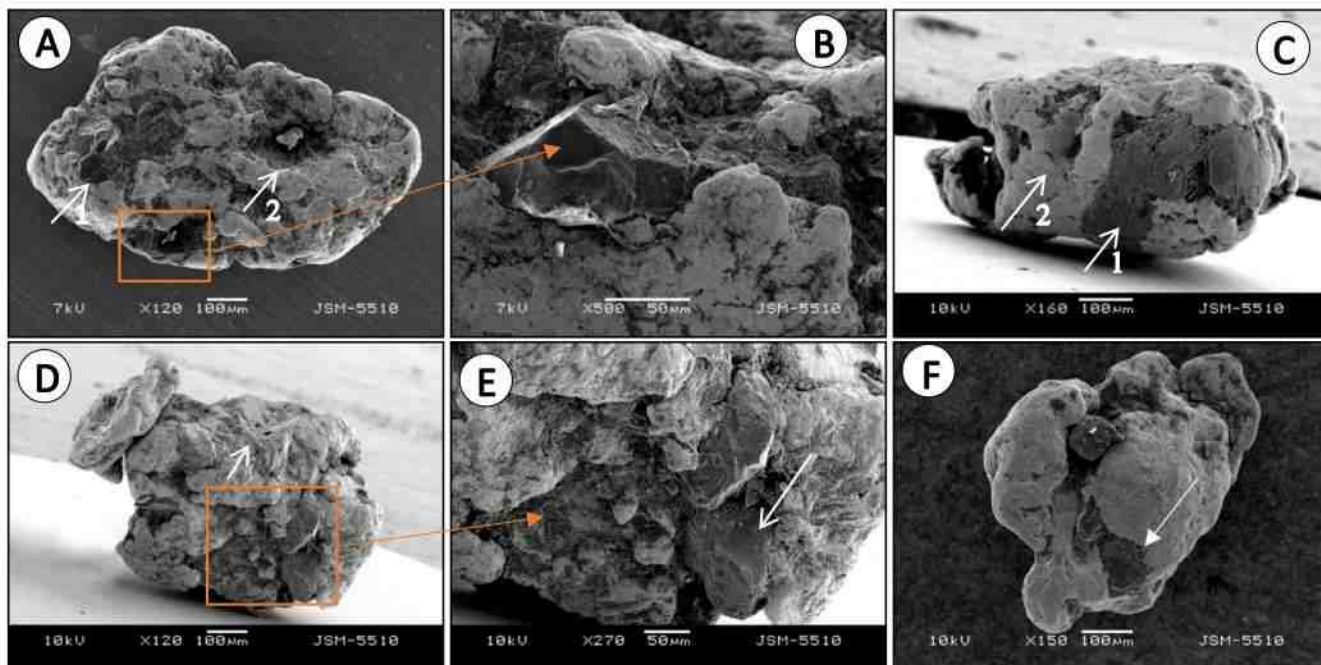
Наблюдават се и златни зърна с кородирана повърхност като резултат от процесите на природно излужване на отделни компоненти (Гайдукова, 1983). Повърхността на такива златни зърна се бележи от контрастно изразени неориентирани неравности с правилни, линейни очертания (Фиг. 3.9c).

При наблюдаване в режим на обратно отразени електрони по повърхността на голям брой от златните зърна се различават участъци с резки граници оцветени в различни нива на сивото, което се дължи на изменение на съдържанието на Ag по повърхността им вследствие на екзогенните изменения.



Фиг. 3.9. Повърхностни характеристики на златните зърна: (A) голям брой равномерно разпределени ямички (тъмен цвят, с размери до 50 μm) по повърхността на дисковидно златно зърно RD1G7; (B) вдлъбнатини (тъмен цвят), запълнени с глинести минерали (NE3G4); (C) следи от корозия по повърхността на златно зърно NE1G2.

По повърхността на златните зърна рядко са наблюдавани минерални прораствания и негативни отпечатащи, които дават информация за минералната парагенеза в коренните орудявания и свидетелстват и за относително близко разположен източник (Loen, 1995 и др.). Такива са установени в златни зърна от ш. п. DRYANOVSKAREKA (DRG1, DRG2, DRG3), DVOINITSA2 (DV2G2), KAZANDERE2 (KZ2G1) и LKAMCHIA2 (LK2G1), които се характеризират и с нисък F.I. от 1,3 до 5,5. В тях прорастванията са предимно от кварц, който е най-често парагенетично свързаният със златното минерал, вероятно албит и К слюда (Фиг. 3.10).



Фиг. 3.10. Микрофотографии на златни агрегати: (A) агрегат DV2G2 с прорастване с кварц (1) и негативен отпечатък (2) и (B) увеличен детайл на прорастване с кварц, (C) агрегат DRG1 с прораствания от К слюда? (1) и негативен отпечатък от дезинтегриран минерал (2); (D) общ изглед на агрегат DRG2 с негативен отпечатък (стрелка); (E) увеличен детайл на прорастване с албит?; (F) агрегат KZ2G1 с прорастване от кварц.

3.1.8 Обобщение на морфоложките резултати и изводи

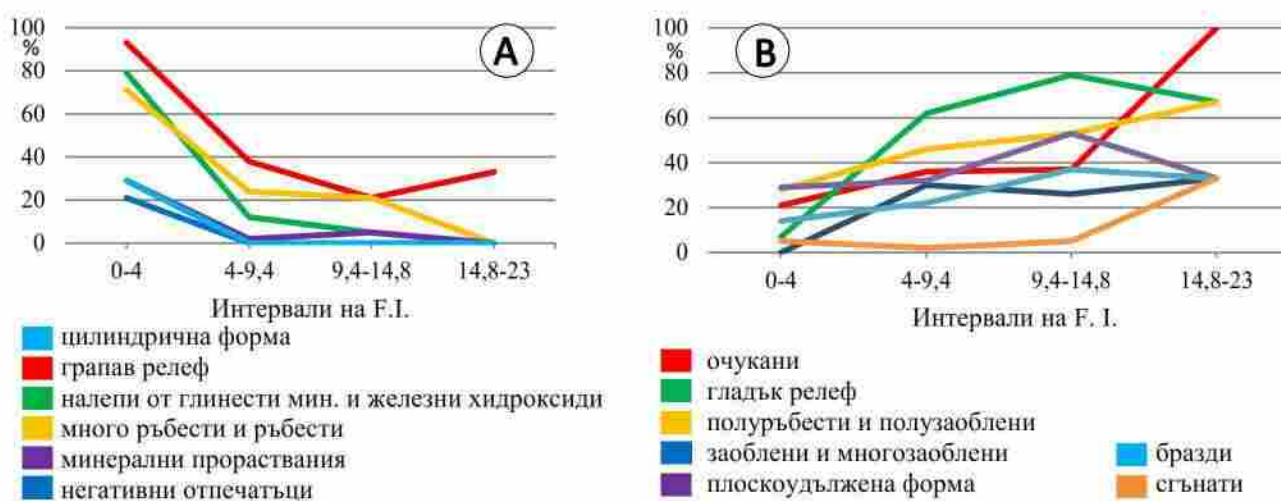
За да се съпоставят морфоложките характеристики на златните зърна и показателя им на сплеснатост, те са групирани в обособените по-горе интервали на F.I., а честотата на срещане на морфоложките им характеристики спрямо интервалите са представени чрез проценти. Така се установява, че с увеличаване на интервала на F.I. (увеличаване на изминатото разстояние) се наблюдава понижаване на дяла на златни зърна с грапав релеф, много ръбест и ръбест контур, минерални прораствания и негативни отпечатащи, както тези с и налепи от глинести минерали и железни хидроксида (Фиг. 3.11a). Дялът на златните зърна с изброените морфоложки характеристики е най-висок в интервала на F.I. 0-4, което заедно с общата тенденция показва, че тези характеристики са дефинитивни за зърната претърпели сравнително къс транспорт.

От друга страна с увеличаване на седиментния транспорт на златните зърна (повишаване на F.I.) в повечето случаи се увеличава дялът на тези от тях със заоблен и много заоблен, както и полуръбест и полузаоблен контур, плоскоудължена форма, гладък релеф и тези, които са очукани, сгънати и с наличие на бразди по тяхната повърхност (Фиг. 3.11b). За разлика от предходните тенденции, тук процента на срещане на златните зърна с изброените морфоложки характеристики е относително най-висок в интервалите с по-висок показател на F. I. (9,4-23). Това от своя страна показва, че посочените морфоложки белези са характерни за златни зърна претърпели по-дълъг седиментен транспорт.

Установените закономерности, като критерии за близък или далечно разположен източник, са отбелязани и от Townley et al. (2003), който ги използва за качествено определяне на изминатото разстояние на златните зърна от техния източник до мястото им на отлагане.

Според схемата на Townley et al. (2003), златните зърна притежаващи ръбест контур, грапава повърхност, наличие на първични минерални отпечатащи и кварц, железни оксиди и пирит с F.I.

в интервала 1,0-3,0 съответстват на тези от Интервал I в настоящето изследване. Следователно златните зърна от Интервал I вероятно са разположени на разстояние от около 0-50 m от своя източник (Townley et al., 2003). Hérail et al. (1990) и Loen (1995) също потвърждават, че подобни златни зърна с показател на сплеснатост F.I.=2-4 се установяват много близо до техния източник.



Фиг. 3.11. Намаляване (А) и увеличаване (В) на дяла на посочените морфоложки характеристики при златните зърна с увеличение на интервалите на показателя на сплеснатост (F.I.).

В Интервал I попадат златните зърна от ш. п. ZVEZDA2, DRYANOVSKAREKA, BYALATAVODA, DVOINITSA2 и ELESHNITSA3, което показва, че за първата проба възможни коренни източници на злато са разкриващите се в непосредствена близост горнокредни медно-златни минерализации от района между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.), а златото от останалите шлихови проби най-вероятно е подхранено от палеогенските конгломерати и пясъчници на Двойнишката свита и нейния Армерския член.

Златните зърна от междинните Интервали II (4 – 9,4) и III (9,4 – 14,8) по морфоложки характеристики съответстват на морфоложките критерии на Townley et al. (2003) за среден по дължина транспорт (от 50 до 1000 m). Според тези критерии в тях преобладават златни зърна с F.I. от 2,1 до 8,6, с полуръбест и полузаоблен контур, с огънати краища, очукана повърхност и с прораствания от кварц. Посоченият интервал на F.I. е по-малък от обединените два Интервала II и III (от 4 до 14,8), което показва, че зърната са изминали по-голямо разстояние спрямо посоченото от Townley et al. (2003). От друга страна, Rasmussen et al. (2007) съобщават, че при F.I.<7 изминато разстояние от златните зърна е от 1 до 10 km, а Hérail et al. (1990) дори посочват за F.I.=9 – около 30 km, поради което може да се предположи, че златните зърна са транспортирани на разстояние до няколко километра.

В посочените обединени интервали попадат повечето златни зърна от ш. п. RDOL1 и 2, RDOLFS2, SOLNIKDERE3, GORENCHIFLIK, PCHELNISHKAREKA и DODELEN, които показват несъответствие на показателя им на сплеснатост спрямо дължината от началото на опробваните реки до местата на опробване, което сочи, че скалите на Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейния Армерския член са техни преотложени източници.

В Интервал IV се включват златни зърна с контур от полуръбест до много заоблен, с наличие на следи от удари, бразди и очукана повърхност, както и отсъствието на минерални прораствания и негативни отпечатащи. Тези златни зърна според критериите на Townley et al. (2003) претърпяват най-дълъг транспорт – над 1000 m. Техният интервал на F.I. варира от 14,8 – 23, което е по-голям спрямо посочения от Townley et al. (2003), докато според Hérail et al. (1990) при F.I.=15 златните зърна трябва да претърпяват транспорт от около 60 km.

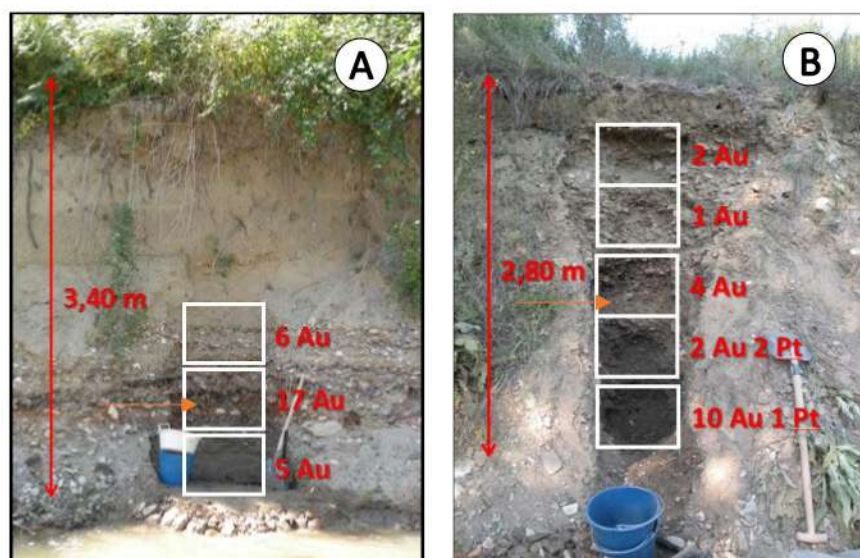
Тук попадат две зърна от долното течение на р. Луда Камчия (LK6G1, LK7G3), което е в съответствие с техните морфоложки характеристики, докато златното зърно RD1G2 от Рударски дол притежава морфоложки характеристики на значителен транспорт, несъответстващ на дължината на дола, което показва, че то е преотложено от скалите на Пъстроцветната моласова задруга.

Разпределението на златните зърна от една и съща шлихова проба само в един интервал или повече интервали най-вероятно се дължи на различни механизми на транспорт на златото. Възможно е дадено златно зърно да се транспортира на известно разстояние включено в златоносен къс скала, където е защитено от влиянието на екзогенните процеси и механична обработка. Така зърното се пренася на значително разстояние със запазена морфология и химичен състав. Вследствие на седиментният транспорт, златоносният къс се разрушава и в даден момент зърното се освобождава от него и се преотлага в алувиалните седименти. За това свидетелстват наблюдаваните хидротермално променени късове влизащи в състава на палеогенските теригенни скали на Пъстроцветна моласова задруга и Двойнишка свита (Фиг. 3.12).



Фиг. 3.12. Рудни късове от Рударски дол: (A) и (B) заоблени късове от хидротермален кварц (RDOL-R3); (C) хидротермално променени скални късове (RDOL-R2) и (D) излужени рудокласти в матрикса на конгломерата (RDOL-R2).

За наличието на излужени сулфиди свидетелстват също така установените слоеве от червеникави до тъмнокафяви псамитни до псефитни неспоени седименти разкрити и секционнно опробвани чрез два разреза на речната тераса на р. Двойница. Опробването на тези слоеве при разрез DVOINITSA-FS1 установи повишено съдържание на златни зърна в тях, докато при втория разрез DVOINITSA-FS2 най-голям брой златни, а и платинови зърна, се установиха под червенокафявите слоеве (Фиг. 3.13). Тези наблюдения са косвено доказателство, за наличието на седименти, в които протичат процеси на излужване на късове съдържащи рудни минерали включително и злато.



Фиг. 3.13. Червеникав слой, вероятно съдържащ оксиди и хидроксиди в стръмните брегове на р. Двойница при: (A) разрез DVOINITSA-FS1 с места на секционни проби и брой златни зърна; (B) разрез DVOINITSA-FS2 с места на секционни проби и брой златни и платинови зърна.

При вторият механизъм златно зърно се освобождава при денудирание на златоносни орудявания и като самостоятелна теригенна частица и вследствие на няколко цикъла на преотлагане се транспортира и отлага в алувиалните седименти. В следствие на този продължителен транспорт неговата морфология и химичния състав са значително изменени.

Не е изключен и смесен механизъм, при които времето и изминатото разстояние от златното зърно, като самостоятелно теригенно зърно и такава включена в златоносен къс са съпоставими. Това допълнително затруднява интерпретацията за изминатото разстояние на златните зърна от техните първоизточници.

3.2 Химичен състав на алувиалното злато от изследваната област

3.2.1 Въведение в проблематиката на химичните особености на разсипното злато

Златните зърна представляват природни фази на металите Au, Ag, Cu, Fe и др. в пропорции, които варират в зависимост от условията на рудообразователния процес (Desborough, 1970; Петровская, 1973; Boyle, 1979 и др.).

Важна характеристика на златото е неговата пробност, която е изчислена чрез формулата $Au(wt\%)/[Au(wt\%) + Ag(wt\%)] * 1000$ (Fisher, 1945, 1950; Harris, 1990). Пробността на златните зърна често се използва за тяхното сравняване както в дадена шлихова проба, така и в проби подхранвани от различни източници. Тя също може да бъде насочваща за определяне на типа на техния ендегенен източник (Morrison et al., 1991; Corbett, Leach, 1997; Townley et al. 2003).

Много често в разсипните златни зърна претърпяват екзогенни променени изразяващи се във формирането на по-богати на Au периферни спрямо по-бедни на Au ядрата. Счита се, че химичният състав на такива ядра отговаря на първичният им състав от ендегенното минералообразуване. Произходът и развитието на зоналния строеж на алувиалните златни зърна, отдавна е обект на интензивни дебати (Desborough, 1970; Петровская, 1973; Mann, 1984; Groen et al., 1990; Hérail et al. 1990; Knight et al. 1999b; Bowell, 1992; Craw, 1992; Santosh et al., 1992; Youngson, Craw, 1995; Southam, 1998; Wierchowicz, 2002, 2011; Nakagawa et al., 2005 и др.).

Алувиалните златни зърна са изследвани чрез рентгеноспектралния микросондов метод и метода на лазерна аблация с маспектрометрия в индуктивно свързана плазма. Първият е основен и е използван за определяне на локалния химичен състав на златните зърна, докато вторият е използван главно за определяне на елементите-следи (< 1 wt %) в тях.

3.2.2 Резултати от рентгеноспектралните микросондови изследвания на разсипното злато

Изследвани са 77 бр. златни зърна, върху които са извършени общо 423 бр. локални рентгеноспектрални микросондови анализи. Според тях, златните зърна са съставени главно от Au и Ag с непостоянно присъствие на примеси от Cu и Fe.

Златото в златните зърна варира от 66,31 wt % до 100 wt %. Средното му съдържание за всички зърна е 91,88 wt %, което е по-малко от стойността на медианата – 94,11 wt %, а стандартното отклонение е 8,02.

Среброто е единственият елемент-примес, присъстващ в всички изследвани златни зърна. Съдържанието му в златните зърна достига до 33,66 wt %, докато средното му съдържание (7,93 wt %) е по-голямо от стойността на медианата – 5,74 wt %. Стандартното отклонение за Ag е съпоставимо с това на Au – 8,10.

Между Au и Ag се установява силна отрицателна линейна корелационна зависимост (коефициент на корелация (Pearson, 1896) $r_{(Au-Ag)} = -1,00$), която е типична за минералите от Au-Ag непрекъснатата изоморфна редица, обусловена от почти еднаквите размери на атомите им.

Анализите също така показват, че не се установяват корелации на Au с останалите анализирани елементи – Cu и Fe ($r_{(Au-Cu)} = 0,14$ и $r_{(Au-Fe)} = 0,10$), както и между самите тях ($r_{(Ag-Cu)} = -0,18$; $r_{(Ag-Fe)} = -0,13$ и $r_{(Cu-Fe)} = 0,10$).

Медта е вторият най-често срещан елемент-примес в златото, чиито съдържания са значително по-ниски от тези на Ag. Само в 10 от златните зърна не е установено наличие на Cu,

което индиректно показва вероятна медна специализация на неговият източник. Зърното RD2G2 от ш. п. RDOL2 от Рударски дол се отличава с повишени съдържания на Cu (от 3,15 до 4,07 wt %) във всичките три анализа. Според Петровская (1973), съдържанията над 1 wt % Cu по-често се усвояват в злато от среднодълбочинните находища, докато Щербаков (1967 цит. по Петровская, 1973) счита, че такова злато често се среща в минерализираните скарни.

Изключвайки от пресмятанията златното зърно RD2G2 с повишени съдържания на Cu, то максималната стойност на Cu за останалите зърна достига 0,82 wt %, което позволява тя да се определя като елемент-следа. Така средното съдържание на Cu е 0,09 wt %, което е повече от стойността на медианата – 0,02 wt %, а стандартното отклонение е сравнително малко – 0,13.

Желязото е третият по разпространение елемент-примес в златните зърна, като то отсъства в 15 от тях. В златните зърна RD2G1, BVG4 и GOG4 се установяват повишени съдържания на Fe (от 1,42 wt % до 2,52 wt %) спрямо всички останали зърна. Изключвайки повишените стойности на Fe, то неговата максимална стойност за всички зърна достига до 0,75 wt %, което превишава интервала от 0,01 до 0,3 wt % за количеството на Fe в най-разпространените злата по данни на Петровская (1973). Средното съдържание на Fe от изследваните зърна е 0,06 wt %, което е по-малко от стойността на медианата (0,02 wt %), а стандартното отклонение е най-малко (0,11) спрямо останалите установени елементи.

3.2.2.1 Хомогенни и нехомогенни златни зърна

Извършените локални рентгеноспектрални микросондови анализи дават основание всички златни зърна да се разделят на: хомогенни и нехомогенни (спрямо разпределението на изграждащите ги елементи) и на самородно злато и електрум (на минераложки принцип).

Хомогенни златни зърна

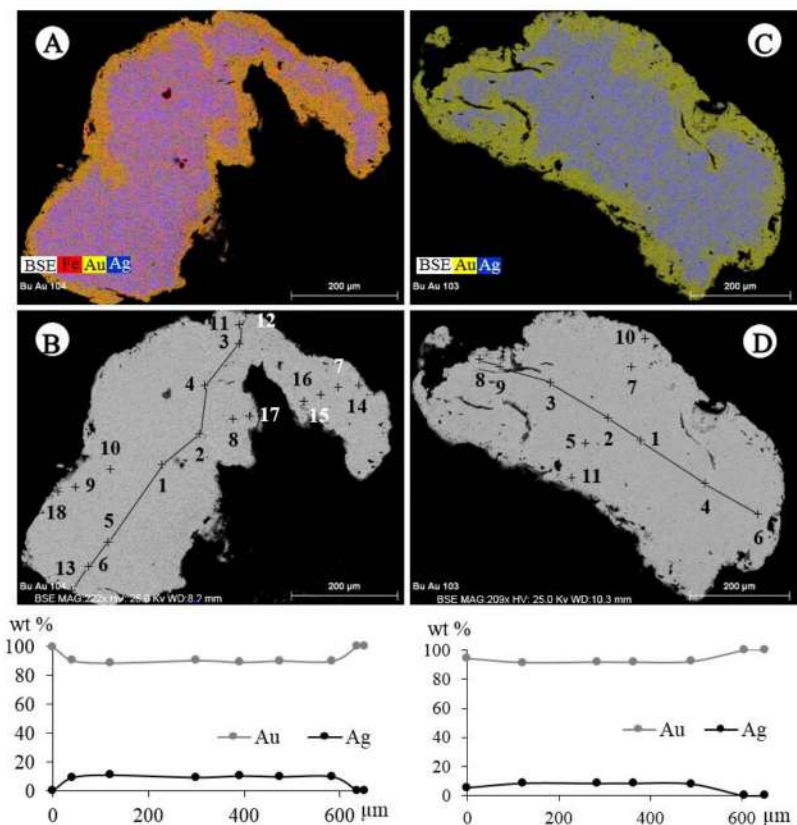
В това изследване за хомогенни са приети златните зърна, които имат условна разлика от 2 wt % между съдържанието на Au и Ag в техните ядро и периферия. Спрямо този критерий са установени 45 хомогенни златни зърна (анализирани със 194 анализа), които показват равномерен сив цвят на полираната им повърхност и липса на фазови граници при наблюдаване чрез SEM.

Съдържанието на Au в хомогенните зърна варира между 66,31 и 99,92 wt % Au (ср. 93,90 wt % Au), а Ag достига до 33,66 wt % Ag (ср. 5,86 wt % Ag). Със значително по-ниски съдържания се отличават Cu и Fe, които достигат съответно до 4,07 wt % Cu (ср. 0,17 wt % Cu) и до 1,42 wt % Fe (ср. 0,08 wt % Fe). Cu показва малко по-високи максимални и средни стойности спрямо Fe, които са в резултат от по-високите ѝ стойности при златното зърно RD2G2 от ш. п. RDOL2. Това най-вероятно се дължи на изоморфизъм между Au и Cu, вероятно предопределен от ендегенен източник с изявена медна специализация.

Нехомогенни златни зърна

Нехомогенността на златните зърна, продиктувана от влиянието на екзогенните процеси, се обуславя от наличието на две зони в тях, които са ясно различими при изследванията на полираните златни зърна в обратно отразени електрони чрез SEM. Зоните са представени от по-тъмно ядро с повишено съдържание на Ag, спрямо по-светлата и бедна на Ag периферна зона. Границата между двете зони е рязка.

На Фиг. 3.14 е показано разпределението на Au и Ag на две нехомогенни зърна GOG2 и GOG3 от ш. п. GORENCHIFLIK. Съдържанията на Au и Ag в анализите, прокарани по начупена профилна линия през целия срез на зърната, показват ясна закономерност, изразяваща се в повишаване на съдържанието на Au в посока от ядрото към периферията на зърното, докато Ag в същата посока намалява.



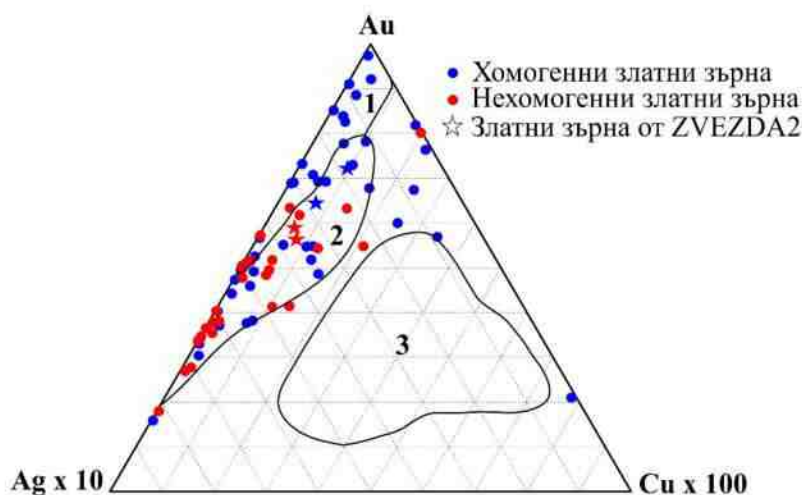
Фиг. 3.14. Изображения в обратен отразен електрон с разпределение на Au и Ag по начупена профилна линия в нехомогенните златни зърна GOG3 (A и B) и GOG2 (C и D).

Изследваните 32 нехомогенни златни зърна показват по-ниско съдържание на Ag в тяхната периферия достигащи до 12,90 wt % Ag (ср. 3,59 wt % Ag) спрямо ядрата им, където се повишават до 32,98 wt % Ag (ср. 14,70 wt % Ag). В нехомогенните златни зърна, Au показва закономерна, обратна тенденция спрямо поведението на Ag, изразяваща се в занижени съдържания в ядрата им от 67,02 до 96,92 wt % Au (ср. 85,20 wt % Au) и по-високи стойности за техните периферии – от 87,06 до 100,00 wt % Au (ср. 96,24 wt % Au).

Разпределението на Cu в нехомогенните златни зърна е равномерно, потвърдено от еднаквите стойности за средното ѝ съдържание (0,07 wt %) и медианата (0,01 wt %) в ядрата и перифериите им, както и ниската стойност на стандартното отклонение (0,11).

При Fe се наблюдават малко по-високи съдържания в перифериите на златните зърна, достигащи до 2,52 wt % Fe (ср. 0,11 wt % Fe), спрямо тези в ядра им – до 0,23 wt % Fe (ср. 0,06 wt % Fe). Повечето анализи с повишени съдържания на Fe в перифериите на златните зърна са установени в златните зърна BVG1 (0,68 и 0,71 wt % Fe) и BVG4 (1,50 wt % Fe) от ш. п. BYALATAVODA. Тази особеност вероятно е породена от сходните им изменения вследствие на екзогенни процеси или на това, че произхождат от общ ендегенен източник.

Химичните състави на ядрата на отделните златни зърна са нанесени на дискриминационната диаграма на Townley et al. (2003) с цел разграничаването на различни типове ендегенни източници на злато (Фиг. 3.15). Така зърната попадат в полетата на злато, произхождащо от епитермални и богати на злато порфирни находища, като нито един от съставите не попада в полето обособяващо богатите на злато медно-порфирни находища. Единствено при ш. п. ZVEZDA2 се установява закономерност по отношение на еднакъв генетичен произход на всички златни зърна спрямо зърната от всички останали проби, което вероятно показва повече от един коренен източник. При тази проба златните зърна попадат в полето на богатите на злато порфирни находища, което съвпада с генезиса на установените горнокредни медно-златните минерализации от порфирен тип между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.), от които най-вероятно се подхранват.



Фиг. 3.15. Химичен състав на ядрата на хомогенни и нехомогенни златни зърна, представени на триъгълна дискриминационна диаграма с върхове Au–Ag×10–Cu × 100 и следните полета: 1 – епитермални находища; 2 – богати на злато порфирни находища и 3 – богати на злато медно-порфирни находища (Townley et al. 2003)

3.2.2.2 Електрум

Само четирите зърна DRG3, DV2G2, GOG5 и DOG2 съдържат в техните ядра Ag над 20 wt % (от 19,70 wt % до 33,45 wt %; ср. 28,70 wt %), което ги определя като електрум (Harris, 1990), а останали зърна са самородно злато. Електрумните зърна са установени съответно в ш. п. DRYANOVSKAREKA, DVOINITSA2, GORENCHIFLIK и DODELEN, като първата точка на опробване е отдалечена на значително разстояние от останалите, но всички са подхранени от скалите на Двойнишката свита.

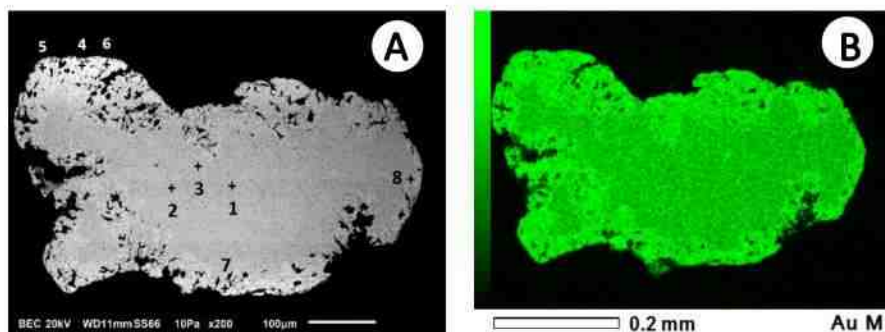
Само електрумното зърно DRG3 е с хомогенен състав, а останалите са с напълно или частично развити периферии богати на Au. Перифериите на нехомогенните електрумни зърна DV2G2, GOG5 и DOG2 съдържат Ag от 0,14 до 10,53 wt % (ср. 2,44 wt %), поради което те може да се опишат като агрегати, съставени от електрумно ядро и периферия от самородно злато.

В електрумните зърна Cu е в ниски съдържания (до 0,23 wt %; ср. 0,02 wt %) и е равномерно разпределена, докато Fe показва по-високи стойности в техните периферии (0,48 wt %; ср. 0,10 wt %) в сравнение с техните ядра (до 0,04 wt %; ср. 0,01 wt %).

Електрумните зърна DRG3 и DV2G2 се характеризират с добре развити богати на Au периферии, дължащи се на сравнително кратък транспорт и незначителни екзогенни изменения, за което свидетелстват, както ниският им показатели на сплеснатост (F.I. за DRG3 и DV2G2 съответно 2,2 и 3,5), така и от данните на повечето автори, които описват присъствието на електрум в разсипите с близко разположен коренен източник. Следователно, наличието на гореописаните зърна в алувиални седименти без установено пряко подхранване от коренни източници показва, че те най-вероятно са транспортирани включени в литокласти съставляващи Двойнишката свита, които до известна степен са ги предпазвали от екзогенните изменения до времето им на освобождаване при тяхната естествена екзогенна дезинтеграция.

3.2.2.3 Механизъм за формиране на зоналните златни зърна

При наблюдаване на нехомогенното електрумно зърно DOG2 в обратно отразени електрони (Фиг. 3.16), се наблюдават множество малки отворени и затворени пори предимно по по-светлата периферия на зърното, която е богата на Au и с ниско съдържание или отсъствие на Ag. Следователно, тези пори най-вероятно са формирани при процесите довели до намаляване на количеството на Ag в богатата на Au периферия. Увеличаването на дебелината на богатите на Au периферии и размерите на порите е в пряка зависимост от процесите на вторично преобразуване и свидетелства за продължително пребиваване на златните зърна в хипергенни условия (Giusti, Smith 1984; Groen, 1990; Krupp, Weiser, 1992; Knight et al., 1999a, 1999b; Wierchowicz, 2011 и др.). Авторите също приемат, че формирането на самите пори и техните „гъбообразни“ или „строматолитоподобни“ структури се дължи на периферното излужване на златните зърна и последващо повърхностно автогенно отлагане на Au от златоносни приповърхностни разтвори.



Фиг. 3.16. Пазнини с малки размери в обема на богата на Au периферия (по-светлосиво, по-светлозелено), около електричното ядро на нехомогенното зърно DOG2: (A) изображения в обратно отразени електрони и (B) разпределение на Au по площ.

Петровская, Фасталович (1955) забелязват частично свити пори по ръбовете на златните зърна и предполагат, че това е вследствие на процесите на деформация при алувиален транспорт. Такива пори при електричното зърно DOG2 (Фиг. 3.16) не са наблюдавани, което вероятно се дължи на сравнително къс алувиален транспорт след формирането на богата на Au периферия.

Погледнато от друга страна, отсъствието на пори в целия обем на изследваните хомогенни и високопробни златни зърна показва, че те по-скоро са продукт на ендогенните процеси, отколкото вследствие на цялостното им екзогенно облагородяване.

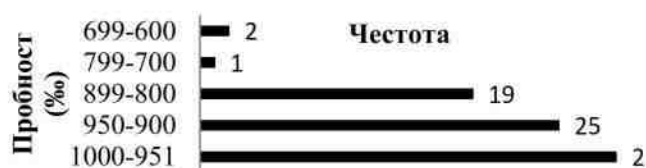
Knight et al. (1999b) считат дебелината на обогатената на Au периферия за ненадежден показател за изминатото разстояние от златните зърна, поради което не са им правени прецизни и систематични измервания. На пръв поглед, дебелината им е непостоянна както в самото зърно, така и между отделните зърна и варира от 1-2 до около 100 μm.

Предвид получените резултати и направените наблюдения на златни зърна, може да се приеме, че формирането на богатата им на Au периферия става чрез едновременното протичане на два процеса – излужване на периферията им и отлагане на Au по повърхността им. Подобно схващане се приема и от други автори (Loen 1994; Youngson, Craw 1995; Nakagawa et al. 2005; Wierchowicz 2002, 2011).

3.2.2.4 Пробност на златните зърна

Пробността в ядрата на всички златни зърна варира значително от 669 до 1000 ‰ (ср. 920 ‰) докато медианата е 931 ‰, а стандартното отклонение е значително – 67. Закономерно, пробността в периферията на нехомогенните зърна е по-висока от ядрата на всички зърна и варира от 881 до 1000 ‰ (ср. 966 ‰) с медиана 971 ‰ и по-ниско стандартното отклонение (30).

Според класификацията на Петровская (1973) при златните зърна преобладават твърде високопробните (1000-951 ‰), следвани от високопробните (950-900 ‰) и среднопробните (899-800 ‰), докато нископробните (699-600 ‰) са само две, а едно зърно е относително нископробно (799-700 ‰) (Фиг. 3.17).



Фиг. 3.17. Хистограма отразяваща разпределението на пробността на златните зърна по интервалите на пробност дефинирани от Петровская (1973).

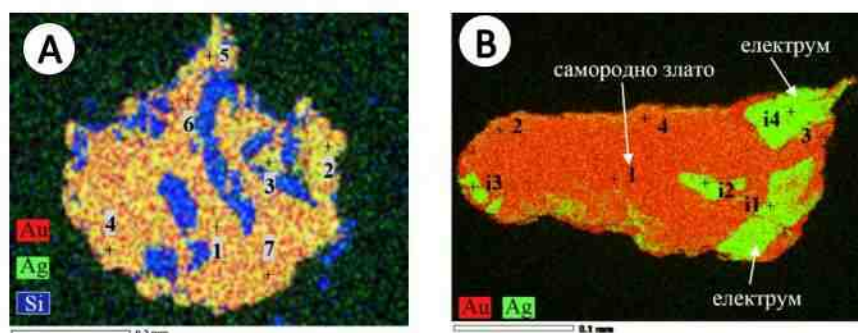
Твърде високопробните златни зърна са 29 на брой, като само три от тях притежават богата на Au периферия. Това показва, че дори и твърде високопробните златни зърна, подложени дълго време на въздействието на екзогенните процеси могат да загубят част от Ag си и така да формират още по-богати на Au периферии. При тях също така не са наблюдавани пори, характерни за зърната продължително пребивавали в хипергенни условия, което показва, че тяхната висока пробност и хомогенност вероятно е унаследена от техните първични източници.

Високопробните златни зърна са 25, като половината от тях се отличават с по-високопробна периферия спрямо техните ядра, което вероятно се дължи на различен период от време, в което златните зърна са подложени на влиянието на екзогенните процеси.

От високопробните зърна се отличават нехомогенните агрегати ZV2G1 и ZV2G4 от ш. п. ZVEZDA2. Първото зърно представлява златно-силикатен агрегат с локално повишено

съдържание на Ag в периферията му, което често се случва в условията на ендеогенно минералообразуване при изменение на състава на хидротермалните разтвори (Фиг. 3.18a). В периферията на второто зърно ZV2G4 са наблюдавани четири включения от електрум, което оказва влияние върху неравномерното разпределение на Ag в обема му (Фиг. 3.18b).

Наличието на запазени включения от електрум и периферни участъци с локално повишени съдържания на мобилното в екзогенни условия Ag сочат в техните периферии, показва че златните агрегати са претърпели сравнително къс транспорт и не са пребивавали в разсип или алувиални седименти продължително време (Loen, 1995; Mortensen et al., 2004; Mudaliar et al., 2007). Това изключва възможността подхранването им да е от норските седименти на Флишката задруга и показва, че те по-скоро са подхранени от медно-златните рудопроявления между селата Веселиново и Звезда.



Фиг. 3.18. Изображения с неравномерно разпределение на Au и Ag по площ при златните агрегати: (A) ZV2G1 със силикатни включения; (B) ZV2G4 с включения от електрум.

Среднопробните зърна са 25 на брой, като 12 от тях са нехомогенни. В повечето случаи перифериите на нехомогенните зърна се отличават с твърде висока пробност (1000-951 ‰).

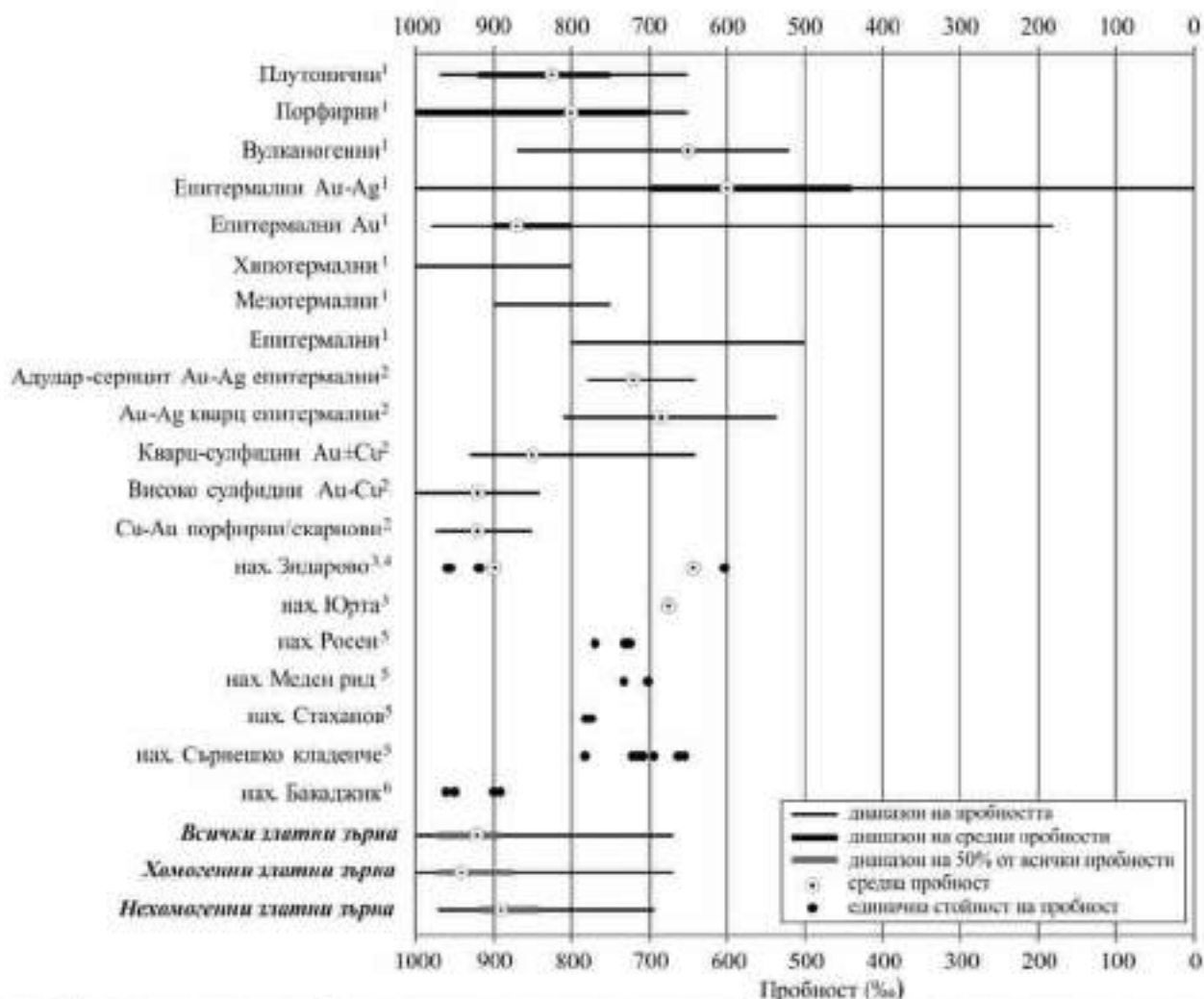
Златните зърна с близка пробност от една шлихова проба показват, че те най-вероятно се подхранват от един източник, когато е пробността е бимодална – вероятно от два източника, а когато варира в широки граници – от повече от два източника. Тази закономерност е условна, поради това, че в отделните части на самите златоносни ендеогенни орудявания се установява варираща пробност на златото. Имайки предвид тази условност се установява, че по-голямата част от златните зърна от шлиховите проби от района на Рударски дол, р. Двойница, както и от ш. п. NEIKOVSKAREKA3, и в по-малка степен от ш. п. ZVEZDA2 и BYALATAVODA имат бимодална пробност и вероятно са подхранвани най-малко от два ендеогенни източника съдържащи от твърде високопробно до среднопробно злато.

Прави впечатление, че две от златните зърна ш. п. ZVEZDA2 с ендеогенно предопределена зоналност показват много близки пробности в техните ядра (945 и 949 ‰), а останалите две притежават сравнително близка и малко по-висока пробност (964 и 977 ‰). Това показва, че златото от ш. п. ZVEZDA2 произхождат от коренни източници съдържащи най-общо твърде високопробно и високопробно злато, което кореспондира с медно-златните минерализации от порфирен тип от района между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.).

3.2.2.5 Съпоставяне на пробността на разсипното злато с тази на злато от различни типове ендеогенни находища.

Извършено е съпоставяне на пробността между изследваното разсипно злато и злато от различни ендеогенни типове находища по данни на Morrison et al., (1991) и Corbett, Leach (1997), които се отнасят към регионалната металогенна специализация на Източна България. Целта е да се отбележат генетичните типове на предполагаемите ендеогенни източници на изследваното разсипно злато. При съпоставянето е използвана пробността в ядрата на зърната поради това, че химичният им състав в тях не е повлиян от екзогенните промени.

Резултатите показват, че повечето от златните зърна имат най-голяма съпоставимост с пробността на злато от Cu-Au порфирни/скарнови, високо сулфидни Au-Cu, плутонични, порфирни, епитермални (Au) и кварц-сулфидни Au±Cu находища (Фиг. 3.19). Сходство в по-малка степен се установява с мезотермалните, епитермалните Au-Ag и вулканогенните находища, които са със застъпващи се интервали на пробност и това затруднява еднозначното дефиниране на генетичния тип източник.



Фиг. 3.19. Съпоставяне на пробността на златните зърна спрямо пробността на злато от различни генетични типове находища и златоносни находища от Източно Средногорие по данни на: ¹Morrison et al., (1991); ²Corbett, Leach (1997); ³Ковачев и др. (2007); ⁴Русков (2011), (единични стойности); ⁵Strashimirov, Kovachev (1995) и ⁶Милев (2007).

Резултатите от това съпоставяне са сходни с тези от дискриминационната диаграма на Townley et al. (2003) според която на база химичния състав на златните зърна се предполага, че те най-вероятно произхождат от епитермални и богати на злато порфирни находища.

Пробността на златните зърна от ZVEZDA2 (от 945 до 977 ‰, ср. 959 ‰) показва сходство с порфирните находища (Morrison et al., 1991) и се доближава до средната стойност на медно-златните порфирни и скарнови находища (Corbett, Leach, 1997). Тези резултати, както и този от дискриминационната диаграма на Townley et al. (2003) показват, че изследваните златни зърна от алувиалните седименти на Кавалджи дере най-вероятно се подхранват от медно-златните минерализации от порфирен тип между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.).

На Фиг. 3.19 е направено и съпоставяне с пробността на ендеогенно злато от най-близко разположените до изследваната област находища, за които има публикувани данни за химичния му състав. Те са Зидарово, Юрта (Ковачев и др., 2007), Росен, Меден рид, Стаханов, Сърнешко Кладенче (Strashimirov, Kovachev, 1995) и Бакаджик (Милев, 2007) от Бургаския руден район.

На пръв поглед се наблюдава съвпадение на пробността на ендеогенното злато от споменатите находища с целия диапазон на пробността на всички алувиални златни зърна. Разглеждайки диапазона, определен от 50% от всички пробиности на хомогенните, а до известна степен и на нехомогенните златни зърна (Фиг. 3.19), се установява съвпадение с пробността на златото от находищата Зидарово и Бакаджик. По-конкретно за находище Зидарово те съвпадат със златото свързано с по-високотемпературна и по-близко стоящата до интрузивното тяло медна минерализация (Ковачев и др., 2007), както и от халкопирит-сфалерит-галенитовата асоциация (Русков, 2011). Докато за находище Бакаджика съвпадат с по-ранното (асоцииращо с халкопирит

и бисмутови сулфосоли) и по-късното (асоцииращо със сфалерит и галенит във високите части на находището) злато (Милев, 2007). Значително по-малка част от изследваните зърна съвпадат по пробност с по-нископробното ендеогенно злато (електрум) от находищата в Росенското рудно поле. Получените съвпадения са логични предвид изявената златоносност на находищата Зидарово и Бакаджик, в които самородното злато и електрумът се срещат много по-често спрямо находищата Росен и Върли бряг, като в последното на практика не се установява наличието на електрум (Попов и др., 1993).

3.2.2.6 Съпоставяне на показателя на сплеснатост и пробността на златните зърна

Съпоставени са пробността на златните зърна и показателя на сплеснатостта (F. I.), за да се разгледа изменението на химичния състав на златните зърна спрямо относителното разстояние, което са изминали от своя източник. Установяват се следните закономерности:

- Златните зърна притежаващи F. I. до 2,6 са химически хомогенни, като същевременно се отличават с най-голяма вариация в тяхната пробност (от 669 до 977 ‰). Малките стойности на F.I. показват, че те са претърпели много кратък транспорт, което обяснява краткото време на въздействие на екзогенните процеси и липсата на богата на Au периферия. От друга страна, голямата вариация в тяхната пробност може да се дължи на повече от един брой коренни източници или на един източник с широка вариация на пробността на златото.

- Повечето от златните зърна с F. I. по-голям от 12,5 са хомогенни и с по-висока пробност (над 900 ‰). Това показва, че с увеличението на транспорта, съответно увеличаване на времето на въздействие на екзогенните процеси, златните зърна увеличават своята пробност.

- Перифериите на нехомогенните зърна показват по-висока пробност спрямо техните ядра независимо от показателя им на сплеснатост. Това показва, че пробността по-скоро се увеличава спрямо времето на влияние на екзогенните процеси, отколкото на продължителността на седиментния транспорт.

3.2.2.7 Минерални включения в златните зърна

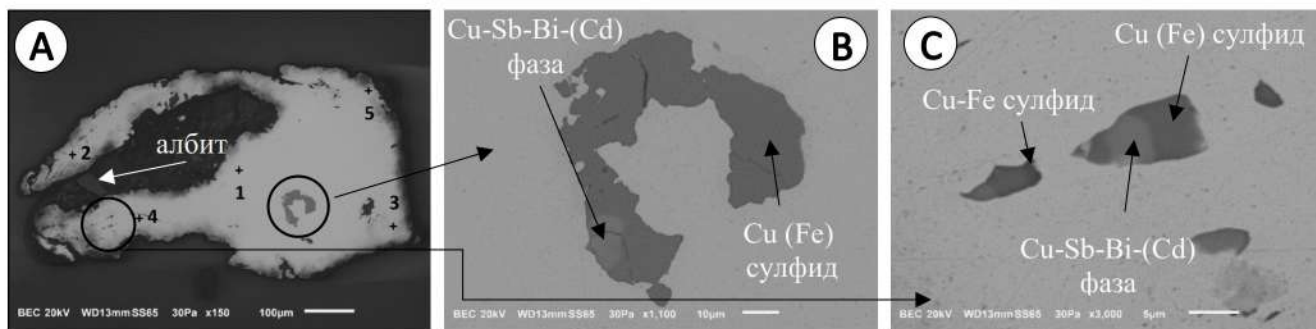
Само в 15 от златните зърна се установяват минерални включения, чиито състави могат да носят допълнителна информация за генезиса на златото. Диагностицирането на включенията чрез оптични изследвания се затруднява от малките им размери (особено на сулфидите), поради което са използвани количествените и качествените резултати от рентгено-спектралните микросондови анализи. От друга страна, определянето на по-големите включения от алумосиликати също е затруднено вследствие на изменения в химичния им състав под влиянието на ендеогенните процеси (напр. хидротермални промени), както и екзогенните процеси.

Повечето от включенията са от кварц, К-фелдшпати, Са-карбонати и глинести минерали, по-малко от пирит, а рядко ерешани са халкопирит?, дигенит?, Cu-Sb-Bi фази, Fe-Ti оксиди, хесит? и електрум. Те са типични за зърна с по-голям размер и свидетелстват за по-къс транспорт.

В златния агрегат ZV2G4 от точка на опробване ZVEZDA2 са установени 6 броя включения от електрум [обща кристалохимична формула от 4 анализа: $(Au_{0.37-0.51}Ag_{0.49-0.63})_{1.00}$] с размери до 75 μm (виж. Фиг. 3.18b на стр. 26). Включенията се разполагат предимно по периферията на агрегата, като техните граници са резки и отчетливи.

При златното зърно DRG2 от ш. п. DRYANOVSKAREKA са установени сулфидни включения с размери до 50 μm , като повечето от тях са с размери около 10 μm , поради което анализите са силно повлияни от златната матрица. По-голямото включение е изградено от Cu сулфид с примес от Fe (най-вероятно дигенит), като в него с относително плавна граница се обособява зърно от Cu-Sb-Bi-(Cd) фаза (Фиг. 3.20a, b). В друга част на зърното са наблюдавани 4 включения, а съставът им освен от Cu-Sb-Bi-(Cd) фаза и Cu сулфид се допълва и от Cu-Fe сулфид, доближаваш се до стехиометричната формула на халкопирит (Фиг. 3.20a, c). Тези включения по-скоро показват медната специализация на първичната рудна минерализация и процесите на изветряне в приповърхностните им части. В изследвания район не са описвани Bi-съдържащи минерали, докато най-близките находища, в които се установяват са тези от Зидаровското и

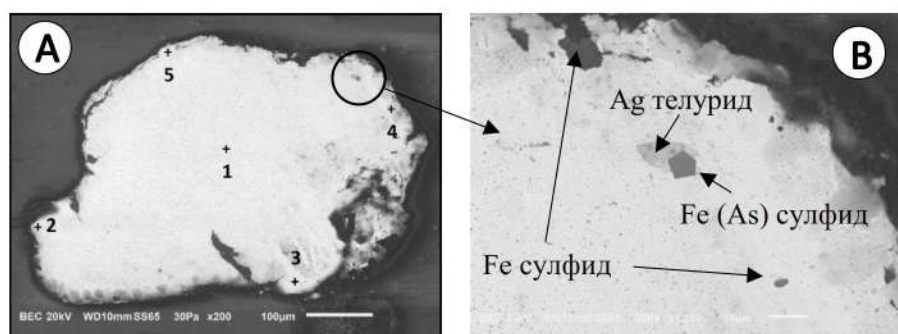
Върлибрежкото рудни полета в Бургаският руден район (Ковачев, 1976, 1980, 1990; Kovachev, 1979; Попов и др., 1993; Богданов и др., 1994; Кольковски и др., 2003 и др.).



Фиг. 3.20. Минерални включения в златното зърно DRG2 наблюдавани в обратно отразени електрони: (A) общ план; (B) и (C) детайли на включения от Cu (Fe) сулфиди и Cu/Sb/Bi(Cd) фази. Елементите в скобите са примеси в подчинено количество.

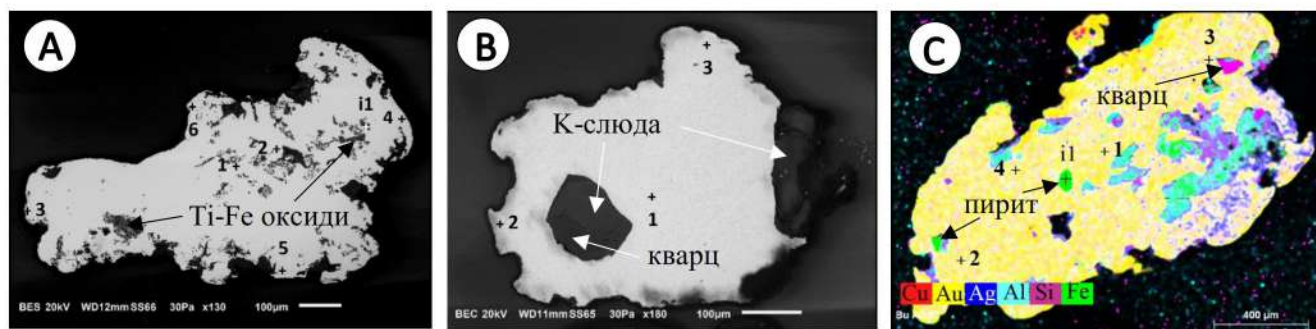
В златното зърно ZAG1 от ш. п. ZAIMCHEVO се наблюдават взаимно прораснали включения от As-съдържащ Fe сулфид (вероятно As-съдържащ пирит) и Ag телурид (вероятно хесит) с размери до 10 μm (Фиг. 3.21). As-съдържащ Fe сулфид е наблюдаван в срез, от който може да се предположи неговата пентагондодекаедрична кристална форма, която е указание за пирит формиран в хидротермални жили при ниски температури (Костов, 1993).

Наличието на включение от телурид в златното зърно не е необичайно, тъй като телуридите са широко разпространени в златните находища от различен генетичен тип, но са по-характерни за епитермални находища. Подобно на Bi-съдържащите минерализации, телуриносни минерализации не са описвани в изследваната област. Според Попов и др. (1993) най-близките находища с установени минерали носители на телур са тези от Върлибрежкото и Зидаровското рудни полета, а Богданов (2003) отбелязва наличието на асоциация от хесит и злато в Бакаджишкото и Зидаровското рудни полета.



Фиг. 3.21. Включения наблюдавани в обратно отразени електрони в златно зърно ZAG1: (A) общ изглед; (B) детайл с включения от Fe сулфиди (вероятно пирит) и Ag телурид (вероятно хесит).

В златното зърно BVG1 от ш. п. BYALATAVODA са наблюдавани множество неравномерно разпределени микровключения до 10 μm от нестеохиометричен Ti-Fe оксид (Фиг. 3.22a).



Фиг. 3.22. Включения в изследваните златни зърна: (A) неравномерно разпределени микровключения от Ti-(Fe)-O фази в златен агрегат BVG1; (B) агрегат DRG1 с прорастващи кварц и К-слюда?; (C) златен агрегат GOG1 с включения от пирит и кварц, и глинести минерали в празнини (синьо-зелено).

В някои от златните зърна се установяват прораствания с кварц (с микро- до макроскопски размери), а при агрегат DRG1 е наблюдавано прорастване на кварц и К-слюда (вероятно серицит)

е предполагаем хидротермален произход (Фиг. 3.22b). В сравнително голямото златно зърно GOG1 са установени включения от пирит (с размери под 20 μm), кварц (с размери около 100 μm) и глинести минерали с екзогенен произход, които запълват празнини в зърното (Фиг. 3.22c).

3.2.3 Резултати от лазерна аблация на разсипното злато

С помощта на LA-ICP-MS са извършени 61 анализа върху 54 от златните зърна, като са определени 30 химични елемента. Елементите-следи Fe, Hg и Cu показват по-високи средни съдържания от всички останали, като Hg и Cu се установяват във всички анализирани златни зърна, а Fe присъства само в 11 от тях (Табл. 1).

Табл. 1. Статистически обобщени резултати от LA-ICP-MS изследванията за съдържанието на елементите-следи на златните зърна.

Елементи-следи	Минимум (ppm)	Максимум (ppm)	Средно (ppm)	Медиана (ppm)	Стандартно отклонение	Бр. анализи над mdl	% на анализи над mdl
Cu	6,79	5429,20	481,95	166,54	947,66	61	100
Hg	3,68	32592,14	594,43	17,45	4166,83	61	100
Sb	0,54	263,92	29,52	4,74	69,00	20	33
Pb	0,20	56,28	4,20	0,59	12,10	20	33
Pd	0,39	23,29	4,44	1,75	6,03	18	30
Pt	0,54	295,11	17,52	1,03	67,33	18	30
Ti	19,04	215,16	78,44	34,00	66,54	15	25
Bi	0,13	4,84	0,74	0,33	1,18	14	23
Zn	6,21	452,81	76,20	14,56	128,01	12	20
Fe	127,64	22184,32	4218,06	1088,14	6961,39	11	18
Mn	1,50	17,21	9,17	8,99	5,01	7	11
Tl	0,12	0,33	0,23	0,24	0,07	7	11
V	4,76	33,50	14,58	9,78	10,30	6	10
Re	0,34	1,23	0,58	0,40	0,32	6	10
Mo, Cd, As, W, Co, Ni, Ga, Rh, In, Sn, Te, Cr, Ge се срещат в по-малко от 5 анализа							
Se – без присъствие (под mdl за всички анализи)							

По-високото средно съдържание на Hg се дължи на повишеното му съдържание в златното зърно GOG4 достиганно 32592 ppm или 3,26 wt % (Табл. 1). При него се отчитат и с повишени съдържания на елементите-следи Zn, Mn, Ni, Co и Sn спрямо останалите зърна, като няма данни повишеното съдържание на Hg да е вследствие на епигенетично или антропогенно замърсяване.

Живака е характерен елемент-примес най-вече за златото от епитермалните хидротермални находища (Петровская, 1973; Youngson et al., 2002), докато той на практика липсва при високопробното злато от метаморфозирани рудни формации от големите дълбочини и от екзоконтактните ореоли на пострудните интрузиви (Петровская, 1973).

По данните от LA-ICP-MS анализи на златните зърна е изчислен коефициента на корелация (Pearson, 1896) на Cu и Hg – $r_{(Cu-Hg)} = -0,07$, който показва, че те не се корелират.

Най-често срещани елементите-следи в изследваните златни зърна са Sb, Pb, Pd, Pt, Ti, Bi и Zn (от 33 до 20% от анализа). Те варират от няколко ppm до няколко стотици ppm (Табл. 1). От тази група елементи-следи с най-високи съдържания се отличават Ti и Zn, като Ti е характерен елемент-примес за злато от високотемпературни находища, докато Zn е рядко срещан елемент-следа в него (Щербаков, 1965).

Съдържанието на елемент-следа Sb достига 264 ppm (ср. 29 ppm), като той е типоморфен за нискотемпературно злато от малки дълбочини, и в по-малка степен за среднодълбочинни находища (Петровская, 1973).

В изследваните зърна съдържанието на Pt достига 295,11 ppm (ср. 17,52 ppm), а това на Pd до 23,29 ppm (ср. 4,44 ppm). Те се установяват в около една трета от изследваните зърна. Само в три анализа се установява Rh със съдържание под 1 ppm. Според Петровская (1973) платината и платиноидите са специфични елементи-примеси в златото от платиносни райони.

В една трета от изследваните зърна е установен елемента-следа Pb, който е характерен за злато от среднотемпературни находища (Щербаков, 1965). Малката честота на срещане и ниските съдържания както на Pb (до 56,28 ppm, ср. 4,20 ppm), така и на Bi (до 4,84 ppm, ср. 0,74 ppm) в златните зърна не потвърждават изводите на Петровская (1973), че двата елемента са широко разпространени елемент-примес в самородното злато.

Елементите-следи Mn, Tl, V и Re се установяват в около 10% от изследваните златни зърна. От тях с по-високи съдържания се отличават V и Mn със съдържания до десетки ppm. Re и Tl имат съдържания около и под 1 ppm (Табл. 1). Петровская (1973) счита, че V е чест елемент-примес, но малко изучен, докато Mn е характерен за плитко залегащи епитермални находища.

Елементите-следи Mo, Cd, As, W, Co, Ni, Ga, Rh, In, Sn, Te, Cr и Ge се срещат в под 10% от изследваните зърна, а Se не е установен в нито един анализ. От тях с по-високи съдържания (до 407,3 ppm; ср. 106,2 ppm) и анализиран в три златни зърна се отличава As, който е типоморфен елемент-следа за злато от малки дълбочини и в по-малка степен за среднодълбочинни находища (Петровская, 1973).

В резултат от интерпретациите на Щербаков (1965), Петровская (1973) и Youngson et al. (2002) и имайки предвид концентрациите и присъствието на елементите-следи (напр. Hg, Sb, Mn и As) може да се обобщи, че изследваните златни зърна най-вероятно произхождат от златоносни плитко залегащи до среднодълбочинни хидротермални орудявания. Такива находища са по-характерни за Средногорската зона, отколкото за изследваната област.

3.2.3.1 Съпоставяне на химичния състав в ядрата и периферията на изследваните златни зърна по данни от LA-ICP-MS

Единствено при нехомогенното електрично зърно DOG2 са извършени LA-ICP-MS анализи в неговата периферия и ядро с цел да се изследва разпределението на елементите-следи в тях. Само при това зърно се наблюдава достатъчно широка богата на Au периферия (виж Фиг. 3.16 на стр. 25), която може да се анализира без „замърсяване“ от неговото ядро, както е случая при останалите 6 златни зърна, които са изследвани с повече от един LA-ICP-MS анализа.

Резултатите показват, че съдържанията на Cu и Hg в ядрото на златното зърно е по-високо спрямо неговата периферия, докато съдържанията на Fe, As, Ti и Zn в периферията му са по-високи спрямо ядрото му. Останалите елементи като Sb, Pb, Pd, Bi, Mn, V, Re и Co не проявяват значими количествени разлики между ядрото и периферията на зърното, което на пръв поглед показва, че те могат да се използват като типоморфни елементи за разграничаване на отделни типове източници на злато при по-представителен брой анализи.

3.2.3.2 Предполагаема форма на присъствие на елементи-следи в златните зърна

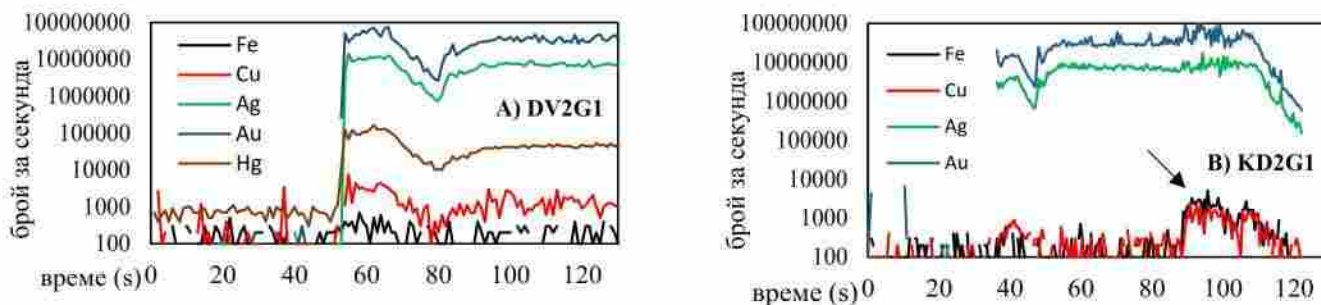
Суровите данни, получени при LA-ICP-MS анализ, представляват аблационни спектри на всичките анализирани елементи при аблацията на златните зърна за определено време. Когато аблационни спектри на определени елементи-следи са сравнително паралелни с този на Au се предполага, че те са хомогенно разпределени в анализиращия обем от златното зърно. Появата на колебания в интензитетите на аблационни спектри на даден елементи-следа спрямо този на Au, показва изменение на тяхното количество в анализиращия обем, което най-вероятно предполага аблация на микровключения от минерали, съставени от тези елементи-следи. Тук „микровключение“ е използвано условно за включения с много малки размери, без оглед на техните действителни размери. Видимите включения на полираната повърхност на златните зърна са избягвани при аблирането, а повърхностното замърсяване и окисление е отстранявано чрез предварителна аблация (preablation).

Данните от LA-ICP-MS анализи не могат да се използват като самостоятелен метод за диагностицирането на минералните микровключения в златото, поради това, че той не дава информация за техните стехиометрични отношения и структури. Затова тук ще бъдат направени предположения за минералният им състав в зависимост от геохимичното поведение на елементите-следи и съставът на вече анализирани минерални включения в златните зърна.

Във всички анализирани зърна аблационният спектър на Hg е сравнително успореден с този на Au (Фиг. 3.23а), което предполага, че Hg се установява в златото под формата на твърд разтвор, като такива могат да бъдат кубичните α -амалгами от системата Au(Ag)-Hg, образувани при ниска fS_2 (Спиридонов, Плетнев, 2002).

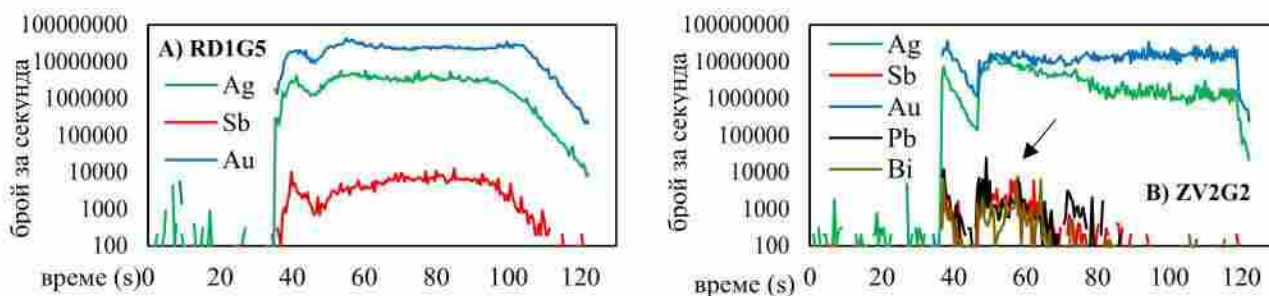
Повечето от аблационните спектри на Cu са паралелни на този на Au (Фиг. 3.23а), поради това, че тя влиза изоморфно в кристалната решетка на златните зърна и може да образува твърди разтвори, въпреки разликата от почти граничните 12,5 % в атомните им радиуси. Единствено в златното зърно KD2G1 се установяват препокриващи се аблационни спектри на Cu и Fe, показващи колебание спрямо този на Au (Фиг. 3.23b). Това предполага присъствието на Cu и като микровключения от Cu-Fe сулфиди (напр. халкопирит, кубанит, борнит, валериит и др.) или оксиди (напр. делафосит ($CuFeO_2$)) (Спиридонов, Плетнев, 2002, Charman et al., 2014), които са характерни за златоносните медни орудявания.

Успоредните аблационни спектри на Fe и Au в една част от златните зърна (Фиг. 3.25а) вероятно показва, че Fe образува твърд разтвор с Au или по-скоро притежава силно ограничена разтворимост в него, поради голяма разлика от 13,33 % между атомните им радиуси. В други златни зърна аблационните спектри на Fe показват изявени отклонения спрямо тези на Au и често съвпадат с тези на Cu, Ti и V (Фиг. 3.23b, 3.26). Това предполага, че Fe се включва в златото и под формата на микровключения на Fe оксиди (напр. магнетит, хематит, илменит и др.) или Fe сулфиди (напр. пирит, халкопирит и др.), като например Cu-Fe сулфидните включения описани при златното зърно DRG2 (виж Фиг. 3.20 на стр. 29).



Фиг. 3.23. Представителни аблационни спектри на Hg, Cu и Fe от LA-ICP-MS анализите на: (А) златно зърно DV2G1 и (В) златно зърно KD2G1.

Аблационни спектри на Sb са както успоредни с тези на Au (Фиг. 3.24а), така и отклоняващи се от тях (Фиг. 3.24b). В първият случай това предполага присъствието на Sb в златото под формата на твърд разтвор, а във втория като микровключение от минерал най-вероятно съдържащ елементите Pb и Bi, поради това че те съвпадат с аблационните спектри на Sb. Подобен пример е описан при златното зърно DRG2 с включения от Cu-Sb-Bi-(Cd) фази (виж Фиг. 3.20 на стр. 29).

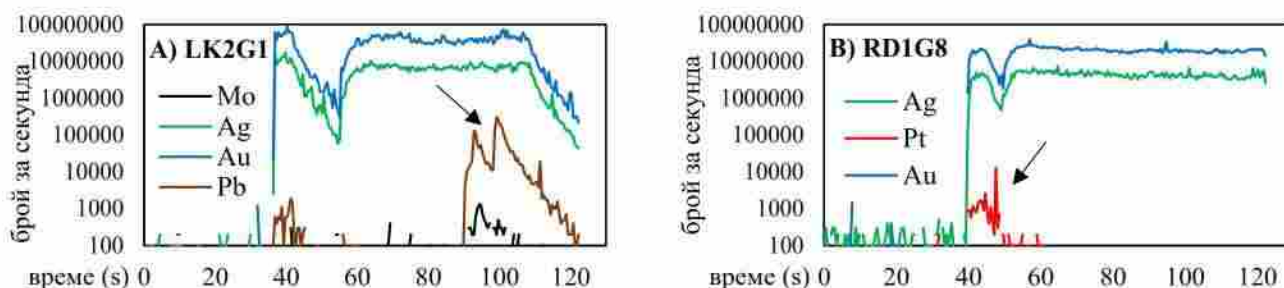


Фиг. 3.24. Представителни аблационни спектри на Sb, Pb и Bi от LA-ICP-MS анализите на: (А) златно зърно RD1G5 и (В) златно зърно ZV2G2.

Поради голямата разлика от 26,39 % в размера на йоните радиуси между Bi и Au и липсата на относителна успоредност при всички аблационни спектри от изследваните зърна се приема, че Bi присъства в тях под формата на микровключения (Фиг. 3.24b). Такива могат да са, както вече описаните фази съдържащи Bi, така и други често срещани със златото минерали, като Bi телуриди, Bi/Ag/Pb сулфосоли, самороден бисмут, малдонит (Au_2Bi) и други (Спиридонов, Плетнев, 2002; Charman et al., 2014).

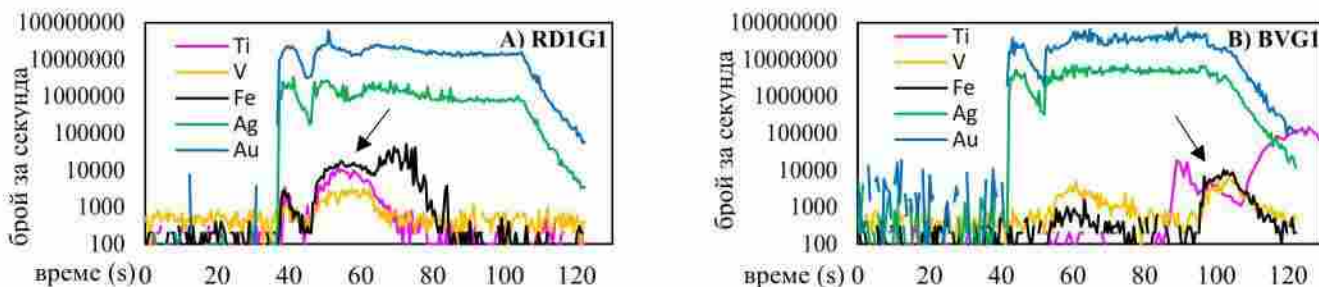
Аблационните спектри на Pb показват, че то присъства в златните зърна под формата на микровключения най-вероятно от галенит. При зърното LK2G1 ясно се открояват аблационните спектри на Pb и Mo спрямо успоредните на Au и Ag (Фиг. 3.25a). Това вероятно се дължи на аблацията на микровключения от галенит и вулфенит (PbMoO₄).

Присъствието на Pt в златото вероятно е под формата на микровключения, поради колебанията на аблационните ѝ спектри спрямо тези на Au (Фиг. 3.25b). Микровключенията могат да бъдат от самородна платина, от минерали от системите Au-Pt и Au-Pd и/или от интерметални съединения със състави Pt₃Au и Pt (Au,Pd).



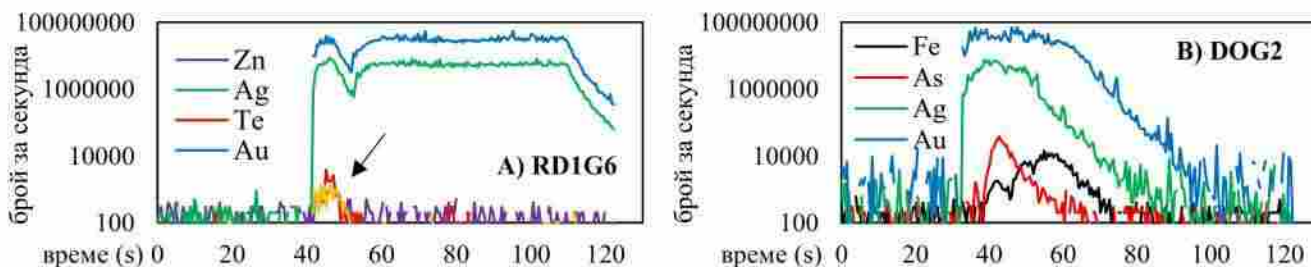
Фиг. 3.25. Представителни аблационни спектри от LA-ICP-MS анализите на: (A) Pb, Mo, Au и Ag за златно зърно LK2G1 и (B) Pt, Au и Ag за златно зърно RD1G8.

Аблационните спектри на Ti за всички златни зърна не съвпадат с тези на Au, докато в една част от тях те съвпадат с тези на Fe (Фиг. 3.26). Това показва, че той присъства в златните зърна под формата на минерални микровключения изградени от Ti или Fe-Ti оксиди (рутил, анатаз, брукит, илмент, титаномagnetит и др.), които вече са описвани за златното зърно BVG1, както и предполагаеми Ti-съдържащи силикати. Съща така се установява и прекриване на аблационните спектри на V с тези на Fe и Ti, породено вероятно от наличието на минерални включения, които ги съдържат, като ванадати и V-съдържащи оксиди (Фиг. 3.26).



Фиг. 3.26. Представителни аблационни спектри от LA-ICP-MS анализите на: (A) Ti, V, Fe, Au и Ag за златно зърно RD1G1 и (B) Ti, V, Fe, Pb, Au и Ag за златно зърно BVG1.

Аблационните спектри на Zn по-скоро съвпадат с тези на Pb и по-рядко с Te (Фиг. 3.27a), което показва, че той най-вероятно присъства в зърната под формата на микровключения, които могат да включват прораствания от сфалерит и галенит или от типичните за златоносните находища Au-Ag телуриди (виж Фиг. 3.21 на стр.29), алтаит (PbTe) и/или вторичният по телуриди цинкоспиропит (Zn₂Te₃O₈).



Фиг. 3.27. Представителни аблационни спектри от LA-ICP-MS анализите на: (A) Te, Zn, Pb, Au и Ag за златно зърно RD1G6 и (B) As, Fe, Au и Ag за електрумното зърно DOG2.

Единствено при електричното зърно DOG2 се установи сравнително припокриващи се аблационни спектри на As и Fe, които не съвпадат с тези на Au (Фиг. 3.27b), което показва вероятно наличие на микровключение от As-съдържащ пирит или арсениопирит. Подобно включение е описано и при златното зърно ZAG1 (виж Фиг. 3.21 на стр.29).

Останалите елементи-следи показват много ниски съдържания в златните зърна, което затруднява предположение за формата им на присъствие.

Преглед на възможните форми на присъствие на елементите следи в златните зърна показва че най-вероятно Fe, Bi, Pb, Pt, Ti, V и Zn присъстват в тях под формата на микровключения, Hg присъства под формата на твърд разтвор, а Cu и Sb показват и двата механизма на присъствие. Минералния състав на предполагаемите микровключения в златните зърна (първични и вторични Cu, Cu-Fe, Fe сулфиди и оксиди, телуриди и Sb-Bi-Pb сулфосоли) дават указания за златно-медната специализация на първичния източник на златните зърна.

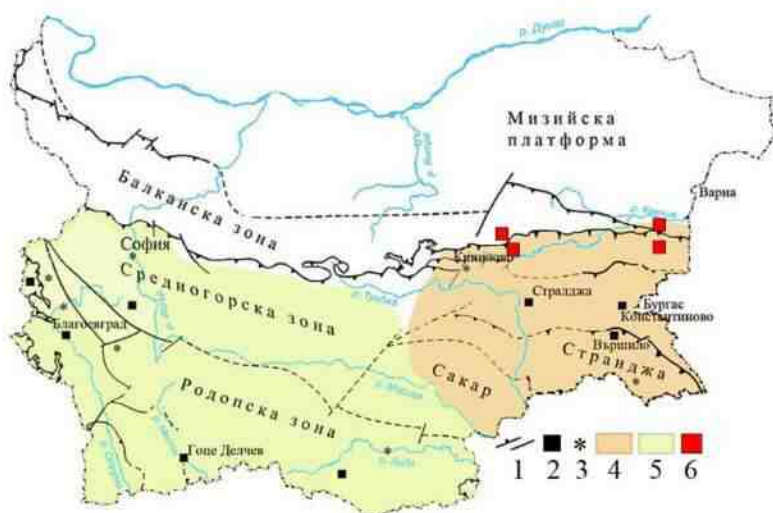
4. ХАРАКТЕРИСТИКА НА АЛУВИАЛНАТА ПЛАТИНА

4.1 Въведение

Според различни автори (Mertie, 1969, 1976; Cabri et al., 1996; Knight et al., 1999; Barkov, Fleet, 2005; Garnett, Basett, 2005; Mudaliar et al., 2007) морфологичните методи за описание на разсипните златни зърна могат да се приложат и за платиновите, но без пряко да се използват за определяне на изминатото от тях разстояние. Тяхната морфология се моделира по различен начин спрямо тази на златните зърна, главно поради по-високата им твърдост (над 5 по скалата на Моос) на по-често срещаните минерали от групата на платината (МГП).

Спрямо своя минерален състав, повече от 90% от МГП съдържащи се в разсипите са представени от фазите на Pt-Fe и Os-Ir-Ru-Pt, които спрямо останалите МГП се отличават с по-голяма устойчивост по време на процесите на разсипообразуване (Okrugin, Kim, 1998).

Най-близките до изследваната област проявления на МГП са тези от Източното Средногорие (Фиг. 4.1), които са доказани в: приабонските седименти на Стралджанския грабен (Цинцов, 2005); приабонските отложения край с. Новоселци (Бургаско, Атанасов, 1987; Tsintsov, Petrov, 1994; Bogdanov, Tsintsov, 2010; Богданов и др., 2011) и в алувиалните седименти от Бургаския руден район (Bonev et al., 1982, Bonev, Jordanov, 1986). Според обобщенията на Цинцов (2015) МГП от югоизточната България (район I, Фиг. 4.1) са по-едрозърнести, имат значително по-висока концентрация в отложенията и са представени главно от Pt-Fe фази.



Фиг. 4.1. Схематична карта на разпространение на МГП в седименти на България (карта по Дабовски, 2009а, с допълнение от Цинцов, 2015). 1 – граници на тектонски единици; 2 – публикувани разсипни МГП; 3 – непубликувани разсипни МГП; 4 – район I; 5 – район II; 6 – разсипни МГП от настоящото изследване.

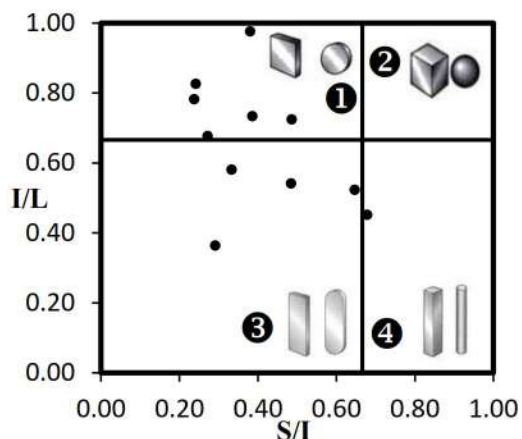
4.2 Морфометрична характеристика на платиновите зърна

Морфометричните параметри на 11 представителни платиновите зърна са измерени и описани с помощта на сканиращ електронен микроскоп.

Платиновите зърна показват сходен размер с тези на разсипното злато, като варират от 191µm до 326µm (ср. 258 µm), а около 70% от тях попадат в интервала от 218 до 326 µm. Спрямо

най-малкия размер на златните зърна ($68 \mu\text{m}$), платиновите показват по-голям минимален размер ($191 \mu\text{m}$). Според Haggis (1990) платиновите зърна се определят като макроскопични (от 100 до $1000 \mu\text{m}$), а според Петровская (1973) като дребни ($0,1 - 0,9 \text{ mm}$).

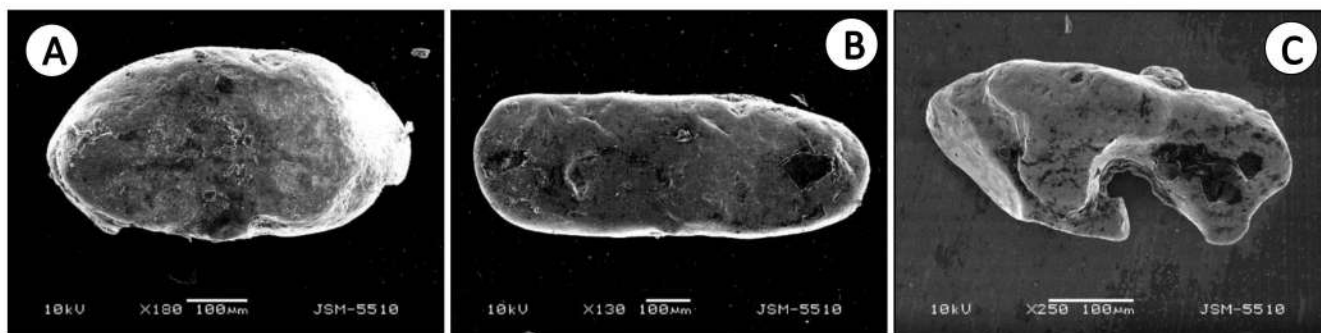
Според класификационната система на Zingg (1935) формата на повечето от платиновите зърна е дисковидна, а на останалите плоскоудължена. Само зърното RDIP1 (от ш. п. RDOL1) притежава цилиндрична форма, но отношенията между осите му са близки до граничните стойности за плоскоудължените зърна (Фиг. 4.2). Платиновите зърна, за разлика от златните, се съсредоточават в по-централните части на диаграмата на Zingg (Фиг. 4.2), което ги определя като сравнително по-изометрични, което се дължи на по-високата им твърдост и слабата им механична обработка, както и на това, че в повечето случаи те притежават изометрична форма в съдържащите ги магмени скали.



Фиг. 4.2. Определяне формата на изследваните платинови зърна чрез класификационна диаграма на Zingg (1935), спрямо съотношението между средната и дългата ос (I/L) и между късата и средната ос (S/I). 1 – дисковидни; 2 – изометрични; 3 – плоскоудължени; 4 – цилиндрични златни зърна.

Платиновите зърна показват по-малка вариация на показателя на сплеснатост (от $2,3$ до $6,4$, ср. $3,65$) спрямо тази на златните зърна. Преобладаващата част от зърната показват $F.I.$ от $2,25$ до $5,05$, което ако се приемат условно интерпретациите на авторите по отношение на златните зърна, говори за относително близко разположени източници.

Повечето от изследваните платинови зърна показват заоблен контур. Такива са всички зърна от BYALATAVODA2, две от зърната от GORENCHIFLIK и платиновото зърно от DVOINITSA2. Едното зърно то RDOL1 е *ръбесто*, а другото *много ръбесто*. Останалите две зърна от GORENCHIFLIK притежават съответно *ръбест* и *много заоблен* контур (Фиг. 4.3).



Фиг. 4.3. Морфоложки характеристики на платиновите зърна: А – плоскоудължено зърно BVP4 с бъбрековидно очертание и гладка повърхност; В – цилиндрично платиново зърно GOP1 с гладък релеф; С – много ръбесто платиново зърно RDIP1 с гладък релеф и заоблени ръбове.

Повърхността на платиновите зърна се характеризира със сиво-бял до сив цвят и метален блясък. Повечето платинови зърна са заоблени или с бъбрековидни очертания и с гладка повърхност (Фиг. 4.3а, б). Не са установени кристални форми или реликти от тях. За разлика от златните зърна при платиновите не се наблюдават огънати или сгънати зърна, отчетливи подбивания по ръбовете им, както и драскотини, бразди и следи от удари. Отсъствието на тези морфологични белези е характерно за платиновите зърна от разсипните находища (Weiser, 2002). Причините за това отново се дължат на относително по-високата твърдост на МГП спрямо тази

на златото в условията на висока степен на механична обработка. Подобно на златните зърна и платиновите показват ясна корелация между *заоблените* платинови зърна и наличието на гладка повърхност, докато грапавата повърхност е характерна по-скоро за *ръбестите* платинови зърна. Изключение прави много ръбестото платиново зърно RD1P1, което се характеризира със сравнително гладък релеф (Фиг. 4.3с).

По повърхността на част от платиновите зърна се наблюдават малки ямки с размери до 50 μm (Фиг. 4.4а). Подобно на златните зърна те се срещат в повечето случаи по повърхността на гладките платинови зърна. Не са наблюдавани минерални прораствания или негативни отпечатащи по повърхността на зърната. Установени са само единични зърна (Фиг. 4.4b) с негативни участъци от повърхността им, запълнени с детритусни минерали (най-вероятно от глинести минерали и железни хидроксида).

Само при платиновото зърно DV2P1 са установени повърхностни разлики в цвета му вследствие на различен химичен състав (Фиг. 4.4с). Такива разлики на цвета са описани и за златните зърна. За разлика от тях, платиновите зърна са по-устойчиви при екзогенни условия, поради което тези повърхностни разлики по-скоро са вследствие на ендегенните процеси.



Фиг. 4.4. Повърхностни характеристики на платиновите зърна: А – дисквидно платиново зърно GOP4 с голям брой ямички по повърхността му; В – ръбесто зърно RD1P2 с грапава повърхност и удължени плитковидни вдлъбнатини, запълнени с детритусни минерали; С – платиново зърно DV2P1 с повърхност показваща различен химичен състав.

4.3 Химически състав на платиновите зърна

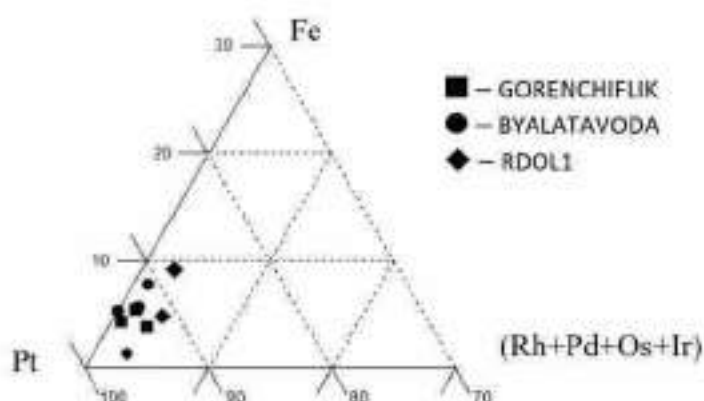
Платиновите зърна съдържат главно Pt, която варира от 80,44 до 96,17wt % (ср. 91,19 wt %), а Fe е основният примес в нея със съдържания от 1,11 до 10 wt % (ср. 5,43 wt %). Второстепенен елемент в платиновите зърна е Rh, характеризиращ се с ниски съдържания от 0,52 до 1,57 wt % (ср. 1,07 wt %), който се установява в 6 от изследваните 11 зърна. Съдържанията на Pd и Os варират съответно от 0,21 до 12,12 wt % и от 0,73 до 11,81 wt %, като са установени съответно в 4 и 3 платинови зърна. Само в две зърна е установено наличието на Ir със съдържание от 1,04 до 2,08 wt %. В единични зърна се установяват елементи-примеси от Au, Ag и Cu, като те не превишават 1,5 wt %. Елемента Ru не е установен в изследваните платинови зърна. Това се дължи на обичайно ниските му съдържания до 0,4 wt % в самородната платина (Daltry, Wilson, 1997).

Изчислените коефициенти на корелация на Pearson (1896) на елементите изграждащи платиновите зърна показват, че е налице силна отрицателна корелация на Pt с Fe ($r_{\text{Pt-Fe}} = -0,79$), Os ($r_{\text{Pt-Os}} = -0,71$) и Ir ($r_{\text{Pt-Ir}} = -0,76$). Силната отрицателна корелация на Fe с Pt е следствие от това, че Fe представлява главен елемент примес в широко разпространените Pt-Fe фази и минерали, докато силната отрицателна корелация на Pt с Os и Ir се дължи по-скоро на способността им да образуват собствени Os-Ir фази и минерали, които често се установяват в платиновите зърна като включения. Това се потвърждава, както от силната положителна корелация между Os и Ir ($r_{\text{Os-Ir}} = 0,99$), така и от установените минерални включения със сходен състав в платиновото зърно GOP3. Умерени отрицателни корелации показват Fe и Pd ($r_{\text{Fe-Pd}} = -0,68$), както и Rh с Os ($r_{\text{Rh-Os}} = -0,58$) и Ir ($r_{\text{Rh-Ir}} = -0,57$).

4.3.1 Хомогенни платинови зърна

С хомогенен строеж и липса на включения се характеризират 9 от платиновите зърна. Това са зърната от ш. п. RDOL1 (RD1P1 и RD1P2), BYALATAVODA (BVP1, BVP2, BVP3 и BVP4) и GORENCHIFLIK (GOP1, GOP2 и GOP4).

Хомогенните зърна са съставени главно от Pt (87,23 – 96,17 wt %; ср. 92 wt %) като на триъгълната диаграма с върхове Pt – Fe – (Rh+Pd+Os+Ir) се разполагат много близо до върха на Pt (Фиг. 4.5). В тях основен елемент-примес е Fe, а елементите Rh, Pd, Os, Ir са установени спорадично, докато Au и Ag само в едно зърно. Елементите примеси заместват Pt и тяхното разпределение в обема на хомогенните платинови зърна варира в много тесни граници.



Фиг. 4.5. Химичен състав на хомогенните платинови зърна от GORENCHIFLIK; BYALATAVODA и RDOL1 в wt %.

Съдържанието на Fe в зърната варира от 1,11 до 10 wt % (ср. 5,58 wt %), като разликата в количеството на Fe в периферията и центъра не превишава 1,2 wt %. По-голямата част от хомогенните платинови зърна съдържат Fe от 3,9 до 5,3 wt %, като в интервала от 2,5 до 6,7 wt % се наблюдават най-голям брой измервания, а в интервала от 8,1 до 9,5 wt % се образува втори максимум. Това бимодално разпределение на Fe в платиновите зърна е често срещано в разсиите и може да е свързано с натрупване на платинови зърна от два различни източника или от различни наставки на един и същ масив (Cabri et al., 1996).

При магматичните процеси Fe се включва винаги в структурата на самородната платина и неговото количество се определя от $f(O_2)$, като двата показателя са в отрицателна корелация (Johan 2002). Понижаването на температурата на кристализация на топилката с увеличаване на $f(O_2)$ води до редукция на Fe в Pt-Fe фази. Това обяснява установените ниски съдържания на Fe в изследваните зърна и показва, че бедните на Fe платинови зърна са формирани при висока $f(O_2)$.

Елемент-примес Rh се открива само в 6 от хомогенните платинови зърна, като показва пониско съдържание (0,52-1,57 wt %; ср. 1,07 wt %) в сравнение с Fe.

Само в три от хомогенните зърна RD1P1, BVP3 и GOP2 е установен елемент Pd. Неговите съдържания варират от 0,21 до 2,72 wt % (ср. 1,24 wt %). Съдържанията му в зърната BVP3 и GOP2 са сравнително по-високи (от 1,59 до 2,72 wt %), но не достигат максималните стойности от 11 wt % Pd установени в изследваните Pt-(Pd)-Fe фази от Arch Creek, Юкон (Barkov et al., 2008). Същевременно с ниските концентрации на Pd, тези зърна показват и най-ниските съдържания на Fe спрямо останалите хомогенни зърна (от 1,11 до 3,97 wt %).

Елементите-примеси Os и Ir са анализирани само в зърната RD1P1 и RD1P2 от ш. п. RDOL1. Съдържанията им варират съответно от 0,73 до 1,82 wt % (ср. 1,16 wt %) и от 1,04 до 2,08 wt % (ср. 1,6 wt %), като по-високите стойности на двата елемента са при платиновото зърно RD1P1.

Само платиновото зърно RD1P1 от ш. п. RDOL1 се отличава с наличието на Au и Ag с количества съответно от 0,95 до 1,40 wt % (ср. 1,14 wt %) и от 0,21 до 0,31 wt % (ср. 0,25 wt %).

Според химичният състав на хомогенните платиновите зърна и номенклатурата на Cabri, Feather (1975) може да се приеме, че 7 от изследваните Pt-Fe фази са самородна платина (Pt >80 at.% и Fe <20 at.%), а останалите две отговарят на изофероплатина (Pt₃Fe) (Табл. 2).

По данни на Tolstikh et al. (2005) много често самородната платина е характерна за разсиите произхождащи от малки по размери магмени тела формирани в плиткни условия и представени предимно от клинопироксенитови участъци в зонирани Урал-Аляска тип базични комплекси (съответстващи на островно-дъгови базалти) или от неизвестен източник (разсили в Еквадор, Хорст Алучин). От друга страна, изофероплатината и богатата на Fe платина обикновено се наблюдават в разсиите, получени от големи и добре денудирани масиви (Галмоенон, Инагли, Кондер и Нижни Тагил). В това изследване преобладава самородната

платина, поради което може да се допусне, че нейните коренни източници най-вероятно представляват малки по размер, плитко залягащи базични скали.

Табл. 2. Реални кристалохимични формули на изследваните платинови зърна.

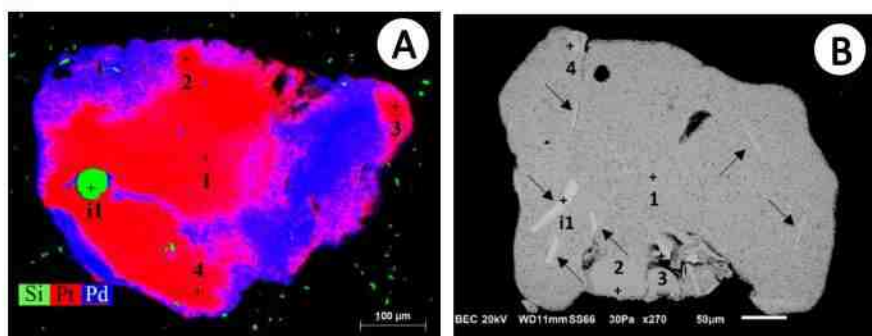
Шлихова проба	Име	Реална кристалохимична формула	Име на минерал
RD1	RD1P1	$(\text{Pt}_{0.78-0.80}\text{Fe}_{0.14-0.16}\text{Os}_{0.02-0.03}\text{Ir}_{0.02}\text{Pd}_{0.01})_{0.98-0.99} (7)^*$	Самородна платина
	RD1P2	$(\text{Pt}_{2.76-2.86}\text{Os}_{0.04-0.06}\text{Rh}_{0.03-0.06}\text{Ir}_{0.03-0.05})_{2.90-3.00}\text{Fe}_{1.00-1.10} (7)$	Изофероплатина
BYALATAVODA	BVP1	$(\text{Pt}_{0.80-0.81}\text{Fe}_{0.17-0.18}\text{Rh}_{0.02-0.03})_{1.00-1.01} (3)$	Самородна платина
	BVP2	$(\text{Pt}_{0.83-0.84}\text{Fe}_{0.16-0.17})_{1.00} (3)$	Самородна платина
	BVP3	$(\text{Pt}_{0.90-0.92}\text{Fe}_{0.04-0.06}\text{Pd}_{0.04-0.05})_{1.00-1.01} (3)$	Самородна платина
	BVP4	$(\text{Pt}_{2.97-3.10}\text{Rh}_{0.06-0.08})_{3.05-3.16}\text{Fe}_{0.84-0.95} (3)$	Изофероплатина
GORENCHIFLIK	GOP1	$(\text{Pt}_{0.81}\text{Fe}_{0.17}\text{Rh}_{0.02})_{1.00} (3)$	Самородна платина
	GOP2	$(\text{Pt}_{0.83}\text{Fe}_{0.12}\text{Pd}_{0.03}\text{Rh}_{0.02})_{1.00} (5)$	Самородна платина
	GOP3	$(\text{Pt}_{0.85}\text{Fe}_{0.13-0.14}\text{Rh}_{0.01-0.02})_{0.99-1.01} (5)$	Самородна платина

* числото в скобите показва броя на микрорентгеновите спектрални анализи за всяко изследвано зърно.

4.3.2 Нехомогенни платинови зърна

Нехомогенните Pt-съдържащи зърна са само две – DV2P1 и GOP3 от ш. п. DVOINITSA2 и GORENCHIFLIK.

Първото зърно DV2P1 представлява Pt-Pd-Fe-Cu фази с вариращ химичен състав (в wt %) – Pt (80,44-89,50), Pd (4,79-12,12), Fe (5,15-6,17) и Cu (0,55-1,45). В неговото ядро преобладава Pt, докато в периферията му се наблюдават повишени съдържания на Pd (Фиг. 4.6а). Тази зоналност обуславя и по-рано описаните изменения на цвета по неговата повърхност.



Фиг. 4.6. Изображения в обратно отразени електрони на нехомогенни платинов зърна: А – разпределение на Pd (синьо) в обема Pt-Pd-Fe-Cu фаза (DV2P1) с включение от кварц (зелено); В – платиново зърно GOP3 с плоскоудължени включения от Os-Ir-Pt фази.

Платиновото зърно DV2P1 е единственото, в което е установено повишено съдържание на Pd (до 12,12 wt %) и наличие на Cu (до 1,45 wt %). Според Tolstykh et al. (2005) елементи като Pd и Cu по-често влизат в структурата на самородната платина, отколкото в богатите на Fe платинов зърна. Тези корелации съответстват на еволюцията на магмените рудообразуващи процес, когато концентрацията на Cu и летливите елементи се увеличават в остатъчната топилка и могат да влизат в Pt-Fe фази на по-късен етап. Също така, показват силно фракциониране на елементите от групата на платината в рудообразователната система (Johan et al., 2000) и разлика в температурата на рудоотлагане, като при нейното понижаване се образуват богати на Pd фази на елементите от групата на платината (Slansky et al., 1991).

Второто нехомогенно зърно GOP3 представлява Pt-Os-Fe фаза с включения от Os-Ir-Pt фази и вариращо съдържание на Os, като в неговото ядро достига до 2,37 wt %, а в периферията му варира от 2,26 до 11,87 wt % (Фиг. 4.6b).

4.3.3 Минерални включения в платиновите зърна

В периферните участъци на 4 от платиновите зърна са изследвани включения изградени от фази на елементите от групата на платината и силикати, като първите преобладават.

В платиновото зърно RD1P1 от ш. п. RDOL1 е анализирано включение от самороден Os (Harris, Cabri, 1973) с кристалохимична формула $(\text{Os}_{0.94}\text{Ir}_{0.04}\text{Pt}_{0.01})_{0.99}$ и състав Os (86,60 wt %), Ir

(7,78 wt %) и Pt (1,42 wt %), а сумарното количество на Au, Ag, и Rh е 1,20 wt %. То е с овален контур, което предполага капковидна форма и малък размер – 13 μm .

Във второто платиново зърно GOP3 са наблюдавани 8 предимно пластиновидни Os-Ir-Pt включения със заоблени краища и размери достигащи 75 μm за дългата и 10 μm за късата ос (виж Фиг. 4.6b). Най-голямото включение от тях е изградено от Os (57,66 wt %), Ir (25,56 wt %) и Pt (16,78 wt %), което показва, че то попада в полето на смесимост на Os, спрямо 50 % правило (Harris, Cabri, 1991). Според Slansky et al. (1991) и Okrugin (2002) включенията от този тип имат високотемпературен магматичен произход и формирането им е свързано с отделянето на самородния осмий от Pt(Fe)-Os-Ir топилка при понижаване на температурата.

Силикатните включения са наблюдавани в платиновите зърна DV2P1 и BVP3 от ш. п. DVOINITSA2 и BYALATAVODA. В първото зърно DV2P1 представляващо Pt-Pd-Fe-Cu фаза, се наблюдава сферично включение от стъкловата маса с размер около 50 μm в диаметър (виж Фиг. 4.6a, стр. 38, зелен цвят). Химичният му състав, доближаващ се до стехиометричната формула на кварца, включва основно Si (43,96 wt %) и O (45,08 wt %), като се допълва от Fe (3,54 wt %), Pt (2,52 wt %) и Al (2,24 wt %), а сумарното количество на K, Mg, Na и Ti е 2,65 wt %. Сферичната му форма показва, че включението най-вероятно представлява капка от сравнително бързо охладена, неразкристилизираща магмена топилка.

Платиновото зърно BVP3 включва в себе си няколко силикатни включения (вероятно Fe алумосиликати (хлорити?)) с неправилна форма, неравни граници и размери до 25 μm . Две от включенията са съставени основно от Si (19,91; 23,31 wt %), O (51,16; 45,87 wt %), Fe (15,52; 13,44 wt %), Al (8,21; 9,72 wt %), а примесите K, Mg, Ti и Na не превишават 2 wt %.

5. СЪПЪТСТВАЩ МИНЕРАЛЕН СЪСТАВ НА ШЛИХОВИТЕ ПРОБИ

Освен златото и платината, в състава на шлиховите проби участват и шлихови минерали, характеризиранието на който може да покажат типа на скалите, явяващи се техни източници.

Обобщените резултати от визуалното определяне и праховият рентгено-дифрактомеричен анализ на магнитната и немагнитната фракция от 34 шлихови проби със злато показват, че единствено кварц и магнетит са представени във всички шлихови проби, докато хематитът, фелдшпатите, гранатите и плагиоклазите са много често срещани. Често срещани са илменит и циркон, а рядко – пирит, калцит и барит. Много рядко са установени гьотит, вюстит, доломит, диоксид, епидот, монацит и оливин. Мусковит, илит, магхемит, анатаз, титанил, илменорутил, галенит, церусит и куприт са наблюдавани в единични проби.

В голяма част от изследваните шлихови проби са наблюдавани запазени кристални форми на различни минерали: октаедри от магнетит, призматични циркони, тетрагонтриоктаедрични гранатови кристали, пиритни кубове, заедно с много заоблени и абрадиращи гранати, циркони, кварц и магнетитови зърна. Различната степен на заобленост на шлиховите минерални зърна в алувиалните седименти се дължи главно на различната степен на механична обработка, която се определя от техните физични характеристики и изминатото им разстояние от техния коренен или преотложен източник.

Магнитната фракция на изследваните шлихови проби се състои главно от **магнетит** и **хематит**, докато **гьотит** се среща в 3 проби, **вюстит** в две, а **магхемит** в една. Не рядко във фракциите се привнасят и зърна от илменит, кварц, гранат и пирит, което вероятно се дължи на магнетитови включения и прораствания в тях, както и на неговото окисление (напр. хематит).

Минералите от магнитната фракция (с изключение на вюстита, който се образува в силно редуциращи условия или има космически произход, Anthony et al., 2005) се характеризират с полигенен генезис (Кирязова, Илиев, 1974; Костов, 1993), което затруднява посочването на конкретен тип скала, който представлява техен източник.

Илменитът влиза в състава на близо половината от изследваните шлихови проби. Той е открит предимно в пробите от източната част, по-малко в централната част и не се установява в най-западната част от изследваната област, както и в пробите от р. Луда Камчия. Като типичен магматогенен минерал срещащ се предимно с базични интрузивни скали (Костов, 1993) е логично

наличието му и в четирите шлихови проби, в които са установени платиновите зърна. Силно ограничените разкрития на базични интрузивни скали в изследваната област показва, че той най-вероятно постъпва в алувиалните седименти от литокласти с подобен състав влизащи в състава на теригенните скали.

В състава на **немагнитните фракции** участват предимно минералите с полигенен генезис, като **кварц, калиеви фелдшпати** (преобладава микроклин, а ортоклаз е установен само в две проби), **гранати, плагиоклази и циркон**.

Пиронът, който е характерен за ултрабазичните скали (Костов, 1993), преобладава над останалите гранати в шлиховите проби. **Алмандинът**, образуващ се при регионален и контактен метаморфизъм, както и в гранити и пегматити (Костов, 1993), се установява в по-малко от половината проби, като освен самостоятелно се среща заедно с пирона. **Гросуларът**, който е типичен контактно метаморфен или метасоматичен минерал в карбонатни скали (Костов, 1993), се наблюдава само в две проби в асоциация с пироп. **Уваровитът**, който е характерен за ултрабазични скали (Костов, 1993), е установен единствено в пробата BYALATAVODA с наличие на платина, заедно с пироп и алмандин. Тази асоциация предполага наличието на базични и/или ултрабазични късове в горноеоценските конгломерати на Амерския член, които подхранват алувиалните седименти в точката на опробване.

Цирконът, характерен акцесорен минерал в магмени и метаморфни скали, е установен в около половината от изследваните проби. Той се корелира с илменита във всички проби от р. Двойница и притоците ѝ, а в останалите проби се наблюдава рядко.

Калцитът (от 8 проби), **баритът** (от 5 проби от р. Двойница и част от нейните притоци) и **доломитът** (от три шлихови проби) по-скоро произхождат от съдържащите ги късове от карбонатни скали участващи в състава на палеогенските теригенни скали, отколкото техният произход да е хидротермален.

Неустойчивите в екзогенни условия **диопсид** и **оливин** (открити съответно в три и две проби) най-вероятно произхождат от дезинтергацията на базични, ултрабазични и/или контактно метасоматични литокласти от палеогенските теригенни скали.

Епидотът, като контактно метасоматичен и хидротермален минерал е установен само в три шлихови, а типичния акцесорен минерал **монацит** в кисели магмени и метаморфни скали е открит в две шлихови проби, подхранвани от скалите на Двойнишката и Долночифлишката свити в източната част на изследваната област.

Хидрослюдите **мусковит** и **илит** са установени само в една шлихова проба вероятно вследствие на нейното недопромиване, докато **анатазът**, открит също в една проба, вероятно се подхранва от метаморфни литокласти.

Наличието на **пирит** в 9 от шлиховите проби, както и на **галенит** и вторичните рудни минерали **куприт** и **церусит** в единични проби (съответно KAZANDERE2, BYALA и LEFEDZHA), в повечето случаи най-вероятно се дължи на дезинтегрирани рудокласти, влизащи в състава на палеогенските теригенни скали, подхранващи алувиалните седименти на опробваните реки. Най-голяма е вероятността установения свеж пирит в шлиховата проба ZVEZDA2 да се подхранва от горнокредните медно-златни минерализации между селата Веселиново и Звезда (Къччев и др., 1965 и др.).

Минералният състав на шлиховите проби, дава основание да се счита, че при формирането на алувиалните седименти, освен седиментни скали, участие са взимали също така магмени и метаморфни скали. Последните могат да се подхранват в седиментите както при денудацията на ограничените им по площ и сравнително малко на брой разкрития в изследваната област, така и от литокластите в състава на теригенните седиментни скали. Наличието на минералите илменит, пироп, магнетит в голяма част от пробите, както и по-рядко установените оливин и уваровит, може да свидетелстват за базичния и ултрабазичния състав на част от магмените литокласти. Същевременно, типичните метаморфни минерали като гросулар, диопсид и установеният в една проба анатаз показват, че част от метаморфните късове в седиментните скали по-скоро са образувани при контактно-метасоматичен и регионален метаморфизъм.

6. ДИСКУСИЯ

Обобщените резултати от шлиховото опробване и морфоложките изследвания на алувиалното злато от Източния Балкан и Предбалкан показват, че неговите източници са два типа:

- **коренни** (ендогенни) източници на злато, които директно подхранват опробваните алувиални отложения;
- **преотложени източници** (седиментни скали, представляващи междинни колектори на златните, съответно и на платиновите минерали).

Основавайки се само на данните от опробването и морфоложките изследвания на златните зърна се предполага, че горнокредните медно-златни рудопроявления и минерализации в района между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965 и др.) в централните части на Източния Балкан представляват именно такива коренни (ендогенни) източници на алувиално злато.

Обобщените изводи от химичните и генетичните характеристики на златните зърна (химичен състав, пробност, състав на минералните включения и елементите следи) са насочващи за определянето на предполагаемите коренни златоносни източници в изследваната област. Те показват, че златните зърна вероятно произхождат от златоносни порфирни и асоцииращите с тях разнообразни епитермални орудявания, открояващи се с медна металогенна специализация.

Според Georgiev et al. (2012) в Източния Балкан са формирани горнокредни висококалциево калциево-алкални, плитко разположени предимно средни по-състав субвулкански тела и асоцииращите с тях вулканити, които са сходни с тези от северната част на Панагюрския руден район в Средногорската зона (нах. Елаците, Челопеч и Асарел). Дабовски (2009б), също отбелязва петрохимичните характеристики на вулканитите (нормално-алкални и преходноалкални видове от калциево-алкалната и висококалциевата калциево-алкална серии) от изследваната област и посочва, че те са близки до интрузивните скали от Странджанския вулкано-интрузивен район. Тези заключения предполагат формирането на златоносни орудявания от медно-порфирен тип, с които често асоциират златоносни епитермални и скарнови орудявания, които могат да представляват възможни коренни източници на злато в изследваната област.

При разглеждането на предполагаемите източници в изследваната област се открояват споменатите вече доказано златоносни, медно-златни орудявания от порфирен тип, привързани към горнокредните диоритови и монцодиоритови порфирити между селата Веселиново и Звезда (Кънчев и др., 1965; Янев и др., 1966; Колев, 1997). Именно тези рудопроявления най-вероятно подхранват златните зърна установени в шлиховата проба ZVEZDA2, взета от Кавалджи дере. В подкрепа на това твърдение са следните факти:

- Само в шлиховата проба ZVEZDA2, която е взета от Кавалджи дере, приток на р. Голяма, протичаща през седиментите на Флишката задруга (нор), са установени 7 златни зърна, докато в останалите три проби подхранвани от същата задруга, злато не е установено.
- По-голямата част от златните зърна показват много ниски стойности на F.I. (от 1,6 до 3,2) и преобладаващ ръбест контур, които са характерни за зърна подхранени от много близък източник (Hérial et al., 1990; Townley et al., 2003; Loen, 1995, Rasmussen et al., 2007).
- Златните зърна от шлиховата проба се отличават с висока до твърде висока пробност (945-979 ‰, средно 959 ‰), които отговаря на пробността на злато от порфирни находища (Morrison et al., 1991; Corbett, Leach, 1997; Townley et al., 2003)
- Две от златните зърна (ZV2G1 и ZV2G4) показват много близка пробност и се отличават с периферия с повишени съдържания на Ag, което показва запазена ендегенно предопределена зоналност и минимална до липса на екзогенна промяна.
- Златното зърно ZV2G4 се характеризира с наличието на запазени електрични включения, което е указание, че зърното е било подложено на екзогенно влияние за кратко време.

Всички тези морфоложки и химични заключения недвусмислено показват, че златните зърна от ш. п. ZVEZDA2 произхождат от коренни източници в обхвата на изследваната област, представен от медно-златните минерализации от порфирен тип, привързани към горнокредните диоритови и монцодиоритови порфирити в района между селата Веселиново и Звезда.

Подобни резултати от изследванията на останалите златни зърна, които говорят за пряко подхранване от коренни златоносни минерализации в изследваната област, към този момент не са получени. Следователно, останалата част от алувиалното злато и платина най-вероятно се подхранват в реките от преотложени източници, а именно теригенните седименти на Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейния Армерски член. Златните и платиновите зърна са съществували в тях в свободно състояние и по-рядко включени в рудокласти или литокласти. Вследствие на естествената ерозия на междинните колектори, те са подхранвали съвременната речна мрежа с алувиално злато и платина.

При разглеждането на състава на пясъчните и неяситените конгломерати на Двойнишката свита и полимиктовите конгломерати на нейния Армерски член се установява, че в тях участват разнообразни литокласти и късове от интрузивни (гранити, диорити, диоритови порфирити, сненити и пегматити) и вулкански скали (базалти, андезити, андезитови брекчи и туфи), метаморфни скали (гнайси и шисти), както и юрски, кредни и палеогенски седиментни скали, епидозити и хидротермално променени скали (Атанасов, 1961; Джуранов и др., 1994; Кънчев, 1995 а, б, в, г; Вангелов, Синьовски, 2013; В. Желев и др., 2016 и др.).

Пъстроцветната моласова задруга, от своя страна, е представена от брекчоконгломерати до конгломерати изградени от юрски кварцити, ценомански пясъчници, „сенонски“ варовици и мергели, лютески пясъчници, вулкански скали (андезити) и кварцови късове (Белмустаков, 1958; Кънчев, 1995а, в, г). Нерядко в разкритията на горноеоценските конгломерати на задругата при Рударски дол се установиха свежи и хидротермално променени, средни по състав интрузивни магмени скали, както и малки по размери рудокласти и заоблени късове от хидротермален кварц.

Присъствието на магмени и в по-малка степен хидротермално променени късове в палеогенските теригенни скали, изграждащи Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейния Армерски член индиректно свидетелства за генетичната им връзка с установените алувиални злато и платина. Това налага да се разгледат предполагаемите коренни източници на злато и платина в изследваната област, естествена ерозия на които е довела до подхранването на посочените междинни колектори със злато и/или платина.

Възможните източници на средните до среднобазичните магмени литокласти и късове в състава на междинните колектори са малкото на брой и сравнително ограничени по площ разкрития на горнокредните субвулкански тела, дайки и вулканити със среден до среднобазичен състав. В повечето случаи те са хидротермално променени и така потенциално златоносни. С най-голямо площно разпространение са споменатите вече златоносни горнокредни диоритови и монцодиоритови порфирити между селата Веселиново и Звезда и андезитовите вулканити установени в Трънашката синклинала, разположени в непосредствена близост на изток. Останалите предполагаеми източници са още по-ограничени по площ. Това са:

- горнокредните дайки от андезити и базалтоандезити в района на селата Медвен и Садово, които са с пропилитова до аргилитизитова хидротермална промяна и установени окислени до железни хидроксида и сулфидни минерали (Кънчев, 1995г; Банушев, 2015);
- горнокредните андезитови лавобрекчи с установена хидротермална промяна и вторични медни минерали южно от село Заимчево;
- горнокредните дайки от диоритови порфирити (някои на границата с габроидите) и хорнфелзи с пропилитова хидротермална промяна и впръснати сулфиди западно от Ришкия проход (Кънчев, 1995г; Банушев, 2013);
- полиметалната минерализация (предимно медна) установяваща се в седиментите на пъстроцветната задруга (перм) в района северно от с. Градско, североизточно от гр. Сливен (Нафтали и др., 1989 цит. по Кънчев, 1995в).

Докато наличието на злато от естествени и изкуствени шлихови проби в отделни локалитети в изследваната област е известно преди извършеното шлиховото опробване в това изследване (Бакалов, 1942; Кънчев и др., 1965; Русев и др., 2010; В. Желев, 1994), то откриването на минерали от групата на платината в шлиховите проби е новополучена информация.

Платиновите зърна се характеризират със сходен със златото среден размер (258 μm), като повечето от тях са с дисковидна форма, заоблен контур, загладена повърхност, отсъствие на

кристални форми или реликти от тях. Химичните им изследвания показват, че те са представени предимно от Fe-Pt фази, които се характеризират с наличие на примеси от Rh и отсъствие на Ru (като примес и в минерални включения) и наличие на осмиеви и силикатни включения в тях. Всички тези генетични характеристики са вследствие на произхода им от високотемпературен, базичен до ултрабазичен магмен източник (Johan, 2002; Weiser, 2002), като е възможно подобни платиновни минерализации да са привързани към малки по обем (богати на магнетит) клинопироксенити (Johan, 2002; Tolstykh et al., 2005).

Генетичните характеристики на платиновите зърна показват, че е малко вероятно горнокредните, предимно средни по състав, магмени скали в изследваната област да представляват техни коренни източници. Освен това разкритията на базични скали в изследваната област са силно ограничени по площ, а такива на ултрабазични скали не са описвани. Според Кънчев и др. (1995) базалти с предполагаема неогенска възраст се разкриват около е. Вонеща вода, като те представляват пластообразни тела (силове) с дебелина от 17 – 18 m, и дължина от няколко стотин метра. Това показва, че вероятността тези скали да представляват коренен източник на всички установени платиновни зърна подхранени от междинните колектори е малка, най-малко поради това, че тяхната предполагаема възраст е неогенска (т.е. са внедрени след формирането на посочените палеогенски преотложени източници).

Освен посочените предполагаемите източници отнасящи се по-скоро за златото, трябва да отбележим и вероятността за подхранване от златоносни или платиноносни магмени тела с подходящ състав и асоцииращите с тях минерализации, които са напълно или частично денудирани, както и такива, които са неразкрити на повърхността (вероятно покрити) в изследваната област.

Друга вероятност е установеното злато и платина в преотложените източници да произхождат от коренни орудявания извън изследваната област. Различни автори посочват, че главна подхранваща провинция на груботеригенната Двойнишка свита (среден палеоцен – горен еоцен) е Средногорската зона и нейните скали съдържа главно „Средногорска екстракластика“ (В. Желев, Антонов, 1994; Вангелов, В. Желев, 1996; В. Желев, Вангелов, 1997). Според Вангелов, Синьовски (2013) в състава на конгломератния Армерски член на Двойнишката свита се срещат “Средногорски тип” вулканити, като в западната част присъстват по-често късове от метаморфити и гранитоиди, а В. Желев и др. (2016) предполагат, че конгломератите на Армерския член се подхранват от дълбоко денудираните Средногорски вулканити и хипоабисални интрузиви, както и от Еминския флиш. Изложените данни, както и интерпретациите на различни автори (В. Желев, Антонов, 1994; Вангелов, В. Желев, 1996; В. Желев, Вангелов, 1997; Дабовски и др. 2009; Вангелов, 2001, цит. по Stuart et al., 2011; В. Желев и др., 2016) за геоложката еволюция на изследваната област показват, че наличието на една част от злато и платина в преотложените източници най-вероятно е вследствие на теригенното им подхранване от Средногорската зона.

Средногорската къснокредна металогенна зона, се характеризира с изявена медно-златна геохимична специализация и голям брой установени златоносни рудопроявления и находища, което значително разширява броя на възможните предполагаеми източници на злато от изследваната област. С най-голям златоносен потенциал в Източното Средногорие се отличават златните минерализации асоцииращи с горнокредните магмени скали от Бургаския руден район (рудните полета Росенското, Върлибрежкото, Зидаровското и Бакаджишкото), както и Ямболския руден район с медно-порфирното находище Прохорово.

Според Богданов (1987) медно-златно-полиметалните находища от Бургаския руден район се отнасят към средно- до високотемпературни находища от вулкано-плутоничен тип, образувани на малка до умерена дълбочина. Смирнов (1986) ги отнасят към плутоногенно-хидротермални жилни находища. Спрямо съвременните класификации, те се отнасят към жилните мезотермални находища от типа на Бют (Монтана, САЩ) (Evans, 1993) или жилни, свързани с интрузиви (Hedenquist, 1995). Ковачев и др. (2007) определят находищата Росен, Зидарово и Бакаджика като горнокредни жилни, мезотермални до епитермални златно-полиметални.

Тези генетични характеристики на находищата от рудните полета в Бургаския руден район, както и медно-порфирното находище Прохорово са съпоставими с тези, от които вероятно

произхождат изследваните златни зърна. Отделно се наблюдава съпоставимост на пробността на златните зърна с пробността на злато от находищата Зидарово и Бакаджик. Съща така, установените минерални включения в златните зърна от хесит и бисмутови сулфосоли са характерни за рудните минерализации от Бакаджишкото, Върлибрежкото и Зидаровското рудени полета (Попов и др., 1993; Богданов, 2003; Кольковски и др. 2003 и др.). Тези сходства подкрепят възможността, че посочените златоносни минерализации могат да представляват предполагаеми коренни източници на изследваното злато.

Същевременно в пределите на Източното Средногорие са установени няколко проявления на алувиални минерали от групата на платината (Цинцов, 2015). Най-близкото от тях до изследваната област е това в Стралджанския грабен (Цинцов, 2005). По своите характеристики платиновите зърна от изследваната област притежават общи белези (отчасти морфоложки характеристики, сходен химичен и минерален състав, присъствие на Rh и отсъствие на Ru, като примес и в минерални включения, както и наличие на осмиеви и силикатни включения в Fe-Pt фази) с тези от алувиални седименти в Стралджанския грабен. Цинцов (2005) смята, че техните първични източници са ултрабазити представени от ултрабазични вулканити (пикрити) разположени на юг от Стралджанския грабен в района на селата Драганци (Карнобатско), Камен връх, Победа и възвишенията Бакаджиците, Ямболско (Димитрова, Тодорова, 1961; Станишева, 1965; Попов и др., 1993). Това показва, че платиновите зърна от Източния Балкан и Предбалкан вероятно могат да имат общи или близки по генезис източници с тези посочени от Цинцов (2005) в областта на Средногорието.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

7.1 Изводи

В представеното изследване са посочени литостратиграфски единици в Източния Балкан и Предбалкан, в които е установено наличието на разсипно злато и платина, изучени са морфоложките и химичните характеристики на златните и платиновите зърна, посочени са техните преотложени и коренни източници и са направени предположения за техните предполагаеми коренни източници. По-важните изводи от настоящото изследване са следните:

- Резултатите от шлиховото опробване показват, че злато и платина се установяват основно в алувиалните отложения на реки, протичащи през палеоцен-горноеоценските литостратиграфски единици от Източен Балкан и Предбалкан.

- Размерите на преобладаващата част от златните и платиновите зърна са в интервала 0,1 до 0,3 mm, което ги определя като макроскопични (Harris, 1990). По-голямата част от тях са претърпели значителен транспорт, който е оказал влияние върху тяхната морфология. Преобладаващата част от златните зърна са полуръбести до полузаоблени с дисковидна и плоскоудължена форма и широко вариращ показател на сплеснатост (от 1,3 до 21,5), докато повечето от платиновите зърна са заоблени с дисковидна форма и загладена повърхност.

- Резултатите от шлиховото опробване и обобщените морфоложки резултати на алувиалното злато от изследваната област показват, че по-голямата част от златото се подхранва от преотложени източници, а една по-малка част от него най-вероятно се подхранва директно от коренни източници. Преотложените източници са следпалеоценските теригенни седиментни скали, изграждащи Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейния Армерски член.

- Химичните изследвания на златните зърна показват, че по-голямата част от тях се определят като самородно злато с постоянен примес от Ag и непостоянни примеси от Cu и Fe, като често те се характеризират с нехомогенен строеж в следствие на екзогенните процеси и варираща пробност в техните ядра от 669 до 1000 ‰ (средно 920 ‰). Повечето от платиновите зърна са химически хомогенни, като са изградени от Pt и Fe с примеси от Rh, Pd и Os, което ги определя като самородна платина.

- Генетичните характеристики (химичен състав, пробност, минерални включения и елементи-примеси) на златните зърна показват, че те най-вероятно произхождат от златоносни

порфирни и асоцииращите с тях разнообразни епитермални орудявания, характеризиращи се с медна металогенна специализация.

- Морфоложките и химичните изследвания на златните зърна от шлиховата проба ZVEZDA2 показват, че те произхождат от коренни източници в обхвата на изследваната област, представен от медно-златните минерализации от порфирен тип, привързани към горнокредните диоритови и монцодиоритови порфирити в района между селата Веселиново и Звезда. Предполагаемите златоносни коренни източници в обхвата на Източния Балкан са малкото на брой и ограничени по площ разкрития на горнокредни субвулкански тела, дайки и вулканити със среден до среднобазичен състав, които често са хидротермално променени, разкриващи се при селата Медвен, Садово, Заимчево, западно от Ришкия проход, както и андезитовите вулканити в Трънашката синклинала и полиметалната (предимно медна) минерализация край с. Градско.

- Съставът на алувиалните зърна от самородната платина (Pt-Fe състав на платиновите зърна с примес от Rh и отсъствието на Ru (като примес и в минерални включения) и наличието на богати на Os и силикатни включения в тях, са указания за високотемпературни, базични до ултрабазични магмени източници (Johan, 2002; Weiser, 2002). Такива коренни източници трудно могат да се посочат за изследваната област, поради което не се изключва подхранване от платиноносни (или златоносни) първични източници, които са напълно или частично денудирани или такива, които са неразкрити на повърхността (вероятно покрити).

- Предполагаеми коренни източници на алувиалното злато и платина могат да бъдат съдържащите ги орудявания и скали, локализирани в обхвата на Средногорската металогенна зона. Това предположение се основава, както на публикуваните данни за теригенното подхранване на преотложените източници с кластичен материал от Средногорието, така и на сходството на генетичните характеристики на алувиалното злато със злато от находища в рудните полета в Бургаския руден район, както и медно-порфирното находище Прохорово (Ямболски руден район). Това се подкрепя и от факта, че най-близко разположените предполагаеми източници на алувиалната платина са напълно или частично денудирани ултрабазични тела, разположени между градовете Ямбол и Карнобат на юг от Стралджанския грабен, в който са установени платиновы зърна със сходни генетични белези с тези от настоящото изследване.

- Изследванията на шлиховите минерали, съпътстващи златото и платината показват наличието на характерни за магмените и метаморфните скали минерали, докато рудните са рядко срещани.

7.2 Приноси

Основните приноси на дисертационния труд са следните:

- Проведено е шлихово опробване на алувиални седименти подхранени от основните литостратиграфски единици в обхвата на Източния Балкан и югоизточните части на Източния Предбалкан, като е установено наличието на алувиално злато и платина основно във водосборните басейни на реките Луда Камчия, Двойница, Стара река и техните притоци.
- За пръв път се установяват минерали от групата на платината в алувиални седименти подхранени от палеоцен-горноеоценските седименти на Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейния Армерски член, които представляват ново проявление на такъв тип минерали за България.
- Получени са данни за морфоложките и химичните характеристики на алувиалното злато и платина.
- Определени са литостратиграфските единици в Източния Балкан и Предбалкан, представляващи преотложен източник на установеното алувиално злато и платина. Това са Пъстроцветната моласова задруга, Двойнишката свита и нейния Армерски член.
- На база резултатите от шлиховото опробване, морфоложките и химичните характеристики на златните зърна от шлиховата проба ZVEZDA2 са посочени коренни източници в обхвата на изследваната област, представени от медно-златните минерализации от порфирен тип, привързани към горнокредните диоритови и монцодиоритови порфирити в района между селата Веселиново и Звезда.

- Въз основа на генетичните характеристики на алувиалното злато и платина, както и на наличните данни за теригенното подхранване на преотложените източници, са посочени предполагаемите им коренни източници в обхвата на Източния Балкан и Средногорската зона.
- Определени са минералите, съпътстващи златото и платината в шлиховите проби.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва своите най-искрени благодарности на:

➤ научният си ръководител доц. д-р Веселин Ковачев за предоставената тема на дисертацията, напътствията, съветите, ползотворните дискусии и търпението през целия период на работата по дисертационния труд;

➤ инж. д-р Живко Будинов и докторант Милен Ставрев за неocenимата помощ при провеждане на теренните обходи и опробвания;

➤ доц. д-р Диан Вангелов и гл. ас. д-р Явор Стефанов за консултациите и съветите;

➤ всички колеги от специалност „Геология“ към Геолого-географския факултет на СУ „Св. Климент Охридски“, които са ми давали полезни съвети, напътствия и кураж, както и за преподадените ми от тях знания по време на цялото ми следване;

➤ специалист геохимик Веселина Накова за изследванията на шлиховите проби с прахова рентгенова дифракция в лабораторията по рентгено-структурен анализ при Катедра „Минералогия, петрология и полезни изкопаеми“, ГТФ към СУ „Св. Климент Охридски“;

➤ специалистите Христо Станчев, Сълза Хекимова и Райна Атанасова от „Евротест Контрол“ ЕАД; гл. ас. д-р Димитрина Димитрова от ГИ към БАН; Николай Димитров от ФХФ към СУ и доц. д-р Александър Здравков от МГУ „Св. Иван Рилски“ за помощта при провеждане на аналитичните изследвания;

➤ проф. д-р Ърст Пернишка от международния изследователски институт Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie gGmbH в Манхайм (Германия), д-р Райко Краус и проф. д-р Николас Конърд от Тюбингенския университет „Еберхарт Карлс“ (Германия) за предоставената ми възможност да работя по проект PE 405-25-1, финансиран от Немския изследователски фонд;

➤ проф. д-р Ивелин Кулев от Факултета по химия и фармация, Софийски университет „Св. Климент Охридски“ за предоставената ми възможност да работя по проекта ДО 0260/10.12.2008, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ на Министерството на образованието, младежта и науката;

➤ специалистите д-р Верена Леуш, д-р Роланд Шваб и Микаел Браунс за извършените изследвания в лабораториите на Международния Център по археометрия „Курт-Енгелхорн“ (Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie – CEZA) в Манхайм, Германия;

➤ колегите гл. ас. д-р Ралица Събева, д-р Стефан Велев, д-р Билгин Видинли, Милена Велева, Християна Георгиева, Цветомила Владинова за полезните дискусии, насърчаването и моралната подкрепа.

Благодаря на моето семейство и приятелите ми за моралната подкрепа, търпение, вярата в мен и моите способности.

БЛАГОДАРЯ ВИ!

Публикации по темата на дисертацията:

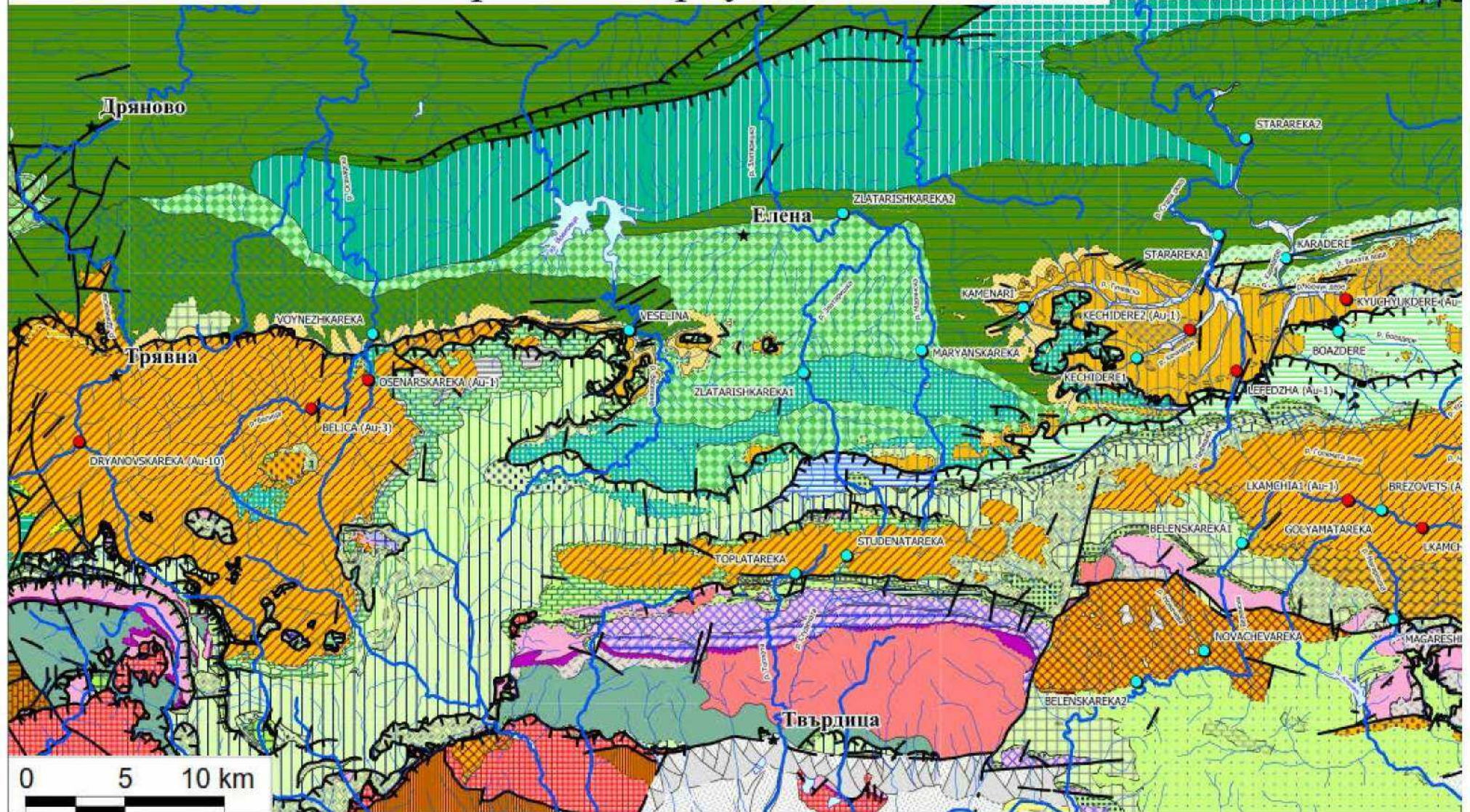
Yovchev, D., 2014. "Native gold and platinum in stream sediments from Dvoynitsa River and right tributaries of Kamchia River, Bulgaria" In: Proceedings of National Conference with international participation "Geosciences 2014". Sofia, BGS, 33-34.

Йовчев, Д., 2015. Самородно злато и платина в речните наслаги от района на селата Горен чифлик и Долино, Източна Стара планина. Сп. на БГД, год. 76, 2-3, 51-63.

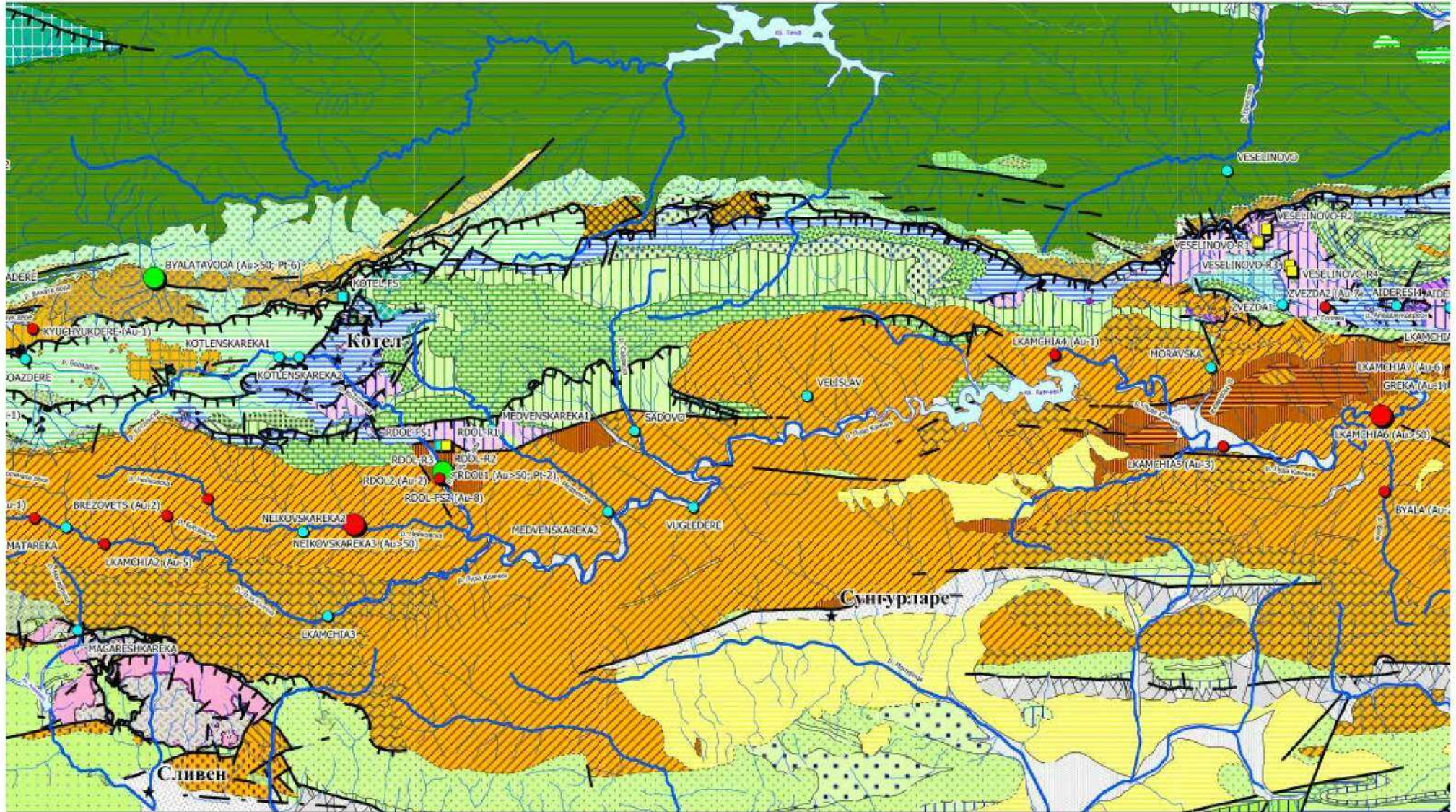
Йовчев, Д., 2019. Самородно злато и платина в речните наслаги от Рударски дол в района на село Медвен, Източна Стара планина. Сп. на БГД – приета за печат.

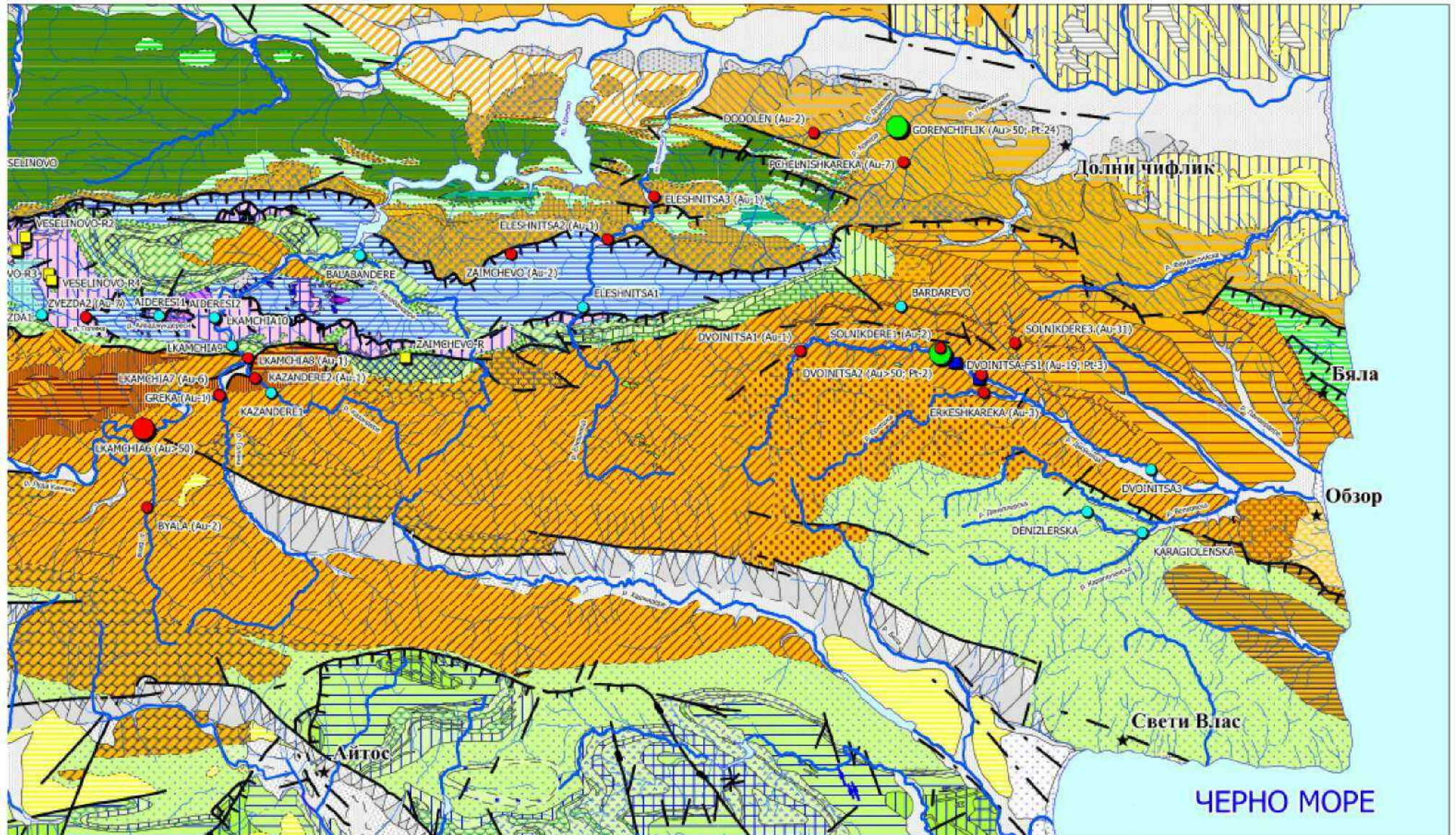
Приложение 1

Местоположение на пробите върху геоложка основа



За съставянето на геоложката карта на изследваната област са използвани цифрови варианти на картните листове от Геоложката карта на България в мащаб 1:100000 (Кънчев, 1992, 1993, 1995д, е; Кънчев, Николов, 1995; Хрисчев, 1991, 1995; Цанков, 1992; Чешитев, 1989, 1992а, б, 1995).







ЛЕГЕНДА

КВАТЕРНЕР







-  **Съвременни морски образувания:** плажни пясъци (холоцен)
-  **Морски образувания на ниската тераса:** пясъци, чакъли (холоцен)
-  **Алувиални образувания - руслови и на заливните тераси:** чакъли, пясъци, глини, пясъчливи глини (холоцен)
-  **Пролувиално-делувиални образувания:** слабо обработени пясъци, чакъли, валуни (холоцен)
-  **Пролувиални образувания - наносни конуси:** валуни, пясъци, чакъли, глини (холоцен)
-  **Алувиални образувания - I и III надзаливна тераса:** пясъци, чакъли и глини (плейстоцен)
-  **Алувиално-пролувиални образувания:** чакъли (плейстоцен)




НЕОГЕН

-  **Континентални и езерни образувания:** пясъци, чакъли и глини (плиоцен)
-  **Одърска свита:** черупчести и оолитни варовици, пясъчници (сармат)
-  **Галатска свита:** конгломерати, пясъчници, пясъци, глини (чокрак)

ПАЛЕОГЕН


-  **Теригенно-карбонатна задруга:** брекчоконгломерати, пясъчници, пясъчливи варовици, мергели (горен еоцен)
-  **Въгленосна задруга:** пясъчници, пясъчливи глини, въглища (горен еоцен)
-  **Пъстроцветна моласова задруга:** конгломерати, пясъчници, глини, оцветени в зеленикави и червеникави тонове (горен еоцен)
-  **Пъстроцветна моласова задруга в к. л. Сливен**
Теригенно-карбонатна задруга
-  **Въгленосно-битумолитна и Конгломератно-пясъчникова задруга:** конгломерати, пясъчници (горен еоцен) **в к. л. Сливен**
-  **Русларска свита:** глини с прослойки от пясъци и пясъчници; в основата с Mn руда (горен еоцен-олигоцен)
-  **Моминска свита:** детритусни варовици (горен еоцен)
-  **Долночифлишка свита:** алтернация на мергели и пясъчници, прослоена от пакети пясъчници и алевролити (горен еоцен)
-  **Армерски член (Двойнишка свита):** конгломерати с лещи от пясъчници, алевролити, мергели (долен - среден еоцен)
-  **Флишка задруга:** алтернация на пясъчници и варовити глини (среден еоцен)
-  **Мергелна задруга:** глинести мергели до варовити глини (долен еоцен)
-  **Пясъчникова, Мергелна, Флишка и Конгломератна задруга (долен - горен еоцен) в к. л. Сунгурларе**
-  **Пясъчникова задруга:** пясъчници (долен еоцен)
-  **Варовикова задруга:** детритусни и органогенни - водораслови варовици с кремъчни конкреции (танет)
-  **Варовито-алевролитова задруга:** варовити алевролити и варовици с кремък (танет)
-  **Източнишка свита:** алевролити и пясъчници; **Алевролитова задруга:** алевролити; **Варовикова задруга** (горен палеоцен)
-  **Комаревска свита:** предимно биогенни варовици с кремъчни ядки (горен палеоцен)
-  **Алевролитова задруга и Варовикова задруга (горен палеоцен) в к. л. Твърдица и Сливен**
-  Вероятно палеогенски седименти - варовици
-  **Обзорска конгломератна свита:** конгломерати (горен еоцен)
-  **Пясъчниково-мергелна задруга:** конгломерати, пясъчници, мергели (горен еоцен)
-  **Конгломератно-мергелна задруга:** мергели с лещи от конгломерати (горен еоцен)
-  **Гебешка флишка свита:** флиш - алтернация на глинести мергели, алевролити и пясъчници (горен еоцен)


-  **Козиченска свита:** алтернация на пясъчници, алевролити, глинести мергели; пакети от варовици с кремък и конгломерати (горен еоцен)
-  **Двойнишка свита:** алтернация на пясъчници, алевролити, глинести мергели, варовити глини, рядко конгломерати (палеоцен-среден еоцен)
-  Пачка от полимиктови конгломерати
-  Пачка от бели кварцови пясъчници
-  Конгломерати и пясъчници
-  Олистолици от горнокредни варовици


-  **Двойнишка свита**
Конгломератна задруга в к. л. Твърдица
-  **Тепетарленска свита:** алтернация на варовици, мергели, пясъчници, брекчоконгломерати, варовици с кремъчни конкреции (горен палеоцен)
-  **Варовикова органогенна задруга:** варовици с кремъчни ядки и прослойки от глинести и пясъчливи варовици (мастрихт-долен палеоцен)


ГОРНА КРЕДА


-  **Кайлъшка свита:** варовици (мастрихт)
-  **Мездренска свита:** варовици с кремъчни конкреции (мастрихт)
-  **Кайлъшка свита; Мездренска свита в к. л. Сунгурларе**
-  **Аспаруховска свита:** варовици (сантон-мастрихт)
-  Аспаруховска, Мездренска, Добринска (глауконитни пясъчници) и Кайлъшка свита; Пясъчниково-варовикова задруга (сантон-мастрихт)
-  **Мурненска свита:** варовици; **Никополска свита:** органогенни варовици; **Мездренска и Кайлъшка свита** (кампан-мастрихт)
-  **Пясъчникова задруга:** пясъчници, алевролити, мергели, конгломерати, варовици (ценоман)
-  **Диоритови и сиенодиоритови порфирити:** а) дайки; б) тела (горна креда)
-  **Беленска варовикова-мергелна свита:** варовици и варовити мергели (мастрихт)
-  **Беленска варовикова-мергелна свита и Мергелна задруга:** варовици и варовити мергели; мергели (мастрихт-палеоцен)
-  **Варовикова задруга и Беленска варовикова-мергелна свита:** варовици с кремък, варовици, варовити мергели и пясъчници (кампан-мастрихт)
-  **Варовикова задруга:** варовици с флинт, конгломерати (кампан) **в к. л. Твърдица**
-  **Флишоподобна задруга:** алтернация на мергели и варовици, пясъчници, пакети от силицити (турон-долен сенон)
-  Пачка от андезити и туфи
-  Пачки от конгломератно-пясъчников флиш
-  **Флишоподобна задруга; Варовикова задруга (горен турон-кампан) в к. л. Сунгурларе**
-  **Флишка задруга:** алтернация на мергели, пясъчници, варовити глини, андезитови туфи, андезити (ценоман-турон)
-  Пачки от андезитови лавобрекчи и туфи
-  **Пясъчно-брекчоконгломератна задруга:** брекчоконгломерати и пясъчници (турон)
-  **Мергелна задруга:** глинестоалевроитови мергели (турон)
-  **Радовска свита:** флишка алтернация на пясъчници и аргилити (турон)
-  **Мергелна задруга; Пясъчно-брекчоконгломератна задруга; Радовска свита в к. л. Сливен**
-  **Пясъчникова задруга:** пясъчници, гравелити, конгломерати, алевролити и мергели (ценоман)
-  **Русалска свита:** кварцови пясъчници, гравелити, пясъчници, кварцити, алевроитови мергели, рифови варовици (ценоман)
-  **Основна теригенна задруга; Въгленосна задруга и Надвъглищна задруга**
-  **Надвъглищна маргелна задруга:** глинести алевроитови мергели (ценоман)


 **Въгленосна задруга:** аргилити, пясъчници, въглища (ценоман)


 **Основна теригенна задруга:** конгломерати, пясъчници, пъстроцветни аргилити (ценоман)


 **Неподелени турон-сенонски седименти и вулканогенно-седиментни отложения**


 По-големи находища на брекчи (доломитови брекчи)


 Някои находища на вулкански туфи и лавови скали със среден състав

 **Флишоподобна задруга; Варовикова задруга; Беленска варовиково-мергелна задруга**


 **Мергелна задруга:** алевритови мергели (турон)

 Рифови (рудистни) варовици


 **Пясъчникова задруга:** пясъчници, гравелити, алевролити, орбитолинни варовици (ценоман)

 **Еминска флишка свита:** флиш - алтернация на мергели, алевролити, пясъчници и варовици (кампан-долен палеоцен)


 Пачки от дебелипластови пясъчници


 **Драгановска свита:** туфи, туфити, варовици и мергели (сенон)


 Пачки от туфи


 Трахити - разливи и силове


 Алкални трахити - разливи и силове


 Алкални базалтоиди - разливи и силове

 **Медовска свита:** туфи (сенон)

 Алкални базалтоиди - разливи и силове


 **Тънковска свита:** алтернация на варовици, мергели, туфи и туфити (сенон)


 Алкални базалтоиди - разливи и силове

 Алкални трахити - разливи и силове


СРЕДНА ЮРА - ДОЛНА КРЕДА


 **Пясъчникова задруга:** пясъчници, алевролити, мергели и конгломерати (апт)


 **Елешнишка свита:** конгломерати, пясъчници и органиогенни варовици (барем-апт)


 **Батешевски теригенен релер:** конгломерати и пясъчници (валанж)


 **Камчийска свита:** мергели, алевролити и пясъчници (валанжин - хотрив)


 **Разлоповски член на Камчийска свита:** глинести варовици и мергели (бериас-валанж)


 **Хъневска свита:** алевритови мергели, алевролити с редки пластове от пясъчници (бериас-валанжин)

 **Неподелени титон - валанжински седименти:** алевритови мергели и пясъчници


 **Костелска свита:** флишка алтернация на конгломерати, пясъчници, алевритови мергели (титон-бериас)


 Олистолиит от титонски варовик

 **Златаришка свита:** флишка алтернация на пясъчници, алевролити, алевритови мергели (кимеридж-бериас)


 **Тичанска свита:** глинести варовици, мергели, пясъчници и варовици (калов - валанжин)

ЮРА


 **Костинска** (пясъчници и кварцити), **Озировска** (песъчливи варовици) и **Етрополска свита** (аргилити със сидеритови конкреции)


 **Флишка задруга:** алтернация на черни аргилити със сидеритови конкреции, алевролити и пясъчници (средна юра)


 по-големи олистолиити от долноюрски варовици и мергели


 по-големи олистолиити от нор-ретски варовици

 по-големи олистолиити от аниз-карнски варовици


 по-големи олистолиити от долнотриаски варовици и мергели


 олистолиити от горнокарнски мергели, норски варовици и мергели


 **Конгломератно-пясъчникова задруга:** брекчо-конгломерати, пясъчници, аргилити (долна юра-?)

 олистолиити от горнотриаски варовици


ТРИАС


 **Твърдишка свита:** варовици (нор)


 **Русиновделска свита:** доломити (карн)

 **Радомирска свита:** аргилити и варовици (аниз-ладин)

 **Боснекска свита:** доломити (аниз)

 доломити, варовици, аргилити (аниз-нор)


 пясъчници, конгломерати, алевролити (долен триас)

 **Флишка задруга:** флиш - алтернация на мергели, алевролити пясъчници, варовици, конгломерати; олистолиити (нор)


 **Мергелна задруга:** мергели (горен карн)

 **Варовикова задруга:** варовици (ладин-долен карн)

 **Мергелно-варовикова задруга:** алтернация на варовици и мергели (аниз)


 **Варовиково-мергелна задруга:** мергели (долен триас)

ГОРЕН ПАЛЕОЗОЙ


 **Пъстроцветна задруга:** алевролити, аргилити, кисели туфи, кварцпорфири (перм)

 **Кварцпорфири и туфи**


 **Твърдишки плутон:** гранити, гранодиорити и монцодиорити (горен палеозой)

 **Гранити** (горен палеозой)

ПРЕКАМБРИЙ - КАМБРИЙ

 **Берковска група:** кварц-хлоритови, серицитови, мусковитови амфиболити, гранатови и други шисти, биотит и биотитови амфиболити гнайси, амфиболити (рифей-камбрий)


ПРЕКАМБРИЙ

 **Арденска група:** гнайси и амфиболити (архай)


 **Възсед:** установен предполагаем  **Навлак**  **Тектонски прозорец**


Разсед: установен предполагаем фосилизиран  **Река:** по-голяма по-малка пресъхваща  **Клипа**


 Шлихова проба със злато (броя на зърната е посочен в скобите)


 Шлихова проба без злато и платина




 Голяма шлихова проба със злато

 Голяма шлихова проба със злато и платина

 Изкуствена шлихова проба със злато

 Изкуствена шлихова проба без злато и платина

 Скална или рудна проба

 Вертикални разрези  Населено място  **Воден басейн**