

Етапи в развитието на структурата на Маданското рудно поле

Владимир Г. Георгиев

Научноизследователски институт
по полезни изкопаеми, 1505 София

V. G. Georgiev — Stages in the development of Madan ore field. The study concerns the Late Alpine structure-forming process in Madan ore field. The following stages are distinguished: nappe, pre-volcanic, volcanic, ore and post-ore stage. During the nappe stage (Upper Eocene), as a result of north-south maximum normal stress, south vergent nappes were formed. Typical feature of the pre-volcanic stage is the vertical orientation of the maximum normal stresses and intensive faulting of the massif. Two substages may be divided: a) formation of west-northwest faults and b) formation of north-northwest and north-northeast faults. The formation of the different conjugated fault systems for the respective substages is controlled by the change in the direction of the intermediate normal stress, the maximum stress remaining constant. During the volcanic stage (Upper Oligocene) a new re-orientation of the maximum normal stresses from vertical to horizontal (east-west) direction took place. The tectonic processes during the ore stage developed under the influence of north-south maximum normal stresses, which preserved this direction also during the post-ore stage. The individual stages are considered to be links in the Late Alpine orogenic process.

Маданското рудно поле е разположено в южните части на Централните Родопи. Най-съществено значение за неговата структурна характеристика и специално за локализиране на орудяването имат късноалпийските тектонски процеси, които са обект на изследване на настоящата работа.

Районът на рудното поле е изграден главно от архайски (?) и протерозойски метаморфни скали. В сред архайския (?) метаморфен комплекс Димитров (1972; 1978, непубл. данни) отделя следните свити: карбонатна (A_1), на двуслюдените и мусковитовите гнайси (A_2), на дребнозърнестите биотитови гнайси (A_3) и гранитогнайсова (A_4). Протерозойският метаморфен комплекс същият автор поделва на три свити: долна пъстра (Pt_1), на мигматизираните гнайси (Pt_2) и на мраморите (Pt_3), като третата и четвъртата свита от подялбата на Боянов и Кожухаров (1968) в района на рудното поле не са установени. Ограничено разпространение имат палеозойските (?) дайки от хорнблендити и кварц-диорити, горноеоценските седименти и горноолигоценските риолитови дайки.

Метаморфните скали участвуват в изграждането на източните части на Южнородопската синклинала и на Южнородопската антиклинала, както и на наложеното Маданско-Давидковско антиклинално подуване (Богданов, 1960; Боянов и Кожухаров, 1971).

Доалпийските различно ориентирани разломни структури са консолидирани от палеозойските (?) дайки и пегматити и не играят съществена роля в младоалпийските деформации.

В пределите на Маданското рудно поле могат да се отделят пет основни етапа в късноалпийския структурообразователен процес: навлачен, довулкански, вулкански, руден, следруден.

Навлачен етап (горен еоцен?)

В пределите на разглежданото рудно поле скалите от долната пъстра свита и свитата на мигматизираните гнайси са навлечени върху архайския метаморфен комплекс и изграждат дефинирания от Богданов (1960) Мадански навлак. Р. Иванов (1961) разглежда тази структура като зона на междуформационно отслювяване между архайския и протерозойския комплекс.

В северозападния фланг на рудното поле свитата на мраморите (Pt_5) е навлечена върху скалите от долната пъстра свита (Pt_1), свитата на мигматизираните гнайси (Pt_2) и частично върху горноеоценските (?) седименти, като изгражда Смилянския навлак (Иванов и др., 1979), описван по-късно от Московски и Ж. Иванов (1980) като Чокмановска клипа на Среднородопския навлак. По този начин долната пъстра свита (Pt_1) и свитата на мигматизираните гнайси (Pt_2) представляват от една страна алохтона на Маданския, а от друга автохтона на Смилянския навлак.

Образуването на Маданския и Смиленския навлак е почти едновременно и се извършва най-вероятно към края на горния еоцен. Алохтонните маси се придвижват в южна или юг-югозападна посока едновременно с отлагането на горноеоценските (?) седименти. Това се доказва от Иванов и др. (1979) и Московски и Иванов (1980), които описват олистостромни пачки в палеогенския разрез, изградени от късове от придвижващите се алохтонни пластини.

Фактът, че кристализационната шистозност в челото на Маданския навлак има сходен рисунък в архайския и протерозойския метаморфен комплекс (автохтона и алохтона), ни дава основание да го разглеждаме като резултат на междуформационно отслювяване по контактите между контрастни по своите деформационни свойства скални комплекси.

Характерът на деформационния процес показва, че по време на изличането максималните главни нормални напрежения (σ_3) са били почти хоризонтални и с направление приблизително север—юг, средните главни нормални напрежения (σ_2) са имали субекваториална ориентация, а минималните (σ_1) са били почти вертикални.¹

Довулкански етап (долен олигоцен?)

През този етап се образуват основните разломни структури в Маданското рудно поле, представени от разломи със запад-северозападна ($290-310^\circ$); север-северозападна ($330-350^\circ$) и в по-малка степен със север-североизточна посока ($10-40^\circ$). Времето на образуване на тези структури се определя доста точно от факта, че те секат описаните навлачни структури и горно-

¹ В настоящата работа под максимални главни нормални напрежения (σ_3) се разбират максимални свиващи напрежения, а под минимални главни нормални напрежения (σ_1) — минимални свиващи или разтягащи напрежения.

олигоценските (?) седименти, а риолитовите дайки, считани за горноолигоценски, са внедрени в някои от тях.

В литературата се е наложила мисълта (Манев, 1975), че север-северозападните и север-североизточните разломи са се образували след



Фиг. 1. Геоложка скица на северния фланг на находище Сполука (по Д. Димитров, 1978, непубл. данни)

1 — разлом; 2 — риолитова дайка; 3 — гранитизирани гнайси

внедряването на риолитовите дайки. Като основен аргумент се привежда фактът, че в пределите на Маданското рудно поле риолитовите дайки са внедрени в запад-северозападните разломи и се разсичат от север-северозападните разломи. На места обаче (фиг. 1) риолитовите дайки имат сложен, лъкатушен строеж и завиват от разломи със запад-северозападна посока в таква със север-северозападна посока. Нещо повече, извън пределите на Маданското рудно поле, но в същия разломен сноп със север-северозападна посока (Боянов и Кожухаров, 1971), са внедрени също риолитови дайки. Впечатлението, че север-северозападните разломи са по-млади от риолитовите дайки, се създава от наличието на по-късни движения по тях.

Почти всички изследователи стигат до извода, че запад-северозападните разломи са образувани преди север-северозападните и север-североизточните разломи (Богданов, 1960; Дюков, 1967; Манев, 1975). Същата идея се възприема и от автора, като по-долу се привеждат в подкрепа и някои допълнителни доказателства.

Единствената работа, посветена на проблема за образуването на основните разломни структури в Маданското рудно поле и извеждането на напреженията водещи до тяхното образуване, принадлежи на Манев (1975). Според този автор запад-северозападните разломи са спрегнати със слабо проявени, маломощни и неиздържани разломи и пукнатини с посока 60—70° и са образувани при изток-западни нормални свиващи напрежения. Като главно доказателство се използват лявоотседните движения по запад-северозападните разломи, установени по „стари бразди на триене, които много често са замаскирани от по-късните движения“. В същата работа се изказва мнението, че при образуването на север-северозападните и север-североизточните разломи „деформациите в рудното поле са се развивали в условията на север — южни нормални свиващи напрежения“.

В рамките на този етап се отделят два подетапа: а) подетап на образуване на запад-северозападните разломи и б) подетап на образуване на север-северозападните и север-североизточните разломи.

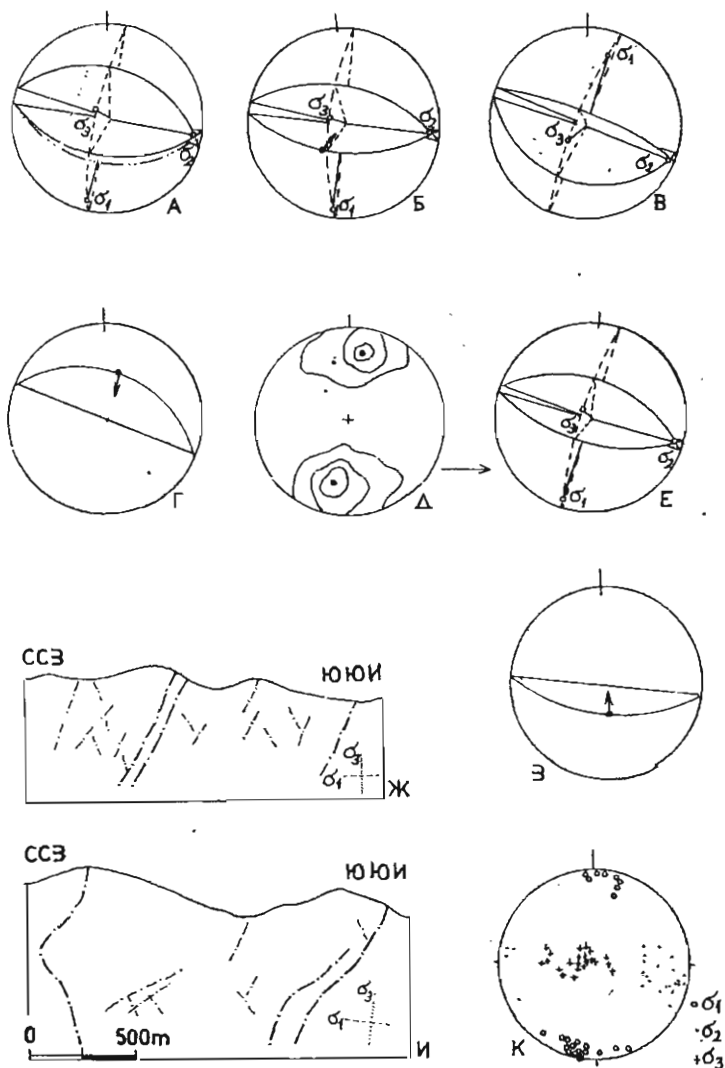
Подетап на образуване на запад-северозападните разломи

Запад-северозападните разломи имат типичен характер на разломи на срязване. Представени са от две групи: затъващи на ССИ с наклон $60\text{--}70^\circ$ и затъващи на ЮЮЗ също с наклон $60\text{--}70^\circ$. И по двете групи разломи са наблюдавани много бразди на триене, сочещи вертикални движения по тях, и то обикновено разседни. Бразди, указващи за по-ранни отседни движения по тези разломи, не са установени. От автора са наблюдавани множество конкретни взаимоотношения между разломи, които свидетелствуват за едновременно образуване на разломите от тези две групи. Това дава основание разломите от тези две групи да ги разглеждаме като една спрегната система от разломи на срязване. По тези конкретно наблюдавани взаимоотношения са извършени реконструкции на напреженията, водещи до тяхното образуване, като е използвана методиката на Г з о в с к и й (1975). Направени са около двадесет построения по конкретно наблюдавани взаимоотношения, като се дават само някои от тях (фиг. 2А; 2Б и 2В). При всички тези построения се получават много близки резултати, а именно: максималните главни нормални напрежения (σ_3) са вертикални или близки до вертикални; средните главни нормални напрежения (σ_2) са почти хоризонтални и с направление приблизително изток—запад (или ЗСЗ—ИЮИ) и минималните главни нормални напрежения (σ_1) с направление приблизително север—юг. Наблюдаваните бразди на триене (фиг. 2Б; 2Г и 2З) напълно се съгласуват с тези резултати. Рядко наблюдаваните взаимоотношения между запад-северозападни и изток-североизточни разломи също сочат подобна ориентация на главните нормални напрежения.

Трябва да отбележим, че ако запад-северозападните разломи са образувани при хоризонтални главни нормални напрежения, би следвало да бъдат вертикални или почти вертикални. Всички разломи с указаната посока в Маданското рудно поле обаче са чувствително наклонени и най-често затъват с наклон около 60° както на ССИ, така и на ЮЮЗ (фиг. 2Ж и 2И). Вертикални или почти вертикални разломи с такава посока се наблюдават изключително рядко, не са издържани и имат характер на разломи на скъсване, което напълно отговаря на предлаганата схема.

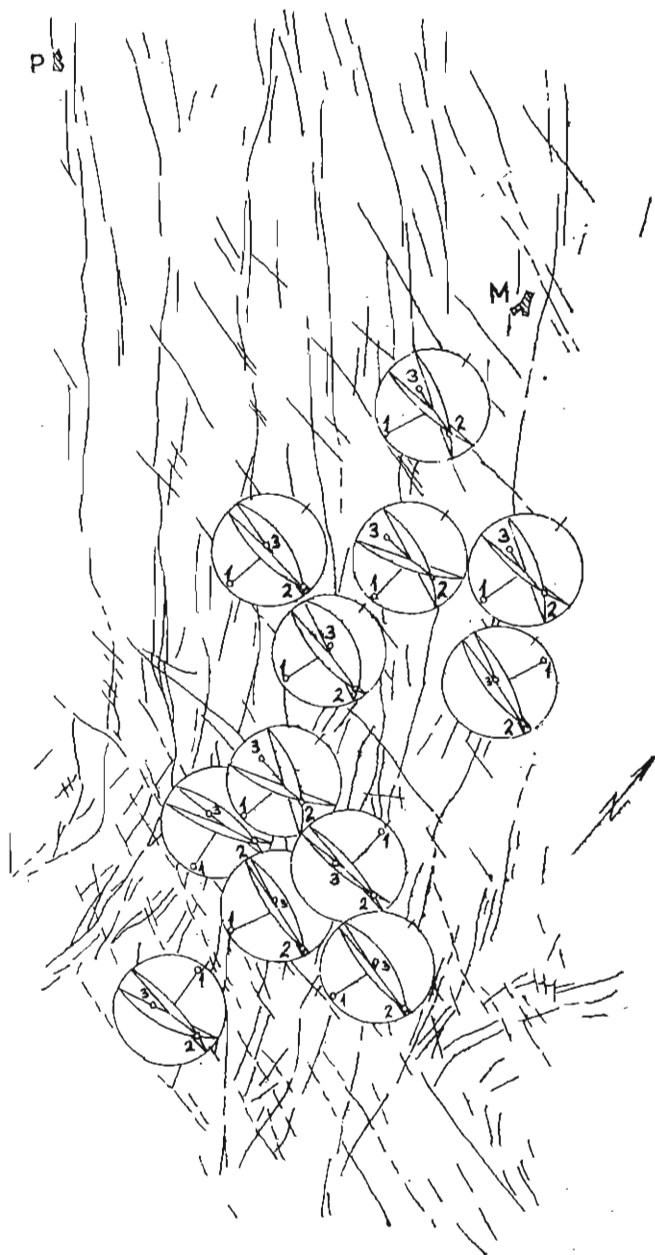
Двете групи запад-северозападни разломи не са развити еднакво добре. По-големите и издържани разломи от първи ранг обикновено затъват на ССИ, като по някои от тях са се извършили разсядания с амплитуда $100\text{--}150$ метра. Г з о в с к и й (1975) изказва мнението, че големите разломи се образуват през относително продължителен период от време. При това отначало се зараждат много и малки разломи и пукнатини, които с течение на времето се разрастват и сливат, като образуват по-големи разломи. Ако разгледаме историята на развитие на запад-северозападните разломи в Маданското рудно поле, се налага изводът, че в периода на зараждане на тези разломи се образуват почти еднакво добре и двете спрегнати групи. По-късно, в резултат на това, че южната част на рудното поле се издига в сравнение със северната, продължават да се развиват по-интензивно разломите от групата, затъваща на ССИ. Много по-рядко се разрастват разломи от групата, затъваща на ЮЮЗ, които при сливане с разлом от първата група могат да образуват единен крупен разлом, който на определено място рязко сменя страната си на затъване (фиг. 2И). Някои разломи от по-слабо развитата

група, затъваща на ЮЮЗ, могат да бъдат развити само от едната страна на разлом от първи ранг, затъващ на ССИ, и по такъв начин да се явят като оперяващи спрямо последния.



Фиг. 2. А, Б и В — реконструкции по конкретно наблюдавани взаимоотношения: А — т. 17 на около 2 km от Батанци по пътя към Крушев дол; Б — т. 32 на около 500 m от Койнарци по пътя за Бориева; В — т. 21а на 150 m западно от рудопроявление Ростан. Г и З — разломи със замерени бразди на триене: Г — т. 36 на около 3 km от Мадан по пътя към Печинско; З — т. 38 на около 3,5 km от Мадан към Печинско. Д — диаграма на разломите в района на Батанци (изолинии през 1, 5 и 8%) и реконструирани главни нормални напрежения по нея (Е). Ж и И — надлъжни вертикални проекции на нах. Батанци (Ж) и нах. Градище (И) с нанесени ССЗ разломи (шрих-пунктир). К — сборна диаграма на резултатите от всички реконструкции за подетапа на образуване на ССЗ разломи. σ_3 , σ_2 и σ_1 — съответно максимални, средни и минимални главни нормални напрежения. С плътна точка и стрелка са дадени замерените бразди на триене. На фиг. 2А, 2Б, 2В и 2Е с шрих са дадени равнините, в които лежат σ_3 и σ_1 . На фиг. 2А с шрих-пунктир е дадена шистозна плоскост, по която също се е извършило раздвижване

След като бяха реконструирани главните нормални напрежения за редица наблюдавани взаимоотношения, бе извършена реконструкция на тези напрежения по диаграма на разломяванията, построена само по разломи на срязване, без да се включват разломи и пукнатини на скъсване (фиг. 2Д). При тези построения се получават аналогични резултати за посоките на глав-



Фиг. 3. Скица на тектонското поле на напрежение за подетапа на образуване на ЗСЗ разломи. С цифрите 1, 2 и 3 са означени съответно минимални (σ_1), средни (σ_2) и максимални (σ_3) главни нормални напрежения. М — гр. Мадан. Р — гр. Рудозем

ните нормални напрежения, както при тези получени за конкретно наблюдавани взаимоотношения (фиг. 2Е). Това даде основание да бъдат използвани за реконструкции и диаграми на пукнатини, при което се получават също аналогични резултати за ориентацията на напреженията (фиг. 4Ж и 4З). При построения, извършвани по диаграми на пукнатини, са използвани максимумите на съответните групи разломи (пукнатини). По диаграми на пукнатини за почти всички находища от Маданското рудно поле са извършени реконструкции за ориентацията на главните нормални напрежения за този подетап. Тези резултати са нанесени на скица на рудното поле (фиг. 3). Вижда се, че липсва закономерна тенденция на изменение на ориентацията на напреженията в рамките на рудното поле. Ориентацията на тези напрежения остава сравнително постоянна, а именно: максималните главни нормални напрежения (σ_3) са почти вертикални; средните главни нормални напрежения (σ_2) са почти хоризонтални и с посока, близка до изток—запад, а минималните главни напрежения (σ_1) са също почти хоризонтални и с направление приблизително север—юг. Използвани са и диаграми на пукнатини от фондови материали, като са включвани и пукнатини на скъсване. Това довежда до изместване на максимумите на съответните разломни групи от спрегнатата система в посока към максималните главни нормални напрежения. Оттам и получаването на привидно по-малки ъгли между двете групи разломи на срязване, отколкото са в действителност и впечатлението, че тези ъгли са по-малки от теоретичния (около 60°).

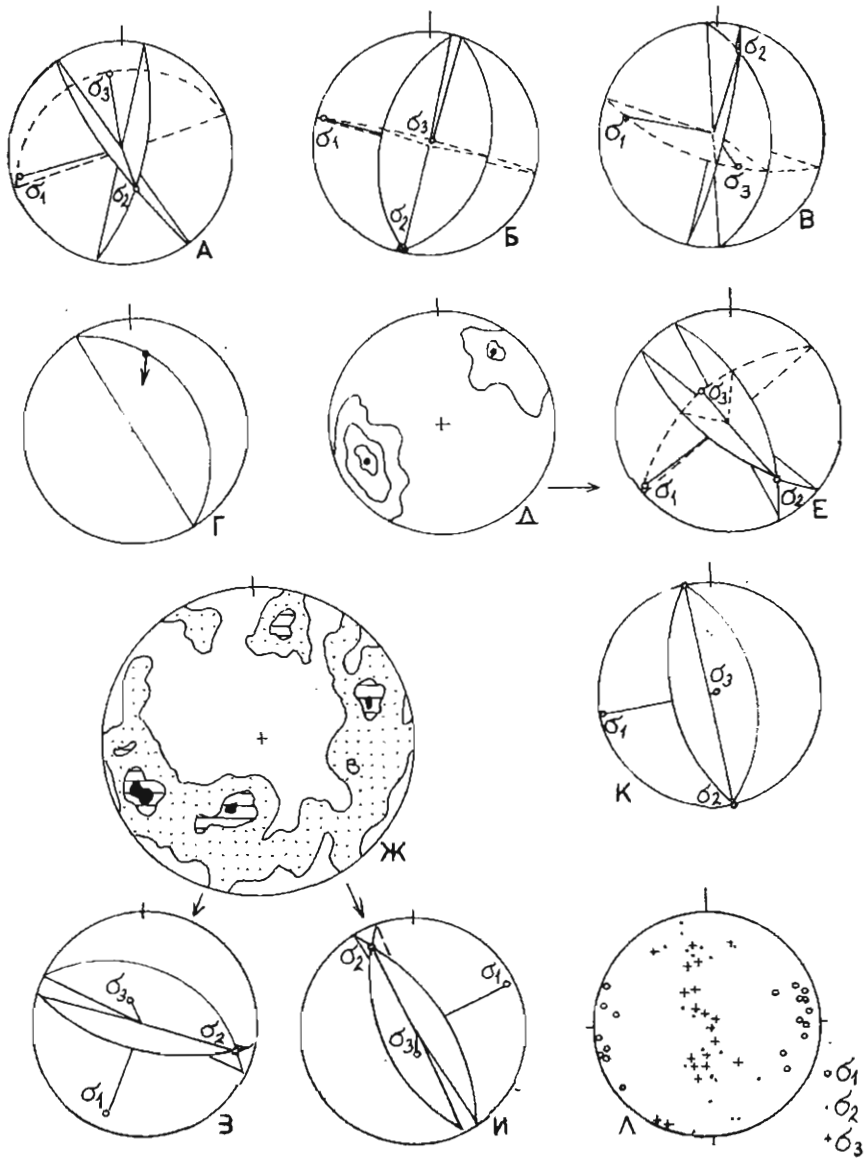
На фиг. 2К са нанесени всички получени резултати за посоките на главните нормални напрежения през този подетап, откъдето също се вижда, че разликите между отделните построения не са големи. Това постоянство на получените резултати говори, че по време на образуването на запад-северозападните разломи скалният масив е бил сравнително изотропен и север-северозападните и север-североизточните разломи още не са били образувани. Образуваните през по-ранните епохи разломи са запълнени главно от легматити, в резултат на което масивът е бил повече или по-малко консолидиран.

Подетап на образуване на север-северозападните и север-североизточните разломи

При построенията, направени за този подетап, са използвани същата методика и последователност на построенията за предходния подетап.

Резултатите, получени при реконструкцията както на конкретно наблюдавани взаимоотношения, така и по диаграми на разломи и пукнатини за този подетап са противоречиви. Ориентировката на максималните главни нормални напрежения (σ_3) варира от вертикална до такава със север—южно направление. Непостоянна е и ориентацията на средните главни нормални напрежения (σ_2), които също варират от север—южни до почти вертикални. Сравнително постоянни остават минималните главни нормални напрежения (σ_1) — с направление близко до изток—запад. Все пак се наблюдава известна тенденция на преобладаване на вертикални максимални главни нормални напрежения (фиг. 4Л и 5). Противоречиви са и резултатите от замерените бразди на тръене. Трябва да се има предвид обаче, че през по-късните етапи по тези разломи са се извършвали интензивни отседни движения, които много затрудняват отнасянето на наблюдаваните бразди към съответния етап от развитието на структурата.

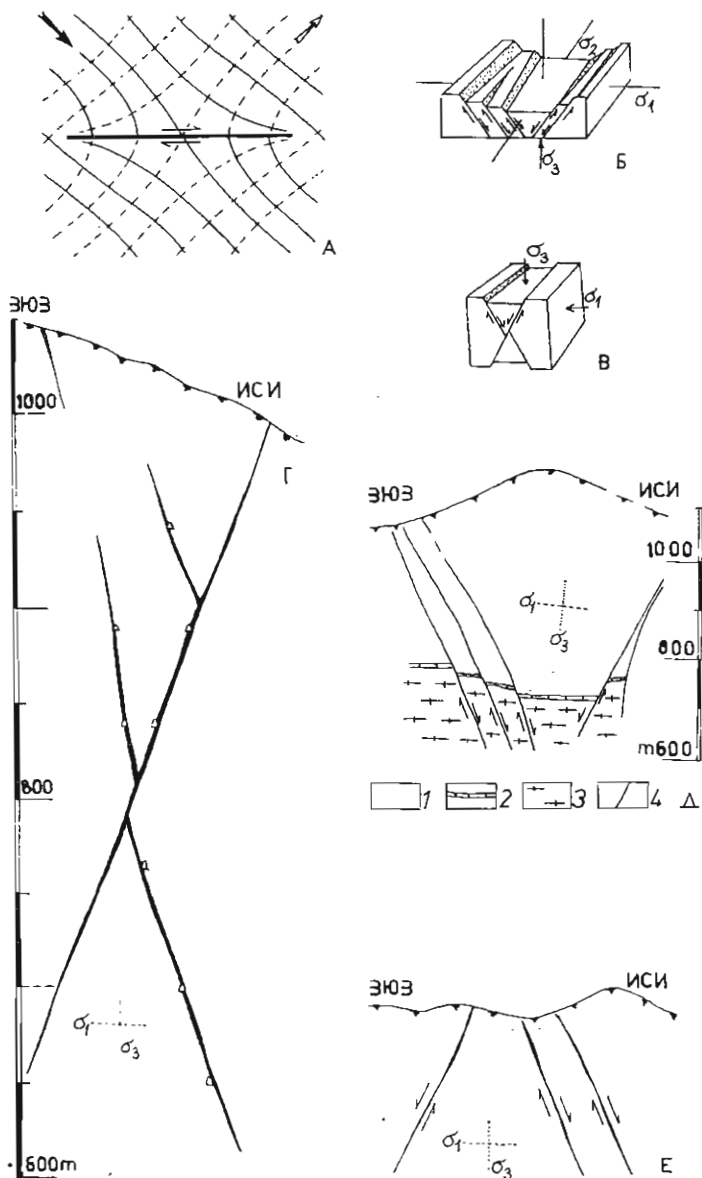
Противоречивите резултати най-вероятно се дължат на факта, че процесът се развива на фона на вече съществуващите запад-северозападни раз-



Фиг. 4 А, Б и В — реконструкции на главните нормални напрежения по конкретно наблюдавани взаимоотношения: А — т. 22, рудопроявление Ростан; Б — т. 17^а на около 2 km от Батанци към Крушев дол; В — т. 22^а на около 500 m източно от проявление Ростан. Г — разлом с измерени бразди на триене, т. 38 на около 3,5 km от Мадан по пътя към Печинско. Д — диаграма на разломите на нах. Ю. Петровица (по Драгиев, 1982) и реконструкции на главните нормални напрежения по нея (Е). Ж — диаграма на пукнатините на нах. Караалиев дол (изолинии през 1, 5 и 8%) и реконструкции на главните нормални напрежения по нея за първия (З) и втория (И) подетап на довулканския етап. К — реконструкция по диаграма на пукнатините за подетапа на образуване на ССЗ и ССИ разломи на рудопроявление Крушова махала. Л — сборна диаграма на резултатите, получени от всички реконструкции за подетапа на образуване на ССЗ и ССИ разломи (σ_1 , σ_2 , σ_3 , както на фиг. 2). Всички построения, вкл. фиг. 2, 3 и 5, са извършвани с помощта на Вулфова мрежа, горна полусфера



Фиг. 5. Скица на тектонското поле на напрежение за подетапа на образуване на ССЗ и ССИ разломи. Условни знаци, както на фиг. 3



Фиг. 6. А — изменение на траекториите на главните нормални напрежения около съществуващ от по-рано разлом (по Anderson, 1951); Б и В — разломи, образувани при вертикални главни нормални напрежения (Б — по Anderson, 1951; В — по Ramsey, 1980); Г, Д и Е — напречни разрези през находищата Страшимир (Г), Градище (Д) и Лайков чукар (Е). Фиг. 6Г и 6Е са по А.Т. Атанасов и др., 1969, непубл. данни. За фиг. 6Г и 6Е вметващи скали са гранитизирани гнайси. За фиг. 6Д вметващите скали са: 1 — гнайси; 2 — мрамори; 3 — гранитизирани гнайси; 4 — разломи. Със стрелки са показани посоките на относителните движения по разломите; σ_3 — максимални главни нормални напрежения; σ_1 — минимални главни нормални напрежения

ломи, които предават на масива силно анизотропен строеж. Редица автори (Андерсън, 1951; Гзовский, 1975; Дабовски, 1979) посочват, че съществуващите от по-рано разломни нарушения създават чувствителна анизотропия, която води до преориентация на напреженията в близост до тези нарушения.

Категорично да се определи генералното направление на напреженията за този подетап е трудно. Все пак повечето факти (фиг. 4Л; 5; 6Г; 6Д и 6Е) говорят за това, че най-вероятно генералното направление на максималните главни нормални напрежения (σ_3) е останало вертикално; средните главни нормални напрежения (σ_2) са били почти хоризонтални и с направление приблизително север—юг, а минималните главни нормални напрежения (σ_1) са били хоризонтални и с направление почти изток—запад.

Значителни движения по разломите, образувани през този подетап, не са се извършвали. В рамките на рудното поле те рядко превишават 20—30 метра.

От изложеното по-горе се вижда, че характерна особеност на този етап е вертикалната ориентация на максималните главни нормални напрежения. Образоването на две различни спрегнати системи разломи се обуславя от промяната на направлението на средните и минималните главни нормални напрежения от единия към другия подетап. Вертикалната ориентация на максималните главни нормални напрежения обяснява и ласивната роля на навлачните повърхнини през този етап, тъй като те се явяват приблизително перпендикулярни. Поради това разломите образувани през този етап преминават от автохтона в алохтона на навлачните плоскости без никакви съществени изменения в характера им. Ако през този етап преобладаваха хоризонтални максимални главни нормални напрежения, тяхната енергия би се приемала в значителна степен от навлачните повърхнини, което съответно би довело до нови раздвижвания на тези повърхнини и образуване на значително по-малко и по-неиздържани разломни структури.

През този именно етап се извършва най-интензивното разломяване на масива, водещо до блоковото му разчленяване.

Вулкански етап (горен олигоцен?)

През този етап в северния фланг на рудното поле се внедряват няколко риолитови дайки. Тук те са единствена проява на палеогенския магматизъм, представен по-обилно на северозапад от Маданското рудно поле в рамките на Смолянската депресия.

Точното определяне на параметрите на тектонското поле на напрежение за този етап е малко трудно. Единствено избирателното внедряване на дайките предимно в разломи със запад-северозападна посока и много по-рядко и на къси разстояния в разломи със север-северозападна посока ни дава известна представа за ориентацията на напреженията. През този етап запад-северозападните разломи са били приотворени (или най-проницаеми), а север-северозападните и север-североизточните са били притворени (или слабо проницаеми). Това дава основание с достатъчна достоверност да определим, че посоката на минималните главни нормални напрежения (σ_1) е била С—Ю или ССИ—ЮЮЗ. С по-малка достоверност можем да твърдим, че максималните главни нормални напрежения (σ_3) са били с направление И—З или ИЮИ—ЗСЗ, а средните главни нормални напрежения (σ_2) са били вертикални. Не е изключена смяна на максималните и средните главни нормални напрежения в рамките на този етап (във връзка с разтоварването на

магмените огнища) при постоянство на минималните напрежения, а именно: максималните главни нормални напрежения в началото на етапа да са били вертикални, а към края на етапа да са били хоризонтални и с направление приблизително изток—запад, съответно средните главни нормални напрежения в началото на етапа да са били приблизително с направление изток—запад, а към края на етапа да са били вертикални. Фактът, че извън пределите на рудното поле, но на неголеми разстояния, риолитовите дайки са внедрили и в разломи със север-северозападна посока, обаче говори за едно сравнително бързо преориентиране на напреженията в пространството. Причина за това може да бъде или наличието на интензивно разломяване на масива, водещо до преориентация на напреженията или радиална ориентация на напреженията, която е характерна за вулканските апарати. Най-вероятно тези две причини да оказват комбинирано влияние в разпределението на напреженията през този етап.

Съществена черта на етапа е смяната на вертикалните главни нормални напрежения с хоризонтални такива.

Руден етап (миоцен)

През този етап се отлагат полиметалните орудявания в Маданското рудно поле. Тектонското поле на напрежение и свързаните с него движения играят важна роля за локализирането и разпределението на рудните тела. Поради това познаването на тектонското поле на напрежение през този етап има важно значение за насочването на търсещите и проучвателните работи и не случайно е най-добре изучен. Фактът, че всички минерални парагенези са отложени в север-северозападните и север-североизточните разломи, а запад-северозападните разломи остават непроницаеми за хидротермалните разтвори през целия етап, говори за известно постоянство на тектонското поле на напрежение.

За рудния етап са характерни главно дясноотседни движения както по запад-северозападните, така и по север-северозападните разломи (Докков и Попов, 1963; Манев, 1974, 1975), а по север-североизточните разломи се извършват леви отсядания (Манев, 1975). За отсяданията по запад-северозападните разломи се съди главно по отместванията на рудовместващите разломи спрямо запад-северозападните. За дясноотседни движения по север-северозападните разломи свидетелствуват множество бразди на триене, които са с незначителна вертикална съставяща. Закономерната ориентация на вторични разломни нарушения с характер на разломи на скъсване и на сръзване спрямо север-северозападните разломи също указват за десни отсядания по последните (Докков и Попов, 1963; Манев, 1975). Следва да отбележим, че положението на тези вторични разломни нарушения понякога неправилно се използват за характеризирането на тектонското поле на напрежение за етапа на образуване на основните разломни структури. Дясноотседните движения по север-северозападните разломи обуславят приотварянето на същите в тези участъци, които са с направление, по-близо до север—юг, което предопределя образуването на рудните стълбове (Докков и Попов, 1963; Манев, 1975).

Всички данни сочат, че през този етап направлението на максималните главни нормални напрежения (σ_3) е било приблизително север—юг (Манев, 1975), на минималните главни нормални напрежения (σ_1) — изток—запад, а средните главни нормални напрежения (σ_2) са били приблизително вертикални. Това разпределение на напреженията обуславя непро-

нищаемостта на запад-северозападните разломи, а оттам и липсата на минерализации в тях. Интензивното разломяване на масива обаче отново предизвиква някои локални промени в тектонското поле на напрежения, водещи понякога и до по-значителни вертикални движения. За това говори и наличието на субхоризонтална лента от минерали на ранната кварц-пиритова парагенеза в южния фланг на находище Градище.

Към началото на този етап (преди отлагането на кварц-сфалерит-галенитовата парагенеза) трябва да отнесем и образуването на някои вторични разломи с посока около 320° , представени най-отчетливо в находище Петровица (зона 3) и находище Конски дол (зона 3). Тези разломи имат типичен характер на скъсване, наследяват напукаността, заложена през довулканския етап и се образуват като закономерно следствие на дясноотседните движения по запад-северозападните разломи. Те също са рудовместващи.

Следруден етап

Наличието на дясноотседни движения по запад-северозападните и север-северозападните разломи (М а н е в, 1975) след рудоотлагането показват, че вероятно през този етап не се извършва значителна преориентация на напреженията в сравнение с предходния.

Описаните етапи в късноалпийското развитие на структурата на Маданското рудно поле не трябва да се разглеждат като изолирано явление. Те са тясно генетично свързани и са звена в единния късноалпийски орогенен процес.

Началото на този процес в рамките на разглежданото рудно поле се поставя през навлачния етап (горен еоцен?). Той става при действието на север-южни максимални главни нормални напрежения и се обуславя според И в а н о в и др. (1979) от активната роля на разположената от юг Вардарска зона. През следващия довулкански етап (долен олигоцен?) с развитието на субдукционните процеси става издигане на масива и свързаното с това интензивно разломяване под влияние на вертикални максимални главни нормални напрежения. След постепенното разрастване на разломните структури и достигането им до магмените огнища следва развитието на предимно кисел вулканизъм (вулкански етап, горен олигоцен). Вероятно през този етап във връзка с разтоварването на магмените огнища се извършва преориентация на максималните главни нормални напрежения от вертикални към хоризонтални. Като следствие от вулканския процес и във връзка с последните му фази идва полиметалното рудоотлагане в Маданското рудно поле (руден етап, миоцен).

Л и т е р а т у р а

- Б о г д а н о в, Б. 1960. Геоложки строеж на Маданския руден район. — *Год. МГИ*, 6, 1 и 2; 3—40.
- Б о я н о в, И в., Д. К о ж у х а р о в. 1968. Строеие и блоковоe расчленение Родопского массива. — *Изв. на ГИ, сер. геотект., страт. и литол.*, 17; 199—225.
- Б о я н о в, И в., Д. К о ж у х а р о в. 1971. Източнородопски блок. — В: *Тектонски строеж на България*, С., Техника; 110—121.
- Г з о в с к и й, М. 1975. *Основы тектонофизики*, М., Наука; 114—120.
- Д а б о в с к и, Х р. 1979. Напрежения и разрушаване около пластиновидни магматични камери. — *Геотект., тектоноф. и геодин.*, 9; 17—36.
- Д и м и т р о в, Д. 1972. Стратиграфия и петрографски особености на скалите в Маданското рудно поле. — *Год. УГП, отд. А*, 16; 237—288.

- Д о к о в, Р., А т. П о п о в. 1963. Структурни условия за локализация на сулфидното орудяване и някои закономерности в разпределението на оловото и цинка в оловно-цинковите находища от Маданския руден район. — *Труд. геол. Бълг., сер. геохим., минер., петр.*, 4; 73—91.
- Д р а г н е в, Х. 1982. Перспективи за търсене и проучване на оловно-цинковото орудяване от метасоматичен тип в Маданското рудно поле. — *Рудодобив*, 7; 3—9.
- И в а н о в, Ж., С. М о с к о в с к и, К. К о л ч е в а. 1979. Основные черты строения центральных частей Родопского массива. — *Geol. Balc.*, 9, 1; 3—50.
- И в а н о в, Р. 1961. Стратиграфия и структура на кристалина в Източните Родопи. — *Труд. геол. Бълг., сер. геохим. и полезни изк.*, 2; 69—119.
- М а п е в, Д. 1974. Относно кинематичните особености на рудоносния разлом Борнева. — Градище и тяхното значение за локализацията на жилиното орудяване. — *Изв. ГИ, сер. рудни и нерудни пол. изк.*, 23; 61—76.
- М а н е в, Д. 1975а. Етапи при формирането на структурата на Маданското рудно поле. — *Рудообр. проц. и мин. нах.*, 1; 20—28.
- М а н е в, Д. 1975б. Относно значението на запад-северозападните разломи за локализацията на оловно-цинковото орудяване в Маданското рудно поле. — *Рудообр. проц. и мин. нах.*, 2; 24—33.
- М о с к о в с к и, С., Ж. И в а н о в. 1980. Олисторомни образувания в палеогенските седименти от източните части на Смолянския басейн. — *Геотект., тектоноф. и геодин.*, 12; 3—26.
- A n d e r s o n, E. M. 1951. *The dynamics of faulting*, Edinburgh, Oliver & Boyd.
- R a m s a y, J. G. 1980. Shear zone geometry: a review. — *J. Struct. Geology*, 2, 83—99.

(Постъпила на 21. III. 1983 г.)