



**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. ИВАН РИЛСКИ"**

**ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ**

**КАТЕДРА „ПРИЛОЖНА ГЕОФИЗИКА“**

**инж. Атанас Иванов Кисъов**

**РАЗРАБОТВАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА МЕТАЛОГЕННО  
ПРОГНОЗИРАНЕ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА ИЗТОЧНИ РОДОПИ ПО  
КОМПЛЕКС ОТ ГЕОЛОЖКИ И ГЕОФИЗИЧНИ ПРИЗНАЦИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

Професионално направление 4.4 „Науки за земята“

Научна специалност „Методи и техника на геоложките изследвания“

**Научен ръководител**

проф. дгн Стефан Димовски

София, 2020

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Приложна геофизика“ при Геологопроучвателния факултет на Минно-геоложкия университет “Св. Иван Рилски”. Разширеният катедрен съвет е утвърден със Заповед: Р-100 от 31.01.2020 г. на Ректора на МГУ и се е състоял на 12.02.2020 г.

Дисертационният труд е в обем 158 страници. Включва 49 фигури и 16 таблици. В библиографската справка са отразени 194 заглавия (110 на кирилица и 84 на латиница).

Материалът, представен в дисертацията, е структуриран във въведение, три части и заключение.

Номерацията на главите, формулите и фигурите в Автореферата съответства на тази в дисертацията.

Защитата на дисертацията ще се състои на 15.04.2020 г. от 11,00 часа в зала 174 на МГУ „Св. Иван Рилски“.

Материалите по защитата на дисертационния труд са на разположение на интересующите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“ – София.

#### **Научно жури:**

1. проф. дгн Димчо Стойнев Йосифов, експерт
2. проф. д-р Ради Георгиев Радичев, МГУ „Св. Ив. Рилски“
3. проф. д-р Николай Тонев Стоянов, МГУ „Св. Ив. Рилски“
4. доц. д-р Александър Иванов Цветков, експерт
5. доц. д-р Деница Стефанова Борисова, ИКИТ-БАН

#### **Рецензенти:**

- проф. дгн Димчо Стойнев Йосифов, експерт  
доц. д-р Александър Иванов Цветков, експерт

Автор: инж. Атанас Иванов Кисьов

Заглавие: Разработване на методика за металогенно прогнозиране за територията на Източни Родопи по комплекс от геоложки и геофизични признаци.

Тираж: 25 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, София

## **Благодарности**

*Чувствам приятното задължение да изкажа своята дълбока и най-искрена благодарност на научния си ръководител проф. д-р Стефан Димовски за отделеното време, внимание и търпение, за ценните съвети и напътствия.*

*Дълбоко съм признателен за оказаната ми подкрепа и напътствия от страна на проф. д-р Ради Радичев, гл.ас д-р Християн Цанков, доц. д-р Александър Цветков, доц. д-р Любен Гугов, както от страна на всички останали колеги от катедра Приложна геофизика към МГУ „Св. Иван Рилски“, София.*

*Искрено признателен съм на доц. д-р Георги Желев от ИКИТ-БАН, доц. д-р Калин Русков от катедра ГПМЕР и ас. Веселин Младенов от катедра ГГИ при МГУ „Св. Иван Рилски“, за оказаната ми помощ във връзка с събирането и изготвянето на геоложките и геохимични база данни.*

*За съжаление не мога да изкажа лично своята благодарност към покойната вече проф. д-р Вера Иванова, която ми оказва изключително ползотворно влияние в етапа на моето обучение и ме насочи към приложението на компютърните невронни мрежи за целите на металогенното прогнозиране.*

*Благодаря на родителите си за проявеното разбиране и моралната подкрепа по време на работата върху този труд.*

*Оставам признателен на всички, които не престанаха да вярват в мен през дългия период на работа и ме подкрепяха напълно.*

## СЪДЪРЖАНИЕ

1. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА РАЗПОЗНАВАНЕ НА ОБРАЗИТЕ ПРИ РЕШАВАНЕ НА ПРОГНОЗНИ ЗАДАЧИ	5
2. ГЕОЛОЖКИ СТРОЕЖ И МЕТАЛОГЕННО РАЙОНИРАНЕ НА ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ	14
3. МЕТАЛОГЕННО ПРОГНОЗИРАНЕ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА ИЗТОЧНИ РОДОПИ ПО КОМПЛЕКС ОТ ПРИЗНАЦИ	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. АВТОРСКИ ПРИНОСИ	49
ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	51
ЛИТЕРАТУРА	52

Най-обобщено задачата за металогенно прогнозиране по комплекс от признаци се дефинира по следния начин: изследваната територия е изучена с геофизични, геоложки и други методи. Необходимо е чрез обработка и анализ на данните тя да се районира по степен на перспективност за наличие на търсените обекти в зависимост от номенклатурния мащаб на прогнозирането. Това могат да бъдат рудни пояси, рудни провинции, рудни райони, рудни полета, рудни находища или рудни тела. Доколкото практически винаги съществува априорна информация за наличието в дадена територия на търсените обекти, задачата за металогенното прогнозиране обикновено се насочва към използване на еталони. В светлината на теорията на разпознаване на образи тя се дефинира по-конкретно: изследваната територия е изучена с комплекс от геофизични, геоложки и геохимични методи; в локални участъци от територията е известно наличие на търсените обекти (в зависимост от мащабите на прогнозирането рудни пояси, рудни провинции, рудни райони, рудни полета, рудни находища или рудни тела от определен структурно-веществен тип); трябва да се отделят върху останалата територия участъци, подобни или сходни на известните и съответно най-перспективни за търсене на нови обекти от същия тип.

## 1. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ ЗА РАЗПОЗНАВАНЕ НА ОБРАЗИТЕ ПРИ РЕШАВАНЕ НА ПРОГНОЗНИ ЗАДАЧИ

Решаването на всички прогнозни задачи винаги в една или друга степен е свързано с елемент на неопределеност. Например традиционната концепция за металогенно прогнозиране се основава на представата, че при отчитане само на няколко основни геоложки фактора най-ефективно може да се реши задачата независимо от обстоятелството, че практически всички геоложки и геофизични данни по своята природа имат статистически характер. Освен това функционалните връзки между геоложките и геофизичните параметри и орудяванията са сложни и многовариантни. Ето защо все по-убедително се налага идеята за насочване на стратегията на прогнозирането към комплексното обработване и анализиране на цялата налична информация за изследваните площи и последващо приложение на методите за разпознаване на образите.

Разпознаването на образи е машинно-ориентирана методология, позволяваща бърз и многократен анализ на разнообразна информация и осигуряваща получаване на количествени резултати.

По-голямата част от методите за разпознаване на образи се основават на принципа на пряката аналогия. Това е традиционен подход и при геопрогнозните задачи. Като правило, при тях се сравняват изследваните по комплекс от геолого-геофизични признаци участъци с известни еталонни промишлени находища или неперспективни участъци.

Теорията за разпознаване на образи в геологията и по-конкретно за класифициране на обекти по съвкупност от различни признаци интензивно се развива и намира все по-широка практическа реализация.

Понятието образ предполага наличието на определена взаимна връзка между структурата на изследваните полета (геофизични, геоложки, геохимични и др.) и конкретните геоложки ситуации - образи.

### **1.1. Методична схема на прогнозната задача**

Приложението на методите за разпознаване на образи в геоложкото прогнозиране изисква осъществяването на следните основни дейности:

#### **1.1.1. Избор на територията и обекта на прогнозиране**

Металогенното прогнозиране се осъществява за територията на съответните рудоносни региони, структурно-металогенни зони или провинции, рудни райони, рудни полета или рудни находища. Обектът на прогнозиране притежава специфичен набор от търсени признаци.

Представените изследвания обхващат главно района на Източни Родопи.

### **1.1.2. Избор на подход при прогнозирането**

Възможни са два подхода към геоложките условия от позицията на прогнозирането със средствата за разпознаване на образи. Това са площно и обектно прогнозиране.

*Площното прогнозиране* предвижда разделянето на изучаваната територия на равни по площ участъци (елементарни участъци), всеки от които, с комплекс от признаци, се сравнява с еталонни участъци.

*Обектното прогнозиране* се състои в оценка перспективността на отделни геоложки обекти или геоложки структури. За целта те се съпоставят с аналогични еталонни обекти (например, в границите на които има находища на полезни изкопаеми или с детайлни работи е доказано тяхното отсъствие).

Изборът на конкретен подход зависи от целите на прогнозирането, от степента на изученост на територията и от естеството на първичните материали.

### **1.1.3. Определяне на елементарния участък на прогнозиране**

При приетия подход за площно прогнозиране от изключително важно значение е коректният избор на елементарни участъци. За такива обикновено се приемат клетки с еднакъв размер и еднаква форма, съвкупността от които обхваща цялата изследвана територия. Размерът на елементарните участъци зависи главно от мащаба на прогнозните проучвания.

Представените изследвания обхващат площ от около 12000 км<sup>2</sup>. За елементарна прогнозна площ е приета клетка с размер 200 x 200 метра. Територията съдържа 301101 елементарни клетки, които се разполагат в 501 реда и 601 колони.

### **1.1.4. Набиране на изходна съвкупност от признаци за описание на прогнозните обекти**

Един от най-сложните и важни етапи на количественото металогенно прогнозиране е набирането на изходния комплекс от признаци, които се използват за описание и съпоставяне на елементарните участъци. Това е неформализуем процес, при който са решаващи опитът и знанията на специалиста.

### **1.1.5. Описание на всички елементарни участъци по набора от изходни признаци**

Автоматизираният процес на обработка и анализ на информацията изисква нейното провеждане във форма удобна за математическа обработка. Това най-често е числовата форма на данните. За нейното постигане данните предварително се кодират. Кодовете трябва да удовлетворяват и изискванията за стандартизиране на данните – еднозначност, кратност, адитивност, прогресивност и др.

### **1.1.6. Формиране на съвкупности от еталонни обекти**

Формираното признаково пространство (масивът от описанията на елементарните участъци) в общия случай се разбива на три области: еталони от перспективни (рудни) участъци, еталони от неперспективни (безрудни) участъци и участъци, на които трябва да се оцени перспективността.

Подходът към решаването на задачата за избор на еталони от двата класификационни класа - рудни (положителни) и безрудни (отрицателни), има голямо значение. Това е много важен методичен въпрос на обработката, от който зависи оптималното използване на априорната информация.

### **1.1.7. Избор на метод за разпознаване на образи**

Разпознаването на образите е научна област, изучаваща функционирането на системи, които извличат общите характеристики на съвкупност от обекти, както и методите за създаване на такива системи. За решението на проблема за разпознаване на образи (*pattern recognition*) се използват широк кръг от методи за извличане на знания (*knowledge discovery*) в големи бази данни (*data mining*).

Опитът показва, че могат да се обособят две постановки в процеса на разпознаването:

- Първата предвижда създаването на поне две обучаващи извадки на базата на еталонни обекти. Предполага се, че еталонните обекти, обединени във всяка от групите, са проявление на аналогични геоложки фактори и различията им имат случаен и незакономерен характер.
- Втората постановка предвижда използването на така наречена автоматична класификация (разпознаване без обучение). Прилага се в слабо изучени територии където е затруднено комплектоването на еталонни групи обекти.

В представените изследвания са използвани и съответно разгледани по-обстойно два от най-разпространените в областта на геоложкото прогнозиране подхода към разпознаването на образи – вероятностно-статистическия метод и възможността за приложение на невронни мрежи.

### ***1.1.8. Разпознаване и класификация***

Същинското разпознаване се състои в построяване на формален търсецо-оценъчен критерий на базата на избрания алгоритъм за разпознаване на образи. Преди да послужи за прогнозиране, решаващото правило се подлага на съдържателен анализ. Най-често оценката на качествата на решаващото правило се извършва по резултатите от класифицирането на контролни обекти, които не са използвани в операцията по обучението

### ***1.1.9. Оценка на надеждността на решенията***

Използването на тестова група обекти с известна принадлежност е най-често прилаганият метод за оценка на надеждността на разпознаването. Такъв подход е оправдан при достатъчно големи представителни групи от обекти с известна геоложка принадлежност. В противен случай се използва методът на изключването от обучаващото множество на единични обекти и разглеждането им в последствие като контролни. Процедурата се повтаря за всички обекти включени в обучението. При статистическите методи, качеството на решаващото правило се оценява по класификационната грешка, която има вероятностен характер.

## **1.2. Вероятностно-статистически метод за разпознаване на образи**

Много често вниманието при металогенното прогнозиране е насочено главно към вероятностно-статистическите методи. Това се обуславя преди всичко от наличната и използваната геоложка и геофизична информация, която дава възможност да се получат статистически оценки на разпределението на признаците.

Принципните основи на вероятностно-статистическия подход и произтичащите от него изчислителни процедури за металогенно прогнозиране по комплекс от признаци се основават на прилагането на следната методична схема:

### ***1.2.1. Съставяне на Статистически модел на прогнозната задача***

Тълкуването на комплекса от данни, които включват обикновено значителен обем измерени признаци, е сложна задача. Търсените обекти неизбежно имат различни (вариращи) размери, дълбочина на залегане, веществен състав, контрастност на физичните свойства и съответно те се характеризират със случайно разпределение на признаците. Освен това анализиранияте ефекти са деформирани от смущения с различен произход. От друга страна, комплексът от налични признаци образува най-често голям брой съчетания при сложни връзки между самите признаци и с изучаваните геоложки обекти. Тези особености характеризират задачата за металогенно прогнозиране по комплекс от признаци като вероятностно-статистическа. Обработката за решаването на тази задача може да се представи от обобщен статистически модел. За всяко изследвано експериментално поле (признак)  $Y^* = 1, 2, \dots$ , адитивният модел на експерименталния материал за природата на обекта при две конкуриращи се качествени състояния е

$$\vec{Y}_k = \begin{cases} \vec{a}_{1k} + \vec{n}_{1k} \rightarrow H_1 \\ \vec{a}_{2k} + \vec{n}_{2k} \rightarrow H_2 \end{cases} \quad (1.1)$$

където индексите 1 и 2 характеризират конкуриращите се качествени състояния на обектите – рудни и безрудни;  $a_{1k}$  и  $a_{2k}$  са неслучайните или случайните компоненти на полето;  $n_{1k}$  и  $n_{2k}$  са случайните компоненти на полето, например смущения; в теорията на статистическите решения за двете състояния в (1.1) съответства определена хипотеза за принадлежност към първи клас (рудни) - хипотеза  $H_1$ , и към втори клас (безрудни) - хипотеза  $H_2$ .

Статистическият модел (1.1) предполага наличие на априорна информация за вероятността на наличие на класовете и за плътността на разпределение на вероятностите на всеки признак за тези класове, т.е. задачата се свежда до обработката на данни при наличие на еталонни обекти и конкретно до задачата за разпознаване на образи.

Априорните вероятности за появяването и плътността на разпределение на признаците се оценяват на основата на данните от предшестващите изследвания. В зависимост от нивото на геоложките знания за проучваната територия при обработката се използват определен обем положителни (рудни) и отрицателни (безрудни) еталони.

Наборът от признаци се определя от комплекса проведени изследвания, а сведенията за разпределението на вероятностите на признаците се получават чрез изучаването им върху еталонните обекти за всеки клас поотделно.

Доколкото количествената оценка на априорните вероятности за появяването на класовете е затруднена, тези априорни вероятности се приемат в първо приближение за еднакви.

Обобщено задачата за обработка на данните от геофизичния и геоложки комплекс, като се използват еталонни обекти, се формулира по следния начин: чрез вероятностно-статистически методи да се разделят обектите на наблюдение на два класа - рудни и нерудни, при априорно зададени вероятности за проявяване на тези класове и разпределение на вероятностите на стойностите за всеки признак.

Решаването на така дефинираната задача осигурява непосредствено обвързване на изследваните геофизични полета и другите признаци с наличните геоложки данни.

### 1.2.2. Статистическа характеристика на признаците.

Статистическата оценка на разпределението на признаците е първи и много важен етап в цялостния процес на обработка и анализ. В общия случай, като се отчита математическият модел на решаваната прогнозна задача, тя включва построяване на хистограми на стойностното разпределение на изучаваните признаци и изчисляване коефициентите на корелация.

Построяването на хистограми дава възможност да се оцени плътността на разпределение на вероятностите за различните стойности на признаците в еталонните обекти от два класа. Това е необходимо както при използването на вероятностно-статистически, така и при евристични алгоритми за класифициране.

При съставянето на хистограмите се използват емпиричните оценки:

$$P(Y_k) = \begin{cases} P_k(1) = \frac{m_k(1)}{n} \\ \dots\dots\dots \\ P_k(j) = \frac{m_k(j)}{n} \end{cases} \quad (1.2)$$

където:

$j$  са градациите (разредите) на стойностите на  $k$ -тия признак;



$m_k(1) \dots m_k(j)$  - броят на обектите от разряд на съответната анализирана съвкупност;  
 $n$  е общият брой на обектите в дадена съвкупност.

При съставянето на хистограмите е желателно да има правилно съотношение между общия брой  $\eta$  на анализирани стойности и броя на градациите  $j$ , като  $j$  трябва да расте значително по-бавно от  $n(j \approx \sqrt{n})$ . Интервалът на групиране  $\Delta Y$  при съставяне на хистограмите може да се определи и по емпиричната формула на Стърджис:

$$\Delta Y = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{1 + 3.32 \lg n} \quad (1.3)$$

където  $Y_{\max}$  и  $Y_{\min}$  са максималната и минималната стойност на признака.

Ефективността на прогнозирането съществено зависи от корелационните връзки между изучаваните признаци. Използването на силно зависими признаци води до недостоверно завишаване ефективността на оценките.

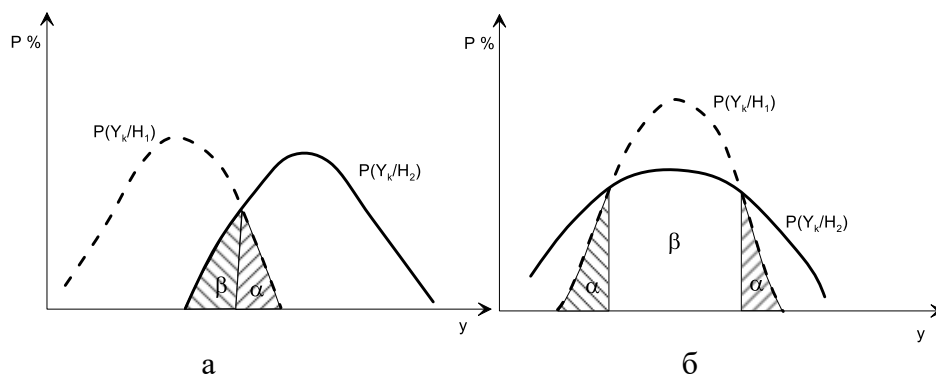
Взаимната връзка между анализирани признаци се определя чрез изчисляване коефициентите на корелация между отделните двойки признаци:

$$r = r_{kl} = \frac{M_{kl}}{\sigma_k \sigma_l} \quad (1.5)$$

В отделни случаи е целесъобразно изчисляването на коефициентите на множествена корелация. Те дават възможност да се оцени комплексно взаимната връзка между признаците и подпомагат съдържателното тълкуване на вероятностно-статистическите класификационни резултати.

### 1.2.3. Оценка на информативността на признаците.

Информативността на отделните признаци се определя като една или друга мярка на възможността за класифициране на обектите. От позициите на вероятностно-статистическия модел на металогенното прогнозиране за мярка на информативност е целесъобразно да се приеме общата безусловна грешка в разделянето на класовете. Съгласно с постановката на задачата при взимането на решение за перспективност са възможни два рода грешки. Грешка от първи род  $\alpha$  - означава, че се приема решение за перспективност, докато такава няма, т.е. грешката води до откриване на лъжлива перспективност. При грешка от втори род  $\beta$  - означава, че се приема, решение за отсъствие на перспективност, а в действителност такава съществува, т.е. пропуска се локализиране на реално перспективна площ. Вероятностите за грешки от първи и втори род характеризират степента на различие между плътностите на разпределение (хистограмите) -  $P\{Y_k/H_1\}$  и  $P(Y_k/H_2)$  - Фигура 1.3.



Фигура 1.3. Примерни разпределения на плътността на признаците от два класа  
 а - два класа с еднакви дисперсии и различни средни стойности;  
 б - два класа с еднакви средни стойности и различни дисперсии  
 α - грешки от първи род; β - грешки от втори род

Вероятността за грешка  $\alpha$ , водеща до откриването на лъжлива перспективна площ, се определя от израза:

$$\alpha = \int_Y^{\infty} P(Y_k / H_1) dY \quad (1.7)$$

а вероятността за грешка  $\beta$ , водеща до пропускането на действително съществуваща перспективна площ, се определя от израза:

$$\beta = \int_{-\infty}^Y P(Y_k / H_2) dY \quad (1.8)$$

Обектите от два класа могат да се смятат за неразличими по даден признак, ако плътността на разпределение се разполага в границите на съответните доверителни интервали.

Друг метод, който все по-успешно се прилага в световната практика за оценка информативността на признаците и надеждността на решенията е **Дискриминантният анализ** – процедура, при която на базата на данни за вече класифицирани групи извежда модел, по който да могат да се класифицират нови обекти.

Дискриминантният анализ се занимава със създаването на модел, позволяващ максимално пълно разграничаване на няколко съвкупности. Последователността от етапите на изчисления включва:

- по вкараната матрица от данни, се класират по значимост признаците, които разделят най-добре всички съвкупности;
- създават се линейни комбинации от тях, наречени дискриминантни функции;
- проверява колко добре работи модела по данните включени в изчисленията и по контролна група.

Целта на дискриминантния анализ е да може да се използва модела за класифициране на нови обекти към някоя от изследваните съвкупности (групи).

Основни допускания на дискриминантния модел са:

- липса на голяма корелация между признаците;
- корелацията между два признака е постоянна при всички групи;
- средната и дисперсията на всеки признак не са свързани;
- разпределението на честотите на признаците е нормално.

Принципът на действие при дискриминантния анализ е сходен с дисперсионния анализ. Идеята е, че признаците, които имат значение за разделянето на отделните съвкупности са тези, по които средните стойности на съвкупностите се различават достоверно. Това може да се оцени с  $F$  статистиката (***F-value***). Когато в изчисленията са включени много признаци, се сравнява матрицата на общата дисперсия и ковариация и матрицата на вътрешногруповата дисперсия и ковариация с помощта на многомерна  $F$  статистика.

**С колкото по-висока стойност *F-value* е оценен даден признак, толкова по-голямо е неговото значение за разделянето на отделните съвкупности и съответно неговата информативност е по-голяма.**

Дискриминантният анализ изчислява *класификационните функции*. Те са толкова на брой, колкото са групите. Използват се, за да се провери каква е вероятността даден случай да се отнесе към една от групите, както и да се класифицират нови обекти, т.е. да се определи тяхната принадлежност към някоя от групите. Стойностите на класификационните функции scores се изчисляват по формулата:

$$S_i = c_i + w_{i1} * x_1 + w_{i2} * x_2 + \dots + w_{ij} * x_j ,$$

където:

$S_i$  е стойността на класификационната функция на  $i$ -та група

$c_i$  е константата на  $i$ -та група

$w_{ij}$  е коефициента на  $j$ -тия белег на  $i$ -та група

$x_j$  е стойността на  $j$ -тия белег.

Най-популярен подход при подбора на обучаващите групи, които да се включат в модела е **Стъпковият дискриминантен анализ (Stepwise Discriminant Analysis)**. В първата стъпка се избира признака, който най-добре разделя групите (има най-висока стойност на **F-value**), след което на втората стъпка се избира втори признак, който допринася за още по-добро разделяне и така нататък, т.е. на всяка стъпка се избира признака, който има най-голям принос в сравнение с останалите.

Статистиката, която най-често се използва за включване на нов признак в модела е чрез прилагане критерият **Ламбда на Уилкс (Wilks' Lambda)**. **Wilks' Lambda** служи за определяне на статистическата достоверност на дискриминационната сила на модела. Стойността и варира от 1 при липса на дискриминационната сила до 0 при пълна дискриминационната сила.

**Колкото по-ниска е стойността на Wilks' Lambda след включването на даден признак в модела, толкова по-достоверно са разделени отделните съвкупности и съответно надеждността на решението е по-голяма.**

#### 1.2.4. Съставяне на класификационно правило

Вероятностно-статистическото решение на задачата за металогенно прогнозиране по комплекс от признаци се заключава в сравняването на две хипотези:  $H_a (H_1)$  - хипотеза за присъствие на обекти от 1-ви клас, т.е. хипотеза за присъствие на аномални обекти – например рудни и  $H_o (H_2)$  – хипотеза за присъствие на обекти от 2-ри клас, т.е. хипотеза за отсъствие на аномални обекти (Добрев и др. 1989). Методът на решение е оптимален ако в качеството на критерий се използва стойността на коефициента на правдоподобие (класификатор на Бейс):

$$\lambda (Y) = \frac{P(\vec{Y} / H_1)}{P(\vec{Y} / H_2)} \quad (1.13)$$

където  $(\vec{Y} / H_1)$  и  $(\vec{Y} / H_2)$  - плътност на разпределение на вероятностите на вектора на изследваните признаци  $\vec{Y} = Y_1, Y_2, \dots, Y_k$ , съответно при наличие на обекти от 1-ви и 2-ри клас, т.е. функцията на правдоподобие.

За независими признаци функцията на правдоподобие е равна на произведението от плътностите на вероятностите на разпределение на вероятностите на съответните признаци.

#### 1.2.5. Оценка на надеждността на прогнозирането.

Надеждността на извършената класификация може да се определи въз основа на енергетичните отношения “полезен сигнал”/”фонова компонента” с използването на критерия на Котелников (Добрев и др. 1989):

$$r = \Phi \left( \frac{\sqrt{\rho}}{2} \right) \quad (1.23)$$

където  $\rho$  е енергетичното отношение “полезен сигнал”/”фонова компонента”.

Оценката на надеждността на диагностираното по комплекс от признаци се базира върху частните отношения “полезен сигнал”/”фонова компонента” за всеки от признаците  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$ , определени по съответните частни оценки за тяхната надеждност:

$$r = \Phi \left( \frac{1}{2} \sqrt{\sum_1^k \rho_k} \right) \quad (1.24)$$

По израз (1.24) надеждността може да се изчисли още в процеса на статистическата обработка и определянето на информативността, т.е. преди класифицирането на обектите. Целесъобразно е надеждността да се оцени и след завършването на комплексния анализ на данните, т.е. след класифицирането.

### 1.3. Компютърни невронни мрежи

#### 1.3.1. Същност на невронните мрежи

Невронните мрежи и по-точно, *изкуствените невронни мрежи* са най-типичния и най-развития представител на т.нар. *конекционистки подход* в Изкуствения интелект. Основните градивни елементи на (изкуствените) невронни мрежи са силно опростени модели на биологичните неврони, от които е съставен човешкият мозък. (Galushkin, 2007, Poulton, 2001, Krieser, 2007, Нишева, Шишков 1995, Тенчев и др, 2014, Haykin, 2006, Stergiou, Siganos. 1996).

Изкуствените невронни мрежи могат да бъдат характеризирани като системи с изкуствен интелект, които имат следните най-съществени особености:

- изкуствените невронни мрежи са опростен модел на биологичните невронни мрежи;
- невронните мрежи осъществяват разпределена паралелна обработка на входните данни;
- знанията в невронните мрежи се представят чрез теглата на връзките между отделните елементи (изкуствените неврони);
- невронните мрежи могат да решават сложни задачи, като за целта извършват относително малък брой стъпки;
- обучението е основен, съществен аспект на работата на невронните мрежи.

#### 1.3.2. Основни типове модели на невронни мрежи

Специалистите определят пет основни характеристики на невронните мрежи, които обикновено се използват за класификационни признаци при определянето на типовете модели. Това са: *топологията на мрежата, параметрите на обработващите елементи, типът на входните стойности, методът за обучение на мрежата и използваното обучаващо правило.* ( Poulton, 2001, Krieser, 2007, Нишева, Шишков 1995).

##### **Класификация според топологията на мрежата**

Най-често срещани са невронните мрежи съставени от няколко обособени (последователни) слоя от елементи, при които елементите от най-ниския слой играят ролята на входни устройства на мрежата (те възприемат сигнали от външната среда), а елементите от най-горния слой играят ролята на изходни устройства на мрежата (те извеждат резултата от работата на мрежата, който се получава на базата на входните сигнали и теглата на връзките между елементите). Обикновено при тези мрежи, връзките са еднопосочни и свързват елементите от един слой с елементи на слоя, разположен непосредствено над него. В зависимост от броя на слоевете в мрежата се говори за *двуслойни невронни мрежи* (при тях има само един входен и един изходен слой и липсват т. нар. *вътрешни* или *скрити слоеве*) и *многослойни невронни мрежи* (при тях има поне един скрит слой).

##### **Класификация според параметрите на елементите**

Тук от значение са посоката и теглата на връзките, видът на активационната функция и др.

Както беше посочено, връзките между невроните се извършват посредством входни въздействия. Всяка връзка се свързва с определено тегло. Ако то е положително, то връзката се нарича *възбуждаща*, ако е отрицателно – *потискаща*. Поради това изкуствените невронни мрежи могат да бъдат разгледани като ориентирани графи с тегловни връзки, в които изкуствените неврони се явяват възли.

По архитектурата на връзките изкуствените невронни мрежи могат да бъдат групирани в два класа: мрежи с право разпространение, в които графите нямат “примки” (това са т. нар. *прави мрежи*), и *рекурентни мрежи*, или мрежи с обратни връзки, при които всеки елемент е свързан с двупосочни връзки с всички свои съседи.

Най-разпространеният тип мрежа от първия клас се нарича многослоен персептрон. В тази мрежа невроните са разположени в слоеве и има еднопосочни връзки между слоевете. Мрежите с право разпространение се явяват *статични*, в смисъл че на зададен вход те

изработват една съвкупност от изходни стойности, независещи от предишното състояние на мрежата. Рекурентните мрежи са динамични, защото обратните връзки в тях модифицират входа на неврона, което води до изменение на състоянието на мрежата.

### ***Класификация според типа на входните и изходните стойности***

Входните стойности на мрежата (т.е. сигналите, които получават елементите от входния слой) могат да бъдат *двоични* (0 или 1) или *аналогови* (реални числа). Същото се отнася и за изходните стойности на мрежата. В случай, че изходните стойности на мрежата трябва да бъдат двоични се налагат допълнителни изисквания към вида на активационната функция.

### ***Класификация според обучаващото правило***

Най-често невронните мрежи се използват за решаване на задачи, свързани с разпознаване (класификация). При това създаването на мрежа, предназначена за решаване на дадена конкретна задача, обикновено се извършва по следната обща схема. Най-напред се определя топологията на мрежата, т.е. броят на слоевете и броят на елементите във всеки слой. Броят на елементите от входния слой се определя от размерността на входните данни, а броят на елементите от изходния слой – от броя на разпознаваните класове. Броят и размерите на скритите слоеве се определят итеративно в зависимост от предметната област и конкретната задача. След определянето на топологията на мрежата се преминава към нейното обучение, т.е. към определянето на подходящи стойности на теглата на връзките между елементите. За целта най-често първоначално се задават случайни стойности на търсените тегла, след което многократно се изпълнява следната процедура. Избира се пример от *обучаващото множество*. Този пример се състои от вектор от входни стойности и съответен вектор от правилни (желателни, очаквани) изходни стойности на мрежата. Правилото, по което се променят теглата на връзките, се нарича *обучаващо правило* (обучаващ алгоритъм) на мрежата.

Основно се прилагат два типа обучаващи правила:

- *правилото за обучение на перцептрона (алгоритъм за обучение с фиксирано нарастване)*
- *алгоритъмът за обучение с обратно разпространение на грешката (backpropagation algorithm).*

### ***Класификация според метода на обучение***

Съществуват три основни типа обучение на невронни мрежи – *обучение с учител* (надзиравано обучение, supervised learning), *обучение без учител* (самообучение, ненадзиравано обучение, unsupervised learning) и *смесено обучение*.

Обобщено, най-популярните модели невронни мрежи, алгоритмите за обучението им и типа на задачите които те решават са представени в Таблица 1.1.

Таблица 1.1.

Обучение	Обучаващо правило	Архитектура	Алгоритъм на обучение	Задача
С учител	Корекция на грешката	Еднослоен и многослоен перцептрон	Алгоритъм на обучение на перцептрона Обратно разпространение Adaline и Madaline	Класификация Апроксимация на функции Предсказване, управление
	Болцман	Рекурентна	Алгоритъм на обучение на Болцман	Класификация
	Хеб	Многослойна с право разпространение	Линеен дискриминантен анализ	Анализ на данни Класификация
	Съревнование	Съревнование		Векторно квантуване
Мрежа ART			ARTMap	Класификация

Без учител	Корекция на грешката	Многослойна с право разпространения	Проекция на Самон	Категоризация в клас Анализ на данни
	Хеб	Право разпространение или съревнование	Анализ на главните компоненти	Анализ на данни Сгъстени данни
		Мрежа Хопфилд	Обучение асоциативна	Асоциативна памет
	Съревнование	Съревнование	Векторно квантуване	Категоризация Сгъстени данни
		SOM Кохонен	SOM Кохонен	Категоризация Анализ на данни
		Мрежа ART	ART1, ART2	Категоризация
Смесено	Корекция на грешката и съревнование	Мрежа RBF	Алгоритъм на обучение RBF	Класификация Апроксимация на функции

В заключение следва да се подчертае, че за да се приложи успешно една невронна мрежа за решаване на реална задача е нужно правилно да се избере модела невронна мрежа, достатъчното количество информацията за обучение на невронната мрежа и алгоритъма за обучение със съответните параметри. От особена важност е количеството на входната информация на невронната мрежа и доброто ѝ структуриране, както и възможностите за интерпретация на решението дадено от невронната мрежа. Най-трудоемки са процесите при подготовка на данните за обучение и самото обучение на невронните мрежи.

Невронните мрежи притежават и някои ограничения, по-важните от които са:

- ниско бързодействие при голям брой процесорни елементи;
- могат да се обучават, но не е възможно да се разбере в даден момент какво те знаят и могат и какво не знаят и не могат;
- невъзможността да обяснят своето решение и пътя, по който са стигнали до него – невронните мрежи предлагат непрозрачно, неструктурирано представяне на знания;
- изискват сравнително дълъг период от време за обучение при голям брой възли в мрежата;
- липсата на ясен алгоритми за избор на функцията на активация и механизми, регулиращи работата на мрежата като цяло;
- прекомерната формализация на понятията "праг" и "тегловни коефициенти";
- необходимостта от много голям обем на обучаващата извадка - недостигът на данни довежда до построяване на модел, не отразяващ адекватно обекта.

Независимо от това невронните мрежи са едно перспективно направление за използване на неалгоритмичните подходи за постигане на интелигентно поведение.

## 2. ГЕОЛОЖКИ СТРОЕЖ И МЕТАЛОГЕННО РАЙОНИРАНЕ НА ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ

### 2.1. Общ преглед на съвременната представа за тектонския строеж на нашите земи

В началото на 80-те години на миналия век у нас навлизат идеите на плейт-тектониката. От края на 80-те години доминира хипотезата, че българските земи още от края на палеозоя са били част от южната периферия на Евразия. Тази активна крайна зона има сложна алпийска история, свързана със зараждането и затварянето на Тетиския океан (Палеотетис и Неотетис), субдукция под южния ръб на Евразия, израстване и отмиране на вулкански дъги, отваряне и затваряне на ръбни и рифтови басейни, акреция на микроконтиненти и колизии с различен мащаб и време на изява.

В последните години се налага идеята, че нашите земи (с изключение на Мизийската платформа) имат подчертано навлачен строеж (Иванов, Ж., 1998; Dabovski et al., 2002; Dabovski, 2006; Дабовски, Загорчев, 2009).

Иванов, Ж. (1998) отделя две първоразредни тектонски области: Балканидна орогенна система (елемент от северния клон на Алпийския ороген в ЮИ Европа) и Мизийска платформа (предземие на орогена).

За този автор **Мизийската платформа** представлява стабилна и незасегната от интензивното алпийско структурообразуване част на земната кора, консолидирана в края на късния палеозой.

**Балканидите** се разглеждат като сложно устроена орогенна постройка, разположена между Мизийската платформа и сутурата на Тетиския басейн. В строежа на Балканидите се разграничават три отделни единици: Външни Балканиди (с Централно-балканско-Предбалканска, Западнобалканска и Кулска зона), Междинни зони на Балканидите (Източнобалканска и Средногорска зона) и Вътрешни Балканиди (Краищенска и Сакар-Странджанска зона и Родопски масив).

**Наложените (посттектонските) понижения** са линейно ориентирани или изометрични, изпълнени с неогенски и кватернерни седименти (Dabovski et al. (2002), Dabovski (2006), Дабовски, Загорчев (2009) разграничават на територията на България Алпийска навлачна зона и Мизийска платформа, поделени на отделни зони (суперединици), единици и субединици.

**Алпийската навлачна зона** е поделена на две орогенни системи - Южнокарпатска и Балканска.

**Южнокарпатската орогенна система** е ограничено представена в северо-западната част на България.

**Балканската орогенна система** се подразделя на четири тектонски зони: *Балканска, Средногорска, Странджанско-Сакарска и Моравско-Родопска*. Седиментите на терциерните интраорогенни континентални и плиткоморски водни басейни покриват големи площи на Средногорската и Моравско-Родопската зона.

**Мизийската платформа** е изградена от относително недеформирани мезозойски комплекси с дебелина до 4-5 km, залягащи спокойно върху нагънат палеозойски фундамент и лежащи под палеогенски, неогенски и кватернерни отложения.

**Алпийската еволюция на Балканския полуостров** е тясно свързана с мезозойската и ценозойската история на Севернотетиската окрайнина на Източносредиземноморския регион (Dabovski et al., 2002; Dabovski, 2006). Днешната геоложка конфигурация на Средиземноморския регион се разглежда като резултат от отварянето и следващо затваряне на два океански басейна (Палеотетис и Неотетис) и допълнителни малки заддъгови басейни зад субдукционните зони в общ режим на продължителни вътрешни взаимодействия между Евразия и Афроарабската плоча. Затварянето на тези хетерогенни океански басейни формира система от дискретни орогенни зони с различен тектонски строеж, време на деформиране и вътрешна архитектура.

Субдукцията на север на Палеотетиската океанска кора през триаса предизвиква заддъгова екстензия, рифтинг и отваряне на малки океански басейни, следвано от късно-триаско затваряне на Палеотетиса и колизия на Кимерския терен с южната окрайнина на Евразия (Кимерски ороген).

През ранната юра се осъществява субдукция на Неотетиската океанска кора, съпроводена с формирането на нов заддъгов екстензионален режим покрай Евразийската окрайнина. Това е съпроводено с рифтинг и отваряне на нови океански басейни (Пиндос, Вардар, Измир-Анкара), следвани от среднокимерска (бартон) компресия и навличане в Сакар-Странджанската единица.

Към края на юрата спредингът на Вардарския океан генерира юрска островна дъга. Колизията на тази дъга със Сърбо-Македонско-Родопския масив по време на барем-апта предизвиква компресия, северновергентни навличания и инверсия на басейна (среднокредна орогенеза).

При следващата субдукция на Вардарската океанска кора под Сърбо-Македонско-Родопския масив се инициира къснокредната Банат-Средногорско-Понтидна вулканска дъга и Черноморското понижение като заддъгов басейн.

През маастрихта Вардарският океан се затваря и Пелагонският масив колизира със Сърбо-Македонско-Родопския масив, което предизвиква къснокредни навличания, инверсия на басейна и удебеляване на кората в Родопския регион.

Терциерната геодинамика бележи финала на структурирането на гънково-навлачната зона на Балканския полуостров. След къснокредното затваряне на Вардарския океан регионът претърпява серии от промени от екстензионна до компресионна тектоника, свързано с продължението на субдукцията на Апулийската плоча под южната Евразийска крайнина и затваряне на Пиндоския океан в късноеоценско време.

## **2.2. Източните Родопи като част от Моравско-Родопската зона**

### **2.2.1. Тектонска позиция на Моравско-Родопската зона**

**Моравско-Родопската зона** включва фрагменти от 6 тектонски единици (Георгиев, В., 2012). Те са обединени в една суперединица въз основа на няколко общи черти: обширни разкрития на високостепенни метаморфни комплекси; развитие на изолирани палеогенски басейни с континентални и плиткоморски седименти, асоцииращи предимно с кисел и среден по състав вулканизъм; главно среднокредни компресионни деформации и последвала от това къснокредно-терциерна екстензия и ексхумация.

### **2.2.2. Геоложки строеж**

В геоложкия строеж на Родопския масив традиционно се отделят метаморфен фундамент и палеогенски седиментно-вулканогенни единици. Фундаментът се разкрива в издигнатите блокове или куполите, а палеогенските седиментно-вулканогенни единици - в наложените понижения.

#### **Метаморфен фундамент**

Във фундамента на територията на България традиционно са отделяни два етажа - Прародопска (архай?) и Родопска (протерозой) надгрупа (Вергилов и др., 1963; Кожухаров, 1984, 1987, 1991; Кожухаров и др., 1988, 1992, 1994, 1995).

**Прародопската** (Огражденска; Загорчев, Динкова, 1991) надгрупа е изградена от високометаморфни скали (разнообразни гнайси, гранитогнайси и амфиболити, по-рядко гнайсошисти и шисти, на места с кианит и гранат, базични метавулканити), мигматизирани в различна степен.

**Родопската** надгрупа се състои от регионално метаморфозирани скали (разнообразни гнайсошисти, шисти, мрамори, амфиболити, базични метавулканити, метагабра и метадиабази, серпентинизирани перидотити и дунити).

В Източните Родопи (Ивайловградско и Североизточна Гърция) се разкриват зеленошистни метаморфни скали (Боянов и др., 1990), обединени в Мандришко-Маркинската тектонска единица (Dabovski et al., 2002). Тази зона се описва като късноюрски-среднокреден навлак над родопските високостепенни метаморфити, по-късно реактивиран като терциерен разлом на отделяне (Bonev, Stampfli, 2003). Тази единица вероятно се корелира с Околородопската зона, описвана в северната част на Вардарската зона в Гърция (Яранов, 1960; Dabovski, 2006; Бонев, Н., 2011).

Според Zagorcev (2002) въпреки оскъдните и ограничени данни съществуват достатъчно свидетелства за предкадомска възраст на протолитите и на стария метаморфизъм в Прародопската и Родопската надгрупа. Докамбрийският фундамент е преработен в различна степен в резултат на кадомски, херцински и алпийски магмени и тектонотермални събития.

Ivanov, Z. (2000) смята, че формирането на голямомащабните навлаци причинява регионален метаморфизъм на скалите в еклогитов или амфиболитов фациес. Този стадий завършва през ранноалпийско време.

Метаморфният фундамент е наситен обилно с магматични прояви. Те обаче са с недобре изяснена възраст и невинаги с ясно реконструиран първичен магматичен състав поради интензитета на наложения метаморфизъм. Те могат да се поделят условно на неопротерозойски, палеозойски и мезозойски прояви.



### **„Южнобългарски гранити“**

Сред метаморфните терени са внедрени множество гранитоидни плутонични тела. Допреди около 25 години те се възприемаха като еднотипни с подобните в Средногорието и се обозначаваха с общото име „южнобългарски гранити“. Всички те се възприемаха за палеозойски. С навлизане на изотопните методи за датироване с триаска възраст се оказаха само Игналищенският плутон и няколко по-малки тела в Огражден и Беласица. За телата в Родопския масив се доказва къснокредно-еоценска възраст (80-36 Ма) и те се определят като синколизонни и постколизонни плутони.

В Източните Родопи за Чучулигинския гранит се определя възраст 69 Ма, а за Розинския гранит - 68 Ма (Marchev et al., 2006). Изотопните характеристики на Sr и Hf подсказват, че те са продукти на мантийно генерирана магма с малък процент на коровия компонент.

По химичен състав скалите се определят като гранодиорити, гранити и левкократни гранити и висококалиевы гранодиорити, гранити и левкократни гранити, съответно от калциево-алкалната и висококалиево калциево-алкалната серия.

### **Седиментно-вулканогенни комплекси**

Наложените върху метаморфния фундамент понижения са изпълнени със седиментни и вулкански скали.

В изолирани разкрития в основата на пониженията се установяват палеоценски седиментни скали. В Източните Родопи това е Крумовградската група (Горанов, Боянов, 1996), в Централните Родопи - Лъкинската група (Кожухаров и др., 1991), а в Югозападна България - Парилската свита (Загорчев, 1995). Всички те са в континентален фациес.

Над палеоценските седименти или директно върху метаморфния фундамент лежат еоценски (приабонски) и олигоценски седименти. В основата се отлагат грубо-теригенни скали, а в по-високите части на разреза - главно пясъчливи разновидности или флишоидни последователности. На места се установяват и рифови варовици. Първоначално те се отлагат в континентални условия, а впоследствие - в плиткоморски.

Върху седиментните скали, а рядко и непосредствено върху метаморфния фундамент, се разполагат огромно количество разнообразни вулкански скали.

### **2.2.3. Късноалпийска еволюция**

Родопите се разглеждат като част от алпийска навлачна постройка (Иванов, Ж., 1998), възникнала през колизионния етап от развитието на орогена върху северната крайнина на Тетиския океан в условия на компресия (Ricou et al., 1999; Ivanov, Z., 1989, 2000; Dabovski et al., 2002, и др.). Възрастта на навличанията е дискуссионна и вероятно е многоактна - средна юра, ранна креда, късна креда (Dabovski et al., 2002).

През късната креда по Вардарската и Интрапонтидната зона се осъществява субдукция на тетиската океанска земна кора в североизточна посока. В резултат се формира Средногорската островнодъгова система. Моравско-Родопската зона се разглежда като фронтална дъга на тази система (Dabovski et al., 2002). В края на късната креда се осъществява колизия на Африканската и Евроазиатската континентална плоча. Формират се голямомасабни синметаморфни навлаци, което довежда до значително удебеляване на земната кора (Ivanov, Z., 2000). Това причинява термална релаксация и създаване на двуслойна система - горна крехка и долна пластична кора (Lister, Davis, 1989; Ivanov, Z., 2000). В резултат на изостатични деформации в частично разтопената долна кора се достига до екстензия и възникване на поредица от метаморфни ядрени комплекси (куполи). Тези куполи имат сходен строеж и синхронно развитие. В ядрата им (долната пластична кора) се разкриват високостепенни метаморфити, засегнати от силна мигматизация и анатексис (метагранити, мигматити, мигматизирани гнайси, еклогити, еклогитови амфиболити и анатектити). По периферията на куполите (горна крехка кора, „пъстър комплекс“) се разкриват разнообразни гнайси, амфиболити и мрамори, както и серпентинизирани ултрабазити. В горната крехка кора се внедряват синтетектонски и посттектонски гранитоидни плутони (Ivanov, Z., 2000).

В общия случай Прародопската и Родопската надгрупа отговарят съответно на мигматитов комплекс (долна пластична кора) и „пъстър“ комплекс (горна крехка кора) от терминологията на екстензионната тектоника. На съответните геоложки карти границите между тях не се различават съществено.

През късния стадий на екстензия става ексхумация на мигматитите от ядрената част на куполите. Кулминацията на тези процеси настъпва през еоцена (Ivanov, Z., 2000).

Във връзка с ексхумацията и тектонската ерозия на синметаморфния навлачен комплекс възниква система от слабо наклонени разломи на отделяне и свързани с тях синтетични и антитетични стръмни разломи. Тези разломи на отделяне са реактивирани навлачни повърхнини или новообразувани разломи на срязване, пресичащи косо границите на скалните комплекси и предшестващите разломи (Ivanov, Z., 2000).

Между куполите на метаморфните ядрени комплекси и по периферията им се формират наложени, грабеновидни понижения (Georgiev, 2004, 2005). Те са арена на сладководна до плиткоморска седиментация (палеоцен-еоцен) и интензивен вулканизъм (еоцен-олигоцен, на юг в Гърция и миоцен).

### ***Терциерни сводове и понижения***

Гънковите структури на метаморфния фундамент са обсъждани многократно в литературата. Доскоро доминиращо бе мнението за северозападната ориентация на основните гънкови структури - Севернородопска, Централнородопска и Южнородопска антклинала със синклинали между тях. Те са усложнени от напречното Маданско-Давидковско подуване. Предполага се докамбрийска или каледоно-херцинска възраст на основното гънкообразуване. Палеогенските понижения се разглеждат предимно като грабенови структури, контролирани от късноалпийски разломи (Бояджиев и др., 1971; Кожухаров, 1971).

Вапцаров, Делинска (1980) предполагат палеогенска възраст на сводовите подувания в Родопския масив. Иванов, Р. (1983, 1984) също приема терциерна възраст на образуване на сводовите структури в Сърбо-Македоно-Родопската зона. Предполага и връзка между сводово-блоковите движения и палеогенския магматизъм.

Ivanov, Z. (2000) обвързва образуването на сводовите структури с процесите на екстензия през палеогена и формирането на метаморфните ядрени комплекси.

В Родопския масив се отделят Западнородопски, Централнородопски и Източнородопски комплексен купол (Georgiev, 2006). Дефинирани са като комплексни куполи, защото са усложнени от по-високоразредни куполи и синклинално подобни гънки с наложени понижения между тях.

### ***Късноалпийска екстензия и магматизъм***

Продуктите на късноалпийския магматизъм очертават широка дъговидна на магмена активност от Сърбо-Македонския и Родопския масив ( $K_2-Pg_3$ ), през Егейските острови и Западна Турция ( $N_1$ ) до Южноегейската вулканска дъга ( $N_2-Q$ ).

Разкритията на палеогенските магматични комплекси оформят пояс с направление северозапад-югозток, дължина над 1200 km и ширина до 130 km. Той се следи от Словения и Сърбия, през Македония, България и Гърция до Европейска Турция. Магматизмът е концентриран главно в Сърбо-Македонския и Родопския масив и около техните граници. Само в западната си част поясът пресича Вардарската зона и завива на запад по северната периферия на Динаридите.

Палеогенският магматизъм е пряко свързан с процесите на екстензия в Моравско-Родопската зона. Контурите на магматичната зона обаче невинаги съвпадат точно с границите на тази тектонска зона. На територията на България този магматизъм се установява както в Краищидите, така и в Средногорската и Сакарската зона (Горнотракийската депресия), но около границите на Родопския масив.

### **2.3. Геоложки строеж на Източните Родопи**

#### **2.3.1. Тектонска подялба**

Според възприетата от Георгиев, В. (2012) схема в резултат на процесите на късноалпийска постколизийна екстензия в разглеждания район се формират няколко метаморфни ядрени комплекса (куполи) - Маданско-Давидковски, Добралъшки, Белоречки и Кесебирски. Кесебирският купол е с ограничени размери и може да се разглежда като паразитна (второразредна) структура на Белоречкия купол, които са обединени в Източнородопски комплексен купол (Georgiev, 2006). Маданско- Давидковският купол е първоразрядна структура в Централнородопския комплексен купол. Добралъшкият купол се разполага в северната част на Централнородопския комплексен купол като второразрядна структура.

В ядрата на куполите се разкриват високостепенни метаморфити, засегнати от силна мигматизация (метагранити, мигматити) - мигматитов комплекс. По периферията на куполите се разкриват разнообразни гнайси, амфиболити, мрамори и серпентинизирани ултрабазити - пъстър комплекс (Найдутков, 2002).

Късноалпийската граница на обхванатия от екстензия Родопския масив се бележи добре от последните метаморфни промени във фундамента на масива. За Източните Родопи тази граница минава по Златоустовската дислокация (Milovanov, 1989). Харманлийският блок на североизток от тази структура не е обхванат от екстензия и по това време е един инертен блок. Получените за него възрасти (145-115 Ma) се дължат на по-стар метаморфизъм, протекъл при различна геодинамична обстановка през ранноалпийско време. Този блок се възприема като фрагмент от Сакарската единица.

Между отделните куполи и по периферията им се налагат понижения (Georgiev, 2005). Тяхното формиране започва още през палеогена, преди окончателната ексхумация на ядрените комплекси.

В геоложкия строеж на Източните Родопи се отделят метаморфен фундамент и палеогенски седиментно-вулканогенни комплекси. Метаморфният фундамент се разкрива в издигнатите блокове или куполи, а седиментно-вулканогенните комплекси - в наложените понижения. В северната част на района значително разпространение намират неоген-кватернерите отложения.

#### **2.3.2. Метаморфен фундамент**

Фундаментът е изграден от скали, метаморфозирани предимно в амфиболитов (или еклогитов) и само в най-горните части на разреза, на места - в зеленошистен фациес. При неговото изучаване са използвани два подхода - литостратиграфски (Кожухаров и др.; Боянов и др.; Горанов и др.) и литотектонски (Саров и др.). Привържениците на литостратиграфския подход на практика отхвърлят наличието на навлаци и разломи на отделяне и значението им за корелацията на разрезите. Радетелите на литотектонския подход не отделят литостратиграфски единици в пределите на тектонските единици.

#### **Високостепенни метаморфити**

В тях, съгласно литостратиграфския подход, традиционно са отделяни Прародопска и Родопска надгрупа (Кожухаров и др.; Боянов и др.; Горанов и др.).

*Прародопската надгрупа* е изградена от високометаморфни скали (разнообразни гнайси, гранитогнайси и амфиболити, по-рядко гнайсошисти, шисти, базични метавулканити), мигматизирани в различна степен.

*Родопската надгрупа* се състои от регионално метаморфозирани скали (гнайсошисти, шисти, мрамори, амфиболити, базични метавулканити, метагabra и метадиабазити, серпентинизирани перидотити и дунити), които се разкриват по периферията на куполните структури.

Саров и др. (2004, 2008а, б...) отделят в метаморфния фундамент литотектонски единици. Те включват литоложки обособени тела, стратифицирани по отношение на наложената и проникваща фолиация. Две или повече литотектонски единици, претърпели сходна тектоно-метаморфна еволюция, изграждат метаморфен терен. Литотектонските единици се отделят на базата на: регионално проявени гранични зони на срязване или трансгресивно разположение на неметаморфозирани и възрастово датирани скални последователности; съществени различия в литоложкия пълнеж; забележими разлики в степента и характера на метаморфните изменения; разлики в структурните характеристики, включително и посоката на синшистозния транспорт.

В разглеждания район те отделят Централнородопски, Източнородопски и Сакарски метаморфен терен.

*Централнородопският метаморфен терен* се ограничава на изток от Боровишката отседна зона, на север от Маришката отседна зона, на запад от палеогенските седименти и вулканити на Брацигово-Доспатското понижение. На юг остава отворен, навлизайки в територията на Северна Гърция. Изграден е от преобладаващо гранитоиден тип земна кора с дебелина над 40 km. (Йосифов, Пчеларов, 1977, Йосифов, Георгиева, 2018; Georgieva, Nikolova, 2013, Георгиева, 2013))

*Източнородопският метаморфен терен* се отличава съществено по характера и дебелината на земната кора, която е тектонски разслоена, значително по-тънка и с положително гравитационно поле (Йосифов, Пчеларов, 1977; Велев, 1996; Саров и др., 2008). Теренът обхваща метаморфните скали, в които участват големи пластини от серпентинизирани ултрабазити, еклогити и метагабра. На север теренът е ограничен от Маришката отседна зона (има се предвид Златоустовската дислокация), на запад - от Боровишката зона, а на изток - от покриващите го палеогенски и неогенски седименти в района на Ивайловград.

*Мигматитовият комплекс* изгражда ядрата на куполите и е представен от метагранити, мигматити, мигматизирани гнайси, еклогити, еклогитови амфиболити и анатектити. Той отговаря на Прародопската група (Кожухаров и др.; Боянов и др.; Горанов и др.), на Ардинската, Кесебирската и метагранитите от Белоречката единица по Саров и др. или на долната високостепенна единица с континентален произход по Bonev (2006) и Bonev et al. (2006).

*Пъстрият комплекс* се разкрива в мантията на куполите и е представен от разнообразни гнайси, амфиболити и мрамори, както и офиолитови пластини със серпентинизирани ултрабазити. Той съответства на Родопската надгрупа (Кожухаров и др.; Боянов и др.; Горанов и др.), на Маданската, Асенишката, Старцевската, Мандришката, Белоречката (без метагранитите), Крумовишката, Девисилската, Кесебирската, Кърджалийската и Боровишката единица по Саров и др. (2004, 2008а, б...) или на горната високостепенна единица със смесен континентално-океански произход по Bonev (2006) и Bonev et al. (2006).

### ***Зеленошистни метаморфити***

В Сакарската единица се разкриват палеозойски и мезозойски скали, метаморфозирани в зеленошистен фациес. Тук Саров и др. (2008а, б...) отделят *Сакарски метаморфен терен*. В изграждането на терена участват палеозойска подложка и трансгресивно залягащите върху нея триаско-юрски метаморфозирани седименти. Палеозойската подложка е изградена от метаморфозирани гранити и тяхната рамка от биотитови гнайси, амфиболити, ултрабазити и др. Триаско-юрската последователност е представена от метаморфозирани в зеленошистен и анхиметаморфен фациес седименти на долния и средния триас.

В Източните Родопи (Ивайловградско и СЗ Гърция) се разкриват зеленошистни метаморфни скали, обединени в Мандришко-Маркинска единица (Dabovski et al., 2002).

Тази зона се описва като късноюрско-среднокреден навлак над родопските високостепенни метаморфити, по-късно реактивиран като терциерен детачмънт (Bonev, Stampfli, 2003). Разрезът включва в основата зелени шисти, покрити от меланж от юрско-

долнокредни вулканогенно-седиментни последователности и горнокредни седименти и вулкани. Тази единица вероятно се корелира с Околородопската зона, описвана в северната част на Вардарската зона в Гърция (Dabovski, 2006).

### ***Плутогенен гранитоиден магматизъм от ранния екстензионен етап***

Този магматизъм е локализиран изключително във вътрешните части на куполите, където изгражда значителни по размери плутонични тела. В разглеждания район те са с доста по-скромни размери в сравнение с тези в Западнородопския комплексен купол.

*Припекският плутон* е разположен в източната периферия на Маданско- Давидковския купол и е най-голямото плутонично тяло в разглеждания район. Изграден е главно от двуслюдени гранити. С него са свързани пегматитови и аплитови жили и дайкови тела.

*Дранговският плутон* се разкрива югоизточно от с. Добромирци. Той е изграден главно от гранодиорити, двуслюдени гранити и левкократни гранити. В този плутон се отделят две фази - гранодиоритова и левкогранитова. Повечето от минераложките, петрохимичните и геохимични характеристики ги отнасят към I тип гранити.

*Чучулигинският плутон* се установява в северната периферия на Белоречкия купол. Изграждащите го скали са двуслюдени гранити и левкократни гранити.

*Юговски тип гранити.* В района между гр. Лъки и с. Югово се разкриват няколко такива тела. Тези скали попадат в полето на гранитите и кварцовите сиенити, до субалкалните гранити.

### ***2.3.3. Ценозойски седиментно-вулканогенни единици***

В основата на седиментно-вулканогенните последователности доминират седиментните скали, а в по-високите части на разреза - предимно вулкански. Вулканските скали от своя страна се покриват от неогенски и кватернерни седименти.

#### ***Палеоцен-еоценски седиментни единици***

##### ***Палеоцен***

*Крумовградската група* е представена от отделни разкрития на теригенни палеоценски седименти в основата на пониженията. Те се разполагат над метаморфния фундамент с трансгресивна и дискордантна граница. На места границата е тектонска по разломи на отделяне (detachment). Покриват се също трансгресивно и дискордантно от виолетово-червения конгломерат или пясъчниците на горния еоцен.

##### ***Горен еоцен (приабон)***

Над палеоценските седименти или директно върху метаморфния фундамент с трансгресивна граница залягат еоценски (приабонски) седименти. И при тях в основата се отлагат груботеригенни скали, а в по-високите части на разреза - главно пясъчливи разновидности или флишоидни последователности. На места се установяват и рифови варовици, чиято дебелина достига до 50 и повече метри. Тези седименти отначало се отлагат в континентални условия, а впоследствие - в плиткоморски.

#### ***Еоцен-олигоиенски вулканогенни и седиментно-вулканогенни единици***

##### ***Магматични групи и комплекси***

Вулканизмът в Момчилградското, Североизточнородопското и Златоустовското понижение и Кърджалийския блок е добре засебен в отделни ареали и се отличава със сравнително независимо развитие. Във всяко понижение са локализирани средни по състав вулкански постройки. В някои от тях последните фази са с кисел състав. В отделните понижения в най-голямата вулканска постройка е внедрен комагматичен плутон. Неголеми монзонитоидни плутони са внедрени и в рамките на пониженията.

Магматичните групи имат засебен ареал на развитие и са резултат от еволюцията на различни периферни магмени камери със среден или кисел състав.

## ***Олигоцен-кватернерни седиментни единици***

### ***Олигоцен-миоцен***

Седиментите на *Драгойновската свита* лежат върху Драгойновския латитов комплекс. Покриват се дискордантно от материалите на Ахматовската свита.

Свитата е изградена главно от средно- до дебелопластови пясъци и пясъчници, които на места преминават в дребнокъсови конгломерати. Те се редуват с глини, глинести алевролити, конгломерати и малки лещи от лигнитни въглища. На места, в южните разкрития, се установяват тънки слоеве от кисели пирокластични.

*Вълчеполската свита* се описва в рамките на Бряговско-Вълчеполското понижение. Седиментите на свитата залягат трансгресивно върху тези на Белипласткия риодацитов, Маджаровския латитов и Перперешкия трахириолитов комплекс. В повечето случаи пряка подложка е изветрителната кора, развита върху тези комплекси.

*Маришката свита* се разкрива северозападно от гр. Харманли. Контактът ѝ с метаморфния фундамент е тектонски. Покрива се трансгресивно от Ахматовската свита. Тя е изградена от глини, пясъци, пясъчници, чакълни и гравийни конгломерати.

### ***Неоген***

*Ахматовската свита* (Драгоманов и др., 1981, 1984) има широко разпространение в североизточните части на района, където изпълва голяма част от Горнотракийското понижение. Тя е изградена от пясъци, пясъчници, глини, варовици, гравии и чакъли. За тях са характерни бързи фациални преходи във вертикална и хоризонтална посока. Дебелината на свитата варира от 120 до 350 м.

Седиментите са алувиални и пролувиални и са свързани с развитието на речната система на Палеомарица. Отделят се три макроцикъла - меотски, понто-датски и горноплиоценски или еоплейстоценски.

### ***Кватернер***

*Кватернерните наслаги* имат повсеместно разпространение, но са най-обилно представени в североизточните части на площта.

Елувиалните отложения имат ограничено разпространение.

Пролувиалните, алувиално-пролувиалните и пролувиално-делувиалните отложения се установяват главно в северното подножие на рида Гората (Ибреджекски хорст), както и в североизточното подножие на Родопите в района между Асеновград и с. Искра.

Алувиалните отложения са най-широко представени в долината на реките Марица (дебелина до 30 м), Арда, Харманлийска (Олу дере) и Хасковска.

## ***2.4. Металогенно райониране на Източните Родопи***

Металогенната специализация на Източнородопското комплексно понижение е пряко отражение на специфичния му вътрешен строеж. Североизточнородопското, Момчилградското и Златоустовското понижение имат сходна тектонска позиция, среден до кисел състав на магматизма и се характеризират с аналогична металогенна изява – доминиращи са златно-полиметалните орудявания. Кърджалийският блок има особена структурна позиция. Той има и специфичен магматизъм – изключително с кисел състав. В резултат и металогенната му специализация е съвсем различна. В него са локализирани изключително неметални полезни изкопаеми – зеолити и перлити.

В Източнородопския комплексен купол златно-полиметалните орудявания също имат водеща роля, но значително разпространение имат и докъсноалпийските хромови и железни орудявания, както и палеогенските синметаморфни азбестови и талкови минерализации. Всички те асоциират с офилолитовите асоциации в метаморфния фундамент. Тук се установяват и мусковитови и фелдшпатови пегматитови минерализации, свързани с гранитоидните плутони.

Във връзка с темата на дисертационния труд, основно внимание се отделя на Източнородопския руден район. За орудяванията в Централнородопския руден район е направен съвсем кратък преглед с оглед съпоставяне на двата района.

#### **2.4.1. Източнородопски руден район**

Този район обединява площите с преимуществено разпространение на златни и златно-полиметални орудявания в Източните Родопи. Тези орудявания са генетично или парагенетично свързани с късноекстензионния магматизъм. Рудният район включва изцяло Източнородопското комплексно понижение и Източнородопския комплексен купол. В него се обособяват съответно *Североизточнородопски, Момчилградски, Златоустовски и Югоизточнородопски рудни подрайони*, както и *Кърджалийски подрайон на неметални суровини (индустриални минерали и скали)*, (Георгиев, В., 2012).

##### **Североизточнородопски руден подрайон**

Този руден подрайон съвпада пространствено със Североизточнородопското понижение. То се разполага между Централнородопския комплексен купол и Харманлийския блок. Важно значение за локализирането му играе Буковският разломен сноп, който е с изток-североизточна посока. На запад то се вклиня между Добралъшкия и Маданско-Давидковския купол на Централнородопския комплексен купол. Понижението е с площ около 1500 km<sup>2</sup> и е изпълнено с палеогенски седиментни и вулкански скали.

Североизточнородопското понижение се характеризира с разнообразен набор от полезни изкопаеми. Водещо значение имат златно-полиметалните хидротермални и урановите инфилтрационни орудявания. Те са концентрирани съответно в Спахийевското и Хасковското рудно поле – в източната рамка на Боровишката калдера.

##### **Момчилградски руден подрайон**

Този подрайон съвпада пространствено с Момчилградското понижение. То е изтеглено в изток-североизточна посока и се разполага между Маданско-Давидковския (на северозапад) и Кесебирския и Белоречкия (на югоизток) купол. На север граничи с Кърджалийския блок. Понижението се разкрива на площ от около 1500 km<sup>2</sup>, южно от река Арда, в района на градовете Джебел, Момчилград и Крумовград.

Металогенията на Момчилградското понижение е доминирана от златни хидротермални и Au-полиметални хидротермални орудявания, локализирани съответно в Крумовградското и Звездел-Пчелоядското рудно поле. Те са парагенетично свързани с продуктите на Дамбалската магматична група.

##### **Златоустовски руден подрайон**

Този руден подрайон съвпада със Златоустовското понижение. Последното се формира около източната част на Златоустовската дислокация (Georgiev, 2002). То заема площ от около 1200 km<sup>2</sup>. Това понижение включва Маджаровското стъпало, Бряговско-Вълчеполското понижение, Ибреджекския хорст и Лозенското понижение като структури от по-висок ранг.

В Златоустовското понижение се засебават два ареала на разпространение на вулканизма. В района на Маджаровското стъпало (най- южната част на понижението) вулканитите са със среден състав и изграждат Маджаровския вулкан (*Маджаровско рудно поле*) и няколко по-малки сателитни вулкански постройки. Тук се обособява Маджаровската средна магматична група. Другият вулкански ареал е локализиран около източната периферия на Златоустовската дислокация. Вулканските скали тук са изключително с кисел състав. Те изграждат Лозенския вулкан (*Лозенско рудно поле*), Светамаринския вулкан и Шейновския блок. Тук се отделя Златоустовската кисела магматична група.

##### **Югоизточнородопски руден подрайон**

Този подрайон включва изцяло Източнородопския комплексен купол и с известна условност Мандришкото и Капиново-Кушла понижение, както и най-югоизточните крайнини на Маданско-Давидковския купол. И тук водещо значение имат

златно-полиметалните орудявания. Наред с това поради обширните разкрития на метаморфния фундамент съществено разпространение намират докъсноалпийските хромови и железни орудявания, синметаморфните азбестови, талкови и магнезитови минерализации, както и пегматитовите мусковитови, фелдшпатови и на ювелирен кварц находища и проявления. Поради това металогенният му облик е по-пъстър.

#### ***Кърджалийски подрайон на неметални суровини***

Този подрайон пространствено съвпада с Кърджалийския блок. Той се разполага между Централнородопския и Източнородопския комплексен купол и Харманлийския блок, както и между Североизточнородопското, Момчилградското и Златоустовското понижение. Освен географски този блок заема и хипсометрично междинно положение. Той е елемент от Източнородопското комплексно понижение, но в него дълбочините до метаморфния фундамент са по-малки. Това е един сравнително издигнат блок в рамките на пониженето, макар че се разполага в средата му. Границите на този блок с околните понижения са в значителна степен условни. Площта му е около 800 km<sup>2</sup>.

Този район има специфична металогенна специализация. Включва неметалните полезни изкопаеми, свързани предимно с киселите и в подчинено количество със средните изяви на късноекстензионния магматизъм, съсредоточени главно в района около гр. Кърджали. От металните полезни изкопаеми са установени главно отделни уранови проявления и златното хидротермално находище *Стремци*.

#### ***2.4.2. Централнородопски руден район***

Във връзка с темата на дисертационния труд накратко се разглежда само източната част на Централнородопския руден район. Той асоциира с Централнородопския комплексен купол (Георгиев и др., 2007).

Основна първоразрядна структура в Централнородопския комплексен купол е Маданско-Давидковският купол. В ядрото му се разкриват мигматизирани гнайси, а по периферията му - пъстрият метаморфен комплекс (Ivanov, Z., 2000). Северната му периферия е деформирана от Широколъшкия, Лясковецкия и Добралъшкия купол от по-висок ред. От тях в разглеждания район влиза само част от Добралъшкия купол.

Между Широколъшкия, Лясковецкия и Добралъшкия купол се разполага Хвойненският грабен. Той е изпълнен с олигоценски седименти и предимно кисели вулкански скали. Между Маданско-Давидковския купол, от една страна, и Широколъшкия и Лясковецкия купол, от друга, се вклиня Смолянското понижение.

Металогенният облик на този район се оформя от оловно-цинковите находища, локализиращи изключително в Маданско-Давидковския купол. В него се обособява и *Маданско-Давидковски руден подрайон*.

В северната част на комплексния купол, в района на с. Югово, се установяват няколко гранитоидни тела от ранноекстензионния магмен етап. С тях асоциират молибденови, волфрамови, уранови и флуоритови находища и проявления, обединени в *Югово-Нареченския руден подрайон*.

#### ***2.4.3. Харманлийски блок***

Това е един сравнително стерил блок със спорадични минерализации.

*Торий-редкоземната индикация Иваново* е локализирана сред т.нар. Изворовски метагранити. В района на ториевата аномалия посредством неутронно-активационен анализ са установени аномално високи съдържания на редки земи от цериевата.

В Стамболовия фрагмент на Харманлийския блок се описват две *уран-полиметални хидротермални индикации*. Минерализациите са от пирит и халкопирит. В проявление Жълти бряг се установяват и галенит, сфалерит, молибденит и отунит. Хидротермалните промени са аргилизитов тип.



### 3. МЕТАЛОГЕННО ПРОГНОЗИРАНЕ ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА ИЗТОЧНИ РОДОПИ ПО КОМПЛЕКС ОТ ПРИЗНАЦИ

#### 3.2. Геофизични полета в Източни Родопи и връзката им с литолого-петрографските характеристики на скалите и геоложките структури

##### 3.2.1. *Източници на аномалии в Родопския масив*

За формирането на геофизичните аномалии имат значение не само абсолютните стойности на физическите параметри на скалите, но и геоложките структури, в които те се намират. Ако скалите се различават по стойностите на физическите параметри, то обикновено не възникват затруднения при анализа на източниците на аномалии. Особено важна е ситуацията, когато средните стойности на плътността или намагнитеността не се отличават съществено и различията във физическите полета следва да се търсят в различната структура на скалите, особеностите на геоложките нееднородности и други фактори.

В структурния геоложки строеж на Родопския масив гнайсите от докамбрийския метаморфен комплекс заемат важно място. За гнайсите е характерен разнообразният състав и нееднородност, което се отразява в значителен диапазон на вариации на плътността и магнитната им възприемчивост и съответно на различния характер на гравитационното и магнитно поле над тях. В регионален план гнайсите имат относително най-висока плътност. В общи линии разпределението на гравитационното поле над тях се диктува от докамбрийския структурен план на Родопския масив.

На територията на Родопския масив, особено в западната му част, широко разпространение имат гранитоидите. Те са представени от южнобългарските и пирински гранити, които често се намират в сложни преходи с гнайсите. Гранитоидите се характеризират с. понижени плътността по отношение на гнайсите от докамбрийския метаморфен комплекс и се отделят с добре обособени отрицателни гравитационни аномалии. По магнитна възприемчивост гранитите практически не се различават от гнайсите, което намира потвърждение и върху картата на магнитното поле.

Скалите от седиментния комплекс, широко застъпени в между планинските котловини на Родопския масив, се характеризират с понижена плътност и формират добре обособени отрицателни гравитационни аномалии. Ефузивните скали от алпийския комплекс на Родопския масив имат относително понижени плътности, което се отразява върху картата на гравитационното поле чрез формиране на отрицателни аномалии в районите, където проявяванията им са с относително голяма дебелина. С повишената магнитна възприемчивост на тези скали са свързани някои положителни аномалии.

Съществено влияние върху гравитационното и магнитното поле оказва сложната разломна тектоника на Родопския масив.

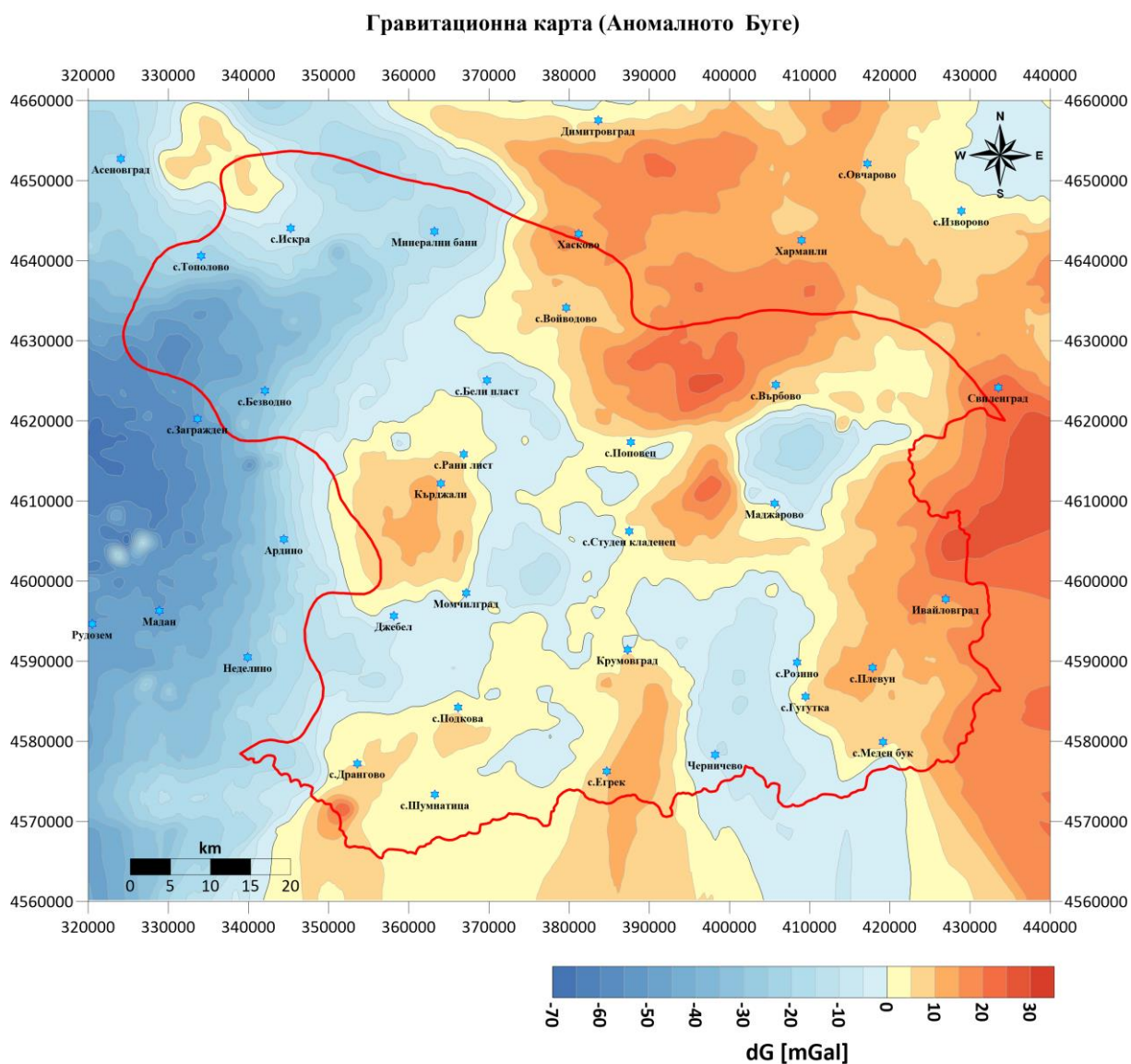
Разломните проявявания от различен порядък намират потвърждение върху гравитационната карта. Разломите с дълбоко заложение се маркират с добре изразени гравитационни преходи на регионалното поле.

Множество научни изследвания разглеждат възможностите за прилагане на геофизични критерии при металогенното райониране на Родопския район (Йосифов и др., 1987, 1988, 1992, 1996; Йосифов, 1987; Цветков и др., 1989; Дайски др., 1986; Цветков, 2005; Нафтали и др., 1987; Йовчев и др., 1988. Саров и др. 1994, 1995, 2008)

##### 3.2.2. *Обща характеристика на потенциалните полета за територията на Източни Родопи*

Наблюдаваното гравитационно поле в аномалии Буге за територията на Родопския масив най-обобщено се характеризира със съчетаване на добре обособена, обхващаща Западни Родопи зона с понижени стойности  $\Delta g$  и положително поле в Източнородопския район, разделен от интензивен гравитационен преход със субмеридионално простиране. Аномалиите от първи порядък са усложнени от многочислени аномалии от по-висок порядък с линейна и

изометрична конфигурация, което придава на наблюдаваното поле сложен мозаичен вид (Фиг. 3.1).



Фиг. 3.1. Карта на разпределението на гравитационно поле (аномалии Буге) за територията на Източнородопския район

Съставните характеристики на гравитационното поле се изследват чрез неговите трансформации. Регионалните съставки намират отражение в осреднените полета и пренесените в горното полупространство стойности на наблюдаваното поле. Локалните аномалии се изявяват в остатъчните полета от осредняването и аналитичното продължение в горното полупространство, във вариационните карти по Андреев-Грифин, вертикалните производни на полето и пренасянето му в долното полупространство.

Върху осредненото поле на силата на тежестта, което отразява главно разпределението на плътностните маси, на дълбочини няколко километра, се отделят два региона - западен с отрицателни стойности на полето и източен - с положителни (Фиг. 3.2). Рило-Западнородопската аномалия е напълно оформен елемент на регионалното гравитационно поле на територията на България. Тя се отделя с добре очертани гравитационни преходи, има северозападно простиране и заема територия от приблизително около 12 000 км<sup>2</sup>.

Източната положителна регионална зона обхваща Източни Родопи и Сакар. Тя се ограничава от запад, северозапад и север с интензивни гравитационни преходи, а на изток остава отворена. Областта на Сакарската антиклинала оформя относителен минимум с изометрична форма, който се обуславя от дълбоко заложеното ѝ гранитно ядро.

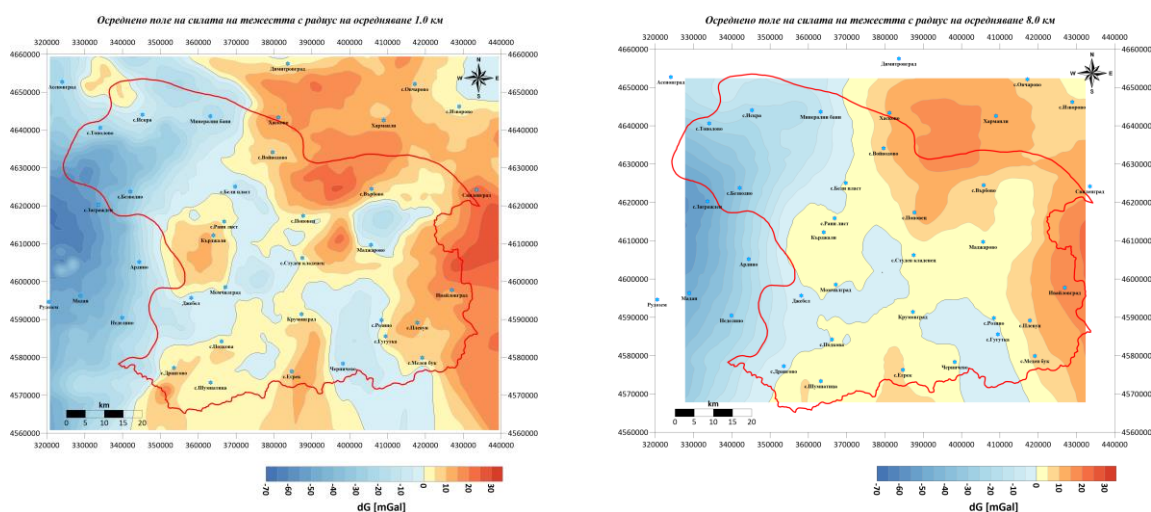
Полето на силата на тежестта при аналитично продължение в горното полупространство съдържа регионалните особености на осредненото поле, като амплитудата на аномалиите е по-малка (Фиг. 3.3). Бързо намалява хоризонталният градиент на гравитационните преходи и особено този на Централнородопския.

Разпределението на вертикалната производна на силата на тежестта отрязва влиянието на повърхностните зони (с дълбочинност до около 5 км.), като регионалният гравитационен ефект е силно ретуширан. Локалните аномалии се представляват на фона на окрупнените структурни елементи на Родопския масив, като Рило-Западнородопския антиклинорий, Централнородопския антиклинорий, Източнородопския антиклинорий, Момчилградското понижение. Добро проявление като напречна структура има Брацигово-Доспатското понижение.

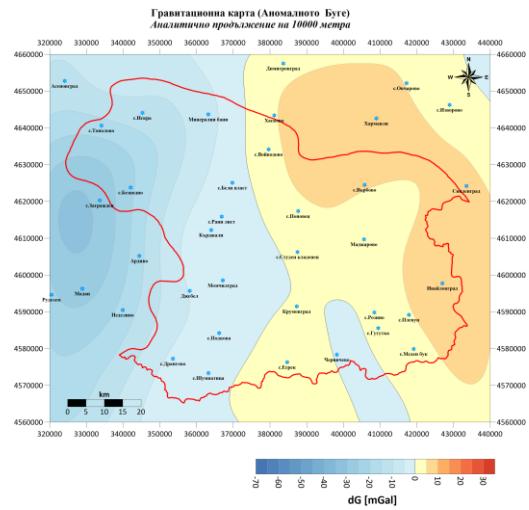
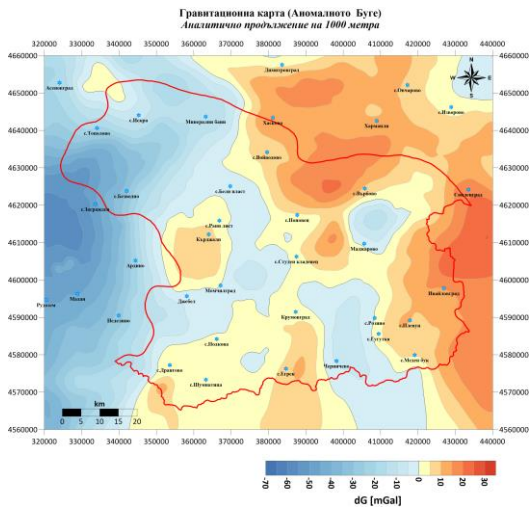
Вариационните аномалии по метода на Андреев-Грифин (Фиг. 3.4) както и остатъчните гравитационни полета от аналитичните продължения в горното полупространство (Фиг. 3.5) и от аритметичното осредняване отразяват тектонския строеж на приповърхностните структури на земната кора, включително до съвременния ерозионен срез.

Трансформираните полета взаимно се допълват по информативност. Най-обобщено по степен на локализация на аномалиите те се подреждат съответно: остатъчното поле от аналитичните продължения в горното полупространство, вариационните аномалии по Андреев-Грифин, остатъчното поле от осредняването.

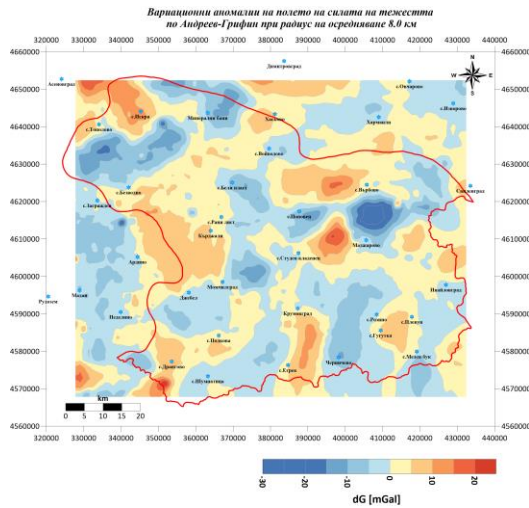
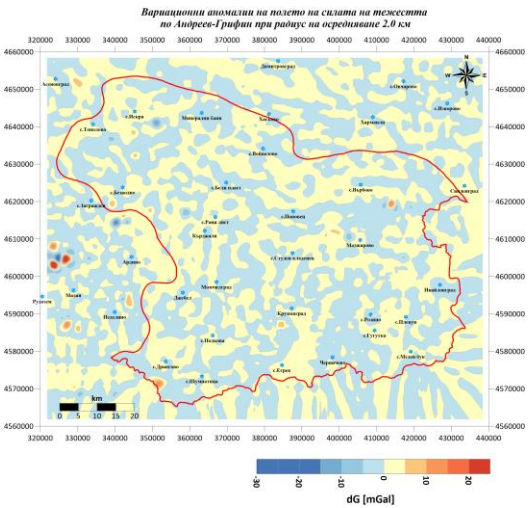
Локалните гравитационни полета се характеризират със сложна морфология, което отразява структурно-тектонския строеж на повърхностните зони, изграждащи геоложкия разрез на Родопския масив. В общи линии върху картите намират проявление повечето от гънковите и разломни структури. Гравитационните преходи, маркиращи разломни зони с относително недълбоко заложение, най-добре се проявяват върху картата на вариационните аномалии по Андреев-Грифин (Фиг. 3.4) и остатъчното поле от аритметичното осредняване. При това, най-повърхностните тектонски проявления, както и следва от физични съображения, се детайлизират от остатъчното поле. Най-детайлна информация за приповърхностната диференциация на геоложкия разрез по плътностни свойства се получава от картата на аналитичното продължение в долното полупространство. Картата има сложна мозаечна структура и характеристиката на полето доуточнява някои особености в морфологията на повърхностния разрез.



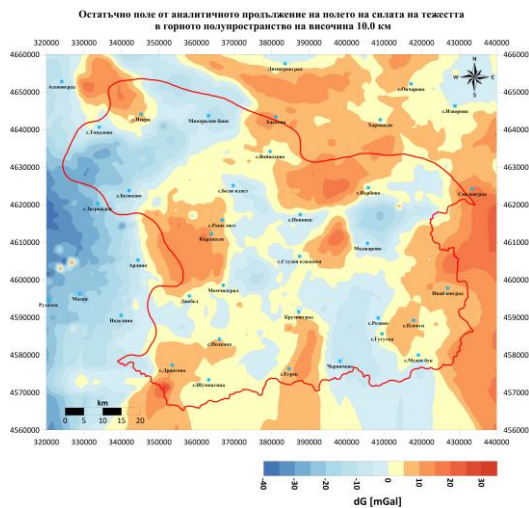
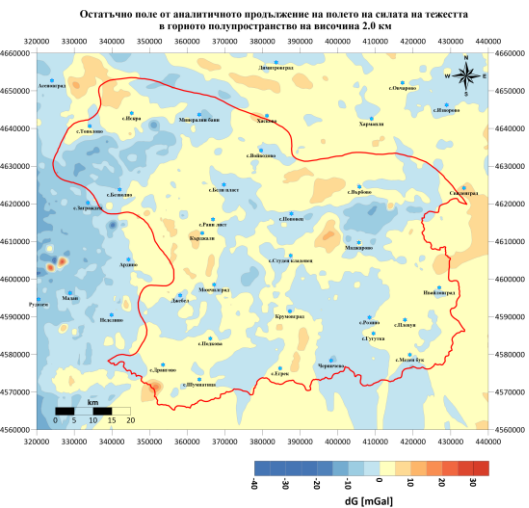
Фиг. 3.2. Разпределение на осредненото поле на силата на тежестта при радиус на осредняване 1 и 8 км



Фиг. 3.3. Разпределение на аналитично продължение на гравитационно поле в горното полупространство, на 1 и 10 км

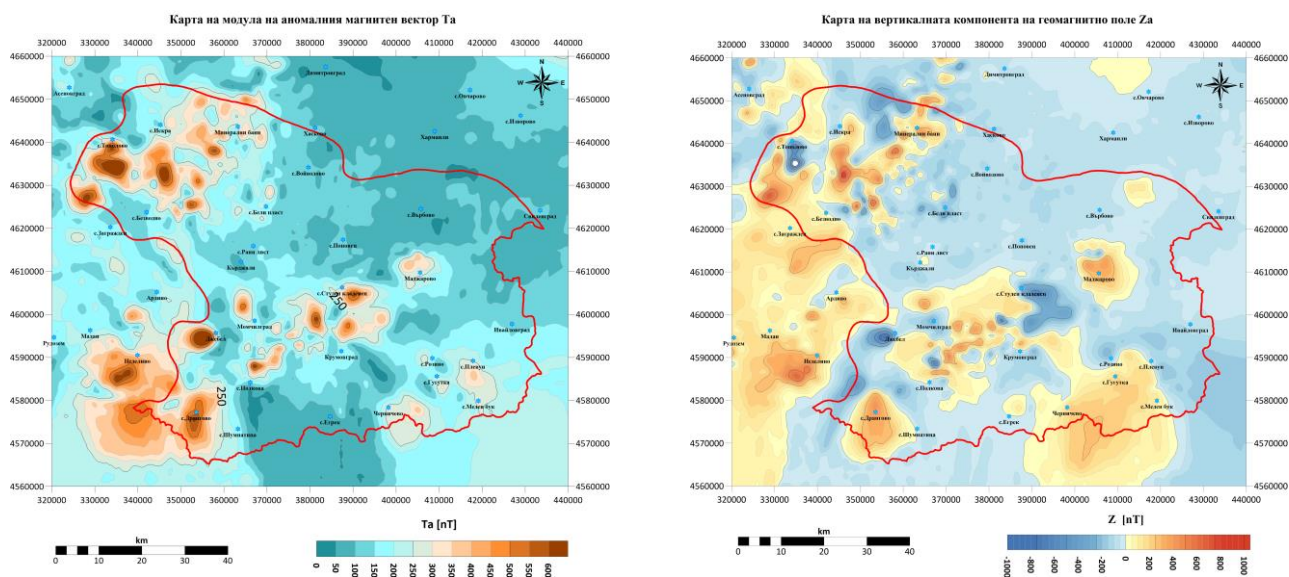


Фиг. 3.4. Вариационни аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Гриффин при радиус на осредняване 2 и 8 км



Фиг. 3.5. Разпределение на остатъчно поле от аналитичното продължение на полето на силата на тежестта на 2 и 10 км

Магнитното поле на Родопския масив (Фиг. 3.7), е относително спокойно и се характеризира в регионален план с ниска интензивност, което отразява широкото разпространение на архайските и протерозойски метаморфити и крупни гранитоиди и батолити. На спокойния фон полето се извява с нееднородна морфология.



Фиг. 3.7. Карти на модула на тоталния геомагнитен вектор  $T_a$  и на вертикалната компонента на геомагнитното поле  $Z_a$

### 3.2.3. Структурни особености на Източни Родопи по геофизични данни

Съвкупният анализ на данните за геотектонския строеж на Родопския масив, в частност неговата източна част, и тяхното отражение в гравитационните и магнитните полета показват важността на последните за металогенното райониране. Съществен интерес за рудната геология представлява дълбочинната зоналност на масива, добре извявена върху регионалните гравитационни полета и структурно тектонските елементи на горната част на земната кора, отразени върху локалните гравитационни полета.

Върху картата на локалните гравитационни полета, Североизточнородопското понижение, запълнено с приабонски и олигоценски седименти, вулканогенно- седиментни и кисели вулкански скали, се извява с аномалия, състояща се от три локални минимума, от които централният е по-слабо интензивен. Западно разположеният минимум е изтеглен в запад-североизточна посока, а източният - в северозапад-източна посока. От данните на количествената интерпретация дълбочините на понижението варират в западната част около 2 км, в средната - около 1 км, а в източната – 2 - 2,5 км. Южно от Североизточнородопското понижение на фона на архайския комплекс се разполага сравнително голяма по площ и с неправилна форма положителна аномалия. В северната ѝ част огъването на изолиниите отбелязва местоположението на Бойновския и Кобилянския гребен. Момчилградското понижение се проявява на картата на остатъчното гравитационно поле с отрицателна аномалия, изтеглена в югозапад-североизточна посока. На нейния фон, северно и южно от Момчилград се отделят два разнопосочни ориентирани минимума: южният в изток-западна посока с дълбочина около 2 км., а северният в посока почти север-юг с дълбочина 3-3,5 км. Обширното Маджаровско понижение се характеризира със сложна морфология на остатъчното гравитационно поле. Преобладават отрицателни аномалии, които вероятно се дължат на гънково усложнение в дълбочинния тектонски строеж. В западната част полето се деформира от проявлението на Боденската синклинала, която има субпаралелно разположение.

Последната, по характер на изявеност на полето, се явява като свързващо звено между Североизточнородопското, Маджаровското и Момчилградското понижение (Цветков, 2005). На картата на магнитното поле край Маджарово се обособява локален максимум, геоложката природа на който се свързва с Маджаровския вулканизъм. Положителна локална аномалия оконтурва Авренската грабен-синклинала. Това проявление на тези негативна тектонска структура вероятно е свързано с доминиращото влияние на внедрените в нея относително по-плътни палеозойски серпентинизирани ултрабазити. Тинтявското подуване се маркира със субмеридионално изтеглени отрицателни аномалии. Това проявление вероятно е свързано с относително ниско плътни аномалообразуващи маси, израждащ ядрото на тази позитивна структура. Мандришкото понижение, характеризиращо се със сложна повърхностна морфология се проявява върху картите на локалните полета с относителен минимум. Остатъчното гравитационно поле отразява цялостно Харманлийската моноклинала с положителна аномалия. Локализираните максимуми в обсега на аномалията отразяват блоковия строеж на моноклиналата. Интензивната магнитна аномалия съпада с Тънковското подуване. Сакарската антиклинала, ядката на която е изградена от каледонски и херцински гранитоиди с относително понижена плътност, се проявява върху локалните полета с много добре обособена отрицателна аномалия, изтеглена в посока изток-запад. Метаморфната мантия около ядрото на антиклиналата формира върху остатъчното поле неправилни по форма положителни аномалии. Разломните структури, обхващащи повърхностния геоложки разрез, са застъпени широко в Източнородопската зона и намират добро проявление върху локалните потенциални полета.

Кърджалийската разломна зона, наложена върху източната периклинала на Среднородопската антиклинала, представлява остатъчно поле с често сменящи посоката си, не много добре издържани гравитационни преходи. В западната периферия на Тинтявското подуване интензивен гравитационен преход маркира Авренската разломна зона, свързана с внедряването на серпентинизирани ултрабазити. Преходът има обща дължина 16-17 км., ширина около 1 км и среден хоризонтален градиент 4 mGal/км. Камилдолската разломна зона, развита по южната част на Маджаровското структурно понижение, се проявява върху остатъчно гравитационно поле с много добре изразен гравитационен преход, който бързо сменя ориентацията си от субмеридионална до почти субпаралелна. Добре изявен гравитационен преход с простиране, клонящо към субпаралелно, маркира Ибрџенската разломна зона. Преходът има ширина около 2 км, хоризонтален градиент 3 - 4 mGal/км и дължина 30 км.

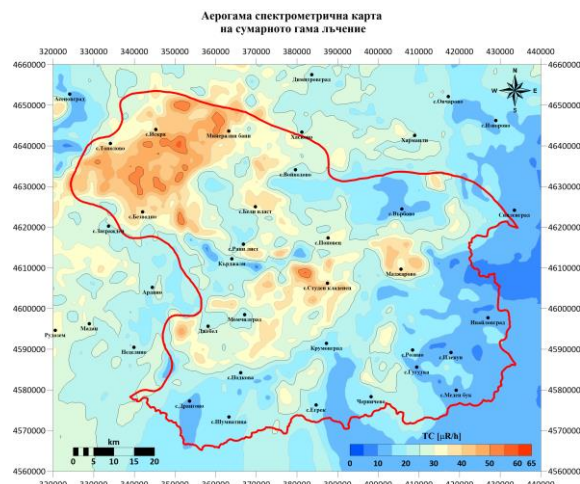
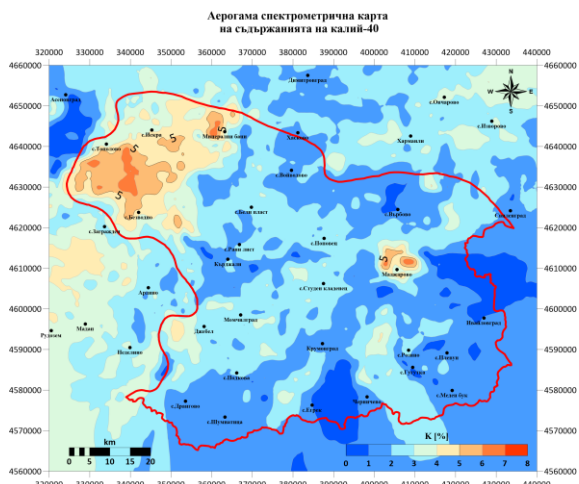
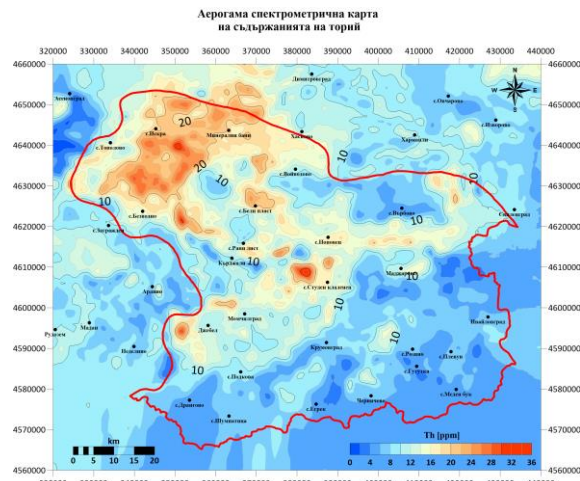
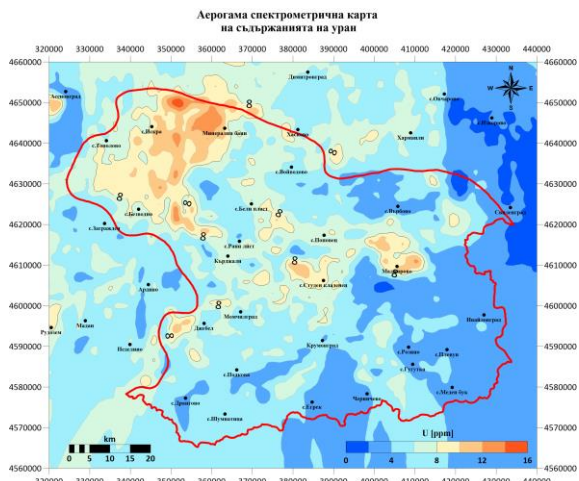
### ***3.3. Характеристика на първичната информация. Формиране на признаковото пространство.***

Изследваната територия обхваща площ около **12000 км<sup>2</sup>**. За елементарна прогнозна площ е приета клетка с размер **200 x 200 метра**. Територията съдържа **301101** елементарни клетки, които се разполагат в **501** реда и **601** колони.

Съставена е база данни, съдържаща информация за общо **134** признака, използвани при металогенното прогнозиране за територията на Източни Родопи

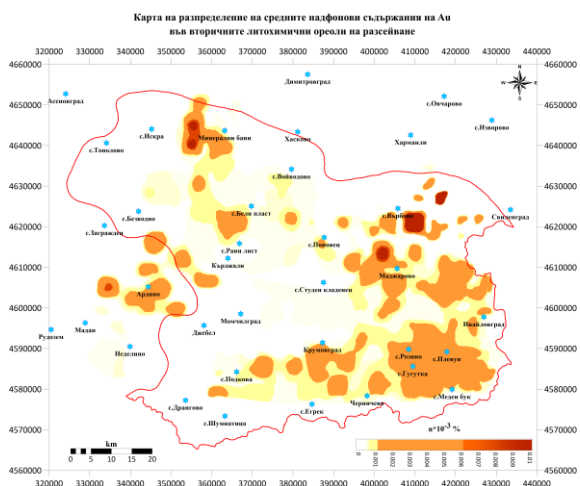
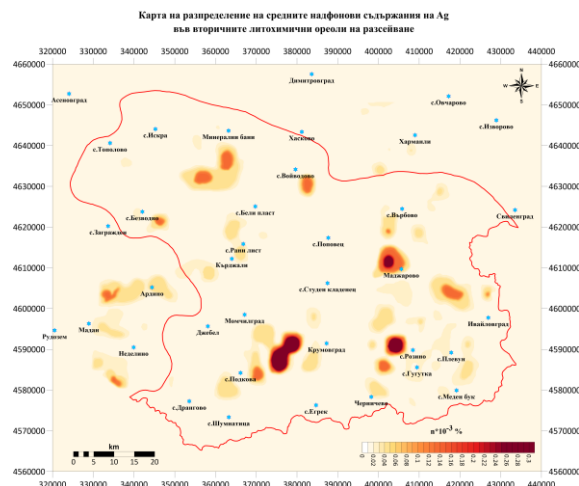
Въз основа на анализа на наличната геолого-геофизична информация за района на Източни Родопи и целевата насоченост на решаваната задача са отделени **31** геофизични, **86** геоложки и **15** литогеохимични признака, които с много добра кондиция характеризират цялата изследвана площ.

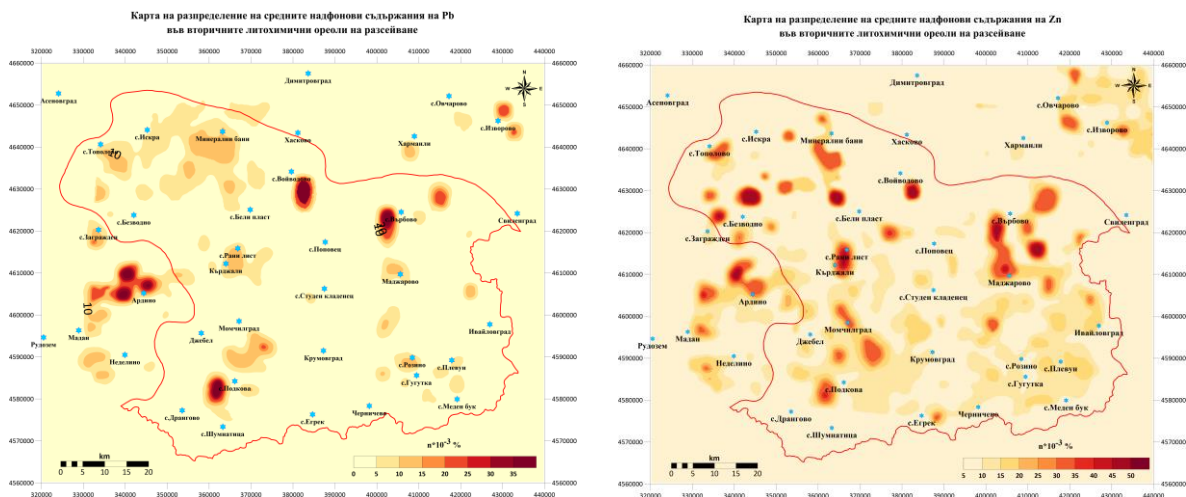
Аерогама-спектрометричните данни са представени от 8 признака – съдържанието на уран, торий и калий-40, сумарното гама-лъчение, отношенията между съдържанията на уран и торий, уран и калий, торий и калий и F-фактор (отношение между съдържанията на уран, торий и калий-40).



Фиг. 3.8. Карти на разпределение на съдържанието на уран, торий, калий-40 и сумарното гама-лъчение (TC)

Геохимичната характеристика на изследваната територия се анализира чрез използване на литохимични карти във вторични ореоли на разсейване (Фиг. 3.10).





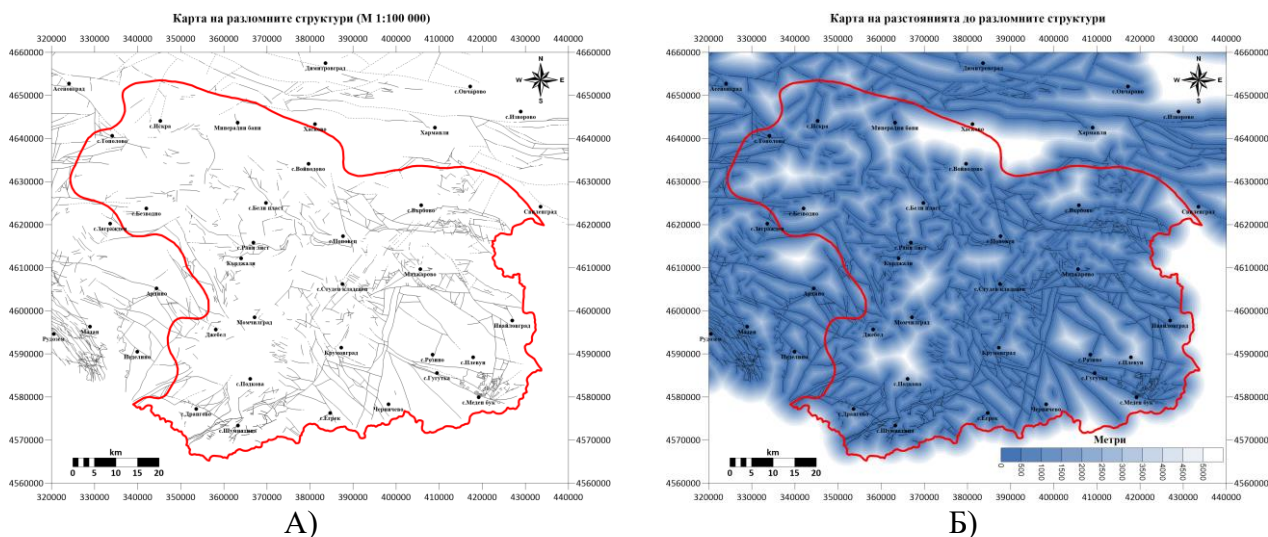
Фиг. 3.10. Карти на разпределението на средните надфонове съдържания на Ag, Au, Pb, и Zn във вторични литохимични ореоли на разсейване.

Регионалното разпространение на моноелементните аномални полета на профилиращите метали са локализирани предимно в ареалите на добре известните металогенни обекти (рудни полета). Аномалните полета на почти всички елементи (особено на водещите) проявяват отчетлива привързаност в Източнородопския руден район. Литогеохимичните признаци, забележимо се диференцират по информативност. Със най-висока степен, при класификацията са взети съдържанията на злато, сребро, цинк, олово и мед.

Разломната тектоника е един от най-важните рудоконтролиращи критерии в Източни Родопи. За целите на прогнозирането, данните за разломите са представени като разстояния от линияментите до всяка прогнозна клетка (Фиг. 3.12).

### 3.4. Статистическа характеристика на признаците

Спецификата в статистическата характеристика на признаците отразява вътрешната структура на признаковото пространство. Следователно тя следва да се разглежда от една страна като първи критерий относно възможностите за вероятностно-статистическо класифициране на изследваната територия и от друга като средство за ефективно насочване на цялостния процес на прогнозирането.



Фиг. 3.12. А) Карта на разположението на разломните структури (М1:100 000), Б) Карта на изчислените разстояния до линияментите (разломите) за всяка прогнозна клетка.



Началният етап за определянето на търсещите критерии се заключава в площното съпоставяне на отделни признаци с картата на рудните формации или по-точно с разпределението на находищата и рудопроявленията.

На базата на експертна оценка и въз основа на наличните данни за металогенията на Източни Родопи са отделени еталонни клетки, към които са привързани над петдесет от основните известни рудни находища и рудопроявления и са отделени три подгрупи еталонни извадки "*рудни*" обекти, характеризиращи следните основни типове находища:

- *Полиметални златно-сребърни находища*

Към този тип находища са привързани **429** обучителни клетки, маркиращи местоположението на следните **12** находища и рудопроявления: Ада тепе, Дъбовец, Камилски дол, Маджарово, Обичник, Попско, Розино, Седефче, Стремци, Сърнак, Тънково и Чала.

- *Находища на разсипно злато*

Към този тип находища са привързани **103** обучителни клетки, маркиращи местоположението на проявления на разсипно самородно злато по река Арда, Бяла река и Кулиджикска река (Мечо ухо).

- *Оловно-цинкови находища*

Към този тип находища са привързани **399** обучителни клетки, маркиращи местоположението на следните **43** находища и рудопроявления: Андроу-север, Балкан махала, Батанци, Бахтерица, Белев дол, Белица, Брястово, Върба, Габрово, Галенит, Господиново, Гюдюрска, Еньовче, Ерма река, Звездел, Иредже дере, Катранджика, Кенан дере, Краев дол, Крушев дол, Крушево, Крушево дере, Лайков чукар, Лещак, Лозен, Маджарово, Мезарлъка, Метливко, Меча дупка, Омарево, Печинско, Пчелояд, Рибница, Саже, Света Марина, Спорно, Стърница, Чала, Четрока, Шаренка, Шахоница, Щипченово, Юрукови колиби.

Така отделените **931** обучителни клетки съставят еталонната извадка от първи клас - "*рудни*" обекти.

Докато въпросът за подбор на еталони от първи клас, независимо от някои главно методични трудности, се решава сравнително еднозначно, твърде дискуссионен е подхода към формирането на еталонна съвкупност от втори клас - "*безрудни*" еталонни обекти. При сегашното равнище на изученост на Източни Родопи не е възможно убедително да се отделят неперспективни в рудоносно отношение участъци, равномерно разпределени на територията. Ето защо подборът на еталони от втори клас е извършен условно. При това като изходна предпоставка се приема, че в пространството, където отсъстват известни промишлени минерализации, орудяванията се срещат много рядко. Следователно всички елементарни клетки без еталоните от първи клас се обединяват в първи вариант на еталонна извадка от втори клас - "*условно безрудни*". От това множество при условие за относително равномерно разпределение, е формирана обучителна извадка от **1596** "*безрудни*" еталонни клетки.

За всички признаци е извършен статистически анализ, като изключение правят геоложките признаци, зададени алтернативно. За пълната съвкупност от "*условно безрудни*" елементарни клетки и за трите типа еталонни извадки "*рудни*" обекти са построени хистограми на разпределението на геофизичните и литохимичните полета. За определяне на интервалите в съответните групи е използвана формулата на Стърджис.

Основните статистически характеристики на остатъчните полета от аналитичното продължение в горното полупространство, вариационните аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин и аналитичните продължения в горното и долното полупространство за пълната съвкупност от елементарни площи са систематизирани в Таблица 3.5.

Таблица 3.5. Статистически характеристики на трансформантите на полето на силата на тежестта за територията на Източни Родопи

Признак	Брой	Средно	Минимум	Максимум	Асиметрия	Ексцес
<i>Var_A-G-1000</i>	301101	0.0012	-13.2098	17.6360	3.8761	146.6484
<i>Var_A-G-2000</i>	301101	0.0075	-14.6251	24.2336	2.6360	69.7367
<i>Var_A-G-3000</i>	301101	0.0347	-16.3497	34.4783	1.1414	17.3630
<i>Var_A-G-4000</i>	301101	0.0716	-17.1540	35.3873	0.7744	7.8186
<i>Var_A-G-5000</i>	301101	0.0976	-18.9749	35.8392	0.2757	3.5064
<i>Var_A-G-6000</i>	301101	0.1797	-19.5241	36.0706	0.1052	2.2035
<i>Var_A-G-7000</i>	301101	0.3444	-20.6954	37.0879	0.1210	1.6877
<i>Var_A-G-8000</i>	301101	0.3812	-23.2232	37.2401	0.0290	1.0080
<i>Ost_AP-1000</i>	301101	0.0125	-17.3332	22.9413	-0.5632	10.2682
<i>Ost_AP-2000</i>	301101	0.0368	-21.7686	23.1179	-0.5971	1.7438
<i>Ost_AP-3000</i>	301101	0.0526	-23.3247	25.2023	-0.7332	0.9526
<i>Ost_AP-5000</i>	301101	0.1229	-28.2320	26.6461	-0.8774	0.8422
<i>Ost_AP-8000</i>	301101	0.1489	-34.7471	27.4191	-0.9835	0.6972
<i>Ost_AP-10000</i>	301101	0.1664	-38.3250	27.8226	-1.0547	0.4907
<i>ΔG +1000</i>	301101	-3.1871	-60.2056	25.1973	-1.2627	1.0740
<i>ΔG +2000</i>	301101	-3.2217	-55.6913	22.9567	-1.2554	1.0285
<i>ΔG +3000</i>	301101	-3.2751	-51.8335	18.5070	-1.2287	1.0233
<i>ΔG +5000</i>	301101	-3.3196	-43.2168	16.7661	-1.1956	0.7457
<i>ΔG +8000</i>	301101	-3.4963	-36.6794	11.9230	-1.1791	0.5286
<i>ΔG +10000</i>	301101	-3.5450	-32.1607	8.3162	-1.0786	0.2088
<i>ΔG -100</i>	301101	-3.1357	-72.1297	28.8739	-1.2383	1.0267
<i>ΔG -200</i>	301101	-3.1352	-73.5775	28.9378	-1.2421	1.1190
<i>ΔG -500</i>	301101	-3.1347	-113.4417	53.9882	-1.2475	1.2406

### 3.5. Избор на подход за оценка на информативността на признаците и на надеждността на решенията

За оценка на информативността на признаците и постигане на по-добра класификация и идентификация на отделните групи е проведена поетапна дискриминантна процедура за извличане на най-добрите променливи, разделящи групите от различен тип („нерудни“ и „рудни“). При нея се въвеждат или премахват променливите чрез анализ на тяхното въздействие върху дискриминацията на групите на базата на последователност от статистически операции.

Идеята е, че признаците, които имат значение за разделянето на отделните съвкупности са тези, по които средните стойности на съвкупностите се различават достоверно. Това може да се оцени с  $F$  статистиката (***F-value***). Когато в изчисленията са включени много признаци, се сравнява матрицата на общата дисперсия и ковариация и матрицата на вътрешногруповата дисперсия и ковариация с помощта на многомерна  $F$  статистика.

**С колкото по-висока стойност  $F$ -value е оценен даден признак, толкова по-голямо е неговото значение за разделянето на отделните съвкупности и съответно неговата информативност е по-голяма.**

Най-популярен подход при подбора на обучаващите групи, които да се включат в модела е **Стъпковият дискриминантен анализ (*Stepwise Discriminant Analysis*)**. В първата стъпка се избира признака, който най-добре разделя групите (има най-висока стойност на ***F-value***), след което на втората стъпка се избира втори признак, който допринася за още по-добро разделяне и така нататък, т.е. на всяка стъпка се избира признака, който има най-голям принос в сравнение с останалите.

Статистиката, която най-често се използва за включване на нов признак в модела е чрез прилагане критерият **Ламбда на Уилкс (*Wilks' Lambda*)**. ***Wilks' Lambda*** служи за определяне на статистическата достоверност на дискриминационната сила на модела. Стойността и варира от 1 при липса на дискриминационната сила до 0 при пълна дискриминационната сила. На всяка следваща стъпка се вкарва единствено признак, който минимизира общата стойност на ***Wilks' Lambda***.

**Колкото по-ниска е стойността на *Wilks' Lambda* след включването на даден признак в модела, толкова по-достоверно са разделени отделните съвкупности и съответно надеждността на решението е по-голяма.**

### ***3.6. Формиране на признаковото пространство***

Както вече се посочи, много силна е взаимовръзката между трансформантите на полето на силата на тежестта от един и същи тип. Това наложи детайлно изучаване и степенуване на информативността на тези признаци.

След провеждането на стъпков дискриминантен анализ (***Stepwise Discriminant Analysis***), от всяка подгрупа трансформанти на полето на силата на тежестта се избира един, характеризиращ се с най-високи стойности на параметъра ***F-value***. Това му дава най-голям принос в процеса на прогнозирането и той се включва при формирането на признаковото пространство.

В Таблица 3.11. са систематизирани резултатите от проведения анализ за трите основни типа рудни находища.

Таблица 3.11. Оценка информативността на признаците от всяка подгрупа трансформанти на полето на силата на тежестта за трите основни типа находища, чрез използване на критериите *Wilks' Lambda* и *F-value*

<i>Находища на разсипно злато</i>		
Признак	Wilks' Lambda	F-value
<b>ΔG+2000</b>	0.426726	192.5238
<b>ΔG +3000</b>	0.409156	115.7114
<b>ΔG +5000</b>	0.401562	82.5119
<b>ΔG +10000</b>	0.399214	72.2501
<b>ΔG +1000</b>	0.385750	13.3860
<b>ΔG +8000</b>	0.383918	5.3802
<b>dG-500</b>	0.875532	1.1383
<b>dG-100</b>	0.874145	0.7406
<b>dG-200</b>	0.871471	0.1152
<b>Var_A-G-8000</b>	0.816696	106.2310
<b>Var_A-G-7000</b>	0.782142	31.3757
<b>Var_A-G-3000</b>	0.772725	10.9747
<b>Var_A-G-5000</b>	0.769211	3.3640
<b>Var_A-G-1000</b>	0.768365	1.5299
<b>Var_A-G-2000</b>	0.768083	0.9191
<b>Var_A-G-6000</b>	0.768053	0.8536
<b>Var_A-G-4000</b>	0.768041	0.7035
<b>Ost_AP-2000</b>	0.9999924	0.4606
<b>Ost_AP-3000</b>	0.999918	0.4446
<b>Ost_AP-8000</b>	0.9998857	0.2330
<b>Ost_AP-1000</b>	0.9998604	0.1907
<b>Ost_AP-5000</b>	0.9997337	0.1368
<b>Ost_AP-10000</b>	0.9997241	0.0127

<i>Полиметални златно-сребърни находища</i>		
Признак	Wilks' Lambda	F-value
<b>ΔG +10000</b>	0.315731	960.1278
<b>ΔG +5000</b>	0.310757	912.8820
<b>ΔG +2000</b>	0.287141	688.5545
<b>ΔG +1000</b>	0.246348	301.0586
<b>ΔG +8000</b>	0.220656	57.0118
<b>ΔG +3000</b>	0.220449	55.0483
<b>ΔG -200</b>	0.795913	47.5872
<b>ΔG -500</b>	0.793169	40.3831
<b>ΔG -100</b>	0.784856	18.5571
<b>Var_A-G-5000</b>	0.9472796	57.3497
<b>Var_A-G-4000</b>	0.9358736	32.1319
<b>Var_A-G-1000</b>	0.9280427	14.8184
<b>Var_A-G-2000</b>	0.9273841	13.3624
<b>Var_A-G-8000</b>	0.9249445	7.9687
<b>Var_A-G-6000</b>	0.9242994	6.5426
<b>Var_A-G-7000</b>	0.9229959	3.6604
<b>Var_A-G-3000</b>	0.9213736	0.0738
<b>Ost_AP-3000</b>	0.999596	0.8227
<b>Ost_AP-1000</b>	0.999954	0.5343
<b>Ost_AP-5000</b>	0.999852	0.4445
<b>Ost_AP-2000</b>	0.999790	0.4277
<b>Ost_AP-8000</b>	0.999782	0.3017
<b>Ost_AP-10000</b>	0.999738	0.0940

Таблица 3.11. Оценка информативността на признаците от всяка подгрупа трансформанти на полето на силата на тежестта за трите основни типа находища, чрез използване на критериите *Wilks' Lambda* и *F-value*. (Продължение)

Оловно-цинкови находища		
Признак	Wilks' Lambda	F-value
<b>ΔG +5000</b>	0.659796	357.9278
<b>ΔG +10000</b>	0.651979	330.0891
<b>ΔG +2000</b>	0.614120	195.2505
<b>ΔG +1000</b>	0.585981	95.0287
<b>ΔG +3000</b>	0.568523	32.8526
<b>ΔG +8000</b>	0.566035	23.9908
<b>ΔG -100</b>	0.968664	4.3282
<b>ΔG -200</b>	0.968018	2.9938
<b>ΔG -500</b>	0.967836	0.9784
<b>Var_A-G-6000</b>	0.948541	126.0721
<b>Var_A-G-7000</b>	0.939239	105.3115
<b>Var_A-G-8000</b>	0.928036	80.3064
<b>Var_A-G-5000</b>	0.924734	72.9382
<b>Var_A-G-2000</b>	0.905707	30.4702
<b>Var_A-G-1000</b>	0.893336	2.8584
<b>Var_A-G-4000</b>	0.892913	1.9159
<b>Var_A-G-3000</b>	0.892486	0.8937
<b>Ost_AP-5000</b>	0.996239	3.0145
<b>Ost_AP-8000</b>	0.996223	2.9823
<b>Ost_AP-10000</b>	0.995995	2.5287
<b>Ost_AP-2000</b>	0.994951	0.4475
<b>Ost_AP-3000</b>	0.994856	0.2584
<b>Ost_AP-1000</b>	0.994782	0.1094

Обобщеният анализ на резултатите за информативността на конкретните признаци, подбрани за прогнозиране на трите основни типа находища е представен в Таблица 3.12, Таблица 3.13 и Таблица 3.14.

Таблица 3.12. Оценка информативността на признаците, подбрани за прогнозиране на находища на разсипно злато

<i>Находища на разсипно злато</i>		
<b>Признак</b>	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>F-value</b>
<i>Злато (Au)</i>	0,046395	889,8091
<i>Релеф</i>	0,045797	857,1138
<i>Калай (Sn)</i>	0,041545	624,4482
<i>Уран (U)</i>	0,039972	538,3394
<i>Уран/Торий (U/Th)</i>	0,039862	532,3348
<i>Молибден (Mo)</i>	0,038021	431,6041
<i>Торий (Th)</i>	0,034923	262,0647
<i>Сребро (Ag)</i>	0,034563	242,3668
<i>Кобалт (Co)</i>	0,033187	167,0751
<i>Мед (Cu)</i>	0,033045	159,3161
<i>Аналитично продължение на силата на тежестта в горното полупространство на височина 2 км (<math>\Delta G+2000</math>)</i>	0,032536	131,4314
<i>Уран/Калий-40 (U/K-40)</i>	0,031824	92,4692
<i>Сумарното гама-лъчение (TC)</i>	0,031714	86,4308
<i>Антимон (Sb)</i>	0,031472	73,2065
<i>Вариационни аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин с радиус на осредняване 8 км (<math>Var\_A-G-8000</math>)</i>	0,030984	46,4832
<i>Никел (Ni)</i>	0,030937	43,9454
<i>Калий 40 (K-40)</i>	0,030893	41,5074
<i>Бисмут (Bi)</i>	0,030891	41,4192
<i>Вертикалната компонента на геомагнитното поле (<math>Za</math>)</i>	0,030879	40,7555
<i>Волфрам (W)</i>	0,030579	24,3701
<i>F-фактор</i>	0,030563	23,4604
<i>Барий (Ba)</i>	0,030450	17,2684
<i>Манган (Mn)</i>	0,030445	16,9995
<i>Разстояние до разломните структури</i>	0,030377	13,2994
<i>Олово (Pb)</i>	0,030359	12,2925
<i>Гравитационно поле (<math>\Delta G</math>)</i>	0,030345	11,5642
<i>Цинк (Zn)</i>	0,030293	8,7160
<i>Аналитично продължение на силата на тежестта в долното полупространство на дълбочина 500 м (<math>\Delta G-500</math>)</i>	0,030181	2,5413
<i>Торий/Калий-40 (Th/K-40)</i>	0,030130	0,8339
<i>Тотален вектор на геомагнитното поле (<math>Ta</math>)</i>	0,030126	0,7058
<i>Тотален хоризонтален градиент на гравитационното поле (THG)</i>	0,030121	0,2350
<i>Остатъчно поле от аналитичното продължение на полето на силата на тежестта на височина 2 км (<math>Ost\_AP-2000</math>)</i>	0,030119	0,2032

Таблица 3.13. Оценка информативността на признаците, подбрани за прогнозиране на полиметални златно-сребърни находища

Полиметални златно-сребърни находища		
Признак	Wilks' Lambda	F-value
Аналитично продължение на силата на тежестта в горното полупространство на височина 10 км ( $\Delta G+10000$ )	0,083515	575,6709
Злато (Au)	0,072137	223,6742
Разстояние до разломните структури	0,071946	217,7431
Олово (Pb)	0,071798	213,1770
Сребро (Ag)	0,070752	180,8026
Мед (Cu)	0,070323	167,5536
Уран (U)	0,069488	141,7079
Калай (Sn)	0,069473	141,2449
Антимон (Sb)	0,069263	134,7460
Вертикалната компонента на геомагнитното поле ( $Z_a$ )	0,068985	126,1363
Кобалт (Co)	0,068678	116,6408
Вариационни аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин с радиус на осредняване 5 км ( $Var\_A-G-5000$ )	0,068493	110,9261
Волфрам (W)	0,068182	101,3055
Сумарното гама-лъчение (TC)	0,068025	96,4488
Уран/Калий-40 (U/K-40)	0,067355	75,7355
F-фактор	0,066908	61,9074
Аналитично продължение на силата на тежестта в долното полупространство на дълбочина 200 м ( $\Delta G-200$ )	0,066714	55,8865
Торий (Th)	0,066486	48,8293
Уран/Торий (U/Th)	0,066468	48,2850
Никел (Ni)	0,066426	46,9933
Молибден (Mo)	0,065590	21,1189
Калий 40 (K-40)	0,065434	16,3092
Барий (Ba)	0,065421	15,8778
Тотален хоризонтален градиент на гравитационното поле (THG)	0,065389	14,8897
Гравитационно поле ( $\Delta G$ )	0,065386	14,8011
Релеф	0,065249	10,5690
Торий/Калий-40 (Th/K-40)	0,065047	4,3365
Цинк (Zn)	0,065014	3,3146
Манган (Mn)	0,064906	0,9208
Бисмут (Bi)	0,064903	0,2637
Тотален вектор на геомагнитното поле ( $T_a$ )	0,064900	0,2124
Остатъчно поле от аналитичното продължение на полето на силата на тежестта на височина 3 км ( $Ost\_AP-3000$ )	0,064899	0,1469

Таблица 3.14. Оценка информативността на признаците, подбрани за прогнозиране на оловно-цинкови находища

Оловно-цинкови находища		
Признак	Wilks' Lambda	F-value
Разстояние до разломните структури	0,125422	399,5501
Олово (Pb)	0,124785	387,5749
Аналитично продължение на силата на тежестта в горното полупространство на височина 5 км ( $\Delta G+5000$ )	0,123715	367,4536
Уран (U)	0,120884	314,2455
Цинк (Zn)	0,119303	284,5217
Уран/Калий-40 (U/K-40)	0,116636	234,4038
Мед (Cu)	0,111549	138,7869
Вариационни аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин с радиус на осредняване 6 км ( $Var\_A-G-6000$ )	0,111198	132,1823
Никел (Ni)	0,110968	127,8574
Торий (Th)	0,110951	127,5437
Антимон (Sb)	0,110543	119,8721
Вертикалната компонента на геомагнитното поле (Za)	0,109377	97,9506
Сребро (Ag)	0,109067	92,1160
Тотален хоризонтален градиент на гравитационното поле (THG)	0,107836	68,9951
Торий/Калий-40 (Th/K-40)	0,107555	63,7039
Бисмут (Bi)	0,107432	61,3931
Кобалт (Co)	0,107229	57,5799
Сумарното гама-лъчение (TC)	0,107058	54,3663
Волфрам (W)	0,106930	51,9591
Барий (Ba)	0,106814	49,7711
Релеф	0,106702	47,6704
Злато (Au)	0,106130	36,9239
Гравитационно поле ( $\Delta G$ )	0,105701	28,8541
F-фактор	0,105061	16,8194
Аналитично продължение на силата на тежестта в долното полупространство на дълбочина 100 м ( $\Delta G-100$ )	0,105060	16,8108
Манган (Mn)	0,104611	8,3664
Остатъчно поле от аналитичното продължение на полето на силата на тежестта на височина 5 км ( $Ost\_AP-5000$ )	0,104390	4,2178
Калий 40 (K-40)	0,104313	2,7571
Молибден (Mo)	0,104254	1,6486
Уран/Торий (U/Th)	0,104159	0,7616
Калай (Sn)	0,104141	0,4702
Тотален вектор на геомагнитното поле (Ta)	0,104125	0,1261



Изследваните геофизичните признаци се характеризират със сравнително голям диапазон на изменение на информативността.

Резултатите потвърждават убедително изказаните от редица изследователи съображения относно привързаността на орудяванията в Източни Родопи към регионални разуплътнени зони.

С най-голяма информативност категорично се открояват аналитичните продължения на полето на силата на тежестта в горното полупространство, които отразяват основно ефекта от машабните блоково-тектонски структури.

За вариационните аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин е характерна относително по-ниска информативност в сравнение с аналитичните продължения в горното полупространство, като се проявява тенденция на нарастване на информативността при увеличаване радиуса на осредняване.

Влиянието на повърхностните нееднородности, включително и самите орудявания с повишена плътност, деформират ефекта от разуплътнените зони и съответно вариационните аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин с малък радиус на осредняване и остатъчните полета от аналитичното продължение в горното полупространство имат много по-ниска информативност.

Аналитичните продължения на полето на силата на тежестта в долното полупространство се характеризират със сравнително добра информативност единствено при полиметалните златно-сребърни находища.

Анализът на данните, дава цялостна представа за вероятно-статистическата информативност на изследвания комплекс от признаци. Следва да се отбележи, че независимо от предвидените при обработката начини за формиране на извадките от еталонни обекти, за условията на Източни Родопи, е обективно невъзможно да се изпълни задоволително условието за тяхното равномерно разпределение в цялата изследвана територия. Това дава отражение главно върху оценката на информативността за признаците, при които разпределението е с обособена специфика единствено или главно в участъците с повишена плътност на еталонните клетки от първи клас - "рудни".

### **3.7. Програмна обезпеченост на проведените изследвания**

Основен софтуерен продукт, прилаган при първичната статистическа обработка на събраната база данни, както и последващото прогнозиране на база използването на компютърни неврони мрежи и Бейсов класификатор е STATISTICA 10 на американската компания TIBCO Software Inc. ( StatSoft, Inc., 2007).

Пакетът STATISTICA Data Miner предлага един от най-обширният избор от техники, алгоритми и модели за прогнози

При изграждане на невроните модели, могат да се използват два основни метода:

- автоматизирана неврона мрежа за търсене (ANS);
- персонализирана неврона мрежа (CNN).

Методът ANS се използва за създаване на автоматичен набор от неврони мрежи с различни параметри и конфигурации, като търси оптималната за конкретната задача. Системата проектира редица мрежи за решаване на проблема и след това избира тези мрежи, която представя най-добре връзката между входа и целевите променливи (т.е. тези мрежи, постигащи максимално съответствие между целите и резултатите на неврони мрежи).

Като алтернатива, CNN моделът дава възможност да се избират отделни структури на мрежите и обучаващите алгоритми за точни спецификации. Може да се използва за обучение на много модели с еднакви спецификации на проекта, но с различни случайно задавани тегловни коефициенти. В резултат получените резултати ще осигурят оптималните решения.

Програмният продукт предлага разнообразие от възможности за коригиране свойствата на мрежата. Въз основа на получените резултати може бързо да се направи сравнение за обучаващите и тестващите параметри на всяка една от отделните невронни мрежи, което осигурява допълнителна обобщена информация за даден конкретен модел, включително за алгоритъма използван в обучението на данните и за големината на грешката.

Таблица 3.15. Обобщена информация за параметрите на невронни мрежи, използвани при обучението

Номер	Име на мрежата	Ефективност на обучението, %	Обучаващ алгоритъм	Функция за грешката	Скрита активационна функция	Исходна активационна функция
1	MLP 28-21-5	88.32608	BFGS	SOS	Logistic	Identity
2	MLP 28-18-5	90.22556	BFGS	SOS	Sine	Identity
3	RBF 28-26-5	34.07202	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
4	RBF 28-29-5	19.54887	RBFT	Entropy	Gaussian	Softmax
5	MLP 28-10-5	63.15789	BFGS	SOS	Sine	Exponential
6	RBF 28-29-5	16.69964	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
7	MLP 28-13-5	81.59873	BFGS	SOS	Exponential	Tanh
8	RBF 28-30-5	36.68381	RBFT	Entropy	Gaussian	Softmax
9	MLP 28-14-5	93.11436	BFGS	SOS	Logistic	Identity
10	MLP 28-15-5	77.36446	BFGS	SOS	Exponential	Sine
11	RBF 28-27-5	18.55956	RBFT	SOS	Gaussian	Identity
12	MLP 28-13-5	94.26197	BFGS	SOS	Logistic	Logistic
13	MLP 28-15-5	92.79778	BFGS	Entropy	Sine	Softmax
14	MLP 28-15-5	84.72497	BFGS	SOS	Exponential	Tanh
15	RBF 28-30-5	48.87218	RBFT	Entropy	Gaussian	Softmax
16	MLP 28-17-5	99.20855	BFGS	Entropy	Identity	Softmax
17	MLP 28-10-5	94.57855	BFGS	Entropy	Exponential	Softmax
18	MLP 28-21-5	94.26197	BFGS	SOS	Identity	Logistic
19	MLP 28-8-5	87.57420	BFGS	Entropy	Exponential	Softmax
20	MLP 28-9-5	98.02137	BFGS	Entropy	Tanh	Softmax
21	MLP 28-7-5	84.48753	BFGS	SOS	Exponential	Identity
22	MLP 28-18-5	90.10685	BFGS	SOS	Tanh	Exponential
23	MLP 28-10-5	98.81282	BFGS	Entropy	Identity	Softmax
24	MLP 28-20-5	97.03205	BFGS	Entropy	Logistic	Softmax
25	MLP 28-13-5	98.61496	BFGS	Entropy	Tanh	Softmax
26	MLP 28-8-5	86.70360	BFGS	SOS	Identity	Exponential

MLP – Multilayer perceptron (Многослоен перцептрон)

RBF – Radial basis function (Радиална основна функция)

BFGS – алгоритъм на Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (Bishop, 1995).

RBFT - Radial basis function training (Тренировъчна радиална основна функция)

SOS – Sum of squares (Сума от квадратите)

Entropy – Ентропия

### ***3.8. Резултати от прогнозното металогенно райониране на Източни Родопи по комплекс от признаци***

Металогенното прогнозно райониране е извършено посредством съставяне на класификационни правила чрез прилагане на компютърни невронни мрежи и Бейсов класификатор.

Извършените изследвания върху изграждането на класификационните правила при използване на различни комбинации от еталонни извадки за двата класа показват стабилност и надеждност на класифицирането.

В процеса на изследванията са използвани разновариантни комбинации от признаци за съставяне на класификационните правила за прогнозното райониране. При подбора и съчетаването на признаците се изхожда от тяхната статистическа характеристика, информативност и конкретната насоченост на решаваната прогнозна задача.

Получените в резултат от проведеното металогенно прогнозиране за района на Източни Родопи схематични карти са представени отделените по двата метода (Компютърни невронни мрежи и Бейсов класификатор) най-перспективни зони за наличие на потенциални рудопроявления и минерализации, които представляват интерес за насочването на търсещо-проучвателни геоложки и геофизични изследвания – Фигури 3.21, 3.22 и 3.23.

Илюстрираните резултати са поделени в зависимост от типа на изследваните находища - полиметални златно-сребърни рудопроявления, проявления на разсипно злато и оловно-цинкови рудопроявления.

Анализът на получените прогнозни карти показва, че използването на Бейсовия класификатор води до значително окрупняване на перспективните зони, а посредством невронните мрежи се диференцират доста по-малки и повече на брой зони, притежаващи потенциал за наличие на рудна минерализация.

По-високата ефективност и способност за разграничаване на отделните по-малки зони се дължи на многовариантния анализ при невронните мрежи, коренящ се в спецификата на метода за получаване на множество от потенциални решения, на базата на които се определя най-вероятното. За разлика от това, при Бейсовия класификатор имаме доста по-просто едномерно решение, отнасящо прогнозната клетка към един от двата класа „рудни“ или „безрудни“. Затова и отделените перспективни площи имат значително по-големи размери и често обединяват като една няколко по-малки и близко разположени перспективни зони.

Най-отчетливо това се забелязва при полиметалните златно-сребърни орудявания в районите на Маджаровското рудно поле и Крумовград, както и при оловно-цинковите орудявания в Централнородопския руден район.

#### ***Прогнозно металогенно райониране, насочено към търсене на потенциални полиметални златно-сребърни рудопроявления***

На получените схематични карти от прогнозното металогенно райониране, насочено към търсене на потенциални полиметални златно-сребърни рудопроявления (Фигура 3.21) се отделят 7907 броя перспективни клетки при прилагане на метода на компютърните невронни мрежи и 18600 клетки - след прилагане на Бейсовия класификатор. При невронните мрежи те се концентрират в 30 перспективни зони, а при Бейсовия класификатор - в 19 перспективни зони.

Като най-перспективни могат да се дефинират отделените и при двата използвани метода зони. В тази група попадат:

- районът на Хасковски Минерални бани и с. Спахиево;
- Маджаровското рудно поле и площта южно от него - около селата Черничино, Попско и Карловско;
- районът южно и югозападно от Крумовград;
- площта на югоизток от гр. Момчилград и с. Подкова;
- районът около селата Розино и Черничево.
- 

Наблюдава се и отделянето на перспективни зони, които не се потвърждават и по двата метода. При Бейсовият класификатор, такива са зоните около селата Пчеларово и Бели пласт, както и между гр. Кърджали и с. Безводно - в западната половина на изследваната площ, а също така и в района на с. Студен кладенец и с. Плевун. Като отделни рудоперспективни зони, определени само от резултатите след приложението на невронните мрежи, се отделят тези източно от с. Искра и южно от гр. Джебел и селата Джанка и Гугутка. Открояват се и няколко малки зони, разположени в изток-североизточна посока от гр. Маджарово.

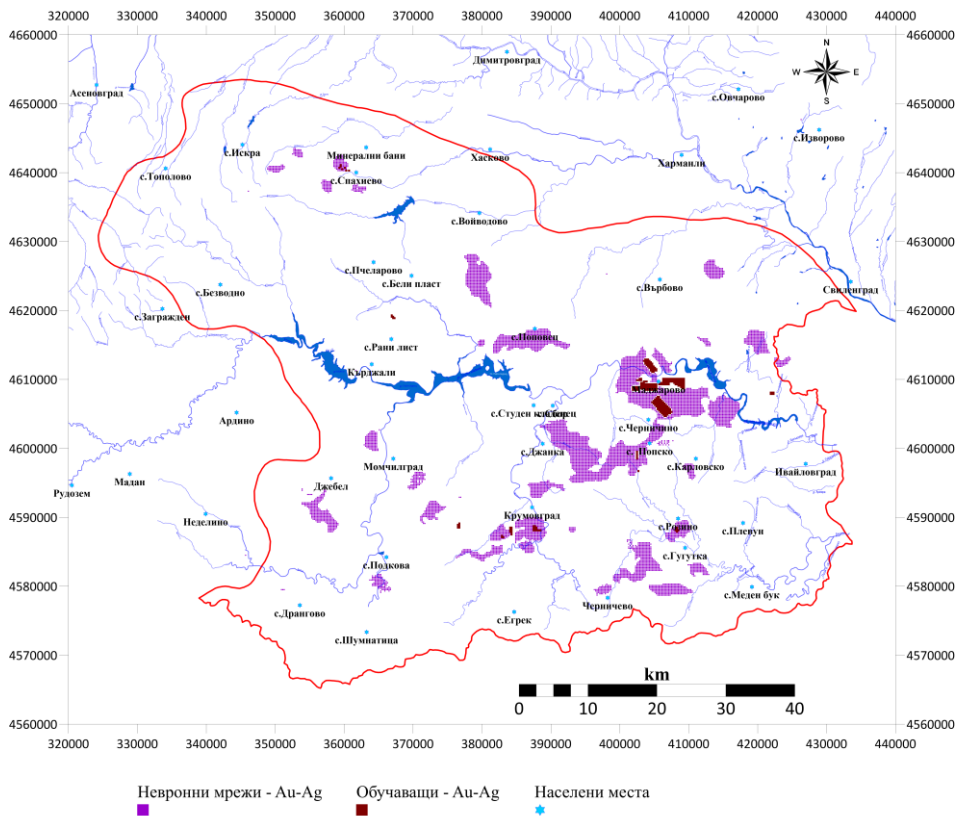
### ***Прогнозно металогенно райониране, насочено към търсене на потенциални проявления на разсипно злато***

Резултатите от прогнозното металогенно райониране, насочено към търсене на потенциални проявления на разсипно злато (Фигура 3.22) могат да се обобщят по следният начин - отделени са 6653 броя перспективни клетки при прилагането на метода на компютърните невронни мрежи и 5606 клетки – при използване на Бейсовия класификатор. Основната концентрация на перспективни зони, получена и при двата метода се разполага главно по поречията на реките и в техните заливни тераси.

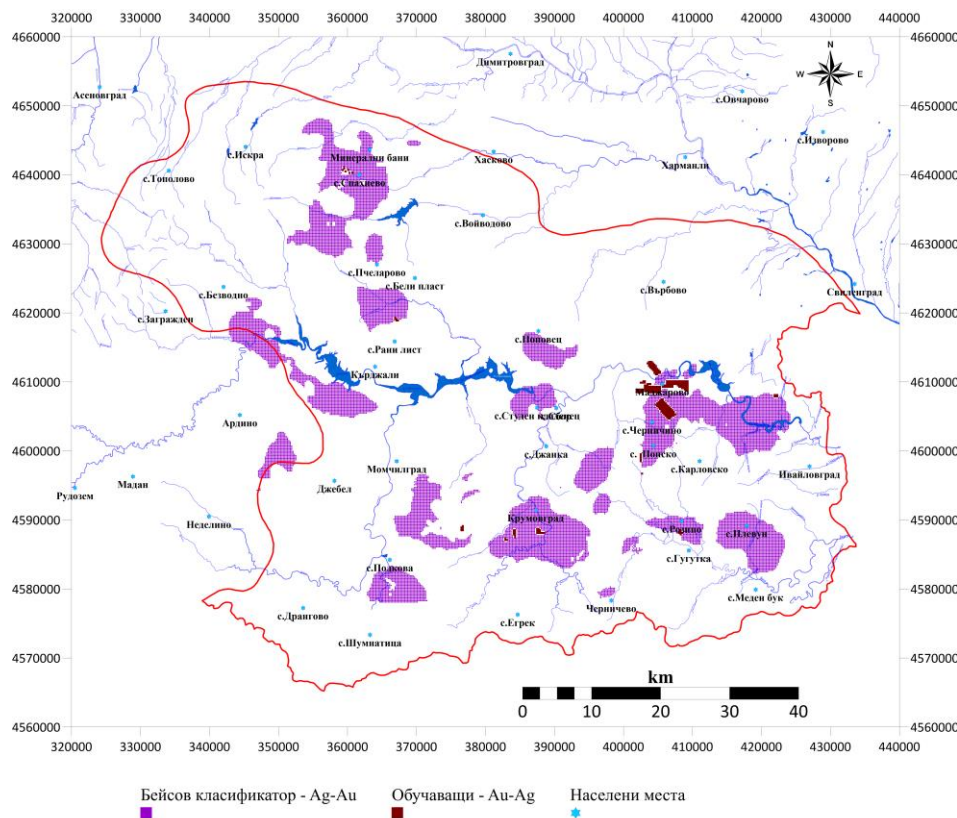
Основни перспективни зони се явяват поречията на реките Арда, Крумовица, Бяла река, Перперек, както и многобройните им притоци. Концентрация на перспективни зони се наблюдава около градовете Маджарово, Ивайловград и Крумовград, както и в района на селата Меден бък, Черничино и Джанка, разположени в югоизточната част на изследваната площ. Перспективни са също и реките около селата Войводово, Върбово и Бели пласт, и източно от с. Изворово.

Интерес представляват и някои допълнителни зони, отделени само при прогнозирането по метода на невронните мрежи, представляващи по-малки притоци на р. Марица, разположени източно от гр. Асеновград – р. Сушица и р. Черкезица, поречията на реките Мечка, Коваджик дере и Бяла река, както и в района на Хасковски Минерални бани – реките Буковска и Домуз дере. Перспективни зони, макар и с малко по-разпръснат характер на прогнозните клетки, се наблюдават по поречията на рекетите Неделинска, Голяма река и Върбица, разположени в района на гр. Неделино и селата Драганово и Подкова.

От Бейсовия класификатор могат да се отделят още няколко перспективни участъка, разположени източно от с. Изворово (по поречията на реките Бюйюклийска и Сюдюндиу, вливащи се в р. Марица). Очертават се и няколко по-малки участъка, югоизточно от Крумовград – р. Авренска и р. Бостан дере, както и източно от Ивайловград – по поречието на р. Атеренска и р. Гайдохорска, вливащи се в р. Арда.

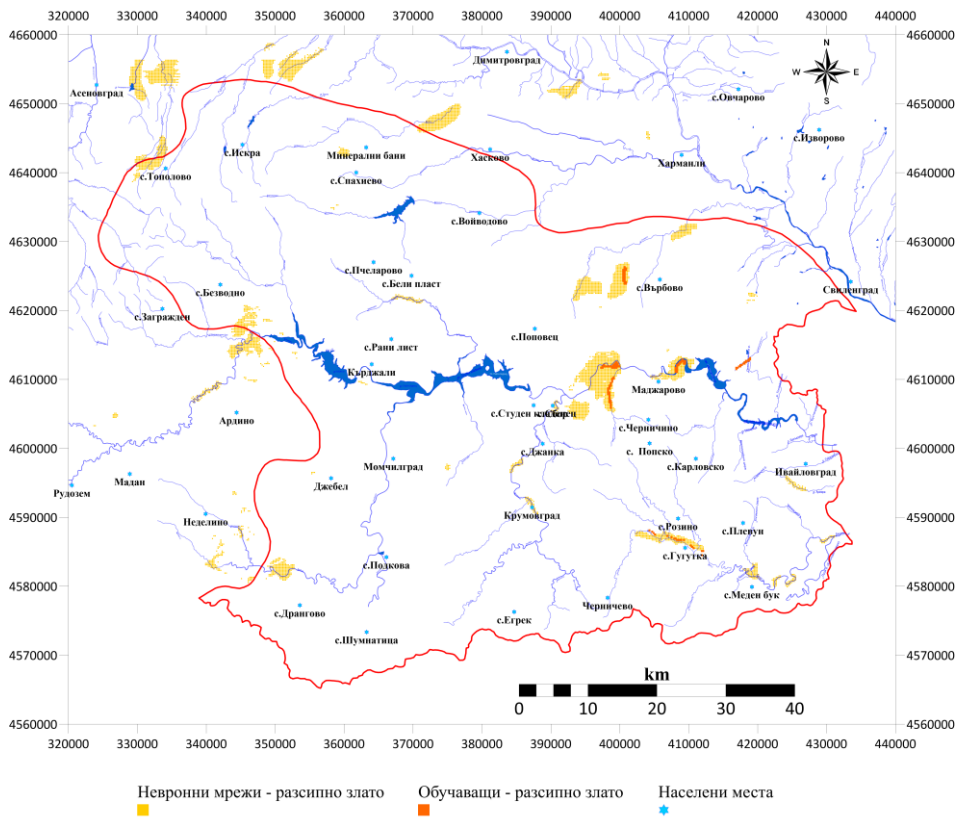


A)

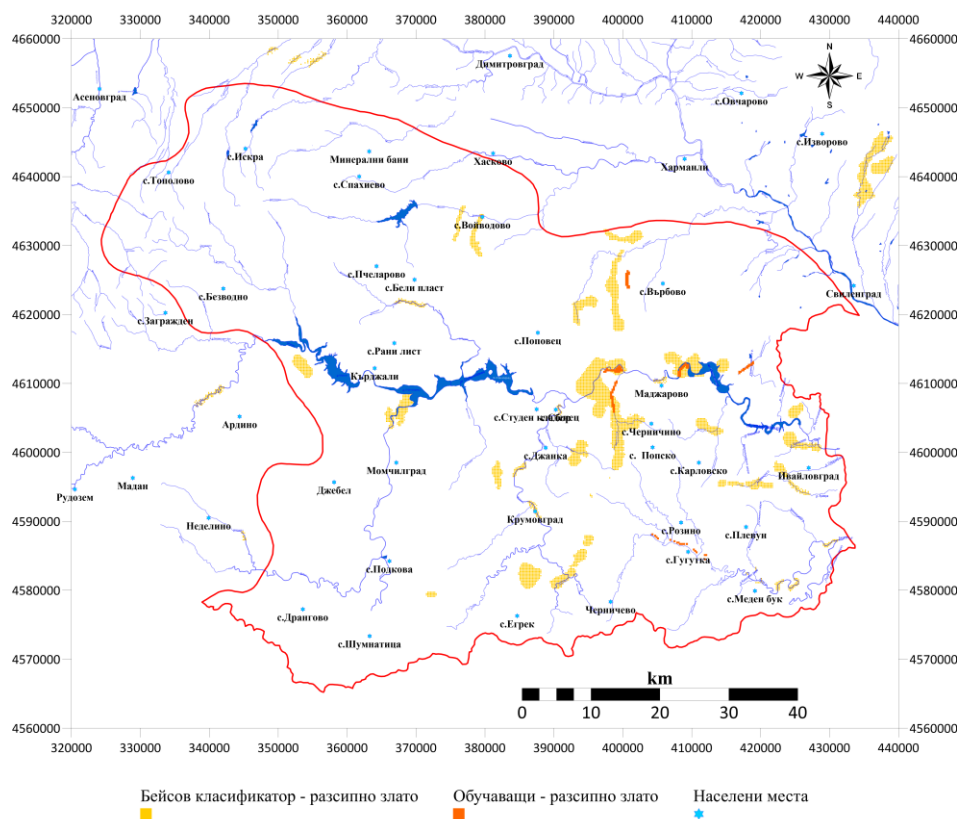


B)

Фиг. 3.21. Резултати от прогнозното металогенно райониране на Източни Родопи по комплекс от признаци, насочено към търсене на потенциални полиметални злато-сребърно рудопроявления. Приложен метод за прогнозиране: А) Невронни мрежи; Б) Бейсов класификатор.

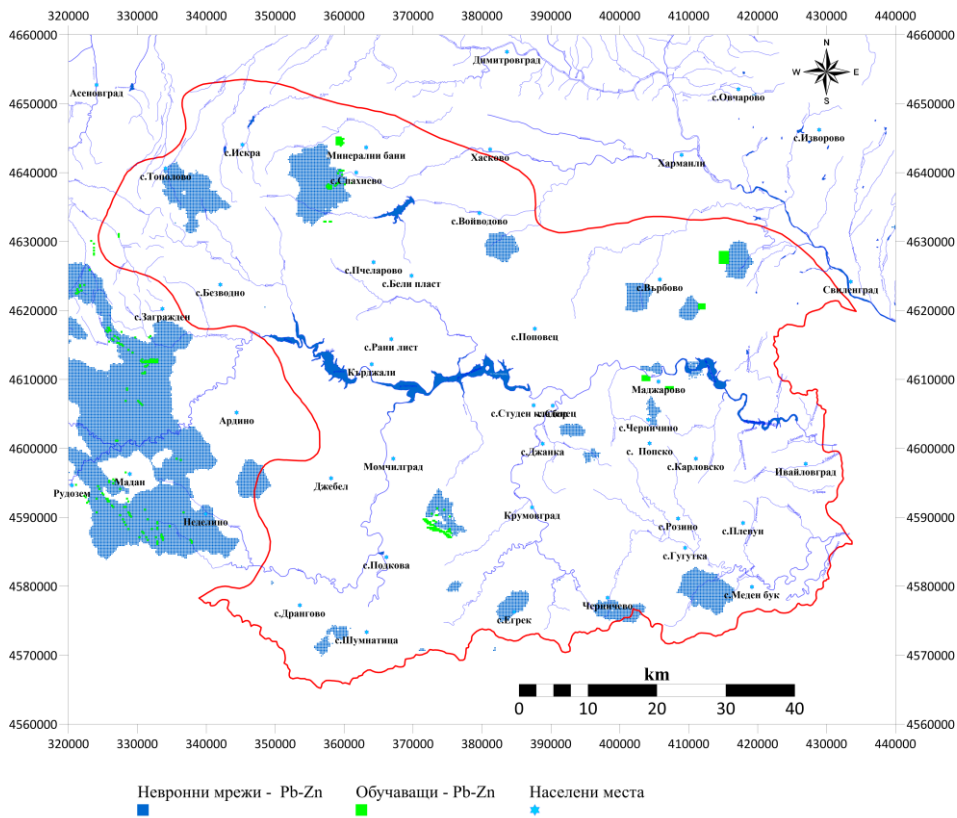


A)

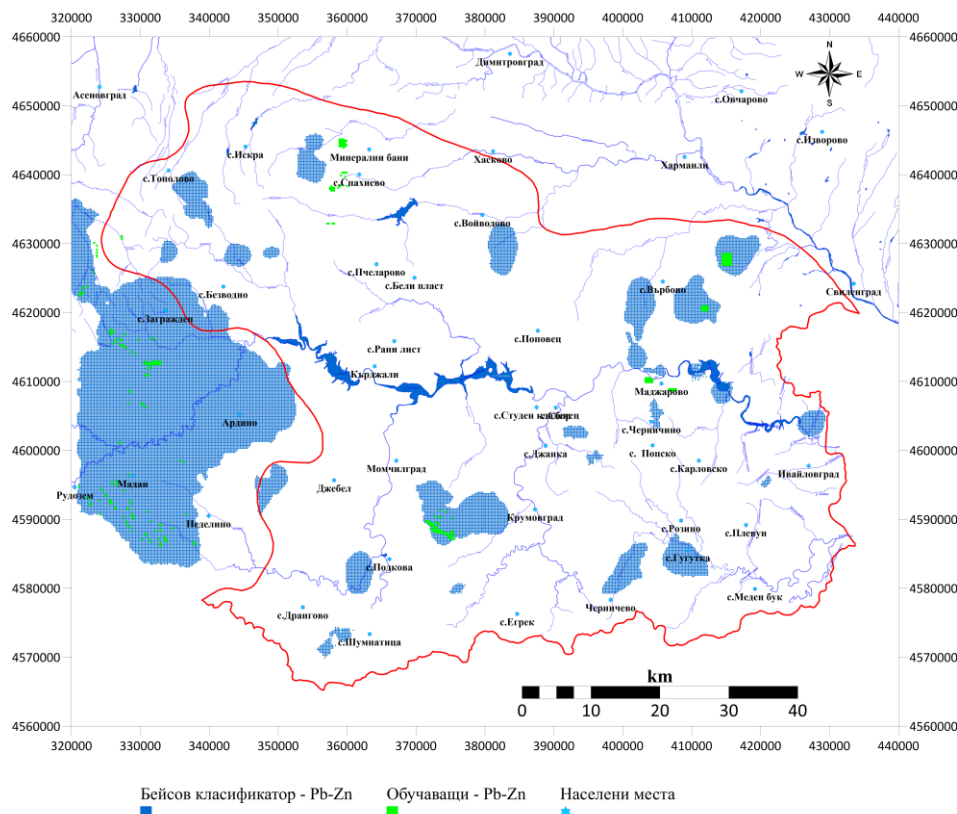


B)

Фиг. 3.22. Резултати от прогнозното металогенно райониране на Източни Родопи по комплекс от признаци, насочено към търсене на потенциални проявления на разсипно злато. Приложен метод за прогнозиране: А) Невронни мрежи; Б) Бейсов класификатор.



А)



Б)

Фиг. 3.23. Резултати от прогнозното металогенно райониране на Източни Родопи по комплекс от признаци, насочено към търсене на потенциални оловно-цинкови рудопроявления. Приложен метод за прогнозиране: А) Невронни мрежи; Б) Бейсов класификатор.

### ***Прогнозно металогенно райониране, насочено към търсене на потенциални оловно-цинкови рудопроявления***

На получените схематични карти от прогнозното металогенно райониране, насочено към търсене на потенциални оловно-цинкови рудопроявления (Фигура 3.23) и по двата метода се отделят 13 основни зони, включващи 19812 броя перспективни клетки при прилагането на метода на компютърните невронни мрежи и 32831 клетки - при прилагане на Бейсовия класификатор.

Еднозначно като най-перспективни могат да се дефинират отделените и при двата използвани метода зони. В тази група попадат:

- районът югоизточно от с. Тополово, както и западно от селата Минерални бани и Спахиево;
- няколко големи зони концентрирани по линията с. Върбово - Свиленград;
- Маджаровското рудно поле и площта източно от селата Сбор и Джанка;
- зоните разположени на юг от с. Войводово и с. Шуматица, както и западно от Крумовград;
- Централнородопският руден район, обхващащ основната част от Маданско-Давидковския руден субрайон.

Интерес представляват и очерталите се при използване на метода на компютърните невронни мрежи перспективни зони, разположени южно от селата Черничино и Гугутка, както и северно от с. Егрек и с. Токачка. Върху схематичната карта, получена след прилагане на Бейсовия класификатор се отделят някои допълнителни рудни зони, разположени северно от селата Черничино и Гугутка, които съвпадат само частично с резултатите от прогнозирането, извършено чрез компютърни невронни мрежи. Отделят се и още три перспективни зони – западно от с. Подкова, югоизточно от с. Камилски дол, както и по линията с. Мостово - с. Паничково.



## Заклучение. Авторски приноси.

В настоящата дисертация са представени основните резултати, постигнати от положените усилия за обобщаване на методически подход за металогенно прогнозиране, както и в областта на изучаване възможностите и адаптирането на компютърни системи за комплексна интерпретация на данни.

При разработването на темата специално внимание е отделено за събиране и въвеждане на наличните входни данни (геофизични, литогеохимични, геоложки и други карти и схеми) за изследваната площ. Това е много голям обем информация, която в процеса на кодиране трябва да се оценява за кондиция и представителност.

Основните авторски научно-методични и научно-приложни приноси, съдържащи се в постигнатите резултати при разработването на темата се изразяват в следното:

- ✓ Обобщен е методически подход за металогенно прогнозиране посредством приложението на компютърни системи за комплексна интерпретация на данни.
- ✓ Организирана и систематизирана е приложно-насочена база от геофизични, геоложки, литогеохимични и други данни. Идеологията на системата предполага многоцелева насоченост на базата - въвеждане и съхраняване на информацията, създаване на масиви (среда) за обработка и анализ, както и представяне на данни в подходяща за потребителя форма.
- ✓ В процеса на решаване на прогнозните задачи са приложени съвременни статистически софтуерни продукти. Основно внимание е обърнато върху използването на компютърните невронни мрежи като средство за прогнозиране и класификация по комплекс от признаци. Допълнително, с цел съпоставка на получените резултати, е извършено прогнозиране чрез прилагане на Бейсов класификатор.
- ✓ Извършено е прогнозно металогенно райониране по комплекс от признаци. За целта е дефинирана входната информация, обособени са еталонни извадки, изяснени са статистическите характеристики на признаците и тяхната информативност. Съставени са разновариантни разпознаващи правила и е извършено металогенно райониране при различни комбинации от признаци.
- ✓ Съставени са схематични карти, на които са представени най-перспективните зони, в които би следвало да се насочат едни бъдещи геолого-геофизични проучвания.

Съвкупните изследвания по темата са много важен етап в разработването на методика за комплексна обработка, анализ и интерпретация на геофизична, литогеохимична и геоложка информация и за практическа реализация на компютърни системи за решаване на прогнозни задачи.

Получените резултати дават основа за насочването на бъдещи геологопроучвателни дейности в областта на търсенето и добива на полезни изкопаеми. Независимо от факта, че в представената работа са представени резултати само за три основни групи обекти (оловно-цинкови находища, златно-полиметални находища и находища на разсипно злато), то приложимостта на метода може да бъде разширен чрез добавяне на нови „еталонни“ рудни групи.

Може да се обобщи, че резултатите от прогнозното металогенно райониране на територията на Източни Родопи са предпоставка за бъдещите проучвания. Комбинацията от признаци на основата на гравитационни, магнитни, аерогама-спектрометрични, литогеохимични и геоложки данни осигурява повтарящи се резултати, което потвърждава

стабилността и универсалността на класификационните правила. Разликата между отделните схеми са в детайлите, което се дължи на специфичната информативност на тези признаци. Обективен критерий за надеждността на прогнозите е обстоятелството, че практически всички известни рудни находища и рудопроявления са в обхвата на перспективните зони. Обособените нови перспективни зони – разширенията на известните рудни полета и нови перспективни участъци представляват практически интерес.

Следва да се отбележи, че ефективността на прогнозните резултати в голяма степен зависи от избраното признаково пространство. В тази връзка е твърде целесъобразно включването на нови данни в наличния комплекс.

Основната част от научно-методичните разработки и резултатите от изследванията, отразени в дисертационния труд, могат да се използват не само от специалисти геофизици и геолози, но също и от студенти в учебно-образователния процес на Геологопроучвателния факултет при Минно-геоложкия университет “Св. Иван Рилски”.

## Публикации, свързани с темата на дисертационния труд

1. Alexandar Tsvetkov, **Atanas Kisyov** [2011] Application of geophysical methods for prognostication of porphyry-copper mineralizations. – Proceedings of the 6th Congress of Balkan Geophysical Society, Budapest, Hungary, 3-6 October 2011.
2. **Atanas Kisyov**, Stefan Tachev, Venelin Slavchev [2013] Application of computer neural networks for mapping different rock types according to their physical properties. – Proceedings of the 4th International Geosciences Student Conference, Berlin, Germany, 25-28 April 2013.
3. **Atanas Kisyov**, Dafina Blagoeva [2013] Statistical analysis of petrophysical data from the basic types of rocks in the Western Rhodopes region. – Proceedings of the 4th International Geosciences Student Conference, Berlin, Germany, 25-28 April 2013.
4. **Атанас Кисъов** [2015] Възможности за приложение на компютърните невронни мрежи при статистически анализ на петрофизични данни. – Сборник доклади от VII Национална конференция по геофизика - 25 години Българско Геофизично Дружество, София, 20-23 май 2015.
5. **Атанас Кисъов** [2016] Основни дейности прилагани в процеса за разпознаване на образи при решаване на прогнозни геоложки задачи. – Годишник на МГУ “Св. Иван Рилски”, том 58, св. I, Геология и геофизика.

## Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд

1. Бонев, Н. 2011. Регионална геология и геодинамична еволюция на източния Циркум-Родопски пояс, България-Гърция. Автореферат дисерт. дн. Софийски университет 54 с.
2. Бояджиев, С., Боянов, И., Кожуха ров, Д. 1971. Родопски срединен масив. - В: Йовчев, Й. (ред.) Тектонски строеж на България. С., Техника, 49-137.
3. Боянов, И., Русева, М., Топракчиева, В., Димитрова, Е. 1990. Литостратиграфия мезозойских пород в Восточных Родопах. - *Geologica Balcanica.*, 20, 5, 3-28.
4. Велев, А. 1996. Дълбочинно сеизмично профилиране на земната кора по регионален профил Ивайловград-Ардино. - Сп. Бълг. Геофизично д-во, 22, 2, 91-109.
5. Вергилов, В., Кожухаров, Д., Маврудчиев, Б., Кожухарова, Е. 1963. Бележки върху допалеозойските метаморфни комплекси в Родопския масив. -Изв. Геол. инст., 12, 113-186.
6. Георгиев, В. 2012. Металогения на Източните Родопи. Академично издателство "Проф. Марин Дринов" София; 261 стр.
7. Георгиев, В., Б. Кольковски, Ст. Бояджиев. 2007. Късноалпийската металогения на западните и централни части на Родопския масив на територията на България – нов поглед. Списание на БГД, год. 68 книга 1-3, 2007г. с. 143-156.
8. Георгиева, Г. 2013. Анализ на дългопериодните вълнови форми от земетресения с цел изучаване на строежа на земната кора и горната мантия. 2013. дисерт. д-р, архив. Национален Институт по Геофизика Геодезия и География – БАН, 200 с.
9. Горанов, А., Боянов, И. 1996. Бисерската литостратиграфски единици в палеогена Родопи. - Сп. Бълг. геол. д-во, 57, 1, 83-88.
10. Дабовски, Х., Загорчев, И. 2009. Въведение: Мезозойска еволюция и алпийски строеж. - В: Загорчев, И., Дабовски, Х., Николов, Т. (ред.) Геология на България. Том II. Мезозойска геология. С., Акад. изд. „Проф. Марин Дринов“, 13-37.
11. Дайски, К., С. Павлов, Р. Рангелов. 1986. Прогнозиране на площи, перспективни за полиметални орудявания, по данни от комплексните аерогеофизични проучвания в Лозенското рудно поле. Списание на БГД, год. XLVII, книга 2, 188 – 196 с.
12. Иванов, Ж. 1998. Тектоника на България. Хабилизационен труд, Софийски университет 579 с.
13. Добрев, Т., В. Иванова, Р. Радков. 1989. Комплексиране на геофизичните проучвания. Техника, София, 1989. 320 стр.
14. Йовчев, С. и др. 1988. Доклад върху резултатите от проведените едромасщабни дистанционни изследвания в Панагюрския руден район и Попско-Белополското рудно поле. Геофонд на МОСВ, VIII-683
15. Йосифов, Д., Пчеларов, В. 1977. Схема мощности земной коры Балканского полуострова и некоторые особенности ее строения. - *Geologica Balcanica.*, 7, 2, 7-22.
16. Йосифов, Д., Л. Никова, Д. Цветкова. 1987. Методика выделения геофизических критериев поисков и прогнозирования свинцово-цинковых месторождений (по примеру Родопского массива). - XXXII междунар. геофиз. симпоз., Дрезден, 2, 238—250.
17. Йосифов, Д., Л. Никова, Д. Цветкова. 1988. Геофизични критерии за прогнозиране и търсене на оловно-цинкови орудявания в Родопския масив. Списание на БГД, год. XLIX, книга 3
18. Йосифов, Д. 1987. Геофизични полета и корелацията им с оловно-цинковите орудявания в Родопския и Сръбско-Македонския масив. - Рудообр. проц. и минер. нах., 27, 3—15.
19. Йосифов, Д., А. Цветков, Л. Никова, Д. Цветкова. 1992. Прогнозиране на оловно-цинкови и злато-полиметални орудявания в Източните Родопи до геофизични данни. Сборник резюмета, Научен симпозиум „Металогения на България“, София. 27 -29 с.

20. Йосифов, Д., А. Цветков, Д. Цветкова. 1996. Геофизична характеристика на и металоогенни особености на Звездел-Крумовградския магмен център, Източни Родопи. Втора научна конференция „Благородните метали и техните находища в България“ Асеновград.
21. Йосифов, Д., Г. Георгиева. 2018. Строежни особености на горната мантия на територията на крупните находища на цветни метали в България. Списание Геология и минерални ресурси, год. XXV, брой 2-3, с. 3-9.
22. Кожухаров, Д. 1971. Структурни комплекси и структурни планове в Източнородопския блок. - В: Йовчев, Й. (ред.) Тектонски строеж на България. С., Техника, 99-127.
23. Кожухаров, Д. 1984. Литостратиграфия докембрийских метаморфических пород Родопской надгруп в Централных Родобах. - *Geologica Balcanica*, 14, 1, 43-92.
24. Кожухаров, Д. 1987. Литостратиграфия и строение докембрия в ядре Белоречского поднятия в Восточных Родобах. - *Geologica Balcanica*, 17,2, 15-38.
25. Кожухаров, Д. 1991. Особенности строение Чепеларской свиты в Ивайловградском и Крумовградском районах (Восточные Родопы). - *Geologica Balcanica*, 21,3, 34.
26. Кожухаров, Д. и др. 1988. Геоложка карта на България в М 1:100 000, к. л. Кърджали. Предпр. за геофиз. проучв. И геол. картиране, С.
27. Кожухаров, Д. и др. 1992. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100 000, к. л. Смолян. Предпр. за геофиз. проучв. и геол. картиране, С., 49.
28. Нишева, А.М., Д. Шипков, 1995. “Изкуствен интелект,” издателство Интеграл, Добрич, 1995 г. 179 стр.
29. Нафтали, Л., О. Малинов, Л. Никова. 1987. Някои признаци и предпоставки за търсене на медно-порфирна минерализация в Централнородопския руден район. Национ.научно-техническа конф. "Порфирните находища в ЮИ Европа, Карлово, 1987.
30. Саров, С., Чернева, З., Колчева, К., Войнова, Е., Герджиков, Я. 2004. Литотектонска подялба на метаморфните скали от източните части на Централнородопската екстензионна структура. - *Сп. Бълг. геол. д-во*, 65, 1-3, 101-106.
31. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Вълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Марков, Н., Маринова, Р. 2008а. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-87-В (Златоград) и К-35-99-А (Дрангово). М-во на околната среда и водите. 136 с.
32. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Вълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Марков, Н., Маринова, Р. 2008б. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-87-А (Ардино). М-во на околната среда и водите. 88 с.
33. Саров, С., Войнова, Е., Московски, С., Железарски, Т., Георгиева, И., Николов, Д., Найденов, К., Недкова, К., Петров, Н., Марков, Н., Маринова, Р. 2008в. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М1:50 000, к. л. К-35- 74-Б (Лъки). М-во на околната среда и водите. 58 с.
34. Саров, С., Войнова, Е., Московски, С., Железарски, Т., Георгиева, И., Николов, Д., Найденов, К., Петров, Н., Марков, Н., Маринова, Р. 2008г. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-74-Г (Давидково). М-во на околната среда и водите. 68 с.
35. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Бълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Марков, Н., Маринова, Р. 2008д. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-76-Б (Харманли). М-во на околната среда и водите. 64 с.
36. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Бълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Маринова, Р., Марков, Н. 2008е. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-89-А (Ивайловград). М-во на околната среда и водите. 62 с.
37. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Бълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Марков, Н., Маринова, Р. 2008ж. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-88-Г (Черничево) и К-35-100-Б (Кехрос). М-во на околната среда и водите. 80 с.

38. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Бълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Маринова, Р., Марков, Н. 2008з. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-88-Б (Маджарово). М-во на околната среда и водите. 120 с.
39. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Бълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Маринова, Р., Марков, Н. 2008и. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35-88-В (Крумовград) и К-35- 100-А (Егрек). М-во на околната среда и водите. 124 с.
40. Саров, С., Йорданов, Б., Георгиев, С., Бълков, В., Балканска, Е., Гроздев, В., Маринова, Р., Марков, Н. 2008й. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000 к. л. К-35-89-В (Мандрица) и К-35-101-А (Микродендрон). М-во на околната среда и водите. 64 с.
41. Саров, С., Войнова, Е., Московски, С., Железарски, Т., Георгиева, И., Николов, Д., Найденов, К., Недкова, К., Петров, Н., Марков, Н., Маринова, Р. 2008к. Обяснителна записка към геоложка карта на Република България М 1:50 000, к. л. К-35- 86-Г (Мадан). М-во на околната среда и водите. 47 с.
42. Саров, С., Войнова, Е., Московски, С., Железарски, Т., Георгиева, И., Николов, Д., Найденов, К., Недкова, БС., Петров, Н., Марков, Н., Маринова, Р. 2008л.
43. Цветков, А. 2005. Геофизична характеристика на някои вулкански структури в централната част на Момчилградското понижение. Годишник на Минно-Геоложкия университет "св. Иван Рилски", Том 48, Св. I, Геология и геофизика, 2005
44. Цветков, А., Л. Никова, Д. Йосифов, В. Манева. 1989. Геофизични критерии за детайлно прогнозиране на оловно-цинкови орудявания в Спахиевското рудно поле. Рудообразуващи процеси и минерални находища, 29, 43-54 с.
45. Bonev, N., 2006. Cenozoic tectonic evolution of the eastern Rhodope massif (Bulgaria): Basement structure and kinematics of syn- to postcollisional extensional deformation. - In: Dilek, Y., Pavlides, S. (eds.), Post-collisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia. Geological Society of America, Special Paper 409, 211-235
46. Bonev, N., Stampfli, G. 2003. New structural and petrologic data on Mesozoic schists in the Rhodope (Bulgaria): geodynamic implications. - C. R. Geoscience, 335, 691-699.
47. Bonev, N., Marchev, P., Singer, B. 2006. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology constraints on the Middle Tertiary basement extensional exhumation, and its relation to ore-forming and magmatic processes in the Eastern Rhodope (Bulgaria). - Geodinam. Acta, 19, 265-280.
48. Dabovski, Ch. 2006. Structure and geodynamics of the Balkan region: A review. - In: Milev, G., Dabovski, C. (eds.), Geodynamics of the Balkan Peninsula, Reports on Geodesy. Warsaw University of Technology, 5, 35-47.
49. Dabovski, Ch., Boyanov, I., Chrishev, Ch., Nikolov, T., Sapunov, I., Yanev, Y., Zagorchev, I. 2002. Structure and Alpine evolution of Bulgaria. - Geologica Balcanica, 32, 2-4, 9-15
50. Galushkin A. 2007. Neural Networks Theory. Springer-Verlag Berlin eidelberg.
51. Georgiev, V. 2002. Zlatoustovo volcanotectonic depression (Eastern Rhodopes). - In: „Modern problems of the Bulgarian geologySofia, 14-17.
52. Georgiev, V. 2006. Tertiary domes and depressions in the Rhodope massif. — In: Ann. Scientific conf. „ Geosciences 2006“, Proceedings, 106-109.
53. Georgieva, G., S. Nikolova. 2013. The Moho depth and crustal structure beneath Bulgaria obtained from receiverfunction analysis. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Tome 66, No 5, 725 -732
54. Haydoutov, I. 2002. Peri-Gondwanan terranes in the pre- Early Palaeozoic basement of the region of Bulgaria. - Geologica Balcanica., 32,2-4, 17-20.
55. Haykin, S. 2006. – Neural Networks. McMaster University Hamilton, Ontario, Canada
56. Ivanov, Z. 1989. Structure and tectonic evolution of central parts of the Rhodope massif. - In: „ Guide to excursion E-3, CBGA –XIV congress". Sofia, Bulgaria, 126 p.

57. Ivanov, Z. 2000. Tectonic position, structure and tectonic evolution of Rhodope massif. - In: „Guide to excursion ABCD - GEODE 2000, Workshop". Borovets, Bulgaria, 1-6.
58. Kriesel, D. 2007. A Brief Introduction to Neural Networks (<http://www.dkriesel.com>)
59. Marchev, P., Arai, S., Vaselli, O. 2006. Cumulate xenoliths in Oligocene alkaline basaltic and lamprophiric dykes from the eastern Rhodopes, Bulgaria: Evidence for the existence of layered plutons under the metamorphic core complexes. - Geological Society of America. Special Paper, 409, 237-258
60. Milovanov, P. 1989. Location of the northern boundary of the Rhodope massif in the east Rhodopes - Bulgaria. - In: Abstracts of „Hellenic-Bulgarian symposium on the geological and physico-geographical problems of the Rhodope massif, Thessaloniki, oct. 14-17 1989, p. 18.
61. Poulton Mary M. 2000. Computational neural networks for geophysical data processing; The University of Arizona Tucson, USA, 2001
62. Ricou, L.-E., Burg, J.-P., Godfriaux, I., Ivanov, Z. 1999. Rhodope and Vardar: the metamorphic and the olistostromic paired belts related to the Cretaceous subduction under Europe. - *Geodinamica acta*, Paris, 11,6, 285-309.
63. Stergiou, Ch., D. Siganos. 1996. Neural Networks. Imperial College of Science Technology and Medicine, Queen's Gate, London (<http://srii.sou.edu.ge/neural-networks.pdf>)

---

**Атанас Иванов Кисъов**

**Разработване на методика за металогенно прогнозиране за територията на Източни  
Родопи по комплекс от геоложки и геофизични признаци**

**АВТОРЕФЕРАТ**