

МАГНИТНИ СВОЙСТВА НА РИОЛИТИТЕ В РОДОПСКИЯ МАСИВ

Стефан Димовски, Ради Радичев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, България
E-mail: dimovski@mgu.bg; radirad@mgu.bg

РЕЗЮМЕ

Риолитовата формация в Родопския масив се представя от терциерни екструзивни и ефузивни лави в Западни и Централни Родопи. Извършените изследвания се базират върху данните от измерванията на катедра "Приложна геофизика" и други организации на магнитната възприемчивост и модула на интензитета на вектора на остатъчната намагнитеност за проби от риолити за различни райони на Родопския масив - Брацигово-Доспатското понижение, Доспатската антиклинала, Южнородопската синклинала, Севернородопската синклинала, Смолянското понижение и други по-локални структурни образувания като Ковачевската синклинала, Баташката синклинала, Въчанското подуване, Лясковското подуване, Хвойненската грабен-синклинала.

Приложен е статистически анализ за оценка на съвкупности от отделни райони и на общата съвкупност. За локални разкрития въз основа на детайлни параметрични измервания на магнитната възприемчивост е изследвано площното разпределение на параметъра. Съвкупният анализ на магнитната възприемчивост и остатъчната намагнитеност на риолитите в Западни и Централни Родопи дава основание да се приеме, че детайлното картиране по магнитни свойства може ефективно да допълни информацията от традиционното геоложко картиране.

ВЪВЕДЕНИЕ

Риолитовата формация в Родопския масив се представя от терциерни екструзивни и ефузивни лави в Западни и Централни Родопи, които са най-добре изучени за Брацигово-Доспатската структура (Д.Бахнева и др., 1978; И.Божков и др., 1978 и др.). Те са представени от биотитови и амфиболосъдържащи риолити до риодацити. В северната част на Брацигово-Доспатската вулканогенна структура те образуват удължен в субекваториална посока ареал (Бахнева и др., 1978). В риолитовия ареал са засебени няколко елементарни вулканоструктури. Авторите посочват, че всяка една от тях е изградена от няколко близки по възраст, структурно-морфоложки белези и магнитна характеристика екструзиви, както и от свързаните с тях потоци от ефузивни лави. За екструзивите е установена остатъчна намагнитеност.

И.Божков и др. (1978) потвърждават, че в Брацигово-Доспатската депресия широко са разпространени риолитови покрови, които се характеризират с добре изразен, почти хоризонтален плоскостен паралелизъм - ъгъл на наклона 12° . Те установяват в западната част на депресията екструзивни тела от риолити, които процепват риолитовите покрови. Тези екструзивни тела обикновено определят контраста в relieфа.

Извършените изследвания се базират върху данните от измерванията на катедра "Приложна геофизика" и други организации на магнитната възприемчивост и модула на интензитета на вектора на остатъчната намагнитеност за проби от риолити за различни райони на Родопския масив - Брацигово-Доспатското понижение, Доспатската антиклинала, Южнородопската синклинала, Севернородопската синклинала, Смолянското понижение и други по-локални структурни образувания като Ковачевската синклинала, Баташката синклинала, Въчанското подуване, Лясковското подуване, Хвойненската грабен-синклинала.

Магнитната възприемчивост се изследва по данни от лабораторни измервания върху скални проби от разкрития и сондажи (973 броя) и параметрични измервания върху разкрития. Модулът на вектора на остатъчната намагнитеност е определен за 536 проби от разкрития и сондажи. Приложен е статистически анализ за оценка на съвкупности от отделни райони и на общата съвкупност. За локални разкрития, въз основа на детайлни параметрични измервания на магнитната възприемчивост, е изследвано площното разпределение на параметъра.

МАГНИТНА ВЪЗПРИЕМЧИВОСТ НА РИОЛИТИТЕ

В регионален план риолитите в Родопския масив са слабо до средно магнитни. Магнитната възприемчивост, измерена за 973 броя скални проби от разкрития и сондажи в Родопския масив, показва изменения на параметъра в много широк диапазон - от 0 до около $1800 \cdot 10^{-5}$ SI, а за отделни проби и повече. Магнитната възприемчивост на изследваните проби в много случаи се изменя в широки граници за ограничени участъци. Така например в района на Доспат риолитите с розови оцветявания имат магнитна възприемчивост $600-900 \cdot 10^{-5}$ SI, а сивите риолити, които са внедрени в розовите, се характеризират с магнитна възприемчивост $1400-2000 \cdot 10^{-5}$ SI. За част от пробите магнитната възприемчивост е относително ниска ($\approx < 500 \cdot 10^{-5}$ SI). Това са случаите когато вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси са способствали за разрушаване или окисляване на първичните феромагнитни минерали с образуване на немагнитни или слабо магнитни разновидности. Обобщено може да се посочи, че силно изразените локални вариации на магнитната възприемчивост на риолитите се обуславят от два основни фактора - диференциациите по магнитна възприемчивост

на разнофазовите видове и влиянието на вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси.

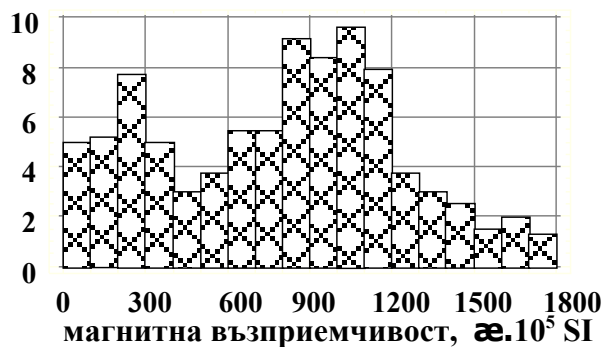
В таблица 1 са систематизирани основните статистически характеристики за стойностното

разпределение на магнитната възприемчивост, а на фиг.1 е илюстрирана хистограма на разпределението на параметъра за основната съвкупност от изследваните проби - изключени са само около 4% от пробите с относително високи стойности ($\bar{\alpha} > 1800 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$).

Таблица 1. Основни статистически характеристики за разпределението на магнитната възприемчивост на риолитите в Родопския масив (Стойностите на магнитната възприемчивост са в единици SI)

Район	Брой проби	$\bar{\alpha}^{\min} \cdot 10^5 / \bar{\alpha}^{\max} \cdot 10^5$	Средно $\bar{\alpha} \cdot 10^5 \text{ SI}$	Стандарт	Асиметрия	Ексцес
Западнородопски блок	174	0 / 3634	821	652	6	10
Брацигово-Доспатско понижение	416	0 / 5940	967	704	17	51
Доспатска антиклинала	92	0 / 3189	734	595	5	9
Южнородопска синклинала	106	0 / 2384	520	624	3	2
Севернородопска синклинала	48	183 / 1629	1012	378	0	0
Смолянско структурно понижение	79	0 / 1448	393	421	2	0
Общо	973	0 / 5940	834	666	19	51

илнэподи



Фигура 1. Хистограма на разпределение на магнитната възприемчивост за основната група от изследваните проби от риолити за територията на Родопския масив. Магнитната възприемчивост е в единици 10^5 SI .

Съвкупният анализ на илюстрираната хистограма и хистограмите за отделните райони показват, че в разпределението на магнитната възприемчивост се обособяват две основни групи - проби с магнитна възприемчивост в границите на $0-500 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$ и група в границите на $500-1800 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$. За ограничен брой проби (около 5%) магнитната възприемчивост е нула и за почти същото количество проби (около 4%) тя е висока ($\bar{\alpha} > 1800 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$) и достига до $6000 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$.

Брацигово-Доспатското понижение се представя с най-много проби и разпределението на магнитната възприемчивост оказва доминиращо влияние върху илюстрираната хистограма за основната съвкупност от пробите (96% от пълната съвкупност). Напълно аналогично е и разпределението за Доспатската антиклинала и Западнородопския блок. За останалите райони се наблюдават незначителни различия.

Следва да се приеме, че групата, за която $\bar{\alpha} < 500 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$ отразява главно влиянието на вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси. В подгрупата $500 \cdot 10^{-5} < \bar{\alpha} < 1500 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$ се включват пробите от

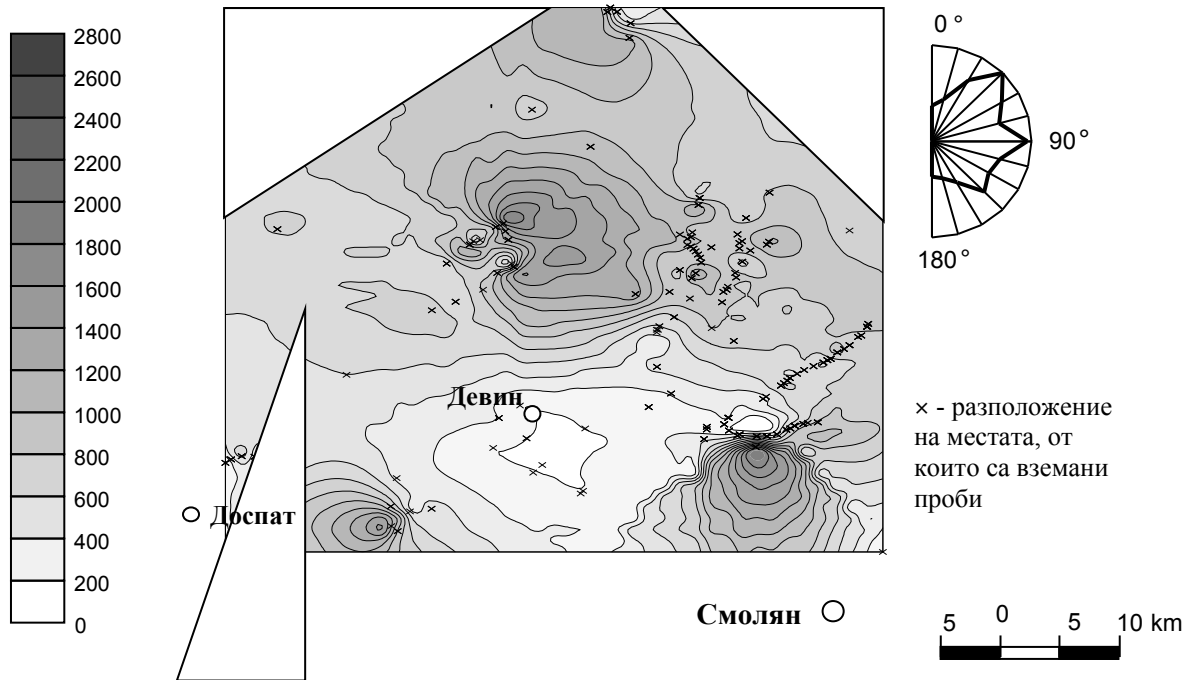
доминиращия риолитов ареал, а пробите с относително високи стойности на параметъра ($\bar{\alpha} > 1500 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$) се привързват към екструзивни образowania.

Пространственото разпределение на магнитната възприемчивост се представя на фиг.2. Брацигово-Доспатското понижение като цяло се характеризира с повишени стойности на магнитната възприемчивост. За цялата територия на фона на ареала от риолити с магнитна възприемчивост до около $1500 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$ се отделят участъци с повишени стойности, които картират присъствието на екструзивните образowania.

Данните от лабораторните определения на магнитната възприемчивост на риолитите от Родопския масив съществено се допълват от извършените параметрични измервания върху разкрития. Тези измервания потвърждават много широкия диапазон на изменение на параметъра, като и факта, че това е валидно в границите на ограничени по площ участъци.

Проведени са специални изследвания за установяване на закономерности в локалното зонално разпределение на

магнитната възприемчивост на риолитите в границите на отделни разкрития.



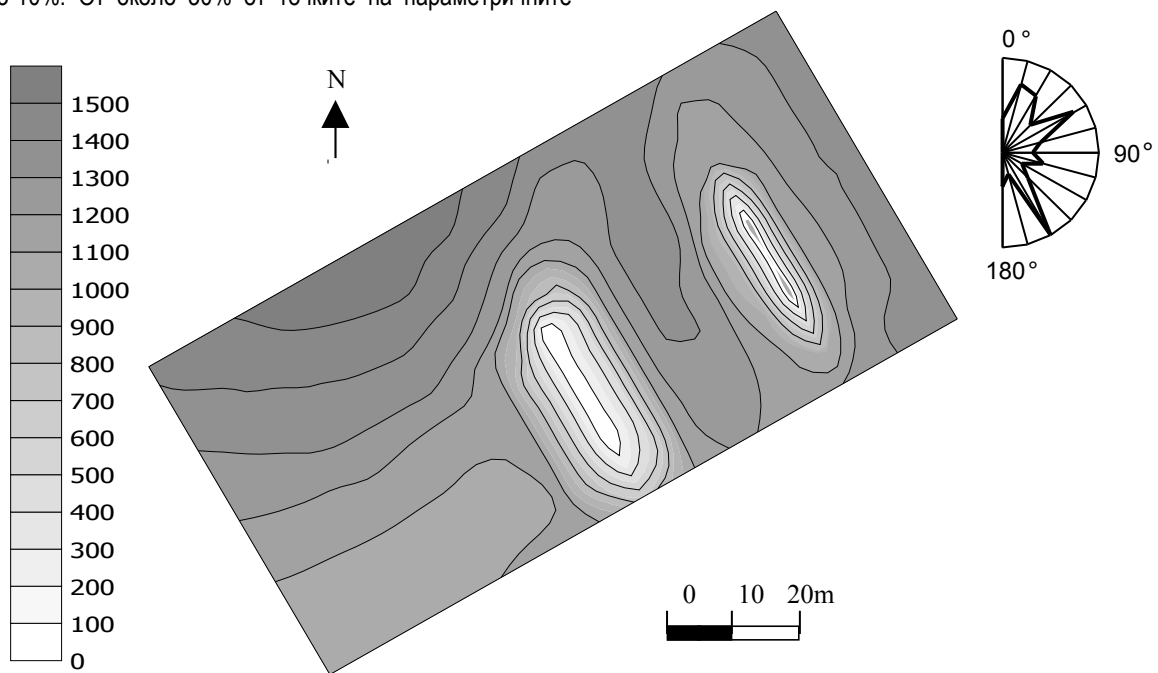
Фигура 2. Схема на пространственото разпределение на магнитната възприемчивост за риолитите в района на Западни и Централни Родопи (зонирането е извършено в $\times 10^5 SI$). Във врезка е показана роза-диаграмата на пространствената ориентация на изолините.

Върху четири разкрития на риолити в района на Смолян - "Орлов камък", "Червената скала", "Торлука" и "Перелик" са направени параметрични измервания на магнитната възприемчивост с полеви капаметър по възможно равномерна мрежа 10x10 m.

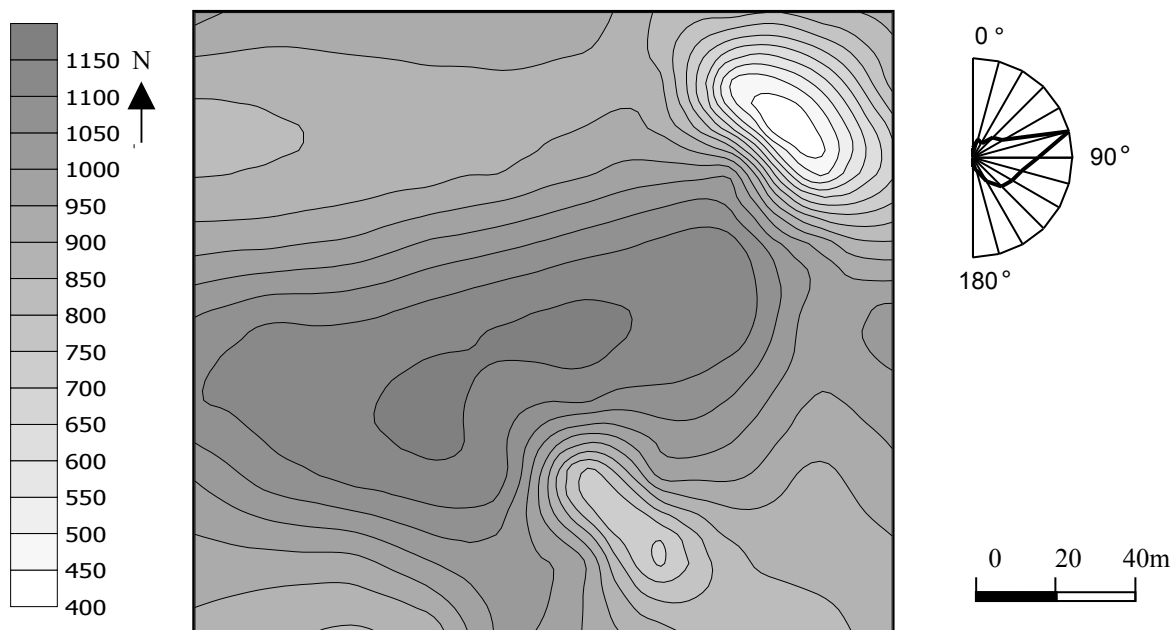
За отстраняване влиянието на микронеоднородностите са извършвани по 5 измервания на площ 1 m² около всяка точка. Разликите в измерените стойности са в границите на 3-10%. От около 30% от точките на параметричните

измервания са взети проби за лабораторен анализ. Данните от полевите и лабораторните определения на магнитната възприемчивост са съпоставими с точност 5-15%, като отклоненията са в границите на вариациите на параметричните измервания в отделните точки.

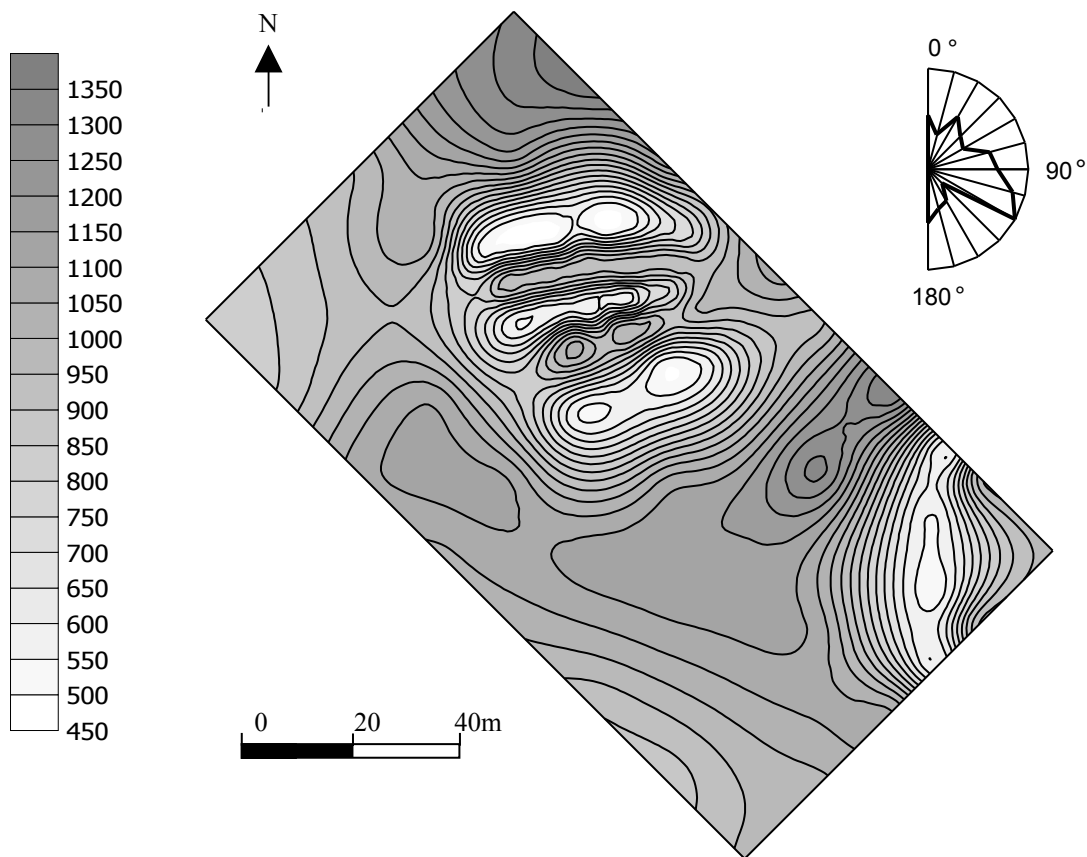
На фиг.3, фиг.4 и фиг.5 е показано площното разпределение на параметъра за три от изследваните разкрития.



Фигура 3. Схема на пространственото разпределение на магнитната възприемчивост за риолитите в участък "Торлука" (зонирането е извършено в $\times 10^5 SI$). Във врезка е показана роза-диаграмата на пространствената ориентация на изолините.



Фигура 4. Схема на пространственото разпределение на магнитната възприемчивост за риолитите в участък "Орлов камък" (зонирането е извършено в $\times 10^5 SI$). Във врезка е показана роза-диаграмата на пространствената ориентация на изолиниите.



Фигура 5. Схема на пространственото разпределение на магнитната възприемчивост за риолитите в участък "Червената скала" (зонирането е извършено в $\times 10^5 SI$). Във врезка е показана роза-диаграмата на пространствената ориентация на изолиниите.

Обобщеният анализ показва, че за всички детайлно изследвани разкрития върху фона на магнитна възприемчивост, която е в границите на $900-1700 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$ се обособяват точки с рязко понижени стойности, които намаляват до $50 \cdot 10^{-5} \text{ SI}$.

Построените роза-диаграми по разработена методика за количествена оценка на пространственото разпределение на изолиниите (С.Димовски, 1989) много добре трасират микротектонските нарушения. Оновните посоки на тези нарушения за всички изследвани разкрития са съпоставими, като доминират посоките под ъгъл $115-130^\circ$ и $150-165^\circ$.

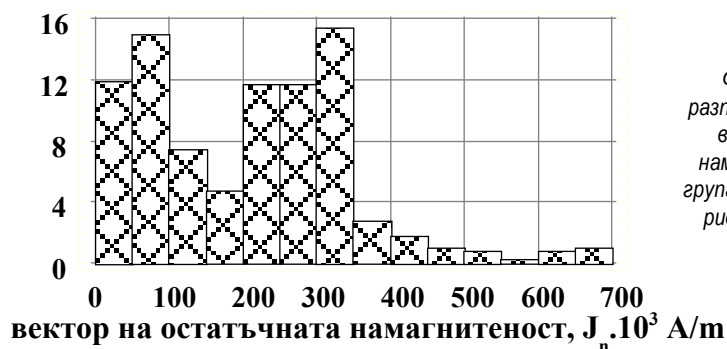
ОСТАТЪЧНА НАМАГНИТЕНОСТ НА РИОЛИТИТЕ В РОДОПСКИЯ МАСИВ

Остатъчната намагнитеност на риолитите се изследва по абсолютната стойност на вектора за 487 проби от разкрития и ядки от сондажи. Установява се изменение на параметъра в много широк диапазон - от 0 до $3000 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$, а за отделни проби и повече. В таблица 2 са систематизирани основните статистически характеристики за стойностното разпределение на остатъчната намагнитеност, а на фиг.6 се илюстрира хистограма на разпределението на параметъра за основната група от изследваните проби - изключени са около 6% от пробите с относително високи стойности ($J_n > 700 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$).

Таблица 2. Основни статистически характеристики за разпределението на остатъчната намагнитеност на риолитите в Родопския масив (Стойностите на остатъчната намагнитеност са в A/m)

Район	Брой проби	$J_n^{\min} \cdot 10^3 / J_n^{\max} \cdot 10^3$	Средно $J_n \cdot 10^3$	Стандарт	Асиметрия	Ексцес
Западнородопски блок	78	0 / 988	304	218	5	6
Брацигово-Доспатско понижение	184	0 / 6768	354	662	35	14
Доспатска антиклинала	43	0 / 901	158	214	6	7
Южнородопска синклинала	46	0 / 3694	439	935	8	9
Севернородопска синклинала	48	29 / 1587	426	405	4	3
Смолянско структурно понижение	79	0 / 290	52	72	6	7
Общо	536	0 / 6768	319	603	34	12

илнэпнп



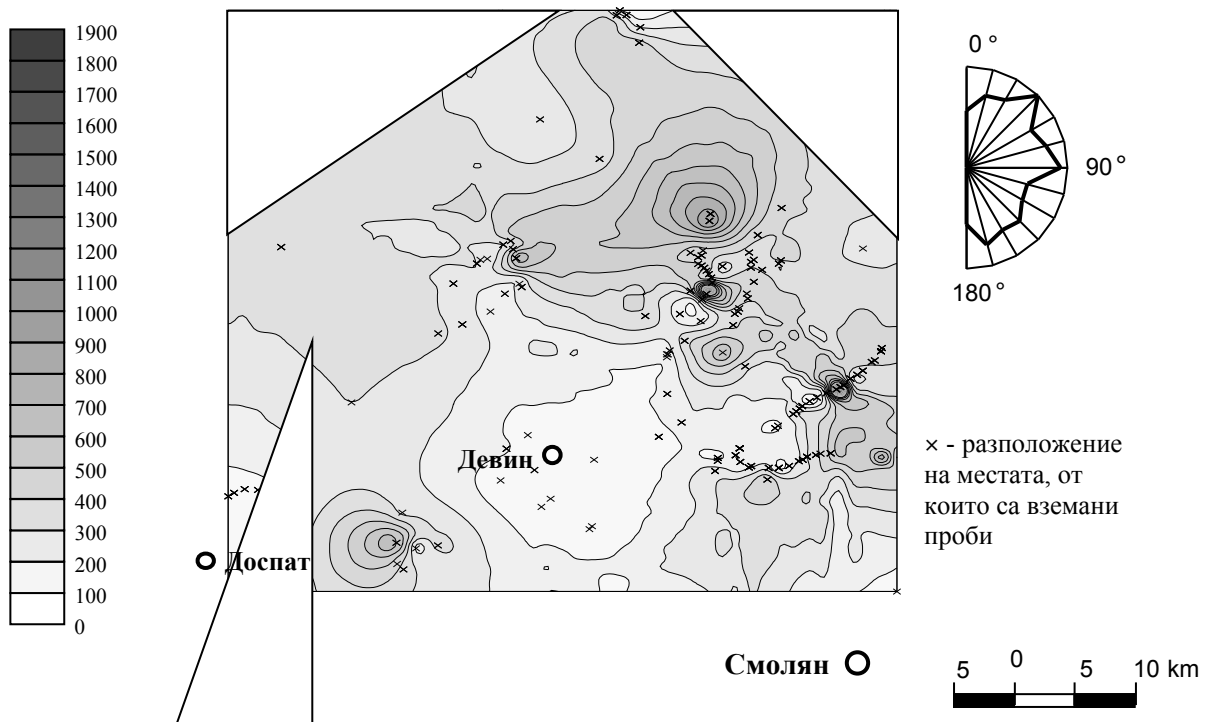
Фигура 6. Хистограма на разпределение стойностите на вектора на остатъчната намагнитеност за основната група от изследваните проби от риолити за територията на Родопския масив.

Обобщеният анализ на илюстрираната хистограма и хистограмите за отделните райони показват, че в разпределението на остатъчната намагнитеност, както и при магнитната възприемчивост, се обособяват две основни групи - проби с остатъчна намагнитеност в границите на $0-200 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$ и група в границите на $200-500 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$. За ограничен брой проби (около 5%) остатъчната намагнитеност е нула и за почти същото количество проби (около 6%) тя е висока ($J_n > 700 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$) и достига до $6500 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$. И за остатъчната намагнитеност следва да се приеме, че групата, за която $J_n < 200 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$

отразява главно влиянието на вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси. В групата $200 \cdot 10^{-3} < J_n < 500 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$ се включват пробите от доминиращия риолитов ареал, а пробите с относително високи стойности на параметъра ($J_n > 500 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$) се привързват към екструзивни образувания.

Схема на площното разпределение на вектора на остатъчната намагнитеност за риолитите в Западни и Централни Родопи се илюстрира на фиг.7. За цялата територия на фона на ареала от риолити с остатъчна

намагнитеност до около $400 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$ се отделят участъци с повишени стойности, които картират присъствието на екструзивните образувания.



Фигура 7. Схема на пространственото разпределение на вектора на остатъчната намагнитеност за риолитите в района на Западни и Централни Родопи (зонирването е извършено в $J_n \cdot 10^3 \text{ A/m}$). Във врезка е показана роза-диаграмата на пространствената ориентация на изолините

РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА РИОЛИТИТЕ В РОДОПСКИЯ МАСИВ ПО МАГНИТНИ ПАРАМЕТРИ

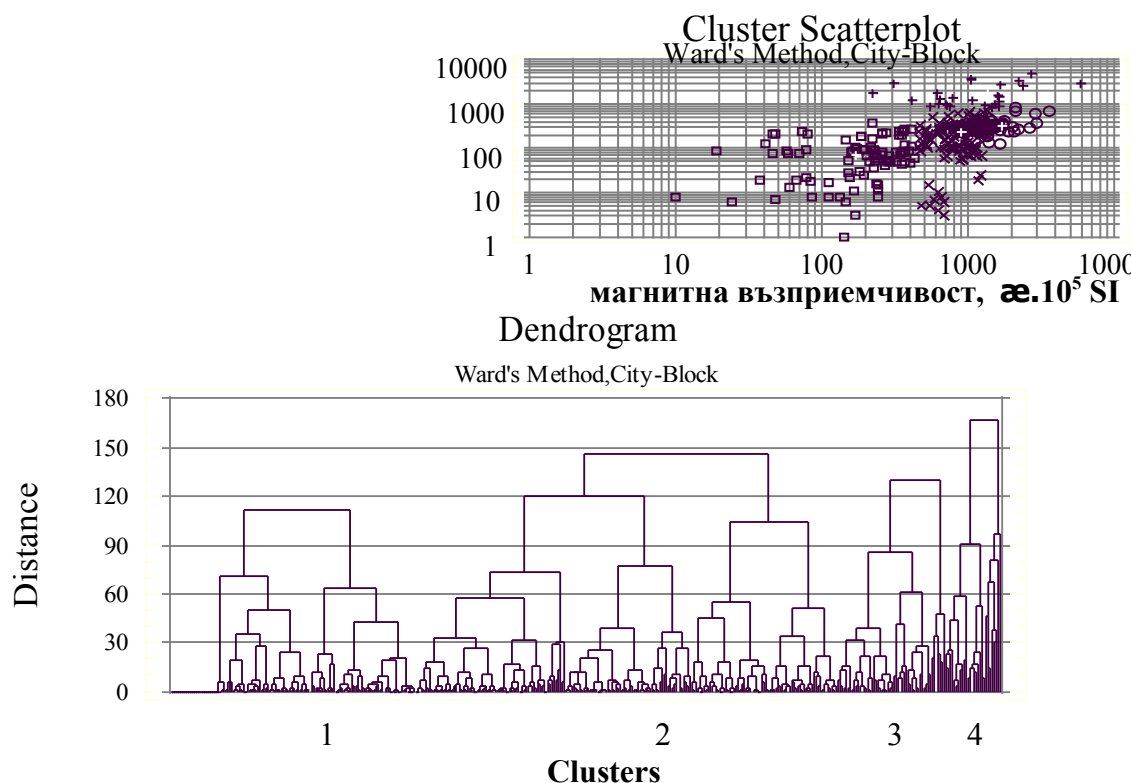
Корелационният анализ на магнитната възприемчивост и остатъчната намагнитеност за всички проби (536 броя) показва отсъствие на изразена корелационна връзка. Единствено за всички 24 проби, за които $\alpha=0$ и $J_n=0$. Това са пробите от риолити, за които вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси са способствали за разрушаване или окисляване на първичните ферромагнитни минерали с образуване на немагнитни или слабо магнитни

разновидности. Обобщена тенденция към площна корелация се наблюдава визуално при съпоставяне на схемите на разпределение на магнитната възприемчивост (фиг.2) и на остатъчната намагнитеност (фиг. 7).

Приложеният разновариантен клъстер-анализ показва, че най-съдържателно е класифицирането в четири групи при използването на Ward's method, City-Block distance metric. В таблица 3 са представени средните стойности на магнитната възприемчивост и остатъчното намагнитване за обособените групи, а на фиг.8 са показани двумерното разпределение (а) и дендограмата (б) на групирането.

Таблица 3. Средни стойности на магнитната възприемчивост и вектора на остатъчното намагнитване за обособените четири групи от приложен клъстер-анализ (Ward's method, City-Block distance metric)

вектор на остатъчната намагнитеност, $\mu \cdot 10^3 \text{ A/m}$



Фигура 8. Резултати от проведения клъстер-анализ : двумерно разпределение (а) и дендрограма (б) на групирането

Първите три групи обединяват основния обем от пробите - 95 %. Те представят основния риолитов ареал и при тях средните стойности на магнитната възприемчивост и вектора на остатъчната намагнитеност се корелират правопрпорционално с коефициент на корелация 0,98. Последната четвърта група представя пробите от риолитите на екструзивните образувания. Те се характеризират с относително висока средна магнитна възприемчивост и много висока средна остатъчна намагнитеност.

ИЗВОДИ

- Магнитната възприемчивост на риолитите в Родопския масив показва изменения на параметъра в много широк диапазон - от 0 до около $1800 \cdot 10^5 \text{ SI}$, а за отделни проби и повече. В разпределението на магнитната

възприемчивост се обособяват две основни групи - проби с магнитна възприемчивост в границите на $0-500 \cdot 10^5 \text{ SI}$ и група в границите на $500-1800 \cdot 10^5 \text{ SI}$. Групата, за която $\mu < 500 \cdot 10^5 \text{ SI}$ отразява главно влиянието на вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси. В подгрупата $500 \cdot 10^5 < \mu < 1500 \cdot 10^5 \text{ SI}$ се включват пробите от доминиращия риолитов ареал, а пробите с относително високи стойности на параметъра ($\mu > 1500 \cdot 10^5 \text{ SI}$) се привързват към екструзивни образувания .

- Детайлните параметрични измервания на магнитната възприемчивост върху разкрития показва, че върху фона на магнитна възприемчивост, която е в границите на $900-1700 \cdot 10^5 \text{ SI}$ се обособяват точки с рязко понижени стойности, които намаляват до $50 \cdot 10^5 \text{ SI}$ и трасират микротектонските нарушения. Оновните посоки на тези нарушения за всички изследвани разкрития са съпоставими., като доминират посоките под ъгъл $115-130^\circ$ и $150-165^\circ$.

- Векторът на остатъчната намагнитеност на риолитите се променя в много широк диапазон - от 0 до около $3000 \cdot 10^{-3}$ A/m, а за отделни проби и повече. Както и при магнитната възприемчивост в разпределението на остатъчната намагнитеност се представят две основни групи. Следва да се приеме, че групата, за която $J_n < 200 \cdot 10^{-3}$ A/m отразява главно влиянието на вторични хидротермално-метасоматични и хипергенни процеси. В групата $200 \cdot 10^{-3} < J_n < 500 \cdot 10^{-3}$ A/m се включват пробите от доминиращия риолитов ареал, а пробите с относително високи стойности на параметъра ($J_n > 500 \cdot 10^{-3}$ SI) се привързват към екструзивни образувания.

- Площното разпределение на магнитната възприемчивост и остатъчната намагнитеност в общи линии е напълно съпоставимо - за цялата територия на фона на ареала от риолити с относително ниски стойности на магнитните параметри се отделят участъци с повишени стойности, които картират присъствието на екструзивните образувания.

- От приложения клъстер-анализ е извършено класифициране на риолитите по магнитна възприемчивост в четири групи. Първите три групи обединяват основния обем от пробите - 95 %. Те представят основния риолитов ареал и средните стойности на магнитната възприемчивост и остатъчната намагнитеност се корелират правопрпорционално с коефициент на корелация 0,98. Последната четвърта група представя пробите от риолитите на екструзивните образувания. Те се

характеризират с относително висока средна магнитна възприемчивост и много висока средна остатъчна намагнитеност.

- Съвкупният анализ на магнитната възприемчивост и остатъчната намагнитеност на риолитите в Западни и Централни Родопи дава основание да се приеме, че детайлното картиране по магнитни свойства може ефективно да допълни информацията от традиционното геоложко картиране.

ЛИТЕРАТУРА

- Бахнева, Д., П. Ножаров, Н. Стефанов, Н. Кръстев. 1978. Вулканоструктури, магнитно поле и магнитни свойства на риолитите от северната периферия на Брацигово-Доспатската структура. – *Сборник доклади от научна конференция "25 години Висш минно-геоложки институт"*, 2, *Геология и проучване на полезните изкопаеми, Геофизични методи на проучване*, 131-140.
- Божков, И., Е. Плотников, М. Райнова. 1978. Относно развитието на гърловинни фацисии сред риолитите от Брацигово-Доспатската депресия. – *Спис. Бълг. геол. д-во*, 3, 344-348.
- Справочник геофизика. Магниторазведка*. 1990. М., Недра.
- Dimovski, S. 1999. About the quantity estimation of the distribution of the geophysical fields isolines. – *Ann. Univ. Mining and Geology*, 42, part I, 121-126.

MAGNETIC CHARACTERISTICS OF THE RHYOLITES IN THE RHODOPE MASSIF

Stefan Dimovski, Radi Raditchev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria
E-mail: dimovski@mgu.bg; radirad@mgu.bg

ABSTRACT

The rhyolite formation in the Rhodope massif is presented by Tertiary extrusive and effusive lava in the Western and Central Rhodopes.

Data from measurements performed by the Department of Applied Geophysics, University of Mining and Geology, Sofia and other organizations are summarized.

Magnetic characteristics – the magnetic susceptibility and the value of the remanent magnetization vector, are studied on samples from different areas of the Rodope massif – the Bratsigovo-Dospat depression, the Dospat anticline, the Southern Rhodope syncline, the Northern Rhodope syncline, the Smolyan depression and other more local structures as the Kovachevo syncline, the Batak syncline, the Vacha uplift, the Lyaskovo uplift and the Hvoina graben-syncline.

Statistical analysis is applied for estimating the characteristics of sample packs from one and the same region, as well as for estimating the characteristics of the total set of available data. The surface distribution of the magnetic susceptibility is studied for several local outcrops, using the available data from detailed parametric measurements.

The compound analysis of the magnetic susceptibility and the remanent magnetization of the rhyolites in the Western and Central Rhodopes is proving that the detailed mapping according to magnetic characteristics can efficiently enrich the information obtained by the traditional geological mapping.

INTRODUCTION

The rhyolite formation in the Rhodope massif is presented by Tertiary extrusive and effusive lava in the Western and Central Rhodopes and is most completely studied in the Bratsigovo-Dospat structure (Bahneva *et al.* 1978 ; Bojkov *et al.* 1978). It is composed by biotite and amphibole-containing rhyolites up to rhyodacites. In the northern part of the Bratsigovo-Dospat volcanogenic structure they form one elongated in subequatorial direction zone (Bahneva *et al.* 1978). In the rhyolite zone can be isolated several elementary volcano-structures. The authors state that each of these structures is built by several close in age, in structural-morphologic peculiarities and in magnetic characteristics extrusives, as well as by the connected to them effusive lava flows. For the extrusives is established the presence of remanent magnetization.

I.Bojkov *et al.* (1978) confirm that in the Bratsigovo-Dospat depression the rhyolite covers have frequent occurrence and are characterized by a well-expressed almost horizontal surface parallelism – angle of dip of about 12°. Extrusive rhyolite bodies intersecting the rhyolite covers are located in the western part of the depression. These extrusive bodies are normally determining the contrast in the relief.

The presented study is based upon data from measurements performed by the Department of Applied Geophysics, University of Mining and Geology, Sofia and other organizations. Magnetic characteristics – the magnetic susceptibility and the value of the remanent magnetization vector, are studied on samples from different areas of the Rodope massif – the Bratsigovo-Dospat depression, the Dospat anticline, the Southern Rhodope syncline, the Northern Rhodope syncline, the Smolyan depression and other more local structures as the Kovachevo syncline, the Batak syncline, the Vacha uplift, the Lyaskovo uplift and the Hvoina graben-syncline.

The magnetic susceptibility is studied according to data from laboratory measurements on rock samples of outcrop and drill

core (973 samples) and according to parametric measurements on outcrop surface. The value of the remanent magnetization vector is determined on 536 rock samples of outcrop and drill core.

Statistical analysis is applied for estimating the characteristics of sample packs from one and the same region, as well as for estimating the characteristics of the total set of available data. The surface distribution of the magnetic susceptibility is studied for several local outcrops, using the available data from detailed parametric measurements.

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF THE RHYOLITES IN THE RHODOPE MASSIF

In a regional plan, the rhyolites in the Rhodope massif have low to middle magnetic characteristics. The magnetic susceptibility measured on 973 rock samples of outcrop or drill core varies in a wide range - from 0 up to $1800 \cdot 10^{-5}$ SI, and for some samples it goes even higher. In many cases the values of the studied parameter are quite different in the boundaries of one and the same relatively small area. For example, in the area of Dospat, the pink-coloured rhyolites have magnetic susceptibility of $600-900 \cdot 10^{-5}$ SI, and the gray rhyolites, intruded on separate places among the pink-coloured, are characterized by a magnetic susceptibility of $1400-2000 \cdot 10^{-5}$ SI. For part of the samples the magnetic susceptibility is relatively low ($\approx < 500 \cdot 10^{-5}$ SI). Obviously in such cases there is a presence of secondary hydrothermal-metasomatic and hypergenic processes leading to destruction or oxidation of the primary ferromagnetic minerals and to formation of non-magnetic or low-magnetic varieties. It can be summarized that the well-expressed local variations of the rhyolites magnetic susceptibility are due to the effect of two major factors – the differentiation according to the studied parameter of the types of distinct phases and the influence of secondary hydrothermal-metasomatic and hypergenic processes.

In Table 1 are systematized the main statistical characteristics of the values distribution for the magnetic susceptibility and in Fig.1 is shown a histogram of the

parameter distribution for the main group of rhyolites – only about 4% of the samples having relatively high values ($\chi > 1800 \cdot 10^{-5}$ SI) are excluded.

Table 1. Main statistical characteristics of the magnetic susceptibility of the rhyolites in the Rhodope massif (the magnetic susceptibility values are in SI)

Region	Count	$\chi^{\min} \cdot 10^5 / \chi^{\max} \cdot 10^5$	Average $\chi \cdot 10^5$ SI	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
Western Rhodope Block	174	0 / 3634	821	652	6	10
Bratsigovo-Dospat Depression	416	0 / 5940	967	704	17	51
Dospat Anticline	92	0 / 3189	734	595	5	9
Southern Rhodope Syncline	106	0 / 2384	520	624	3	2
Northern Rhodope Syncline	48	183 / 1629	1012	378	0	0
Smolyan Structural Depression	79	0 / 1448	393	421	2	0
Total	973	0 / 5940	834	666	19	51

percentage

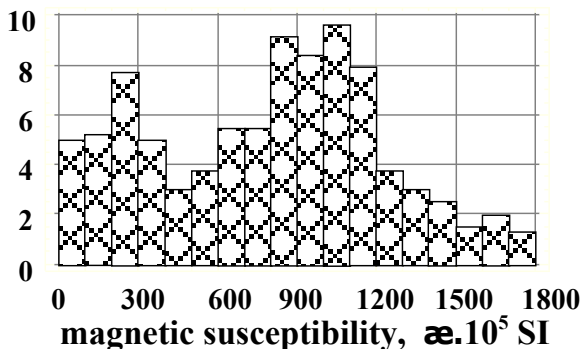
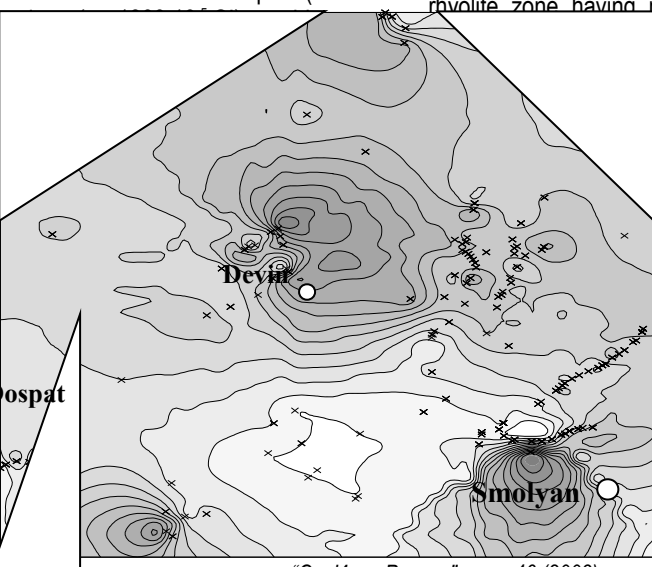
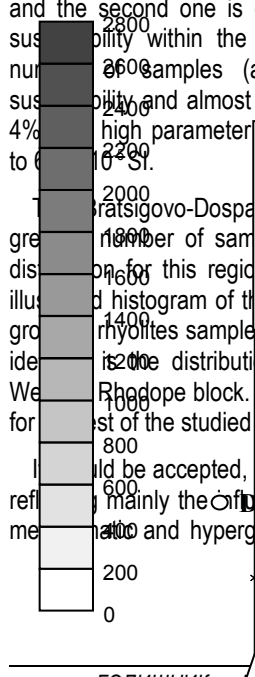


Figure 1. Histogram of the magnetic susceptibility distribution of the main group of rhyolites in the Rhodope massif.

The compound analysis of the illustrated histogram and the histograms elaborated for the different regions is showing that two main groups are well pronounced in the magnetic susceptibility distribution. The first group is including samples having magnetic susceptibility within the limits of 0-500.10⁻⁵SI, and the second one is containing samples having magnetic susceptibility within the limits of 500-1800.10⁻⁵SI. A limited number of samples (about 5%) has a zero magnetic susceptibility and almost the same number of samples (about 4%) has high parameter values up to 1800.10⁻⁵ SI.

magnetic susceptibility 500.10⁻⁵ < χ < 1500.10⁻⁵ SI are included samples from the predominating rhyolite zone, and the samples having relatively high values ($\chi > 1500 \cdot 10^{-5}$ SI) are related to extrusive formations.

The surface distribution of the magnetic susceptibility is presented in Fig.2. The Bratsigovo-Dospat depression is generally characterized by increased values for the magnetic susceptibility. For the entire territory, on the background of the rhyolite zone having magnetic susceptibility of about up to 900.



ator measurements of the magnetic samples of Rhodope massif rhyolites are by the performed parametric top surfaces. These measurements are a range of parameter variation and are valid within the boundaries of relatively places where studies are carried to determine the zonal distribution of the rhyolites in the boundaries of separate outcrops.

Figure 2. Scheme of the magnetic susceptibility surface distribution of the rhyolites in the Western and Central Rhodopes region and a rose-diagram of the isolines orientation. The zoning is performed in $\chi \cdot 10^5$ SI.

Parametrical measurements of the magnetic susceptibility are performed by a field kappa-meter and along a regular net of 10x10m. Four outcrops of rhyolites in the Smolyan area are studied – “Orlov kamak”, “Chervenata skala”, “Tortlouka” and “Perelik”.

In order to avoid the influence of the microstructure non-uniformity, five measurements are done around each station on an area of 1m². The differences between the measured values are in the limits of 3-10%. Samples for a laboratory

analysis are taken from about 30% of the stations studied during the parametrical measurements. The magnetic susceptibility data of the laboratory analysis and the field measurements are comparable with a precision of 5-15%, so the differences are in the limits of the variations during the parametrical measurements in each station.

In Fig.3, Fig.4 and Fig.5 are illustrated the parameter surface distributions for three of the studied outcrops.

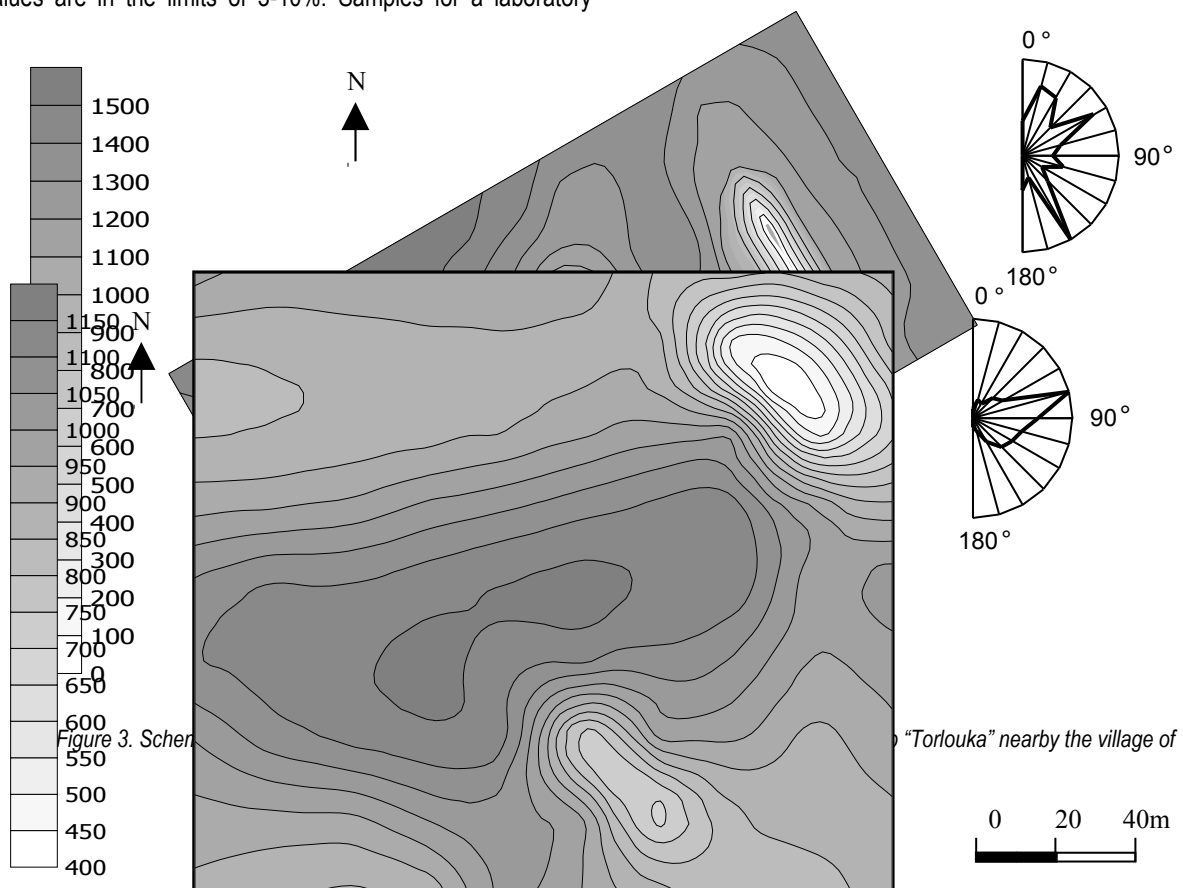


Figure 4. Scheme of the magnetic susceptibility surface distribution of the rhyolites in the outcrop “Orlov Kamak” nearby the village of Smolyan and a rose-diagram of the isolines orientation. The zoning is performed in $\approx 10^5$ SI.

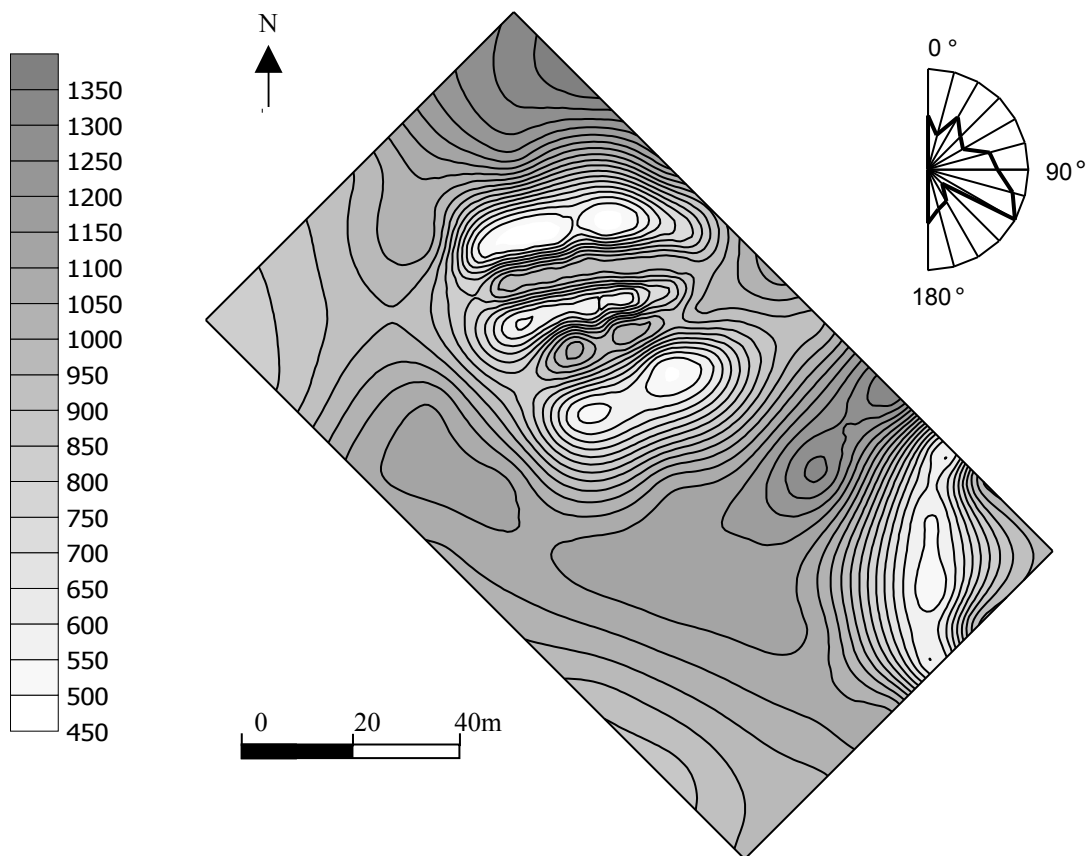


Figure 5. Scheme of the magnetic susceptibility surface distribution of the rhyolites in the outcrop "Chervenata skala" nearby the village of Smolyan and a rose-diagram of the isolines orientation.

The zoning is performed in $\approx 10^5$ SI.

subject to detailed study on the background of magnetic susceptibility values in the range of $900-1700 \cdot 10^{-5}$ SI, one can

magnetic susceptibility (down to $50 \cdot 10^{-5}$ SI).

low

Rose-diagrams are composed using the developed method for quantity estimation of the isolines surface distribution of the geophysical fields isolines (Dimovski 1999). They are tracing very well the microtectonic destructions. The main directions of these destructions in all studied outcrops are comparable. The predominant trends appear to fall into two groups, striking NE-SW and NW-SE with bearings 75-80° and 150-165° respectively.

REMANENT MAGNETIZATION OF THE RHYOLITES IN THE RHODOPE MASSIF

The absolute value of the remanent magnetization vector is determined on 536 rock samples of outcrop and drill core of

the rhyolites in the Rhodope massif. It is established that the parameter varies in a very wide range – from 0 up to about $3000 \cdot 10^{-3}$ A/m, with some samples reaching even higher values. In Table 2 are systematized the main statistical characteristics of the values distribution for the remanent magnetization and in Fig.6 is shown a histogram of the parameter distribution for the main group of rhyolites – only about 6% of the samples having relatively high values ($J_n > 700 \cdot 10^{-3}$ A/m) are excluded.

Table 2. Main statistical characteristics of the remanent magnetization of the rhyolites in the Rhodope massif (the remanent magnetization values are in A/m)

Region	Count	$J_n^{\min} \cdot 10^3 / J_n^{\max} \cdot 10^3$	Average $J_n \cdot 10^3$	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
Western Rhodope Block	78	0 / 988	304	218	5	6
Bratsigovo-Dospat Depression	184	0 / 6786	354	662	35	14
Dospat Anticline	43	0 / 901	158	214	6	7
Southern Rhodope Syncline	46	0 / 3694	439	935	8	9
Northern Rhodope Syncline	48	29 / 1587	426	405	4	3
Smolyan Structural Depression	79	0 / 290	52	72	6	7
Total	536	0 / 6768	319	603	34	12

percentage

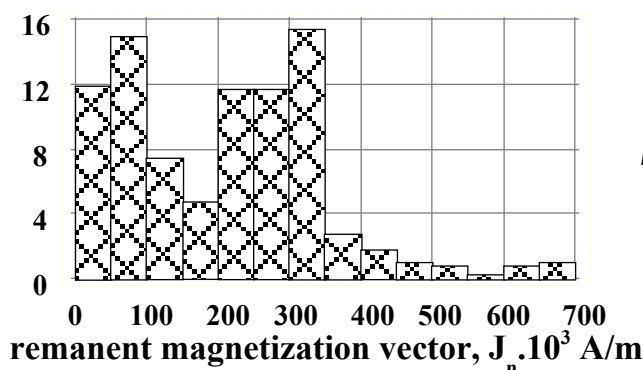


Figure 6. Histogram of the remanent magnetization vector distribution of the main group of rhyolites in the Rhodope massif

The compound analysis of the illustrated histogram and the histograms elaborated for the different regions is showing that we have the same picture as in the case of the magnetic susceptibility - two main groups are well pronounced in the remanent magnetization distribution. The first group is including samples having remanent magnetization within the limits of $0-200 \cdot 10^{-3}$ A/m, and the second one is containing samples having remanent magnetization within the limits of $200-500 \cdot 10^{-3}$ A/m. A limited number of samples (about 5%) has a zero remanent magnetization and almost the same number of samples (about 6%) has high parameter values ($J_n > 700 \cdot 10^{-3}$ A/m) reaching up to $6500 \cdot 10^{-3}$ A/m.

In the case of the remanent magnetization it should be accepted once again, that the group having $J_n < 200 \cdot 10^{-3}$ A/m is reflecting mainly the influence of the secondary hydrothermal-metasomatic and hypergenic processes. In the group having $200 \cdot 10^{-3} < J_n < 500 \cdot 10^{-3}$ A/m are included samples from the predominating rhyolite zone, and the samples having relatively high parameter values ($J_n > 500 \cdot 10^{-3}$ A/m) are related to extrusive formations.

The surface distribution of the remanent magnetization in the Western and Central Rhodopes is presented in Fig.7. For the entire territory, on the background of the rhyolite zone having remanent magnetization of about up to $400 \cdot 10^{-3}$ A/m, can be

separated areas having increased parameter values that are mapping the presence of extrusive formations.

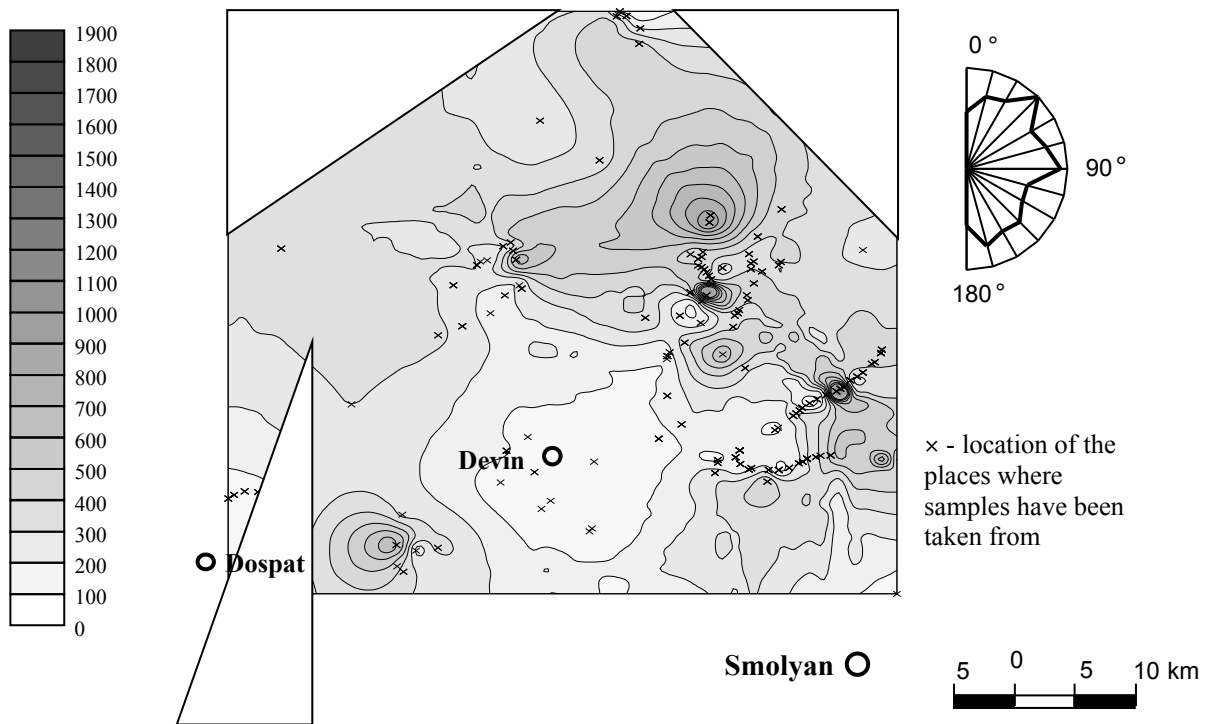


Figure 7. Scheme of the remanent magnetization surface distribution of the rhyolites in the Western and Central Rhodopes region and a rose-diagram of the isolines orientation. The zoning is performed in $J_n \cdot 10^3 \text{ A/m}$.

DISTRIBUTION OF THE RHYOLITES IN THE RHODOPE MASSIF ACCORDING TO THEIR MAGNETIC PARAMETERS

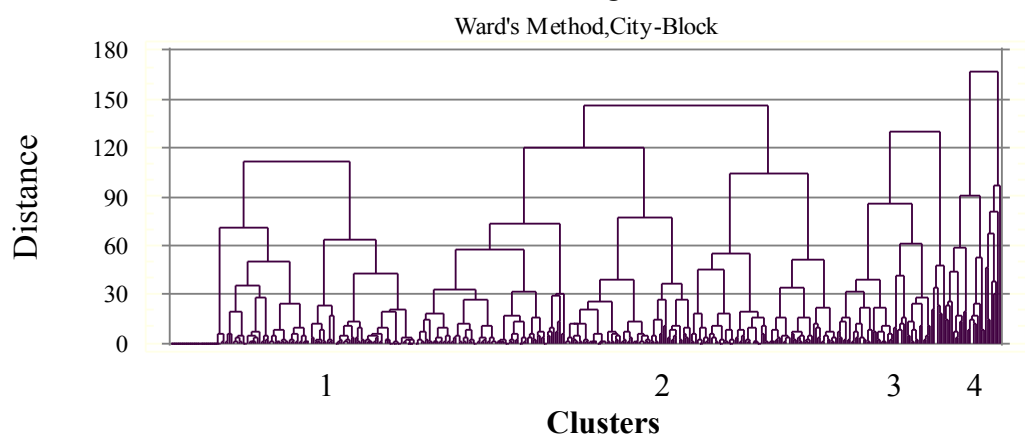
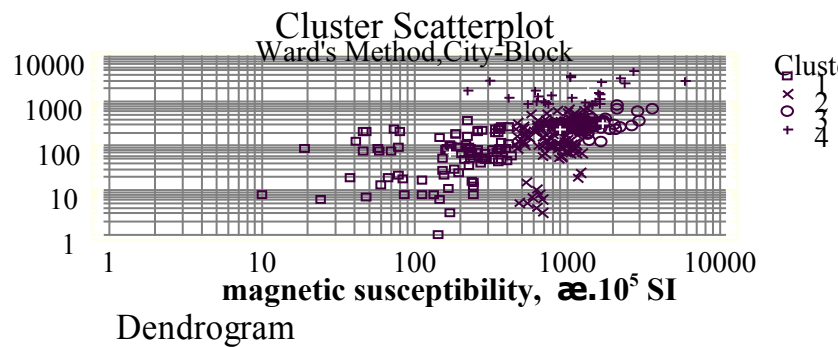
The correlation analysis between the magnetic susceptibility data and the remanent magnetization of all rock samples of rhyolites in the Rhodope massif (536 samples) shows the absence of a well-expressed correlation tie. The only regularity is that all samples (24 by number) having $\alpha=0$, have also $J_n=0$. These are the samples where secondary hydrothermal-metasomatic and hypergenic processes have lead to destruction or oxidation of the primary ferromagnetic minerals and to formation of non-magnetic or low-magnetic varieties.

The summarized trend towards plane correlation can be observed in the visual comparison between the magnetic susceptibility surface distribution scheme (Fig.2) and the remanent magnetization one (Fig.7).

Different cluster analysis methods have been tried. The best results were obtained using the Ward's method, City-Block distance metric and classifying the data into 4 clusters. In Table 3 are presented the centroids values for the magnetic susceptibility and the remanent magnetization of the separated clusters and In Fig.8 are illustrated the 2-D cluster scatterplot (a) and the dendrogram (b) of the performed grouping.

Table 3. Centroids values for the magnetic susceptibility and the remanent magnetization of the separated 4 groups after applying cluster analysis using the Ward's method, City-Block distance metric

remnant magnetization vector, $J_n \cdot 10^3 \text{ A/m}$



The samples and their remanent magnetization coefficients are represented by magnetic susceptibility.

• Rhodope magnetic values in a wide range – from 0 up to 1800.10⁻⁵ SI, and for some groups are well distribution. The first group is containing samples having magnetic susceptibility within the limits of 0-500.10⁻⁵SI, and the second one is containing samples having magnetic susceptibility within the limits of 500-1800.10⁻⁵SI. The group having $\chi < 500.10^{-5}$ SI is reflecting mainly the influence of the secondary hydrothermal-metasomatic and hypergenic processes. In the group having magnetic susceptibility $500.10^{-5} < \chi < 1500.10^{-5}$ SI are included samples from the predominating rhyolite zone, and the samples having relatively high parameter values ($\chi > 1500.10^{-5}$ SI) are related to extrusive formations.

• The detailed parametrical measurements of the magnetic susceptibility are showing that on the background of magnetic susceptibility values in the range of 900-1700.10⁻⁵ SI, one can easily detect peculiar stations having relatively very low magnetic susceptibility (down to 50.10⁻⁵ SI). They are tracing very well the microtectonic destructions. The main directions of these destructions in all studied outcrops are comparable. The predominant trends appear to fall into two groups, striking NE-SW and NW-SE with bearings 75-80° and 150-165° respectively.

• Rhodopes are generally comparable. For the entire territory, on

Figure 8. Results from the performed cluster analysis : 2-D cluster scatterplot (a) and dendrogram (b) of the performed grouping

making increased values that are mapping the presence of the extrusive formations.

• After applying a cluster analysis the rhyolite samples were classified into four groups. The first three groups are including the major volume of samples – 95%. They are representing the main rhyolite zone and the centroids values for the magnetic susceptibility and the remanent magnetization of these three clusters have a coefficient of correlation 0,98. The last fourth group is representing the rhyolite samples from the extrusive formations. They are characterized by relatively high average magnetic susceptibility and by very high average remanent magnetization.

• The compound analysis of the magnetic susceptibility and the remanent magnetization of the rhyolites in the Western and Central Rhodopes is proving that the detailed mapping according to magnetic characteristics can efficiently enrich the information obtained by the traditional geological mapping.

REFERENCES

Guidebook in Geophysics, 1990, volume *Magnetic Surveying*, Moscow, "Nedra". (in Russian)

D. Bahneva, P. Nojarov, N. Stefanov and N. Krastev, 1978. Volcanogenic structures, magnetic field and magnetic characteristics of the rhyolites in the northern periphery of the Bratsigovo-Dospat structure. *Annual of the University of Mining and Geology* 24, part II, 131-140. (in Bulgarian)

I. Bojkov, E. Plotnikov and M. Rainova, 1978. About the development of the neck facies among the rhyolites in the Bratsigovo-Dospat depression. *Journal of the Bulgarian Geological Society* 3, 344-348. (in Bulgarian)

S. Dimovski, 1999. About the quantity estimation of the distribution of the geophysical fields isolines. *Annual of the University of Mining and Geology* 42, part I, 121-126.

*Recommended for publication by Department
of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting*