ГОДИШНИК НА МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ “СВ. ИВАН РИЛСКИ”, Том 49, Св. I, Геология и геофизика, 2006
ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY “ST. IVAN RILSKI”, Vol. 49, Part I, Geology and Geophysics, 2006

МИНЕРАЛОЖКИ ОСОБЕНОСТИ И РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ГРАНАТОВИТЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНА НА САКАР, ЮГОИЗТОЧНА БЪЛГАРИЯ

Николета Цанкова[1], Олег Витов[2]

[1] Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”, София 1700; niktzankova@abv.bg
[2] Централна лаборатория по минералогия и кристалография “Акад. Иван Костов”, БАН, София 1113; vitov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Настоящата работа предоставя данни за морфологията, размера и химичният състав на гранати от метаморфната рамка на Сакарския плутон. Изследвани са образци от районите на селата Орлов дол (слюдени шисти), Хлябово (слюдени и хлоритови шисти), Орешник (слюдени шисти), Планиново (слюдени шисти и амфиболити) и Дервишка могила (слюдени шисти). Размерът на гранатовите порфиробласти варира от 0,70 до 50,10 mm. Морфологията им е представена от {110} или комбинации с {211}, в които доминираща проста форма е {110}. Имат преобладаващо алмандинов състав (Alm 69,91-78,96 mol %) с вариращо съдържание на останалите компоненти. Ореолите на разсейване на граната са изследвани по данни от Националния Геофонд. Извършен е статистически анализ на разпределението на съдържанието на граната, вероятността му за откриване в пробите и са посочени значимите статистически корелати и акорелати. Изготвени са шлихоминераложки прогнозни карти за търсене на гранатови минерализации и е изработен Фурие модел на закономерностите в разпределението им. Установява се, че граната е силно разсеян в региона, при което 24 % от гранатовите проявления в шлихоминераложките проби са привързани към рамката на Сакарския плутон и маркират ясно изразени ивици с посока СЗ-ЮИ и СИ-ЮЗ. Изявените шлихоминераложки аномалии на гранат се разполагат в ивицита Хлябово – Карабаир и източно в района на долината на р. Явуздере.

MINERALOGICAL PECULIARITIES AND DISTRIBUTION OF GARNET MINERALIZATIONS IN THE REGION OF SAKAR, SOUTHEAST BULGARIA

Nikoleta Tzankova[1], Oleg Vitov[2]

[1]University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia 1700; niktzankova@abv.bg
[2]Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography “Acad. Ivan Kostov”, BAS, Sofia 1113; vitov@abv.bg

ABSTRACT. The present paper provides data about morphology, size and chemical composition of garnets from the frame of Sakar pluton. The places of sampling are in the region of the villages Orlov Dol (mica schists), Hlyabovo (mica and chlorite schists), Oreschnik (mica schists), Planinovo (mica schists and amphibolites) and Dervischka Mogila (mica schists). The size of the studied garnets range from 0,70 to 60 mm. Their morphology is represented by {110} or by combinations of {110} with small {211} faces. All garnets are almandine rich (Alm 69,91-78,96 mol %) with varying amounts of the other end members. The aureols of garnet distribution have been studied on the basis of data from National Geofund. Statistical study of quantitive distribution of garnets and the probability of its finding in the probes has been presented and the significant statistical correlates and miscorrelates has been shown. The prognostic maps are prepared in order to prospect garnet mineralization. Furrier model of the regularities in garnet distribution has been worked out. Approximately 24 % of the garnet presence in heavy concentrate probes is related to the metamorphic rim of the Sakar pluton and thus it marks clearly expressed stripes with NW-SE and NE-SW direction. The places with most abundant quantities of garnet in heavy concentrate probes are present in the Hlyabovo – Karabair stripe and on the East in the region of the Yavuz Dere valley.

Въведение

Гранатът е интересен обект за минераложки изследвания, тъй като представлява удобен типоморфен минерал – в сравнение с други широко разпространени магнезиално-железисти минерали се характеризира с по-малко разнообразие в изоморфните си редици. Доказан много добър петрогенетичен индикатор. Полезно изкопаемо – евтина и ценна суровина за абразивната промишленост. Използва се под формата на свързан и свободен абразив (за направа на шкурка, абразивни дискове, полирпасти и др.) Гранатът е единствен абразив в модерната технология “watter jet cutting” – рязане и полиране с водна струя на материали с различна твърдост (от керамика и стъкло до легирана стомана и електронни елементи). Европа има минимален добив на гранат от Чехия, Норвегия, Италия, Полша. Основното количество използван абразив е внос от САЩ, Австралия и др., което предопределя необходимостта от допълнителни минераложки проучвания на гранатсъдържащите разсипни и коренни минерализации в България (проект на SE Europe Geoscience Foundation, 2006). Предмет на настоящата статия са предварителни изследвания на гранат-съдържащите слюдени шисти и ореолите им на механично разсейване на гранат в района на Сакар планина.

За целта е извършена сравнителна характеристика на минераложките особености на граната от рамката на Сакарския плутон (фиг. 1) и са изведени закономерности в разпределението на минерализациите му. Изследвани са морфометрията, хабитусните типове, химичния състав и пространственото разпределение на граната. Определени са минералните асоции с гранат по данни от петрографски препарати, изкуствен шлих и архивни данни от шлихоминераложките картировки.

Геоложка обстановка

Сакарската единица принадлежи към Странджанската зона на Балканския сегмент от Алпо-Хималайския

орогенен пояс (Чаталов, 1990) и влиза в състава на Средногорската морфоструктурна зона (Бончев, 1971). Главно магмено тяло в изследваната област е Сакарският гранитен плутон с дължина около 40-44 km и ширина 15-20 km, удължен в субекваториално направление. Метаморфната му мантия (по Кожухаров и др., 1994, 1995) е предимно от скали на Прародопската супергрупа и Тополовградската група (фиг. 1). На север и на запад от плутона метаморфните скали са припокрити от терциерни седименти. Установено е полиметаморфно развитие на докамбрийските скали от рамката със смяна на прогресивни и регресивни етапи на метаморфизъм през докамбрий и фанерозой (Кожухаров, Кожухарова, 1973, 1974; Кожухаров, 1991). Метаморфитите от рамката на Сакарския плутон според Скендеров и др. (1986) и Иванов и др. (2001) са единен метаморфен комплекс. Регионалният метаморфизъм в изследвания район (по Иванов и др., 2001) се е проявил еднократно и е засегнал цялата скална последователност.

Известни гранатови минерализации от района на Сакар

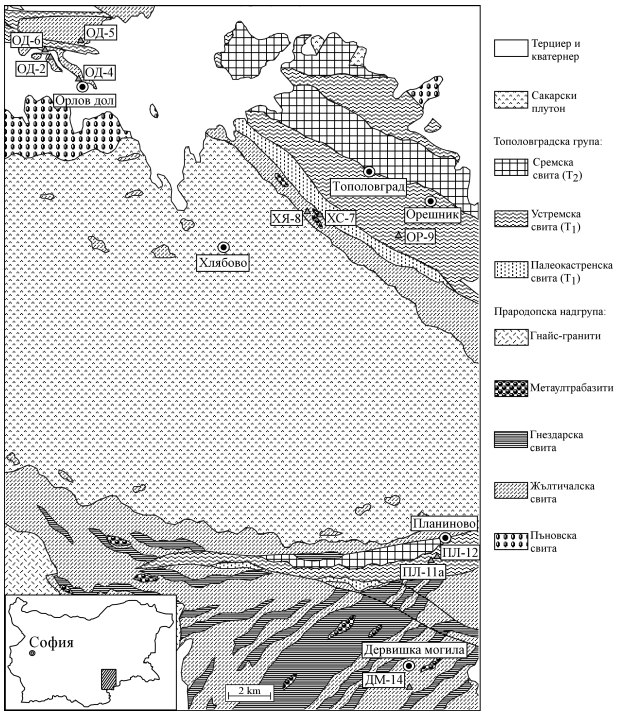
За първи път гранатови минерализации от различни части на изследвания район са описани от Бончев (1923). За гранати от района на Тополовград Николов (1936) определя преобладаващо алмандинов състав с високо съдържание на CaO и MgO оксиди. Размерът им е до 40 mm, а морфологията им е представена от комбинация от {110} и {211} (Костов, 1950).

Gerdjikov (2004) дава данни за размера (от 2 до 60 mm), количественото съдържание (8%) и условията на формиране на гранатови порфиробласти, включени в шисти и гнайси, по протежение на североизточната граница на плутона.

Северно от с. Дервишка могила са изследвани гранат-ставролитови шисти. Главни минерали в тях са алмандинов гранат до 10 mm в диаметър, ставролит с дължина по оста *c* до 30 mm, биотит, мусковит и кварц. (Костов, 1958). Непосредствено южно от с. Дервишка могила алмандина е с размер около 5 mm и същите особености като този от Явуздере (Костов и др., 1964). В ксенолити от периферната югозападна зона на Сакарският гранит е описан гранат под формата на единични светлокафяви кристали с размер до 7 mm. Хабитусът му е представен от {110}, изотропен. Има параметър на елементарна клетка 11,66 Å и междинен андрадит-алмнадинов състав: Adr 40,3 %, Alm 39,0 %, Sps 15,0 % и Prp 5,7% (И. Иванов, 1965). В шисти и гнайси на юг от вр. Дервишка могила е изследван гранат с идиоморфни очертания и много включения, предимно от кварц. За последните са наблюдавани белези на синтектонско нарастване – S-видно усукване на включенията (Кожухарова и Кожухаров, 1973).

Материал и методи на изследване

Изследвани са минераложките особености на гранат от естествени разкрития от районите на селата Орлов дол, Хлябово и Дервишка могила (включени в пределите на Жълтичалската свита по Кожухаров и др., 1994; 1995) и от околностите на с. Орешник и с. Планиново (включени в пределите на Устремската свита). Гранатовите минерализации са описани в следния ред: район на с. Орлов дол – ОД-2, ОД-4, ОД-5 и ОД-6 (слюдени шисти); район на с. Хлябово – ХС-7 (хлоритови шисти) и ХЯ-8 (слюдени шисти); район на с. Орешник – О-Р9 (гранат-ставролитови слюдени шисти); район на с. Планиново – ПЛ-11а (амфиболити) и ПЛ-12 (гранат-ставролитови слюдени шисти); район на с. Дервишка могила – ДМ-14 (слюдени шисти) (фиг. 1).



Фиг. 1. Геоложка схема на изследвания регион, съставена по к.л. Тополовград в М 1:100000 (Кожухаров и др., 1994) и к.л. Свиленград в М 1:100000 (Кожухаров и др., 1995) и място на взетите проби

За определяне на вместващите граната скали и минералната асоциация в тях са използвани методите на оптическа микроскопия в проходяща светлина с микроскоп Amplival.

Морфометричния анализ е проведен върху 300 монокристала (от всяко гранатова проба по 30). Измервани са осите *a, b, c* със шублер с точност 0,1 mm. Данните са кодирани в програма EXCELL – MS OFFICE. Изчисленията на морфометричните коефициенти е извършено с помощта на специално изготвена програма “GARNET” (QBASIC, MS WINDOWS, PENTIUM-2) – модифициран вариант на програма за морфометричен анализ на кварцови късове “QUARTZ” (FORTRAN–IV, МИНСК–32, Витов, 1978 – дипломна работа, МГУ). По-късно тази програма е модифицирана за изследване морфометрията на златинки (програма “AURUM”, FORTRAN–IV, ИЗОТ–310, Кръстев и Витов, 1983-84) и като такава е депонирана в IMA като базова програма (Vitov, 1992). Резултат от обработката на данни са таблици с изчислени морфометрични коефициенти, статистически параметри на коефициентите, диаграма по Zingg, сравнение между

извадките с прилагане на Т-критерий на Student (по Девис, 1977).

Върху част от образците е извършено измерване на ъглите с допирателен гониометър KARL ZEISS - IENA. Хабитусните типове са класифицирани по установените от Костов (1950) кристални форми за гранатите от България. Химичният състав е изследван с помощта на Атомно-емисионен спектрален анализ с индуктивно свързана плазма (AES ICP) в лаборатория "Геохимия" – МГУ, София.

За определяне на ореолите на механично разсейване на граната са използвани данни от Националния Геофонд (Витов, 1995; 2001) – геоложки доклади I-376, IV-94, IV-242, IV-263, IV-264, IV-346, IV-376, IV-379, IV-388, в които фондови единици граната е отбелязан като групово име. Данните са интерполирани и екстраполирани с двумерно Фурие моделиране (Девис, 1977). Резултатите от изследванията са анализирани като сравнение между модел и данни, анализ на остатъците и определяне на коефициента на загуба на информация. Корелацията между минералите е изследвана с прилагане на Поасонов тест – модел на Бернули (Витов, 1992). Изследванията са извършени с помощта на специално създадена програма за обработка на данни от шлихоминераложкото опробване "REGION" (QBASIC, MS WINDOWS, PENTIUM-2).

Минераложки особености на граната

Район на с. Орлов дол

ОД-2 – разкрития на двуслюдени шисти между селата Орлов дол и Мъдрец, на около 500 m западно от вр. Гьоптепе. Минералната асоциация на граната е представена от кварц, биотит, мусковит, олигоклаз (An 13,08%, Ab 86,71%, Or 0,20%), илмени турмалин, циркон, апатит, рутил. Гранатовите порфиробласти най-често се разполагат в линия на границата между ивици, изградени от слюда и от кварц. Имат малиновочервен цвят със слаб лилав оттенък, непрозрачни. Размерът им варира от 0,5 до 3 mm (табл. 1) като под 1 mm са 56,7% от изследваните образци. Наблюдава се под формата на добре остенени кристали и по-рядко като зърна с утъпени очертания. С ромбододекаедричен хабитусен тип *f* са 83,3% от кристалите. В останалите образци се наблюдават комбинации от {110} с {211}, в които доминира ромбододекаедъра – хабитусен тип *e* (фиг. 2). Граната е с преобладаващо алмандинов състав (Alm 71,20%) и сравнително еднакво процентно съотношение на останалите компоненти (табл. 3).

Таблица 1

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-2 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

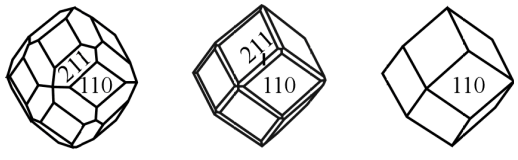
пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	1.5	1.2	1.2		.85	1.27	.94	1.2	.81	.88	1.08	.29	.08
±δX	.2	.1	.1		.03	.05	.02	.04	.03	.02	.02	.06	.02
σ	.8	.7	.7		.16	.3	.08	.22	.19	.13	.12	.32	.09
±δσ	.1	.1	.1		.02	.04	.01	.03	.02	.02	.02	.04	.01
V	55.5	57.9	60.8		19.29	23.73	8.89	18.59	23.7	14.55	11.31	08.69	05.66
±δV	9.1	9.7	10.4		2.58	3.23	1.16	2.48	3.23	1.92	1.48	25.73	24.52
P	10.1	10.6	11.1		3.52	4.33	1.62	3.39	4.33	2.66	2.07	19.84	19.29
α	.7	1	.9		-.42	.68	-1.18	1.01	-.36	-.42	.94	.67	.56
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	-.5	-.2	-.4		-1.51	-.97	-.14	.16	-1.41	-1.44	.25	-.88	-1.1
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	123	134	148		14.88	22.53	3.16	13.82	22.46	8.47	5.12	72.55	46.52
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

ОД-4 – разкрития на мусковитови шисти в северозападния край на с. Орлов дол. Минералната асоциация на граната е представена от кварц, мусковит, биотит, илменит, ортоклаз (Or 100%) и апатит. Гранатовите порфиробласти са тъмнорозови до червени, прозрачни, разпределени равномерно сред вместващата скала. Размерът им варира от 1 до 7 mm (табл. 2), като от 1 до 3 mm са 26,7% от образците. При 70% от изследваните гранати кристалният хабитус е комбинации от {110} и {211}, в които доминира ромбододекаедричната форма – хабитусен тип *e*. В 16,7 % от кристалите се наблюдава хабитусен тип *c* – комбинации от {110} и {211}, при които двете прости форми са развити равномерно. Само в 13,3% от образците е регистриран ромбододекаедричен хабитусен тип *f*. Изследваните гранати се характеризират с алмандинов състав – Alm 78,57% и високо съдържание на спесартинов компонент (Sps 11,37%).

Таблица 2

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-4 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	4.1	4	3.9		.98	1.03	.98	1.04	.96	.98	1	.05	.01
±δX	.3	.3	.3		0	0	0	0	0	0	0	.01	0
σ	1.5	1.5	1.4		.02	.02	.02	.02	.03	.01	.01	.03	.01
±δσ	.2	.2	.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	37.2	37.5	36.6		1.56	1.97	1.95	2.23	2.69	1.32	1.14	61.03	60.49
±δV	5.4	5.5	5.3		.2	.25	.25	.29	.35	.17	.15	10.41	10.28
P	6.8	6.8	6.7		.29	.36	.36	.41	.49	.24	.21	11.14	11.04
α	0	0	-.1		-.3	.26	-.26	.39	-.2	-.19	.3	.31	.27
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	-.1	-.1	-.1		-.83	-.29	-.55	.07	-.09	-.33	-.59	.04	-.03
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	55.5	56.2	53.7		.1	.16	.15	.2	.29	.07	.05	49.01	46.37
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92



c *e* *f*

Фиг. 2. Хабитусни типове, установени в изследваните гранати от метаморфните скали в района на Сакар (по Костов, 1950)

(ОД-5) – разкрития на мусковитови шисти в долината на р. Кондуздере, северно от с. Орлов дол. Гранатовите кристали са тъмночервени, непрозрачени, напукани. Минералната им асоциация е представена от мусковит, кварц, биотит, олигоклаз (An 23,42%, Ab 76,22%, Or 0,36 %), илменит, турмалин, титанит, апатит, рутил, единични кристали от кианит. Размерът им варира от 2,60 до 30,15 mm. В най-голямо количество са гранатите с размер от 3

до 10 mm – 66,7%, следвани от тези с размер над 10 mm в диаметър – 26,6% и по-рядко от 1 до 3 mm – 6,7%. С ромбододекаедричен хабитусен тип *f* са 76,7% от кристалите. В 23,3% от образците са регистрирани комбинации от {110} с {211}, в които доминираща форма е {110} – хабитусен тип *e*. Имат изометрично развит кристален хабитус с малки отклонения от идеалната форма (табл. 4.). Съставът им е алмандинов (Alm 76,57%) с високо съдържание на гросулар (Grs 14,86%).

Таблица 3

Размер, хабитусен тип, молни проценти на крайните членове на изоморфните редици и катионно отношение на изследваните гранати (абревиатурата на крайните членове е по Kretz, 1983)

Свити	№ проба	Брой гранати (в %) с различен размер (в mm)				Брой гранати (в %) с различен хабитусен тип			Крайни членове на изоморфните редици в молни %				R^{2+}/R^{3+}
		под 1	1-3	3-10	над 10	*c*	*e*	*f*	Alm	Grs	Prp	Sps	
Жълтичалска	ОД-2	56,7	43,3	–	–	–	16,7	83,3	71,20	10,48	8,00	10,32	1,761
	ОД-4	–	26,7	73,3	–	16,7	70,0	13,3	78,57	4,24	5,82	11,37	1,734
	ОД-5	–	6,7	66,7	26,6	–	23,3	76,7	76,57	14,86	5,01	3,56	1,759
	ОД-6	–	13,3	3,0	83,7	–	10,0	90,0	70,23	16,53	5,27	7,97	1,769
	ХС-7	–	–	13,3	86,7	–	10,0	90,0	69,91	16,75	5,32	8,02	1,769
	ХЯ-8	–	–	43,3	56,7	16,7	53,3	30,0	71,60	8,60	13,97	5,83	1,738
	ДМ-14	–	–	96,7	3,3	3,3	56,7	40,0	78,96	5,29	8,29	7,46	1,727
Устремска	ОР-9	13,3	86,7	–	–	–	20,0	80,0	73,35	9,83	10,37	6,44	1,745
	ПЛ-11а	–	13,3	86,7	–	–	6,7	93,3	68,64	17,73	8,80	4,83	1,785
	ПЛ-12	–	20,0	80,0	–	–	13,3	86,7	72,67	13,95	9,46	3,93	1,760

Таблица 4

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-5 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	9.7	9.5	9.3		.99	1.03	.97	1.03	.96	.98	.99	.04	.01
±δX	1.1	1	1		0	.01	.01	.01	.01	0	0	.01	0
σ	5.9	5.7	5.6		.02	.03	.03	.04	.04	.02	.02	.04	.01
±δσ	.8	.7	.7		0	0	0	0	.01	0	0	.01	0
V	61	60.2	60.7		2.09	3.06	2.96	3.66	4.06	1.95	1.54	08.47	05.79
±δV	10.4	10.2	10.3		.27	.4	.38	.47	.53	.25	.2	25.64	24.58
P	11.1	11	11.1		.38	.56	.54	.67	.74	.36	.28	19.8	19.31
α	1.9	1.8	1.8		-2.71	2.44	-1.97	1.88	-1.81	-2.21	-1.66	1.96	1.93
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	4.2	4	3.8		8.03	6.94	3.14	2.65	3	5.66	3.43	3.56	3.59
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	149	44.8	47.6		.17	.38	.35	.54	.66	.15	.1	70.63	47.63
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

(ОД-6) – мусковитови шисти, разкрити в мястото на вливане на р. Кондуздере в р. Соколица, северозападно от с. Орлов дол. Минералната асоциация на граната е представена от мусковит, кварц, олигоклаз (An 22,47%, Ab 76,65%, Or 0,88%), хлорит, руден минерал, титанит и турмалин. Гранатовите порфиробласти са с тъмночервен цвят, непрозрачени. Привързани са към зони, изградени основно от слюда и не се наблюдават в лещообразните кварцовите тела, вместени сред слюдата. Гранатите имат размер от 2,33 до 10,10 mm (табл. 5). От тях 13,3% с размер от 1 до 3 mm, 3,0% – от 3 до 10 mm и в преобладаващо количество 83,7 % са кристалите с размер над 10 mm. В 90,0% от образците се наблюдава ромбододекаедричен хабитусен тип *f*. Кристалната форма на останалите 10,0% е комбинации от {110} с {211}, като доминираща е {110} – хабитусен тип *e*. Имат алмандинов състав (Alm 70,23%) с високо съдържание на гросуларов компонент (Grs 16,53%).

Район на с. Хлябово

(ХС-7) – разкрития на магнетит и гранатсъдържащи хлоритови шисти в долината на р. Явуздере, източно от с. Хлябово (местността Стената). Минералната асоциация на граната е представена от хлорит, актинолит, магнетит, кварц, албит (An 10,64%, Ab 89,26%, Or 0,10%), епидот, апатит, рутил. Непрозрачен, равномерно разпределен във вместващата скала. Има тъмночервен до кафяв цвят, частично псевдоморфозиран от хлорит. Размерът му варира от 6,33 до 50,10 mm (Табл. 6).

Таблица 5

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-6 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	5.2	5.1	4.9		.99	1.03	.95	1.06	.94	.98	.98	.06	.02
±δX	.3	.3	.3		0	.01	.01	.01	.01	0	0	.01	0
σ	1.8	1.8	1.7		.02	.03	.04	.04	.04	.02	.02	.04	.01
±δσ	.2	.2	.2		0	0	0	.01	.01	0	0	.01	0
V	34.8	34.3	35.1		2.37	2.83	3.78	3.92	4.17	1.89	2.3	73.23	71.95
±δV	5	4.9	5.1		.31	.37	.49	.51	.54	.24	.3	13.61	13.25
P	6.4	6.3	6.4		.43	.52	.69	.72	.76	.34	.42	13.37	13.14
α	.9	.8	.7		1.17	.58	-.49	.86	-.77	-.47	-.61	.93	.85
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	1.1	1.2	1		4.49	.44	-.65	.25	.14	.33	.35	.44	.3
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	48.4	47.1	49.2		.22	.32	.57	.62	.69	.14	.21	14.53	07.04
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

Таблица 6

Морфометрични характеристики на гранати от ХС-7 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	23.3	22.7	19.9		.97	1.1	.89	1.16	.86	.94	.96	.17	.05
±δX	1.9	1.8	1.6		.01	.01	.02	.03	.02	.01	.01	.03	.01
σ	10.2	10	9		.03	.08	.1	.15	.11	.05	.04	.15	.04
±δσ	1.3	1.3	1.2		0	.01	.01	.02	.01	.01	.01	.02	.01
V	43.8	44	45.1		2.96	7.41	11.37	12.78	13.16	5.17	4.65	88.28	84.26
±δV	6.7	6.7	6.9		.38	.96	1.49	1.68	1.73	.67	.6	18.23	16.92
P	8	8	8.2		.54	1.35	2.08	2.33	2.4	.94	.85	16.12	15.38
α	.5	.5	.9		-.3	.15	-.38	.44	-.19	-.12	-.49	.36	.24
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	.6	.8	1.3		-.58	-1.61	-1.49	-1.33	-1.55	-1.62	-1.51	-1.39	-1.52
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	76.8	77.6	81.4		.35	2.19	5.17	6.53	6.92	1.07	.87	11.72	83.97
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

Над 10 mm са 86,7% от кристалите. Останалата част варира от 3 до 10 mm. С ромбододекаедричен хабитусен тип *f* са 90,0% от изследваните кристали и само в 10,0% от образците са установени комбинации с {211}, в които доминираща е {110}-хабитусен тип *e*. Граната е с алмандинов състав (Alm 69,91%) и с високо съдържание на гросуларов компонент (Grs 16,75%).

(ХЯ-8) – разкрития на двуслюдени шисти от долината на р. Явуздере, източно от с. Хлябово. Минерална асоциация на граната: мусковит, кварц, биотит, олигоклаз (An 15,00%, Ab 84,72%, Or 0,28%), илменит, циркон и рутил. Гранатовите кристали са с червенокафяв цвят, прозрачни, напукани. Неравномерно разпределени в слюдата или привързани към границата на лещовидните кварцови струпвания. Размерът им варира от 3,40 до 47,60 mm (табл. 7). Над 10 mm в диаметър са 56,7 % от кристалите. Останалите 43,3% са от 3 до 10 mm. При 53,3% от образците е определен хабитусен тип *e*, 30% от кристалите са с ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и в 16,7% от изследваните гранати двете прости форми {110} и {211} са развити сравнително равномерно – хабитусен тип *c*. Имат алмандинов състав (Alm 71,60%) с високо съдържание на пиропов компонент (Prp 13,97%).

Таблица 7

Морфометрични характеристики на гранати от ХЯ-8 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

nap	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	13.4	13.2	13		.98	1.02	.98	1.02	.97	.98	1	.03	.01
±δX	1.7	1.6	1.6		0	0	0	0	0	0	0	0	0
σ	9.2	9	9		.01	.02	.01	.01	.02	.01	.01	.02	.01
±δσ	1.2	1.2	1.2		0	0	0	0	0	0	0	0	0
V	68.5	68.5	68.9		1.41	1.55	1.07	1.33	1.81	1.02	.87	57.92	57.53
±δV	12.3	12.3	12.4		.18	.2	.14	.17	.23	.13	.11	9.67	9.57
P	12.5	12.5	12.6		.26	.28	.19	.24	.33	.19	.16	10.57	10.5
α	2	2.1	2.1		-.96	.72	-.65	.55	-.45	-.66	.82	.53	.51
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	4.7	5	4.9		.83	.12	.19	.3	0	.02	3.06	.09	.06
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	87.6	87.5	89.9		.08	.1	.05	.07	.13	.04	.03	34.18	32.37
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

Район на с. Орешник

(ОР-9) – разкрития на гранат-ставролитови двуслюдени шисти, югозападно от с. Орешник. Минерална асоциация на граната: мусковит, биотит, кварц, ставролит с дължина най-често до около 7 mm по оста *c*, олигоклаз (An 20,76%, Ab 78,94%, Or 0,30%), хлорит, турмалин, калцит, илменит, радиоактивен минерал.

Таблица 8

Морфометрични характеристики на гранати от ОР-9 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

nap	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	1.6	1.6	1.6		1.25	.99	.97	1.02	1.2	1.09	.98	.01	0
±δX	.1	.1	.1		.26	.03	.01	.01	.23	.1	.02	.03	.01
σ	.5	.5	.5		1.44	.16	.04	.08	1.26	.57	.09	.15	.07
±δσ	.1	.1	.1		.19	.02	0	.01	.16	.07	.01	.02	.01
V	33.1	28.6	29.6		14.65	16.58	3.94	8.06	05.32	52.34	9.39	364.2	56.86
±δV	4.7	4	4.1		28.2	2.2	.51	1.05	24.39	8.41	1.22	02.36	370.2
P	6	5.2	5.4		20.93	3.03	.72	1.47	19.23	9.56	1.71	49.07	96.28
α	-.6	0	-.2		5.2	-5	-1.3	-3.42	5.19	5.19	-4.68	-4.6	-4.95
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	.6	-.3	-.4		25.02	23.69	.47	14.83	24.99	24.99	21.55	21.24	23.43
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	43.9	32.8	35.1		25.81	10.99	.62	2.6	43.66	09.58	3.53	41.99	91091
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

Гранатът е с розовочервен цвят, прозрачен, ненапукан. Разпределен е сравнително равномерно във вместващите скали. Размерът му варира от 0,70 до 2,70 mm (табл. 8.) и само 13,3% от образците са под 1 mm. В 80,0 % от гранатите е установен ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и в 20,0% – хабитусен тип *e*). Компонентният им състав е преобладаващо алмандинов (Alm 73,35%) с високо съдържание на гросуларов (9,83%) и пиропов (10,37%) компонент.

Район на с. Планиново

(ПЛ-11а) – разкрития на амфиболити, югозападно от с. Планиново. Минералната асоциация на граната е представена от амфибол, кварц, битовнит (An 85,78%, Ab 14,22%), илменит, титанит, циркон, рутил, турмалин, калцит. Граната е с тъмночервен цвят, непрозрачен, сравнително равномерно разпределен във вместващата скала. Има размер от 2,33 до 4,50 mm (табл. 9). От 1 до 3 mm са 13,3% от изследваните кристали. В 93,3% от образците е установен ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и само в 6,7% се наблюдават комбинации от {110} с {211} с доминираща {110} форма – хабитусен тип *e*. Характеризира се с алмандинов състав (68,64%) с високо съдържание на гросуларов компонент (17,73%).

Таблица 9

Морфометрични характеристики на гранати от ПЛ-11а (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

nap	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	3.6	3.5	3.3		.99	1.04	.94	1.07	.93	.97	.98	.08	.02
±δX	.1	.1	.1		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
σ	.5	.5	.5		.02	.03	.04	.05	.04	.02	.03	.05	.02
±δσ	.1	.1	.1		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
V	13.6	14.1	15.2		1.83	2.59	4.61	4.7	4.58	1.75	2.61	65.92	62.51
±δV	1.8	1.9	2		.24	.34	.6	.61	.59	.23	.34	11.63	10.77
P	2.5	2.6	2.8		.33	.47	.84	.86	.84	.32	.48	12.03	11.41
α	-.4	-.4	-.3		-.99	.6	-.8	1.13	-.66	-.55	-.54	1	.74
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	0	0	-.2		-.17	-.22	1.18	2.12	.49	-.19	.6	1.52	.64
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	7.4	7.9	9.2		.13	.27	.85	.88	.84	.12	.27	173.8	56.29
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

(ПЛ-12) – разкрития на гранат-ставролитови двуслюдени шисти, югозападно от с. Планиново. Минералната асоциация на граната е представена от кварц, биотит, мусковит, ставролит, андезин (An 33,99%, Ab 65,48%, Or 0,52%), илменит, хлорит, турмалин, апатит, единични кристали от кианит. Гранатът е тъмночервен на цвят, непрозрачен. Размерът му варира от 2,46 до 4,70 mm (табл. 10), като от 1 до 3 mm е диаметъра на 20% от изследваните кристали. В 86,7% от изследваните образци е установен ромбододекаедричен хабитусен тип *f*, а в останалите 13,3% кристалният хабитус е от тип *e* – комбинации от {110} с {211} с доминираща {110} форма. Компонентният състав на граната е алмандинов (72,67%) с високо съдържание на гросуларов компонент (Grs 13,95%).

Район на с. Дервишка могила.

(ДМ-14) – разкрития на двуслюдени шисти от вр. Дервишка могила, южно от едноименното село. Минерална асоциация на граната: биотит, кварц, мусковит, олигоклаз (определен микроскопски), хлорит, илменит, турмалин, апатит и циркон. Вместващите скали са силно нагънати. Той е с виненочервен цвят, полупрозрачен, слабо напукан. По-голямата част от изследваните гранатови кристали са силно удължени. Подредени са в ивици, чиято посока следва нагъването на вместващите скали. Размерът на граната варира от 4,56 до 11,46 mm (табл. 11), като в категорията от 3 до 10 mm попадат 96,7% от изследваните

кристали. В 56,7% от кристалите е установен хабитусен тип *e*, представен от комбинации от {110} с {211} с доминираща {110} форма; в 40,0% от образците – ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и само в 3,3% от кристалите {110} и {211} са развити сравнително равномерно – хабитусен тип *c*. Граната е с алмандинов състав (Alm 78,96%) и с приблизително равностойно процентно съдържание на останалите крайни членове от изоморфните редици.

Таблица 10

Морфометрични характеристики на гранати от ПЛ-12

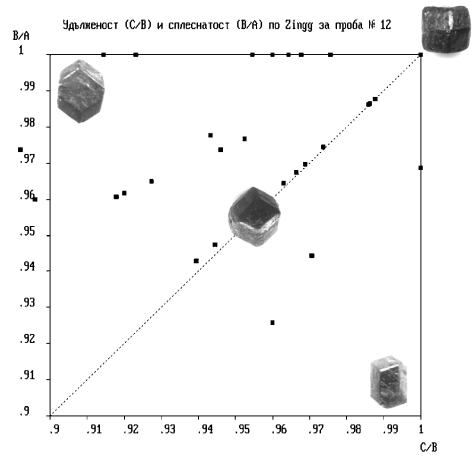
Морфометрични изследвания на гранати от Сакар проба № 12

№	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
1	2.5	2.5	2.4	f	1	1.02	.96	1.04	.96	.99	.98	.04	.01
2	2.6	2.5	2.3	f	.96	1.08	.92	1.11	.88	.95	.98	.13	.04
3	2.7	2.5	2.4	f	.93	1.1	.96	1.08	.89	.94	1.02	.12	.04
4	2.8	2.7	2.6	e	.96	1.06	.96	1.06	.93	.96	1	.08	.02
5	2.8	2.8	2.7	f	1	1.02	.96	1.04	.96	.99	.98	.04	.01
6	3.1	3.1	2.5	f	1	1.11	.81	1.24	.81	.93	.9	.24	.07
7	3.1	3.1	3	f	1	1.02	.97	1.03	.97	.99	.98	.03	.01
8	3.2	3.1	3.1	e	.97	1.03	1	1.02	.97	.98	1.02	.03	.01
9	3.2	3.1	3.1	f	.97	1.03	1	1.02	.97	.98	1.02	.03	.01
10	3.3	3.2	3.1	f	.97	1.05	.97	1.05	.94	.97	1	.06	.02
11	3.5	3.3	3.1	f	.94	1.09	.94	1.1	.89	.94	1	.13	.04
12	3.4	3.4	3.4	f	1	1	1	1	1	1	1	0	0
13	3.5	3.5	3.2	f	1	1.04	.91	1.09	.91	.97	.96	.09	.03
14	3.6	3.4	3.3	e	.94	1.07	.97	1.06	.92	.95	1.01	.09	.03
15	3.6	3.5	3.5	f	.99	1.02	.99	1.02	.97	.99	1	.03	.01
16	3.8	3.7	3.3	f	.97	1.09	.89	1.14	.87	.95	.96	.15	.05
17	3.8	3.6	3.4	f	.95	1.09	.94	1.09	.89	.95	1	.11	.04
18	3.8	3.7	3.3	f	.96	1.09	.92	1.11	.88	.95	.98	.13	.04
19	3.7	3.7	3.6	f	.99	1.02	.99	1.02	.97	.99	1	.03	.01
20	3.8	3.7	3.5	f	.97	1.06	.95	1.07	.92	.96	.99	.08	.03
21	3.9	3.8	3.7	f	.97	1.04	.97	1.04	.95	.97	1	.05	.02
22	3.9	3.9	3.6	f	1	1.04	.92	1.08	.92	.97	.96	.08	.03
23	4.1	4.1	4	f	.99	1.02	.99	1.02	.98	.99	1	.02	.01
24	4.1	4.1	4	f	1	1.01	.98	1.02	.98	.99	.99	.02	.01
25	4.3	4.2	4	f	.98	1.05	.95	1.06	.93	.97	.99	.07	.02
26	4.4	4.4	4.2	e	1	1.02	.95	1.05	.95	.98	.98	.05	.02
27	4.6	4.4	4.3	f	.97	1.05	.97	1.05	.93	.97	1	.07	.02
28	5	4.8	4.3	f	.96	1.1	.9	1.14	.86	.94	.97	.16	.05
29	5.7	5.5	5.1	f	.96	1.08	.93	1.1	.89	.95	.98	.11	.04
30	9	8.8	8.3	f	.98	1.05	.94	1.07	.92	.97	.98	.08	.03

Статистически характеристики на извадка № 12 по параметри

пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	3.8	3.7	3.5		.98	1.05	.95	1.07	.93	.97	.99	.08	.03
±δX	.2	.2	.2		0	.01	.01	.01	.01	0	0	.01	0
σ	1.2	1.2	1.1		.02	.03	.04	.05	.04	.02	.02	.05	.02
±δσ	.2	.1	.1		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
V	31	31	30.7		2.06	2.89	4.13	4.52	4.62	1.95	2.28	64.21	60.76
±δV	4.4	4.4	4.3		.27	.37	.53	.58	.6	.25	.29	11.2	10.34
P	5.7	5.7	5.6		.38	.53	.75	.82	.84	.36	.42	11.72	11.09
α	2.8	2.8	2.7		-.44	.26	-1.59	1.48	-.66	-.24	-1.63	.99	.71
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	9.5	9.6	9.5		-.47	-1.16	3.68	3.17	.17	-1.12	4.25	1.19	.23
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	38.5	38.5	37.7		.17	.33	.68	.82	.86	.15	.21	64.93	47.66
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

A–дължина, B–ширина, C–дебелина на гранатовия кристал
K1=B/A–сплеснатост по Zingg,K2=2A/(B+C)–удълженост по Wentwoth
K3=C/B–удълженост по Zingg, K4=(A+B)/(2C)–сплеснатост по Wentwoth
K5=C/A–сплеснасот по Savessi, K6=(BC/A^2)^(1/3)–сферичност по Krumbein,
K7=(A+C)/(2B)–изометричност по Саркисян, K8=B/C+A/B–2 – форма по Вассоевич,
K9=(A–C)/(A+B+C)–коефициент на формата по неизвестен автор
N–брой зърна, Xsr=Σxi/N, ±δX=σ/(N^(1/2)), σ=Σ(xi–Xsr)^2/N, ±δσ=σ/(2N^(1/2))
V=100σ/Xsr, ±δV=V(1+2((V/100)^2)^(1/2), P=V/(N^(1/2)),
α=Σ(xi–Xsr)^3/Nσ^3, ±δα=(6/N)^(1/2),
ß=Σ(xi–Xsr)^4/Nσ^4–3, ±δß=2(6/N)^(1/2), NN(5%)=V^2/(5^2), K=1+4ln(N)/2.3



Фиг. 3. Морфометрия на гранати от ПЛ-12 по Zingg. Изометричните гранати са в горния десен ъгъл на диаграмата. Удължените гранати се разполагат по линията c/b=1; сплеснатите – по линията b/a=1; деформираните гранати – по линията b^2=a.c; деформирано-удължените и деформирано-сплеснатите са в съответните полета

Ореоли на механично разсейване на гранат

Районът е опробван с 1662 проби и при площ 535 км^2 се получава средна плътност 3,1 проби на км^2 – добър показател за шлихоминераложко картиране в М 1:25000. Проблем за настоящото изследване на разпределението на гранатовите минерализации представлява опробването само на главните реки в северозападната част на региона – в 191 проби е установен гранат. В останалата част от територията, в текста на геоложките доклади е указано за наличие на гранат в пробите, но той не е отразен в шлихоминераложките карти. Този проблем е решен чрез екстраполация на данните с двумерно Фурие моделиране (Девис, 1977).

Таблица 11

Морфометрични характеристики на гранати от ДМ-14 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	b	c	f	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Xsr	7.8	7.6	7.3		.97	1.05	.96	1.06	.94	.97	.99	.07	.02
±δX	.3	.3	.3		0	.01	.01	.01	.01	0	.01	.01	0
σ	1.5	1.5	1.5		.02	.03	.05	.06	.05	.02	.03	.06	.02
±δσ	.2	.2	.2		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
V	19.2	19.2	20.1		2.34	3.21	5.17	5.97	5.24	2.15	3.03	91.09	81.41
±δV	2.6	2.6	2.7		.3	.42	.67	.77	.68	.28	.39	19.18	16.03
P	3.5	3.5	3.7		.43	.59	.94	1.09	.96	.39	.55	16.63	14.86
α	.2	.3	.2		-1.37	1.39	-2.58	3.33	-2.26	-1.36	-1.13	2.96	2.43
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	.2	.2	.2		.98	2.58	9.31	12.86	7.03	2.59	5.43	10.79	7.89
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	14.8	14.7	16.2		.22	.41	1.07	1.43	1.1	.19	.37	331.9	65.14
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

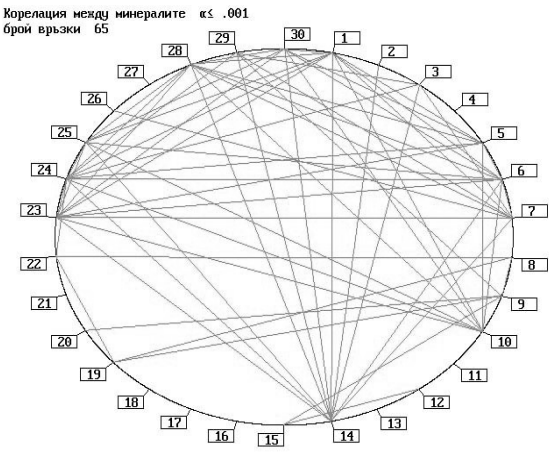
Таблица 12

Минерален състав на шлихоминераложките проби

sakar – опис на минералите

N	Минерал	Брой	N	Минерал	Брой	N	Минерал	Брой
1	апатит	182	2	барит	175	3	бисмутит	626
4	вулфенит	1	5	галенит	19	6	гранат	191
7	злато	146	8	илменит	909	9	кианит	352
10	корунд	30	11	ксенотим	1	12	куприт	3
13	молибденит	1	14	монацит	400	15	олово	9
16	ортит	39	17	пироморфит	2	18	плумбоярозит	3
19	рутил	819	20	ставролит	7	21	сфалерит	1
22	титанит	258	23	титансъдържащ	191	24	торит	419
25	хромит	34	26	церусит	3	27	цинабарит	8
28	циркон	189	29	шеелит	928	30	шпинел	108

брой проби 1662 брой минерали 30



Фиг. 4. Корелация между минералите в шлихоминераложки те проби от изследвания регион

Минералният състав на пробите е представен от 30 минерала (табл. 12; фиг. 4), които са в сложни корелационни отношения (Поасонов тест, α<0,001) и групирани – признак за генетично- и пространствено обусловени минерални асоциации. Минералите ксенотим, аланит-Ce, пироморфит, плумбоерозит, сфалерит, цинабарит и вулфенит са без корелати поради малкия обем на извадката.

Подредбата на минералите по честота на срещане (табл. 13) показва изобилие от шеелит – 56% от територията е перспективна за търсене на шеелитови орудявания.

Таблица 13

Статистика на минералите в шлихоминераложките проби от изследвания регион

sakar – статистика на минералите

N	Минерал	Брой	P	±dP	NN	Nd	изученост
1	шеелит	928	.5583	.0238	37876	6	–
2	илменит	909	.5469	.0239	38061	6	–
3	рутил	819	.4927	.024	38391	7	–
4	бисмутит	626	.3766	.0232	36063	11	–
5	торит	419	.2521	.0208	28961	18	–
6	монацит	400	.2406	.0205	28070	19	–
7	кианит	352	.2117	.0196	25641	22	–
8	титанит	258	.1552	.0174	20142	31	–
9	гранат	191	.1149	.0153	15623	43	–
10	титансъдържащ	191	.1149	.0153	15623	43	–
11	циркон	189	.1137	.0152	15480	43	–
12	апатит	182	.1095	.015	14978	45	–
13	барит	175	.1052	.0147	14470	47	–
14	злато	146	.0878	.0136	12307	57	–
15	шпинел	108	.0649	.0118	9332	78	–
16	ортит	39	.0234	.0072	3519	223	–
17	хромит	34	.0204	.0068	3077	256	–
18	корунд	30	.018	.0064	2722	290	–
19	галенит	19	.0114	.0051	1735	460	–
20	олово	9	.0054	.0035	827	975	+
21	цинабарит	8	.0048	.0033	735	1098	+
22	ставролит	7	.0042	.0031	644	1255	+
23	куприт	3	.0018	.002	276	2932	+
24	плумбоярозит	3	.0018	.002	276	2932	+
25	церусит	3	.0018	.002	276	2932	+
26	пироморфит	2	.0012	.0016	184	4400	+
27	вулфенит	1	.0006	.0011	92	8802	+
28	ксенотим	1	.0006	.0011	92	8802	+
29	молибденит	1	.0006	.0011	92	8802	+
30	сфалерит	1	.0006	.0011	92	8802	+

брой проби 1662 брой минерали 30

Илменит, рутил, бисмутит, торит и монацит са с повече от 25 % и предопределят минераложкия облик на региона. Кианит, титанит, гранат, циркон, апатит и барит се срещат в повече от 10 % от пробите. Останалите минерали са с вероятност за откриване по-малко от 10%.

Съдържанието на гранат в пробите варира от единични знаци до основна маса (над 90%). Разпределението е с изявен максимум около “единични знаци” и около “твърде много” (60%) – признак за наличие на разсеян гранат и гранатсъдържащи скали.

Разпределението по честота на срещане показва, че в 99 от 676 квадрата е открит гранат. Честотите на срещане са с изявен максимум около 30, 50, 75 и 100%. В случая хистограмата е лошо дефинирана, поради неопробване на притоците на главните реки.

Корелати на граната в пробите (табл. 14) са минералите: апатит, галенит, злато, корунд, монацит, титансъдържащ минерал, торит, хромит, циркон, шпинел. С изключение на галенита и златото (вероятно хидротермални продукти) останалите минерали са скалообразуващи и акцесори, показващи петрографския състав на гранатсъдържащите скали в района.

Корелацията между минералите, които са корелати на граната (фиг. 5) е спрегната (всеки срещу всеки) с изключение на връзката торит-шпинел и обособяване на две групи: злато, апатит, циркон, монацит, титансъдържащ минерал и втора група: галенит, апатит, титансъдържащ минерал, торит, шпинел, корунд, циркон и хромит. Тези групи предопределят значението на граната като индикатор за търсене (вероятно от вместващите скали) на собствено златни и полиметални находища.

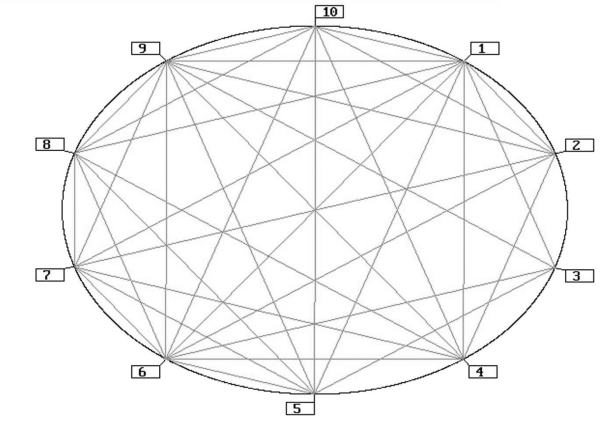
Таблица 14

Корелати на минерала гранат в шлихоминераложките проби от изследвания регион

sakar – корелати на минерала гранат n= 191/ 1662 $\alpha \leq$ .001

№	Минерал	n	a	La	ΣPi
1	апатит	182	182	20.91576	1
2	галенит	19	13	2.183514	.9999999
3	злато	146	54	16.77858	1
4	корунд	30	21	3.447654	1
5	монацит	400	137	45.96871	1
6	титансъдържащ	191	191	21.95006	1
7	торит	419	151	48.15223	1
8	хромит	34	34	3.907341	1
9	циркон	189	189	21.72022	1
10	шпинел	108	39	12.41155	1

корелация между корелати на минерала гранат при $\alpha \leq$ .001



Фиг. 5. Връзки между корелатите на минерала гранат в шлихоминераложките проби от изследвания регион

Изготвения Фурие модел е по данни от 99 квадрата (северозападния ъгъл на изследвания район). На фиг. 6 са представени нормалните вектори (h_1, h_2) на модела (хармоники) и техните енергии (E %), както и анализ на остатъците от разликите между модел и данни (хистограма).

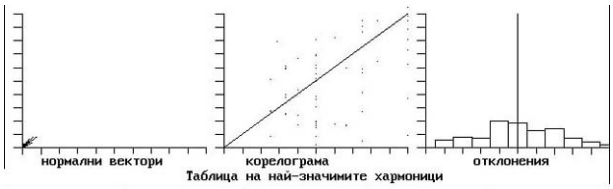


Таблица на най-значимите хармоници

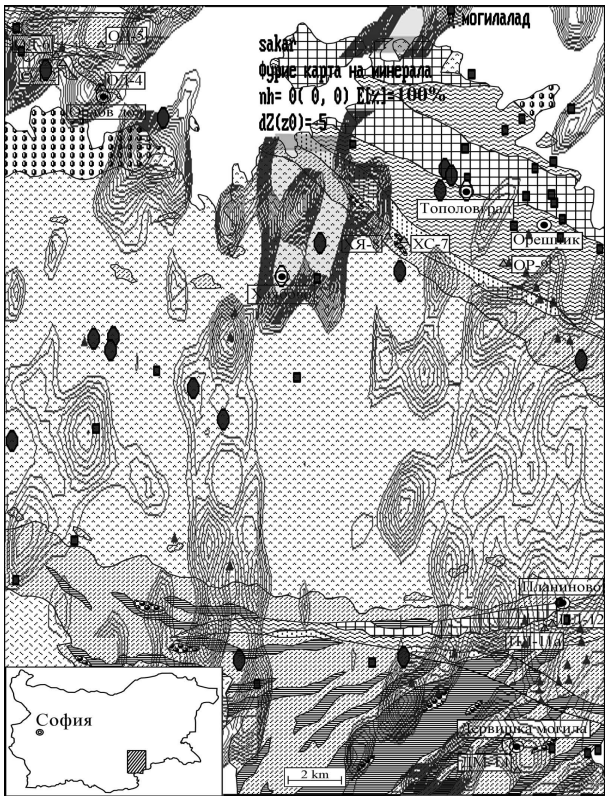
№	h1	h2	E[%]	№	h1	h2	E[%]	№	h1	h2	E[%]	№	h1	h2	E[%]	№	h1	h2	E[%]
1	2	2	10.98	2	3	2	9.86	3	4	2	7.46	4	2	3	6.22	5	4	3	5.86
6	3	3	5.12	7	5	2	4.57	8	6	7	3.32	9	6	8	3.25	10	5	3	3.16
11	6	6	3.12	12	12	3	3.04	13	5	8	3.03	14	5	7	2.99	15	13	2	2.93
16	8	9	2.93	17	3	6	2.84	18	4	4	2.7	19	14	2	2.67	20	5	6	2.59
21	3	5	2.52	22	2	4	2.52	23	8	8	2.49	24	4	6	2.49	25	12	2	2.46

N= 99 R= .6040976 Tr= 7.465923 >3 α<0.001 v= 97
коректив 5.277572
Анализ на остатъците: Rr= .8816615 Trr= 4.943303 >4.75 α<0.001

Фиг. 6. Двумерен Фурие модел на разпределението на честотите на срещане на минерала гранат

Моделът показва силна значима корелативна връзка между модел и данни (R=0,60, T=7,46>3, α<0,001); загуба на информация 5,28 пъти и приемливо нормално разпределение на остатъците от разликата между модел и данни (R=0,88, T=4,94 > 4,75, α < 0,001). Разпределението на хармониките показва слаба сходимост с максимум 10,98% за хармоника (2-2); 9,86 % за хармоника (3-2) и 7,46% за хармоника (4-2). Останалите хармоники съдържат по-малко от 7% полезен сигнал.

Пълния Фурие модел (фиг. 7) показва насищане с гранат в района на Орлов дол, Хлябово и североизточно от него (интерполационни резултати) и в ивиците Тополовград – Дервишка могила, Хлябово – Дрипчево и южно (екстраполация).



Фиг. 7. Пълен Фурие модел на разпределението на минерала гранат

Фиг. 8. Най-силни хармоники в разпределението на гранат

Най-силната хармоника (2-2) и кратните й (3-3), (6-6), (4-4) и др. обхваща разпределението на 24 % от граната в територията (фиг. 8). Това са предимно североизток-югозападни ивици най-силната, от които преминава през Хлябово, Българска поляна, Черепово и успоредно на нея през Дервишка могила. Тази система съвпада с югоизточния ръб на палеогенската депресия, северно от Хлябово, а в района на Дервишка могила съвпада с голямото амфиболитово тяло от рамката.

Напречните на тази система ивици са по-слабо изявени и са с посока северозапад – югоизток, съвпадаща с посоката на североизточния ръб на Сакарския плутон и субпаралелните на него метаморфити, както и с югозападния ръб на палеогенската депресия при с. Орлов дол.

Резултати

В резултат от химичните изследвания се установи, че гранатът принадлежи към системата алмандин – гросулар – пироп – спесартин. Липсата на андрадитов компонент определя твърдост на минерала 7-7,5 по Моос, която отговаря на критерия за използването на граната като суровина в абразивната промишленост.

Всички гранати са с преобладаващо алмандинов състав, но се различават съществено помежду си по процентното съдържание на останалите компоненти. С най- високо съдържание на алмандин са образците от районите ОД-4 и ДМ-14, на гросулар – ОД-6 и ХС-7, на пироп – ХЯ-8, на спесартин – ОД-2 и ОД-4. Наблюдаваните образци са прекрасна илюстрация за изоморфизъм между т. нар.

пиралспити и уграндити (последните представени от гросулар).

Кристалният хабитус на граната от изследваните райони е представен главно от тип *f* и тип *e* (Фиг. 2). Хабитусен тип *c*, представляващ комбинация от сравнително равномерно развити {110} и {211} установен е само в част от гранатите от районите ОД-4, ХЯ-8 и ДМ-14. При тях катионното отношение на двувалентните към тривалентните катиони е най-ниско, а именно: 1,727 за ДМ-14, 1,734 за ОД-4 и 1,738 за ХЯ-8 (табл. 3). При изчисляване на средните радиуси на двувалентните и тривалентните катиони на изследваните гранати на базата на ефективните йонни радиуси на Shanon & Prewitt (1969) и Shanon (1976) се установи, че хабитусен тип *c* при граната се образува при катионно отношение под 1,740 (фиг. 9).

Фиг. 9. Зависимост на кристалния хабитус на граната от отношението на двувалентните към тривалентните катиони

Наблюдава се известна зависимост между размера и хабитусния тип – гранатите с по-голям размер образуват по-често кристали с ромбододекаедричен хабитус. Най-големи отклонения от идеалната изометрична форма са регистрирани при граната от района на с. Дервишка могила – ДМ-14.

В разкритията на слюдени шисти от долините на реките Явуздере (ХЯ-8) и Кондуздере (ОД-5) са наблюдавани и най-големите по размер порфиробласти – съответно до 47,60 mm и до 30,15 mm.

Морфометричните изследвания показаха, че в диаграмите сплеснатост – удълженост по Zingg се обособяват пет типа гранати: *удължени* кристали (c/b=1); *сплеснати* гранати (b/a=1); *деформирани* гранати (b^2=a.c); *деформирано-удължени* и *деформирано-сплеснати.*

Изчислените статистически характеристики на извадките от морфометричните изследвания показват преобладаващо нормално разпределение на стойностите на параметрите (асиметрията и екцеса са по-малки от 3), но показателите на точността са от порядъка на 10%, което е незадоволително. За достигане на желаната 5 процентна граница е необходимо допълнително да де измерят над 150 образеца. Независимо от това може да се приме, че резултатите са представителни за изчислените коефициенти (необходимия брой зърна за тях е по-малък от 30).

Установи се, че данните от шлихоминераложките картирания не позволяват директно да се проследи пространственото разпространение на граната в региона. Направеният Фурие модел показва множество минераложки аномалии на минерала гранат, най-голяма от които е в ивицата Хлябово – Карабаир и източно в района на долината на р. Явуздере. Най-силната хармоника във Фурие модела (2-2) маркира геоложки граници на плутона от североизточна страна и перпендикулярни ивици, най-силните от които преминават през Хлябово – Българска поляна – Черепово и успоредно на нея през Дервишка могила – Планиново. Корелатите на граната в шлихоминераложките проби са минерали от вместващите скали, злато и галенит. Ореолите на механично разсейване на минерала до голяма степен съвпадат с известните гранатови минерализации. Важен резултат е констатираното насищане на територията с проби, съдържащи шеелит (повече от 56%).

Дискусия

Гранатът от изследваните райони се различава съществено по размер, морфология и процентно съдържание на крайните членове на изоморфните му редици.

Потвърждава се зависимостта между катионното отношение в гранатите и техния хабитусен тип, установена от Костов (1950), т.е. при по-ниско катионно отношение се наблюдават по-голям брой гранати, чиято морфология е представена от комбинации от {110} и {211}.

Стойностите на измерените дължини по трите оси на симетрия от четвърти порядък G_4 (a,b,c) и изчислените морфометрични коефициенти, както и изготвените диаграми по Zingg показват отклонения от идеалната изометрична форма, което е признак за минерален растеж в анизотропна среда (c/b=1; b/a=1); деформация на кристали с идеална форма (b^2=ac) и случаи на растеж, съпроводен с деформация на кристалите. При постоянни параметри на средата, формата на кристалите се подчинява на закона на Ферми – симетрията на формата на кристала е единство на вътрешната симетрия и симетрията на околната среда. В този смисъл кристали с различни отношения от c/b=1 и b/a=1 са признак за деформация на кристалите. Доколкото в частния случай b^2=ac е отражение на равенство на обемите на сфера ($V_{сфера}=\pi b^3/6$) и обема на измерения триосен елипсоид ($V_{елипсоид}=\pi abc/6$), може да се очаква, че тези кристали са имали идеална форма след което са претърпели пластична деформация. За пластична деформация на граната са показани факти и се дискутира в Prior et all (2000); Storey & Prior (2005).

Изводи

От представените минераложки данни за гранатите от различните райони на изследване и данните от Фурие анализа на шлихоминераложкото опробване на Сакарската област може да се твърди, че интерес за абразивната промишленост представляват единствено гранатите от долината на р. Явуздере.

Потвърди се зависимостта между катионното отношение в гранатите и техния хабитусен тип, установена от Костов (1950). При изчисляване на средните радиуси на двувалентните и тривалентните катиони на изследваните гранати на базата на ефективните йонни радиуси на Shanon & Prewitt (1969) и Shanon (1976) се установи, че хабитусен тип *c*, представен от сравнително равномерно развити {110} и {211} при граната се образува при катионно отношение под 1,740. Присъствието на тетрагонтриоктаедричната проста форма е регистрирано до катионно отношение 1,785.

Изследваните гранати са полигенни – деформирани реликти от регионалния метаморфизъм на скалите в района, деформирани в процеса на израстване и кристали израстнали в стационарен режим на анизотропно поле.

Благодарности. Настоящото изследване беше възможно да се реализира благодарение на професионалната и безкористна помощ на доц. д-р Р. И. Костов, ст.н.с. д-р Н. Зидаров и Н. Господинов. Финансирането на опробването и обработката на пробите е извършено по проект на *SE Europe Geoscience Foundation*.

Литература

Бончев, Г. 1923. Минералите в България. – *Год. СУ, Физ.-мат. фак.,* 1, 144-150.

Бончев, Е. 1971. *Проблеми на българската геотектоника*. С., Техника, 204 с.

Витов, О. 1992. Методика за съставяне на шлихоминераложки прогнозни карти. – *Год. Минно-геол. унив., 38, 1*, 159-171.

Витов, О. 1995. Шлихоминераложка карта на България (проект). – *Геология и минерални ресурси*, 4, 6-11.

Витов, О. 2001. Шлихоминераложка изученост на България. – *Геология и минерални ресурси*, 9, 19-22.

Девис, Дж. 1977. *Статистика и анализ геологических данных*. М., Мир, 576 с.

Иванов, Ж., Я. Герджиков, А. Кунов. 2001. Нови данни и съображения за строежа и тектонската еволюция на Сакарската област. – *Год. Соф. унив., Геол.-геогр. фак., 1, 91*, 35-80.

Иванов, И. Т. 1965. Върху минералния и химичния състав на някои ксенолити в Сакарския гранит. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, *26*, 1, 80-88.

Кожухаров, Д. 1991. Константиновская метаконгломератовая свита в Сакар планине и Марицкой зоне между Симеоновградом и Димитровградом, Хасковская област. – *Geologica Balc., 21*, 4, 73-81.

Кожухаров, Д., Ив. Боянов, Е. Кожухарова, А. Горанов, С. Савов, Г. Шиляфов. 1995. *Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Свиленград*. С., Аверс, 67 с.

Кожухаров, Д., С. Савов, Г. Чаталов, Е. Кожухарова, И. Боянов, Е. Челебиев. 1994. *Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Тополовград*. С., Болид, 73 с.

Кожухарова, Е., Д. Кожухаров. 1973. Стратиграфия и петрология на докамбрийските метаморфни скали от Сакар планина. – *Изв. Геол. инст., сер. Геохим., минерал. петрогр.*, *22*, 193-213.

Кожухарова, Е., Д. Кожухаров. 1974. Докамбрийски метаморфозирани дайкови магматити от Димитровградско и южните склонове на Сакар планина. – В: *Минерогенезис*. С., БАН, 379-386.

Костов, И. 1950. Бележки върху морфологията на гранатовите кристали. – *Год. Соф. унив., Прир.-мат. фак.*, *46*, 3, 329-338.

Костов, И. 1958. Генезис дистена из кварцевых жил. – *Минер. сб. Львов. геол. общ.*, 262-269.

Костов, И., В. Бресковска, Й. Минчева-Стефанова, Г. Н. Киров. 1964. *Минералите в България.* С., БАН, 540 с.

Кръстев, Кр., О. Витов. 1983. Морфометрични изследвания на самородни алувиални златинки с помощта на ЕИМ. – *Год. МГУ*, *30*, 2, 215-222.

Николов, Н. 1936. Химико-минералогически изследвания на някои гранати в България. – *Год. Соф. унив., Физ.-мат. фак.*, *32*, 3, 51-65.

Скендеров, Г., И. Пальшин, Я. Михайлов, И. Божков, Л. Савова. 1986. О возрасте Сакарского гранитного плутона (Юго-Восточное Среднегорье). – *Геохим. минерал. петрол.*, *22*, 69-80.

Чаталов, Г. 1990. *Геология на Странджанската зона в България*. С., БАН, 263 с.

Gerdjikov, I. 2004. Microstructures of garnet-bearing rocks from the NE margin of the Sakar pluton (SE Bulgaria) – indicators for strain and fluid enhanced porphyroblast growth. – *Минерогенезис – 2004, Резюмета, Унив. изд. "Св. Климент Охридски"*, 69-70.

Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. – *Amer. Mineral., 68*, 277-279.

Prior, D., J. Wheeler, F. Brenker, B. Harte, M. Matthews. 2000. Crystal plasticity of natural garnet: New microstructural evidence. – *Geology*, *28*, 11, 1003-1006.

Shanon, R. 1976. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. – *Acta Cryst., A32*, 751-767.

Shanon, R., C. Prewitt. 1969. Effective ionic radii in oxides and fluorides. – *Acta Cryst., B25*, 925-945.

Storey, C. D., D. J. Prior. 2005. Plastic deformation and recrystallization of garnet: a mechanism to facilitate diffusion creep. – *Journal of petrology, 46, 12, 2593-2613.*

Vitov, O. 1992. AURUM – Collecting and processing morphometric data for mineral grains. – In: *The IMA Catalogue of Software for Mineralogists.* IMA (WGDCA), p. 109.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ