

НОВЫЕ НАХОДКИ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ — ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКОВ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АЛМАЗА

А. Д. Савко, Л. Т. Шевырѐв, В. В. Ильяш, А. И. Чашка*

Воронежский государственный университет

**Украинский государственный институт минеральных ресурсов (УГПИМР)*

Настоящая статья посвящена минералогическим и геохимическим особенностям алмаза, пиропов, пикроильменитов, хромшпинелидов, обнаруженных в четырнадцати новых крупнообъемных (1 м³ каждая) пробах неокомских, аптских, сеноманских, палеогеновых песков. Опробование в столь представительных объемах впервые затронуло регион КМА (Курская, Белгородская области) и стратиграфические уровни на востоке антеклизы, ранее в подобные исследования не включавшиеся (неокомский надъярус, сеноман). Наибольший интерес для прогнозных построений представляют пиропы. Показано, что среди них преобладают умеренно хромистые разности, характерные для лерцолитов, которые количественно преобладают среди ксенолитов промышленных алмазоносных кимберлитов. В палеогеновых толщах юго-востока обнаружены зерна этого минерала, составы которых характерны для пиропов из алмазоносных гарцбургит-дунитов. Описаны пиропы, характерные для включений из алмазов ультрабазитовых ассоциаций. Дается характеристика вариаций химического состава пиропов, хромшпинелидов, пикроильменитов, традиционно используемых при оценке перспектив алмазоносности. Все анализы химического состава минералов выполнены рентгеноспектральным методом на установке Самеса-100 в ГЕОХИ (г. Москва) оператором-аналитиком Н. Н. Кононковой.

ВВЕДЕНИЕ

В 2004—2006 г. научной группой ВГУ продолжилось изучение ассоциаций высокобарических минералов в осадочном чехле Воронежской антеклизы, осуществляемое в тесном сотрудничестве и по заданию ЯНИГП ЦНИГРИ АК АЛРОСА (г. Мирный). Результатами продолжавшихся с конца 1990-х г.г. исследований явились лучшие представления о предполагаемых коренных источниках алмазов, обнаруживаемых в регионе на северо-востоке (Олымский, или Липецкий, ореол) и юго-востоке (Россошанский ореол), их типах, положении, возможной продуктивности. Территория Россошанского потенциального кимберлитового района совпадает с одноименным нижнеархейским срединным массивом фундамента. Ранее работами ВГУ в псаммитах базального горизонта палеогена Поддубного-Жилино (проба 5156) уже было обнаружено густофиолетовое зерно пиропы с содержанием окиси хрома 10,78 % (дуנית-гарцбургитовая ассоциация). В непосредственной близости (Кривоносово, проба 6003) одним из анализов хромшпинелидов установлено количество Cr₂O₃ —

65,329 % (алмаз-хромпироповая ассоциация), а пикроильмениты с. Екатериновка (проба 6004) содержали 9,469 % MgO и Cr₂O₃ — 3,32 %. В пробе 5171 характеризующей основание разреза палеогена у с. Михайловка (Ершовка) встретили алмаз — сильно изношенный осколок, предположительно, октаэдра 0,25 × 0,2 × 0,2 мм. Алмаз сопровождали пиропы и прочие минералы-спутники.

Характеризуемые здесь пробы 7001—7014 (рис. 1, табл. 1) отбирались и обрабатывались в ИМР г. Симферополь по методике, описанной ранее [3, 7 и др.]. Алмазы обнаружены в продуктах термохимического разложения концентратов стола и пенной сепарации пробы 7001 (бучакская россыпь у с. Нижний Бык Бутурлиновского района Воронежской области, с убогим содержанием минералов Ti и Zr). Это одни из немногих достоверных находок минерала в дочетвертичных толщах на юго-востоке антеклизы. Всего найдены 3 зерна, описание которых дадим несколько ниже. Прочие принципиально новые данные таковы. В пробе 7003 (2, 3 т, основание палеогена Жилино-Поддубного, Кантемировский район) встречено 79 зерен фиолетовых пиропов, что является **абсолютным максимумом для осадочного чехла всей антек-**

© Савко А. Д., Шевырѐв Л. Т., Ильяш В. В., Чашка А. И., 2007

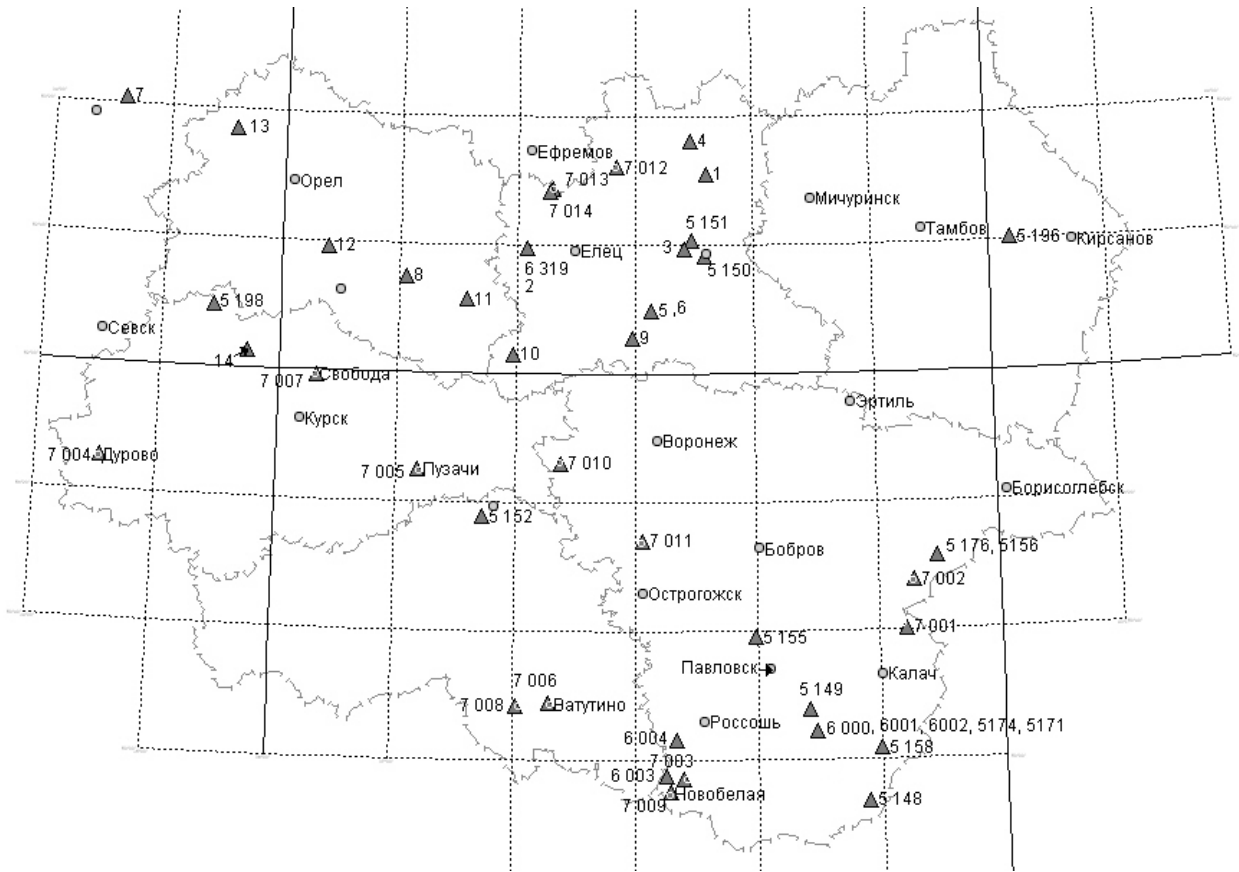


Рис. 1. Положение опорных проб объемом 0,25—10 м³, отобранных научной группой ВГУ для изучения ассоциаций высокобарических минералов в дочетвертичном осадочном покрове Воронежской антеклизы (треугольники). Настоящая статья посвящена результатам обработки пробы 7001—7014.

лизы. Обращают на себя внимание относительная *крупность* зерен (22 зерна принадлежат классу 0,5—0,9 мм) и *слабая окатанность* половины фиолетовых пиропов. Другим интересным фактом является вновь обнаруженный «хромдиопсидовый» ореол на востоке КМА. Хромдиопсид, спут-

ник алмаза, наблюдавшийся в регионе ранее лишь в единичных знаках и немногих пробах, впервые выявлен в заметном количестве в пробе 7005 (63 знака, Пузачи, Курская область) и 7006 (59 знаков, Ватутино, Белгородская область).

Таблица 1

Общие сведения об опорных пробах объемом 0,5—10 м³, отобранных из пород осадочного чехла Воронежской антеклизы для изучения минеральных высокобарических ассоциаций. Положение точек пробоотбора см. рис. 1. Характеризуемые здесь пробы №№ 7001—7014 указаны в конце таблицы

№№ п.п.	№ пробы	Привязка	Геол. индекс изученного интервала	№ обнажений	Объем или вес пробы
1	1	с. Волчье, Липецк. обл.	K _{1a}	255	10 м ³
2	2	д. Кудияровка-2-я, Липецк. обл.	K _{1a}	—	1 м ³
3	3	с. Сенцово, Липецк. обл.	K _{1a}	257	1 м ³
4	4	г. Лев Толстой, Липецк. обл.	K _{1a}	141	1 м ³
5	5	с. Гнилуша, Липецк. обл.	K _{1a}	258	1 м ³
6	6	с. Гнилуша, Липецк. обл.	K _{1a}	—	1 м ³
7	7	I-ый Батаговский уч. Полпинского м-я, Брянск. обл.	K _{2s}	159	1 м ³
8	8	с. Дросково, Орлов. обл.	K _{1a}	259	1 м ³
9	9	с. Ниж. Колыбелка, Липецк. обл.	K _{1g-br}	260	1 м ³

10	10	д. Захаровка, Липецк. обл.	K_1a	184	1 м ³
11	11	с. Барково, Орловск. обл.	K_1a	169	1 м ³
12	12	с. Сорочьи Кусты, Орловск. обл.	K_1a	261	1 м ³
13	13	с. Гнездилово, Орловск. обл.	K_1al	262	1 м ³
14	14	с. Солдатское, Курская. обл.	$K_{1,2}al-s$	263	1 м ³
15	5148	балка Петровский Яр, Воронеж. обл.	P_1s	240	660 кг
16	5149	с. Лозовое, Воронеж. обл.	P_1s	244	550 кг
17	5150	Липецкое городище, центр г. Липецка	aQ_1il	98	0,5 т
18	5151	с. Кузьминские Отвершки, Липецк. обл.	$N_{1,2}us$	92	550 кг
19	5152	Лебединский карьер, Бел. обл.	J_b-h	250	500 кг
20	5153	Хохольский, Воронеж. обл.	Продукты гидроотмы- ва, после ситования посков K_1a		0,25 м ³
21	5154	Стрелица-Ближняя, Воронеж. обл.	Бетонные пески K_1a		0,25 м ³
22	5155	д. Котовка, Воронеж. обл.	K_2s	246	600 кг
23	5156	с. Поддубное, Воронеж. обл.	P_2^2b	-	600 кг
24	5158	с. Новобого-родицкое, Воронеж. обл.	P_1s	247	630 кг
25	5171	с. Михайловка, Воронеж. обл.	P_1s	-	550 кг
26	5174	с. Нижний Бык, Воронеж. обл.	P_1s	-	550 кг
27	5176	с. Пыховка, Воронеж. обл.	P_1s	30	500 кг
28	5196	Центральное м-е, с. Никольское, Тамбов. обл.	K_2st	150	550 кг
29	5198	Михайловский ГОК, Курск. обл.	K_1al	249	500 кг
30	6000	с. Осетровка, Воронеж. обл.	D_3mm	12	1400 кг
31	6001	с. Осетровка, Воронеж. обл.	K_2s	-	1400 кг
32	6002	с. Осетровка, Воронеж. обл.	fQ_1ds	-	350 кг
33	6003	с. Кривоносово, Воронеж. обл.	P_2b	267	1000 кг
34	6004	с. Екатериновка, Воронеж. обл.	P_2b	268	1000 кг
35	6005	с. Верхне-Турово, Воронеж. обл.	K_1a-al (контакт)	-	0,25 м ³
36	6006	г. Семилуки, Воронеж. обл.	D_3pt	-	0,25 м ³
37	7001	с. Нижний Бык, Воронеж. обл.	P_1b	28	1 м ³
38	7002	с. Михайловка, Воронеж. обл.	P_1s	29	1 м ³
39	7003	с. Поддубное, Воронеж. обл.	P_2^2b	42	1 м ³
40	7004	с. Дурово, Курск. обл.	P_1s	70	1 м ³
41	7005	с. Пузачи, Курск. обл.	eK_2-P_2kv	301	1 м ³
42	7006	с.с. Вагутино и Вороновка, Белгород. обл.	P_2b	83	1 м ³
43	7007	с. Свобода, Курск. обл.	$K_{1,2}al-s$	303	1 м ³
44	7008	с. Солоти, Белгород. обл.	P_2kv	81	1 м ³
45	7009	с. Новобелое, Воронеж. обл.	P_2b	43	1 м ³
46	7010	с. Нижнедевицк, Воронеж. обл.	$K_{1,2}al-s$	306	1 м ³
47	7011	с. Бондаревка, Воронеж. обл.	$K_{1,2}al-s$	307	1 м ³
48	7012	с. Медведево, Липецк. обл.	K_1a	308	1 м ³
49	7013	с. Реневка, Липецк. обл.	K_1g-b	309	1 м ³
50	7014	х. Челкино, Липецк. обл.	K_1a	310	1 м ³

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ НОВЫХ МЕСТОНАХОЖДЕНИЙ

Пробы, отобранные из осадочных толщ Воронежской антеклизы, довольно близки по минеральному составу, но различаются содержанием и обилием высокобарических минералов. К последним

относятся собственно алмаз, пиропы, хромшпинелиды, пикроильмениты, хромдиопсиды. В этом разделе особое внимание уделено первым трем минералам. Пикроильмениты, подтверждение которых требует аналитических доказательств, рассмотрим в следующем разделе.

Алмазы в пробах аптских (Липецкий ореол) и сеноманских (Центральное месторождение, Там-

бовская область) псаммитов северо-восточного склона антеклизы в определенной степени характеризовались [3, 4, 7, 9, 18—22]. Значительно реже этот минерал обнаруживают в палеогеновых толщах юго-восточной части региона, что может быть связано с худшими условиями опробования — почти полным отсутствием естественных концентраторов тяжелой фракции, схожих с богатыми титан-циркониевыми россыпями северо-востока. Научной группой ВГУ алмазы на юго-востоке встречаются в пробе 5171, отобранной из основания разреза палеогена у с. Михайловка (Ержовка, Новохоперский район) и новой пробе 7001 песков очень бедной бучакской титан-циркониевой россыпи с. Нижний Бык Бутурлиновского района (рис. 2, 3).

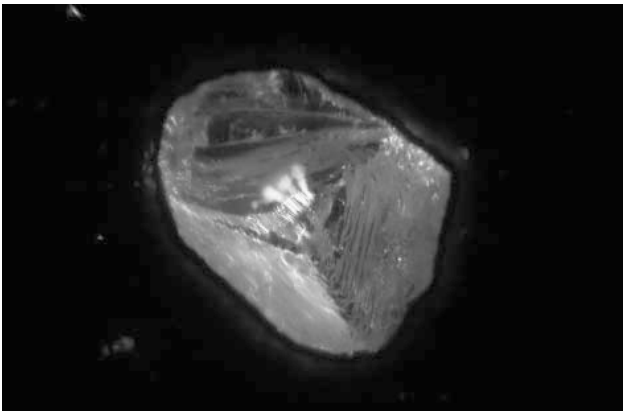


Рис. 2. Бесцветный алмаз из бучакских песков пробы 7001 (Нижний Бык), представленный предположительно гранью октаэдра, с убывающим по площади нарастанием пластинчато-ступенчатым слоев и образованием удлиненной вершины тетраэдрического облика. Размер 0,33 x 0,25 x 0,23 мм.

В пробе 7001, характеризующей эоценовые бучакские пески с. Нижний Бык, в продуктах термохимического разложения стола встречены три зерна алмаза. Один из них представлен предположительно гранью октаэдра, с убывающим по площади нарастанием пластинчато-ступенчатым слоев и образованием удлиненной вершины тетраэдрического облика. Первичные и сколовые поверхности гладкие, блестящие. Размер 0,33 x 0,25 x 0,23 мм. Этот бесцветный алмаз имеет в ультрафиолетовых лучах слабо светло-серую окраску. Второй кристалл кубического габитуса имеет размер ребер 0,15—0,17 мм. Две его вершинки обломаны. Поверхности граней ямчато-бугорчатые, ребра ступенчатые, на части ребер прослеживаются поверхности ромбододекаэдра. Окраска желтая. По одной из осей четвертого порядка наблюдается

В первом случае алмаз был представлен сильно изношенным осколком 0,25 x 0,2 x 0,2 мм, предположительно, октаэдра (в отдельных направлениях заметны треугольные пластинки роста), с зазубренными выступающими краями. Осколок бесцветный, с легким желтоватым нацветом. Преобладающие сколы по спайности {111}. Поверхности сколов чаще скульптурированные (от мелко-капельных узоров до треугольно-черепитчатых), реже гладкие. Полупрозрачен до просвечивающего. В ультрафиолетовых лучах осветителя ОИ-18 с ртутно-кварцевой лампой СВД-120 и фильтром УФС-3 имеет светло-оранжевую люминесценцию средней интенсивности. Алмаз сопровождали пиропы и прочие минералы-спутники.

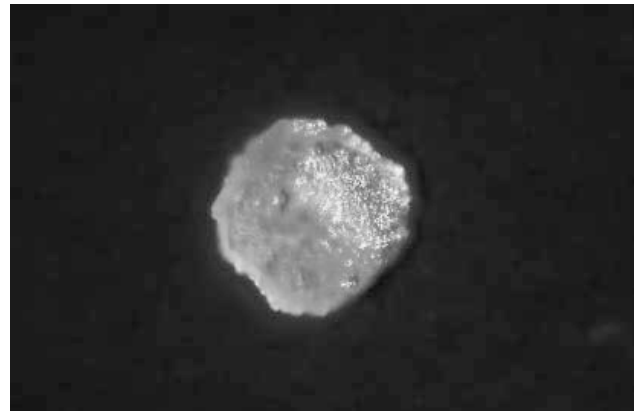


Рис. 3. Желтый алмаз кубического габитуса с размером ребер 0,15-0,17 мм из бучакских песков пробы 7001 (Нижний Бык). Две вершинки обломаны. Поверхности граней ямчато-бугорчатые, ребра ступенчатые, на части ребер прослеживаются поверхности ромбододекаэдра.

искажение — грань имеет ромбовидный профиль, с длинной диагональю размером 0,21 мм и короткой — 0,19 мм. На одной из граней имеется изометричное углубление. Возможно, это след от вроска какого-то другого минерала, удаленного при термохимическом разложении. Третье зерно алмаза — осколок неопределенного габитуса размером 0,18 x 0,18 x 0,1 мм. Поверхность слабо матированная. В ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. Эти три зерна алмаза сопровождали пиропы (14 зерен), хромшпинелиды, хромдиопсиды.

Из прочих высокобарических минералов в осадочных толщах обнаружены и аналитически подтверждены пиропы, пикроильмениты, хромшпинелиды, хромдиопсиды. Их содержания в новых опорных пробах 7001—7014 характеризует табл. 2.

Содержания минералов-индикаторов алмаза в пробах 7001—7014 (ВГУ).

По результатам обработки, выполненной в НПП Недра (г. Симферополь, исполнитель А.И. Чашка)

№№ проб	Минералы (количество — в знаках)			
	Пикроильмениты	Хромшпинелиды	Хромдиопсиды	Пиропы
7001, Н. Бык (3 зерна алмаза)	Несколько, в классе –1,0+0,5 мм	Несколько зерен, в классе –0,2+0,1 мм	Несколько, 0,2—0,3 мм, до 0,5 мм	14 зерен (3 в конц-те стола, 11 — флотации)
7002, Михайловка				1 зерно
7003, Поддубный		Редкие зерна	Редкие зерна	79 зерен фиолетовых пиропов, в т.ч. 22 зерна в классе 0,5—0,9 мм. Половина зерен — слабо окатанные
7004, Дурово	Отдельные зерна до 0,75—1,1 мм	Октаэдры 0,2-0,4 мм	3 знака	1 — красно-фиол., 3 — роз.-оранж.
7005, Пузачи		Окатанные и полуокатанные, 0,1—0,3 мм	63 знака	1 зерно красно-фиол. (всего 4 знака)
7006, Ватутино		Окатанные и полуокатанные, 0,15—0,3 мм	59 знаков	2 зерна фиол, 5 — оранжев.-красн., 4 — желто-роз.
7007, Свобода		Хорошо огранен., окатанные, 0,1—0,15 мм. Обломки октаэдров — до 0,75×0,75 мм		5 — розово-фиол., 10 — оранжев.
7008, Солоти		5 знаков, 0,2—0,6 мм. Октаэдры, сростки октаэдров		3 — фиол., 6 — оранжев., 5 — бледно-оранж.
7009, Новобелое	4 зерна, до 0,3—0,5 мм	2 зерна, октаэдры, до 0,3×0,3 мм		3 фиол. Зерна, 1 — желто-оранж.
7010, Нижнедевицк	2 зерна, октаэдр и обломок, до 0,3 мм			1 зерно — роз.фиол., 1 — роз.-оранж., 1 — кубоид до 0,5 мм
7011, Бондаревка	Октаэдры 0,2—0,6 мм	Редкие зерна		3 зерна роз.-фиол., 3 — роз.-оранж., до 0,55 мм
7012, Медведево	1 зерно (1,1 × 0,75 мм)			3 зерна, в т.ч. фиолет. (0,3×0,2 мм), фиолет.-роз. 0,25×0,2 мм), красновато-оранж. (0,7×0,3 мм),
7013, Реневка	2 знака в классе — 2+1 мм и несколько мелких	30 зерен в классе - 0,65+0,1 мм	1 зерно 0,25×0,15×0,15 мм	9 зерен до 0,4-0,6 мм. В т.ч. 7 фиолет., 1 — красно-оранж., 1 — красновато-розовое
7014, Челкино	19 знаков, 0,4—1,4 мм	2 зерна, 0,5×0,4 мм и 0,4×0,3 мм	1 зерно, 0,15 мм	1 зерно, красно-оранжевое, 0,5×0,3 мм

Охарактеризуем наблюдаемый облик пиропов и хромшпинелидов проб 7001—7014, имея в виду, что пикроильмениты для своей диагностики требуют аналитических доказательств, которые и будут представлены ниже в геохимической части статьи.

Пиропы. На юго-востоке и в прочих районах антеклизы пробы, отобранные из сеноманских и палеогеновых отложений, содержат от единичных

зерен до десятков зерен пиропов. Из песков пробы 7001 (с. Нижний Бык, Бутурлиновский район, бу-чакская Ti-Zr россыпь, рис. 7.4) 3 зерна пиропов встречены в концентрате стола, 11 — концентрате флотации. Восемь из них представлены неправильными обломками угловатой формы со слегка сглаженными углами, шесть — осколками с острыми углами и краями. Размер шести зерен составляет 0,4—0,6 мм, два осколка имеют размеры 0,5 мм,

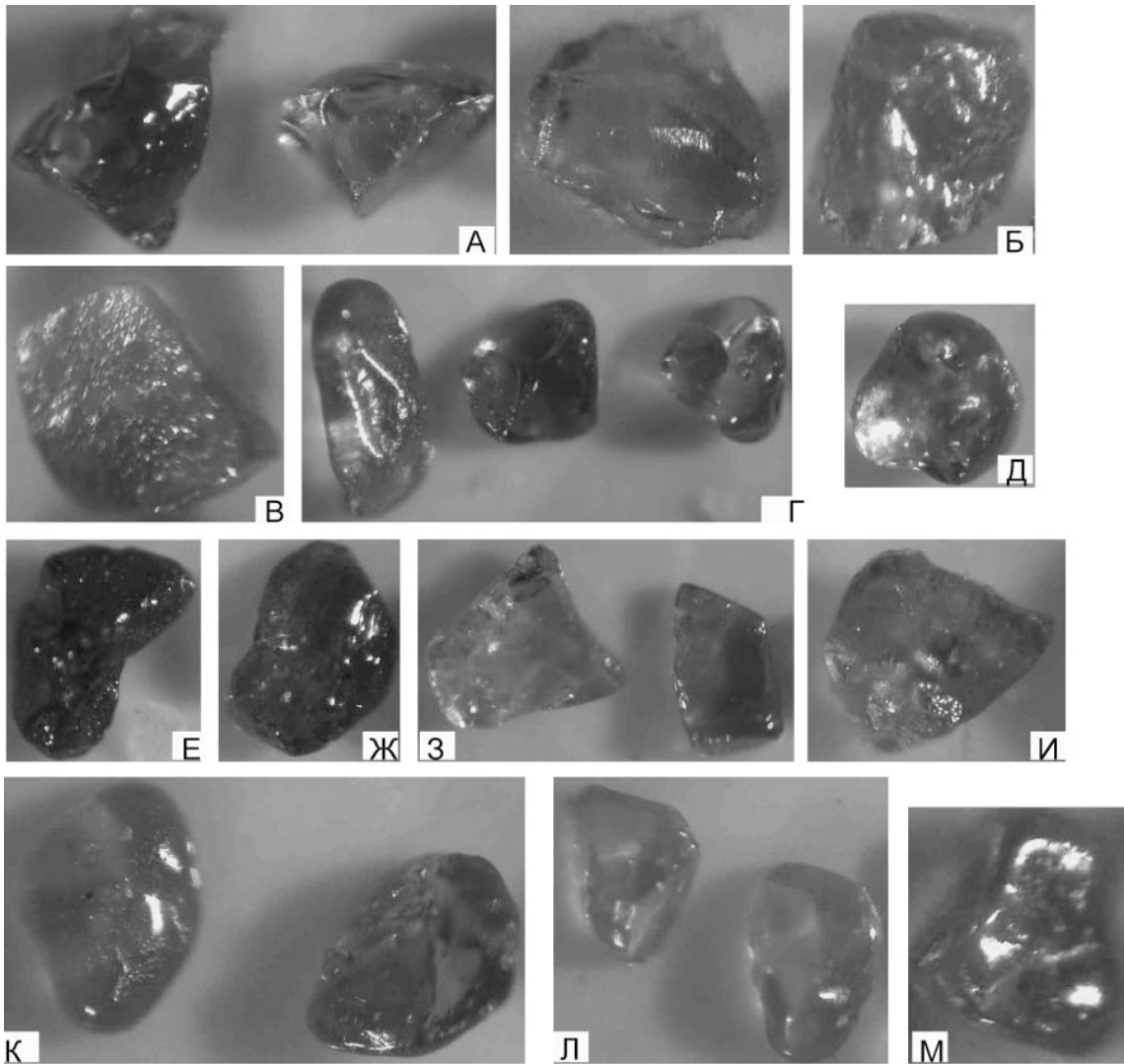


Рис. 4. Пиропы и прочие разновидности гранатов из бучакских песков пробы 7001 (с. Нижний Бык): А — не окатанные осколки лиловых пиропов. Б — поверхность раковистого излома лилового пироба. В — бугорчатая поверхность лилового пироба. Г — окатанные формы пиропов. Д — сильно окатанный пироп. Ж, З — темно-лиловая разновидность пироба. И — оранжевые совершенно не окатанные гранаты. И — красный гранат. К — окатанные формы гранатов. Размерность минералов — десятые доли мм.

остальные относятся к классу 0,2—0,3 мм. Окраска варьирует от фиолетовой, розовато-фиолетовой, светло-фиолетовой до розовой. Сколовая поверхность гладкая, блестящая, с раковистым и неровным изломом. Первичная поверхность скульптурирована конусовидными бугорками, ямками, бороздами. Все скульптурные формы покрыты тонкой мативировкой. В пробе 7002 (основание палеогена с. Михайловка, повтор пробы 5171) встречено только одно зерно пироба, хотя объем опробования этого разреза был увеличен вчетверо. В самом деле, в свое время из небольшой (550 кг) пробы 5171 в НПП Недр выделялся небольшой октаэдр алмаза и четыре прозрачных фиолетовых пироба размерностью 0,3—0,5 мм — одно окатан-

ное, два угловатых, одно весьма угловатое, без следов окатывания. Зерна имели блестящую поверхность, тонкоматированную [18]. Одно из них было ямчато скульптурировано, на другом был замечен ступенчатый скол. В пробе 7003, как упоминалось выше, их встречено 79, относящихся только к фиолетовым разновидностям. Зерна относительно крупные (22 зерна принадлежат классу 0,5—0,9 мм), и среди них слабо окатанными половина фиолетовых пиропов.

Важны для понимания поисковой ситуации находки пиропов и во всех прочих пробах. В пробе 7004 (Дурово, Рыльский район Курской области, основание палеогена) один пироп имел красновато-фиолетовую окраску, три — розовато-оранжевую.

Размер красновато-фиолетового зерна — $0,5 \times 0,45 \times 0,35$ мм, розовато-оранжевых (мм) — $0,8 \times 0,5 \times 0,3$; $0,6 \times 0,4 \times 0,3$; $0,4 \times 0,4 \times 0,35$ мм.

Зерно красновато-фиолетового пиропы в пробе 7005 (Пузачи, Курская область, основание палеогена) — единственное, которое удалось обнаружить в четверти отобранного тонкого песка из основания киевской свиты эоцена. Поверхность пиропы слабо скульптурированная, с каплевидным узором. Проба 7006 (основание разреза палеогена в с. Ватутино, Белгородская область) богаче этим минералом. Зерен пиропов здесь: фиолетовых — 2 размером $0,6 \times 0,4 \times 0,35$ мм и $0,7 \times 0,4 \times 0,3$ мм, оранжево-розовых — 5 ($0,6 \times 0,4 \times 0,25$; $0,5 \times 0,45 \times 0,4$; $0,45 \times 0,4 \times 0,3$; $0,5 \times 0,45 \times 0,4$; $0,35 \times 0,3 \times 0,25$ мм), желтовато-розовых — 4 ($0,5 \times 0,35 \times 0,35$; $0,4 \times 0,3 \times 0,25$, два зерна; $0,3 \times 0,15 \times 0,15$ мм). Одно из фиолетовых зерен округлое, шероховатое, с небольшими выбоинами, второе — брусковидный осколок. Оранжево-розовые пиропы угловато-окатанные, с гладкими блестящими или тонко матированными поверхностями, иногда с мелкими выбоинками, округлыми углублениями и сколами. Три желтовато-розовых зерна угловато-окатанные, с блестящей поверхностью, отдельными вмятинами и сколами, одно — осколок с тонкоматированной сколовой поверхностью. Из 15 пиропов пробы 7007 (основание разреза сеномана у п. Свобода, Курской области) 5 — розово-фиолетовые окатанные и угловато-окатанные ($0,6 \times 0,5 \times 0,5$; $0,6 \times 0,4 \times 0,25$; $0,4 \times 0,4 \times 0,35$; осколки $0,2 \times 0,2 \times 0,15$; $0,25 \times 0,15 \times 0,1$ мм), 10 — розовато-оранжевые и оранжево-розовые удлиненно-овальные и осколки (от $0,7 \times 0,5 \times 0,25$ мм до $0,2 \times 0,1$ мм).

Все пиропы пробы 7008 из основания палеогена в с. Солоти Белгородской области (14 знаков) — окатанные. Фиолетовую окраску имеют три зерна, оранжевую — шесть, бледно-оранжевую — 5. Поверхности пиропов блестящие, участками тонко матированные, скульптурированные занозистым, бороздчатым или мелкоямчатым узором. Размер зерен $0,1$ — $0,35$ мм. Одно из фиолетовых зерен эллипсоидное, размером $0,5 \times 0,9$ мм. Оно дихроично, что говорит о повышенном содержании кноррингитового минала. С учетом квартовки, так как анализировалась только четвертая часть магнитной фракции, общее содержание пиропов в пробе оценено А.И. Чашкой в 47 знаков, в т.ч. 3 — фиолетовые, 44 — оранжевые.

Проба 7009 (основание палеогена в с. Новобелая Кантемировского района) содержит три угло-

вато-окатанных зерна фиолетовых пиропов ($0,3 \times 0,3 \times 0,25$; $0,3 \times 0,3 \times 0,15$; $0,3 \times 0,2 \times 0,15$ мм) и одно — полуокатанное желто-оранжевого ($0,3 \times 0,25 \times 0,2$ мм). Фиолетовые пиропы имеют блестящие поверхности, иногда скульптурированные мелкими бугорками. Желто-оранжевый пироп участками тонкоматирован, с двумя каплевидными бугорками.

Иначе выглядят пиропы пробы 7010 из основания сеномана Нижнедевица. Обнаружены три зерна, но с учетом проведенной квартовки содержания в пробе оценены в пять зерен. Одно из них — уплощенный прозрачный кубоид $0,5 \times 0,5 \times 0,1$ мм с довольно правильным квадратным сечением, неровной матированной поверхностью, на гранях и по сколам грубо шероховатой. Показатель преломления менее 1,753. Другое зерно — прозрачный оранжево-розовый кубоид $0,2 \times 0,15$ мм с гладкой блестящей поверхностью. Третье зерно — розово-фиолетовый угловато-окатанный осколок $0,2 \times 0,15 \times 0,15$ мм с неровной блестящей, участками матированной, поверхностью.

По три розовато-фиолетовых и розовато-оранжевых пиропы встречено в основании сеноманского разреза у села Бондаревка на р. Девица (проба 7011). Розовато-фиолетовые угловатые обломки имеют слабо сглаженные углы, блестящие или слабоматированные поверхности. Размеры зерен (мм): $0,5 \times 0,45 \times 0,4$; $0,4 \times 0,35 \times 0,35$; $0,555 \times 0,4 \times 0,15$. Розово-оранжевые пиропы представлены зернами - угловато-окатанным ($0,5 \times 0,4 \times 0,2$ мм), овально-удлиненным ($0,7 \times 0,4 \times 0,25$ мм), изометричным ($0,35 \times 0,35$ мм), с гладкими или тонкоматированными поверхностями гранит кристаллов.

В пробах 7012—7014, отобранных из нижнемеловых отложений Липецкой области, пиропов от одного до 9 зерен. В пробе 7012 (основание апта, Медведево, Лебедянский район) два зерна минерала имеют размеры $0,3 \times 0,2$ мм и $0,25 \times 0,2$ мм. Они угловато-окатанные, со сглаженными ребрами и углами. Большое зерно фиолетовое, кубовидное, с выпуклыми мелкошагреными поверхностями. Второе зерно фиолетово-розовое, с ямчатой скульптурной поверхностью с одной стороны и бороздчатой с другой. Третье зерно из концентрата отсадки красновато-оранжевое размером $0,7 \times 0,3$ мм, удлиненное, угловато-окатанное, с мелкошагреновой поверхностью. По показателю преломления 1,753 отвечает пиропу.

Пиропы из пробы 7013 (9 зёрен, основание готерива, с. Ренёвка Становлянского района) преимущественно фиолетовые (7 знаков), а также красновато-оранжевые (1 знак), красновато-розовые (1 знак). Фиолетовые пиропы представлены весьма угловатыми обломками-осколками (2 зерна), угловатыми обломками (4 зерна), кубоидными формами (1 зерно). Весьма угловатые пиропы (0,2—0,3 мм) имеют острые режущие края, гладкие поверхности с раковистым изломом, иногда тонкоматированными. Угловатые фрагменты (0,4—0,6 мм) сохранили первоначальную форму кристаллов, у которых несколько истерты ребра и углы. Их поверхность тонкоматирована с кавернами разнообразной формы, местами с каплевидной скульптурой, плохо выраженными очень мелкими конусовидными фигурами. Наконец, кубоид (0,15 × 0,15 × 0,1 мм) имеет несколько уплощенный облик, со слегка выпуклыми гранями и немного сглаженными ребрами, каплевидной скульптурой граней. Знак

красновато-оранжевого пироба пробы 7014 (апт, х. Челкино, Становлянский район) имеет размеры 0,5 × 0,3 мм. Он угловатый, с неровной блестящей сколовой поверхностью. Небольшая часть поверхности сохранила бугорчатую скульптуру. Показатель преломления около 1,753.

Хромшпинелиды. В нерастворимом остатке термохимического разложения пробы 7001 (Нижний Бык) минерал представлен мелкими зёрнами класса $-0,2+0,1$ мм (рис. 5). Наблюдается в виде правильных, реже искаженных, обычно остросереберных октаэдров черного цвета. Разности со сглаженными вершинками и ребрами редки. В тонких сколах просвечивают красновато-бурым. Поверхность обычно тонкоматированная, скульптурные узоры выражены редко. В пробе 7002 (Михайловка) хромшпинель не обнаружена, как не встречена она была и в ранее отобранной из этого же разреза пробе 5171. Лишь редкие зёрна обнаружены в пробе 7003, наиболее обогащенной фиоле-

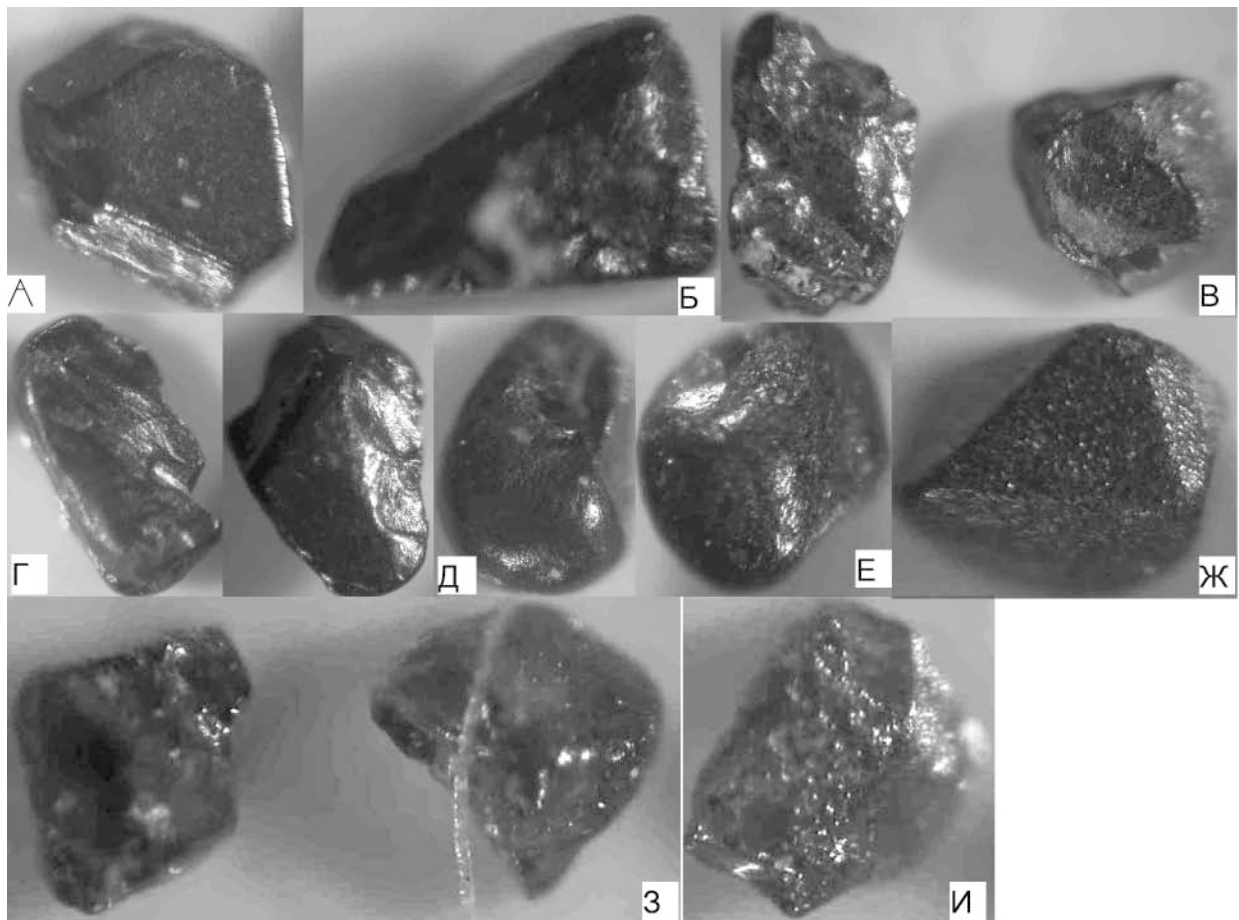


Рис. 5. Ильмениты, хромшпинелиды, хромдиопсиды из бучакских песков пробы 7001 (с. Нижний Бык): А — кристалл ильменита. Б — ильменит неправильной формы, слабо окатанный. В — ильмениты с плёнкой оксидов железа. Г — окатанные формы ильменитов. Д — сильно окатанный ильменит. Ж — хромшпинелид. З — обломок хромдиопсида. И — поверхность зерна хромдиопсида. Размерность минералов — десятые доли мм.

товыми пиропами (в пробе-предшественнице 5156, вчетверо меньшей по объему, хромшпинели не нашли вовсе). Октаэдры черной, с красноватыми рефлексами хромшпинели и их обломки в пробе 7004 (Дурово, Рьльский район) имеют размеры 0,2—0,4 мм. Ребра кристаллов сглажены, гранные поверхности блестящие или тонкоматированные, с редкими мелкими углублениями, ямками, сколами. Хромшпинель пробы 7005 (Пузачи) представлены окатанными и полуокатанными зернами размером 0,1—0,3 мм. Иногда встречаются индивиды и с заметной октаэдрической огранкой. Поверхность всех зерен гладкая, местами тонкоматированная, иногда с неглубокими вмятинами. В пробе 7006 (Вагутино) окатанные и полуокатанные, изредка с элементами октаэдрической формы зерна минерала имеют размерность 0,15—0,3 мм. Поверхность блестящая, тонкоматированная, иногда мелкоямчатая.

Хромшпинель пробы 7007 (п. Свобода, Курская область) встречена в виде обломков октаэдрических кристаллов размером 0,75 × 0,75 мм, 0,6 × 0,4 мм, 0,5 × 0,45 × 0,4 мм, с блестящими или тонкоматированными гранями, царапинами, параллельными одному из ребер. Еще более распространены хорошо ограненные или овализированные разновидности минерала размером 0,1—0,15 мм. Из палеогеновых песков пробы 7008 (с. Солоти, Белгородская область) выделены пять знаков хромшпинелидов, но их количество, с учетом квартовки пробы, предполагается 17 знаков. Все они — искаженные или поврежденные черного цвета октаэдры, а одно зерно — их сросток. Поверхность зерен тонкоматирована, на некоторых гранях присутствуют треугольные впадины. Ребра и углы сглажены, закруглены.

Проба 7009 (Новобелая) содержит два зерна хромшпинели (0,3 × 0,3 мм, 0,25 × 0,2 мм). Первое представляет собой октаэдр с притертыми ребрами и вершиной, гладкими, блестящими гранями. Второе зерно — искаженный октаэдр со сглаженными ребрами и вершинами, с блестящей неровной поверхностью граней, на которой различаются округлые или неправильной формы углубления. В пробе 7010 (сеноман Нижнедевицка) встречены два зерна минерала. Одно (0,3 × 0,2 мм) — поврежденный октаэдр с отколотой частью, корродированной поверхностью, сглаженными углами и ребрами. Второе (0,2 × 0,15 мм) — угловато-окатанный обломок с реликтами сильно сглаженных октаэдрических граней и углов, блестящей, иногда тонкоматированной поверхностью. В сеноманских пес-

ках пробы 7011 (Бондарево у. Урыв Острогужского района) встречены целые или деформированные кристаллы хромшпинели размерностью 0,2—0,6 мм. Ребра и вершины их сильно сглажены, грани блестящие, изредка тонкоматированные. Иногда поверхности покрыты сеткой мелких каверн.

Пески северо-востока антеклизы, откуда отобраны пробы 7012—7014, обеднены высокобарическими минералами. В пробе 7012 (основание апта с. Медведино) хромшпинелиды не встречены. В основании готерива, изученного пробой 7013 (с. Ренёвка Становлянского района), обнаружено 30 зерен хромшпинели в концентрате стола класса 0,5+0,1 мм, в т.ч. в магнитной фракции — 7 зерен, немагнитной — 13, продуктах термохимического разложения — 10. К классам размерности они относятся так: 0,5—0,65 мм — 4 знака; 0,3—0,45 мм — 9 знаков; 0,15—0,25 мм — 17 знаков. Знаки черные, просвечивают красновато-бурым, со средней степенью окатанности, при том, что еще заметны очертания кристаллографической огранки. Отмечено два зерна октаэдрического облика размером 0,3 мм и 0,2 мм с хорошо выраженными гранями, заостренными ребрами и вершинами, а также два зерна в виде двойников размером по удлинению 0,65 мм и 0,4 мм. Поверхность зерен в основном от тонко- до грубоматированной. Скульптурированы (ямки, бугры, борозды) только более крупные зерна. Блестящая поверхность отмечена у октаэдра (0,3 мм) и двойника (0,4 мм). В пробе 7014 (апт, х. Челкино, Становлянский район) зерен хромшпинели только два, обнаруженные в тяжелой фракции концентрата стола. Их размеры 0,5 × 0,4 мм и 0,4 × 0,3 мм. Оба — угловато-окатанные, поврежденные, с гладкими поверхностями, блестящими, иногда тонкоматированными. На свежих склонах — блестящие, черные.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО МИКРОЗОНДИРОВАНИЯ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ МИНЕРАЛОВ ИЗ НОВЫХ МЕСТОНАХОЖДЕНИЙ

2.1. ЗАВИСИМОСТЬ ОКРАСКИ ВЫДЕЛЕННЫХ ГРАНАТОВ ОТ ИХ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Из проб 7001—7014 выделено и изучено около 200 зерен гранатов размером 0,07—0,5 мм разной окраски, в том числе, с типичной для пиропов (рис. 6, 7). По большей части они изометричного облика, угловатые, оскольчатые, с неровной поверхностью и лишь наиболее крупные имеют углова-

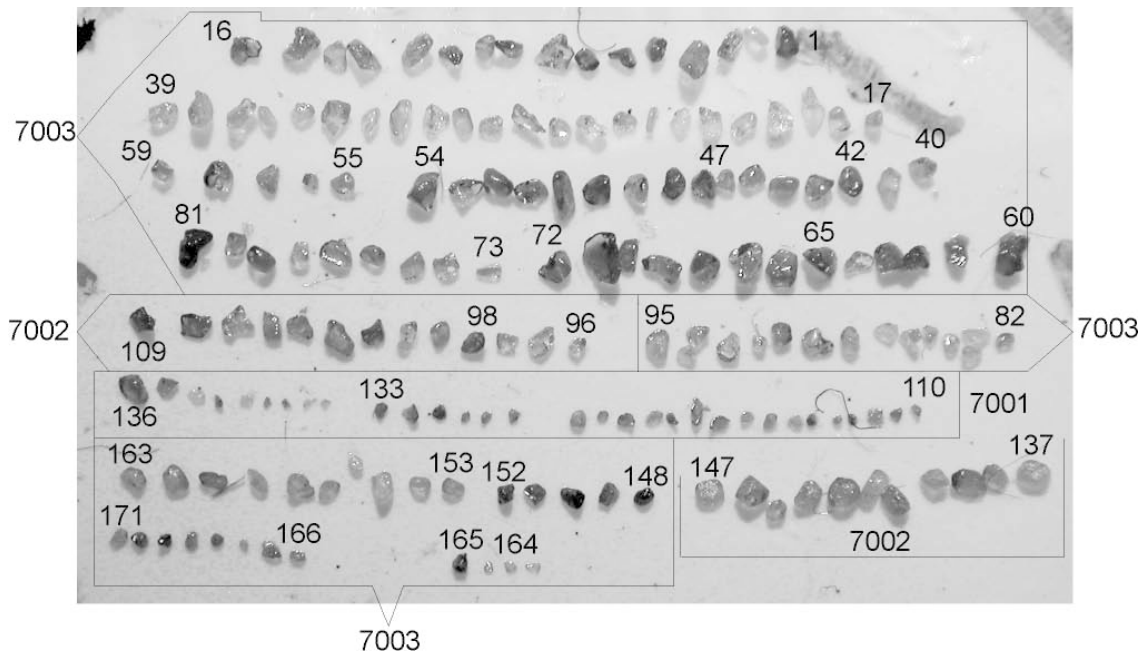


Рис. 6. Выборки зерен пиропов и других высокобарических минералов, подвергшиеся рентгеновскому микрозондированию. Размерность — десятые доли мм.

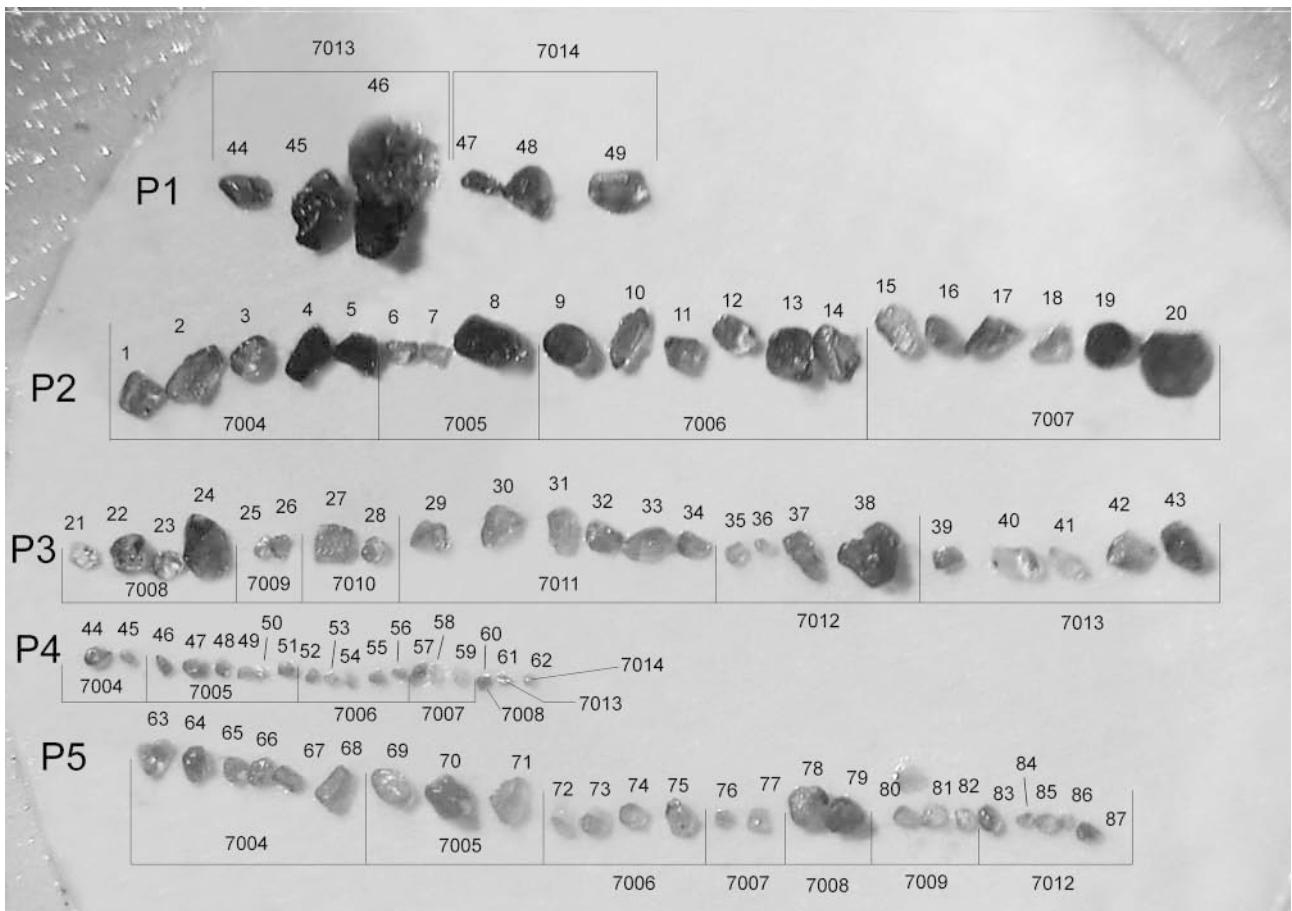


Рис. 7. Выборки зерен хромшпинелидов и других высокобарических минералов, подвергшиеся рентгеновскому микрозондированию. Размерность — десятые доли мм.

то-окатанный облик. В редких случаях зерна несут следы ребер и граней (зерна №№ 19, 20 проба 7007). Проанализирован химический состав 84 зерен. Гранаты в изученных пробах представлены широким набором разновидностей, отличающихся по многим признакам. Для рентгеноспектрального анализа в основном отбирались зерна, которые визуально относились к пироп-альмандиновому ряду. Известно, что за цветовую гамму в минералах отвечают элементы или соединения-хромофоры, отчего густота окраски хорошо увязывается с концентрацией последних. Это наглядно проявляется при сопоставлении минеральных индивидов из разных изо-

морфных рядов, отличающихся составом ведущих химических компонентов.

Среди изученных гранатов в пробе 7003 в небольшом количестве встречены зерна андрадит-гроссуляра — кальциевого граната, принадлежащего ряду алюминиевый гроссуляр-железистый андрадит [2, 11]. Гроссуляры отличаются слабой окраской желтых, винно-желтых тонов (см. рис. 6, второй ряд). Для химического состава этих зерен характерным оказалось выдержанное соотношение основных компонентов: 32—35 % CaO и 20—21 % глинозема, присутствие Cr₂O₃ в количестве менее 0,1 % (табл. 3, зерна 19—22).

Таблица 3

Изменения окраски гроссуляра и уваровита пробы 7003 (основание палеогена Жилино-Поддубного, Кантемировский район) в зависимости от химического состава

№ зерна в препарате	MgO	FeO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Сумма	Окраска	Проба
19	0,15	5,25	0,29	0,52	0,01	38,47	32,36	20,96	98,04	Светло-желтая	7003
20	0,12	2,86	0,56	0,1	0,06	39,14	35,15	21,51	99,54	Светло-желтая	7003
21	0,19	5,8	0,32	0,83	0,09	38,45	32,68	21,26	99,65	Светло-желтая	7003
22	0,18	4,85	0,25	0,54	0,1	38,26	34,08	21,44	99,71	Светло-желтая	7003
168	0,21	3,84	0,21	0,49	6,58	37,34	32,37	16,15	97,21	Желтовато-зеленые	7003
149	0,36	5,07	0,34	1,66	7,99	37,34	31,5	14,24	98,51	Зеленые	7003
133	0,42	2,81	0,72	0,57	13,55	37,05	32,72	10,73	98,59	Ярко-зеленые	7001
132	0,43	2,94	0,5	0,57	13,71	37,44	32,32	10,68	98,59	Ярко-зеленые	7001
130	0,3	0,31	0,09	0,42	16,32	37,55	32,78	8,87	96,65	Зеленые	7001
148	0,41	0,22	0,29	3,45	18,83	36,67	30,64	7,93	98,44	Изумрудно-зеленые	7003
149	0,32	1,74	0,21	0,43	18,91	36,87	32,99	7,71	99,22	Изумрудно-зеленые	7003
150	0,35	0,64	0,3	0,21	19,56	37,19	32,44	6,04	96,73	Изумрудно-зеленые	7003
151	0,52	0,58	0,09	0,51	20,73	36,52	31,46	5,62	96,04	Изумрудно-зеленые	7003

В этой же пробе 7003 встречены также кальциевые, но уже высокохромистые гранаты — уваровиты, которые А.Г. Жабин [2], В.С. Соболев [11] относили к разновидностям постоянного состава. В них, как и в гроссуляре, сохраняется на том же уровне содержание CaO и FeO, но много Cr₂O₃ при некотором снижении доли глинозема. Эти различия в составе кальциевых гранатов тут же находят отражение в изменении окраски. На рис. 9 показано как меняется соотношение компонентов в зернах, ранжированных по окиси хрома. В винно-желтых гроссулярах, как и изумрудно-зеленых уваровитах, при одном и том же содержании Ca на графиках отражается обратная корреляционная связь Al и Cr. На графиках распределения Al и Cr отмечена переходная зона выше 10—15 %, где уровни концентраций глинозема и окиси хрома сближаются и происходит инверсия с точкой пересечения графиков 12 %. Следовательно, наши образцы представ-

ляют собой ряд кальциевых гранатов переменного состава гроссуляр — уваровит, в котором присутствуют как зерна малохромистого гроссуляра, так и высокохромистого уваровита, в которых не достигнуто предельное насыщение окисью хрома. По В.С. Соболеву [11], оно составляет 30,6 % и соответствует минералу постоянного состава уваровиту. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что уваровит не является гранатом постоянного состава, но возникает при изовалентном изоморфизме Cr и Al. Это видно по обратной корреляции между содержаниями элементов. Постоянство состава гроссуляра и уваровита относительно и выдерживается до определенного химического состояния ионов Cr и Al. Это можно видеть на графиках рис. 9, где эти горизонтальные участки соответствующие гроссуляру и уваровиту (особенно первому), обозначились довольно наглядно.

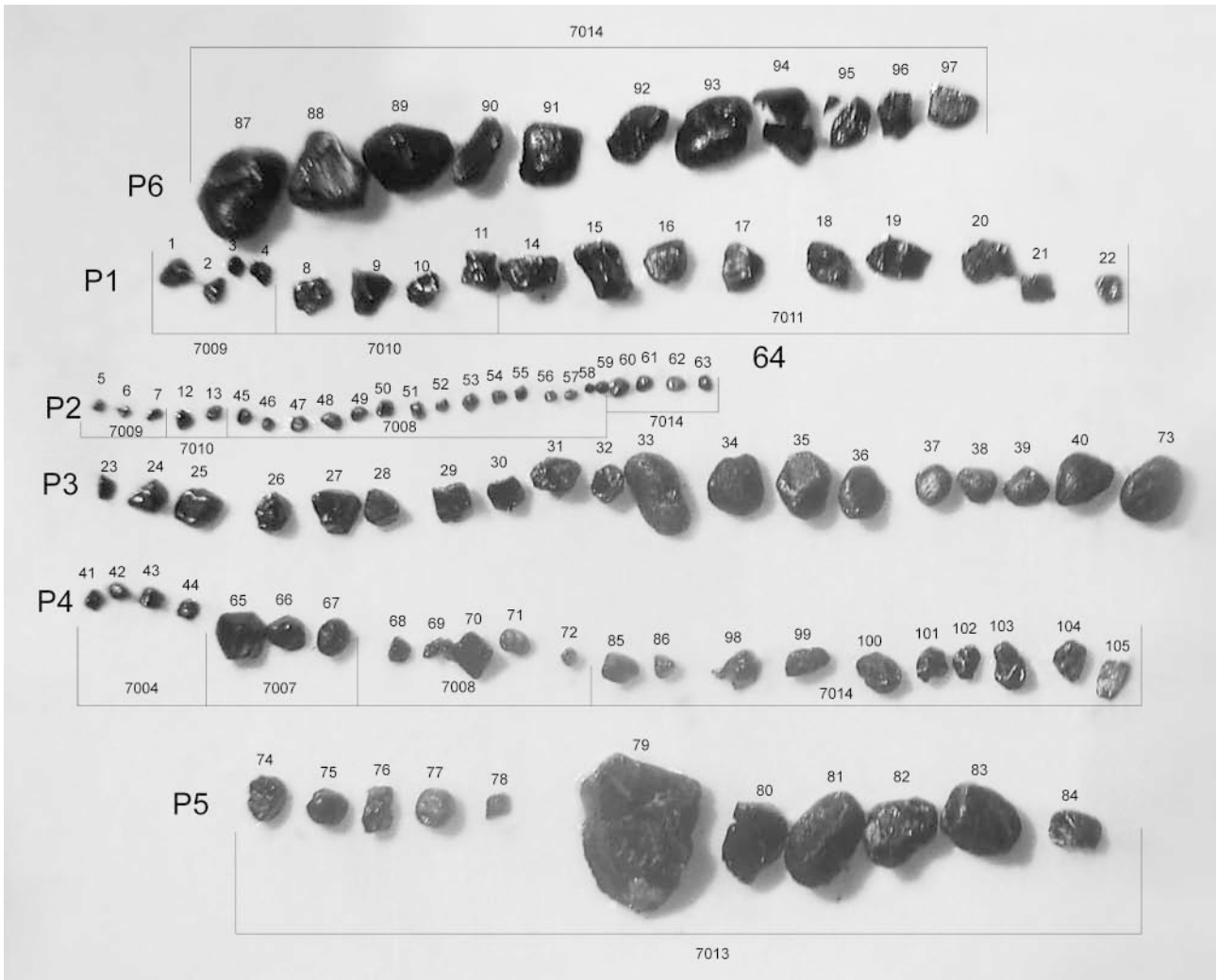


Рис. 8. Выборки зерен ильменитов и других высокобарических минералов, подвергшиеся рентгеновскому микрозондированию. Размерность — десятые доли мм.

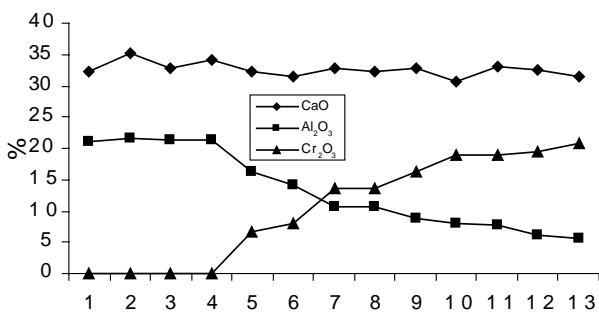


Рис. 9. Соотношение компонентов в ряду гроссуляр-уваровит (по ординате вес %, по горизонтали аналитические данные, ранжированные по содержанию Cr₂O₃)

Как можно видеть из таблицы 3, разности кальциевого граната, в которых окиси хрома очень мало, а глинозема более 20 %, имеют светло-желтую окраску. В переходной зоне, где содержания

этих компонентов сближаются, окраска становится сначала желтовато-зеленой, далее зеленой, ярко-зеленой и, наконец, изумрудно-зеленой при достижении содержаний Cr₂O₃ более 18 %. Из опыта изучения других минералов, имеющих подобную окраску (берилла, фуксита) известно, что ответственным за изменение окраски в данном случае является Cr₂O₃. Бледно-желтая окраска гроссуляра, скорее всего, вызвана оксидами железа, доля которых снижается с увеличением примеси окиси хрома. Следовательно, в данном случае в кальциевых гранатах изменение окраски четко увязывается с изменением, прежде всего, количества хрома, увеличение которого вызывает рост интенсивности монохромной волны.

Более сложный характер изоморфизма и соотношение компонентов в другом ряду переменного состава минерального вида граната — пироп-альмандин-спессартинового. В наших образцах в этом

ряду хорошо проявлен как изовалентный, так и гетеровалентный изоморфизм, что находит отражение при сопоставлении графиков содержаний оксидов (рис. 10). На них отразилась прямая выраженная корреляция между Cr и Ti, обратная — между Mg и Mn, менее отчетливая (вероятно за счет Fe разной валентности), но тоже обратная между Mg и Fe. Цветовые оттенки граната этого ряда широко варьируют в пределах основного красного тона и связаны как с вариациями в содержаниях Fe, так и с другими хромофорами, наиболее важный из которых Cr_2O_3 . Однако, здесь хром придает гранатам не зеленые тона окраски, а фиолетово-сиреневые.

К собственно пиропам в этой работе отнесены гранаты с долей $\text{MgO} > 18\%$, что логически обосновано. При таком содержании MgO пиропы по многим параметрам качественно отличаются от пироп-альмандинов и такие отличия связаны с разными условиями их образования, разными материнскими породами. Характерным для пиропов является на порядок более высокое содержание Cr по сравнению с пироп-альмандинами (не менее 1,5 %). Пиропы имеют характерную окраску сиреневых или фиолетовых тонов, интенсивность которой прямо зависит от доли в них окиси хрома (см. рис.6, зерно 81; рис.7, ряды 2 и 3). В пироплах нет таких четких корреляций между компонентами, как в пироп-альмандинах (исключением является пара Cr_2O_3 — Al_2O_3 , обратная корреляция между которыми и в пироплах отражает изоморфные соотношения, с инверсией количественных соотношений при концентрации чуть более 13 %). Железо в пироплах имеет слабо выраженную тенденцию снижения содержаний при росте вклада Cr_2O_3 (рис. 11). Отсутствует корреляция между Mg и Cr, Cr и Ti, Cr и Al. При достаточно стабильных содержаниях Ca и Mg в пироплах, (на уровне 20 % для MgO и 5 % для CaO) их незначительные колебания отражают обратную зависимость между ними, связанную, скорее всего, с изоморфным замещением.

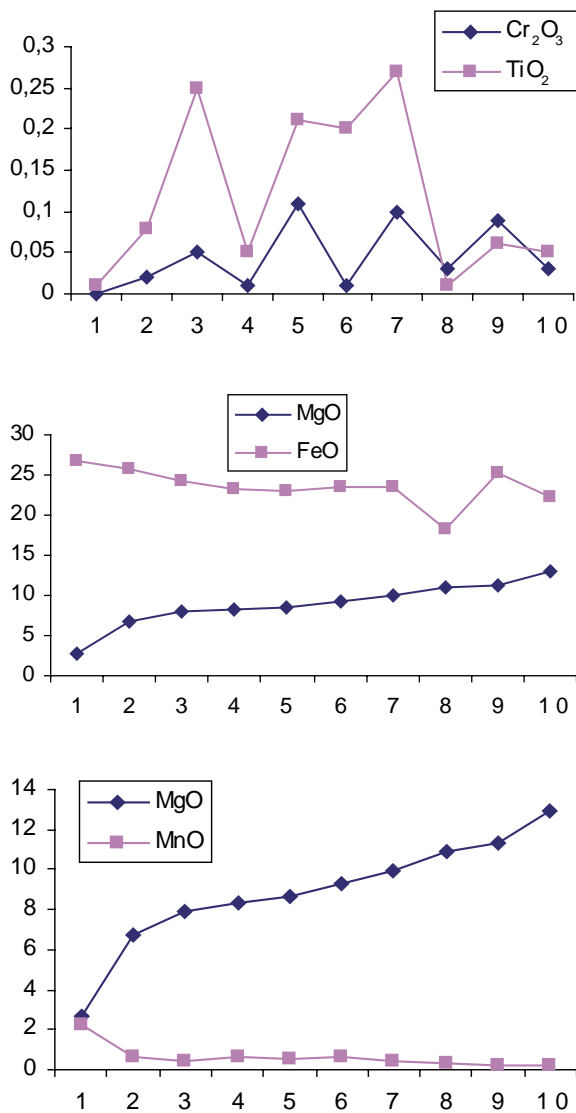
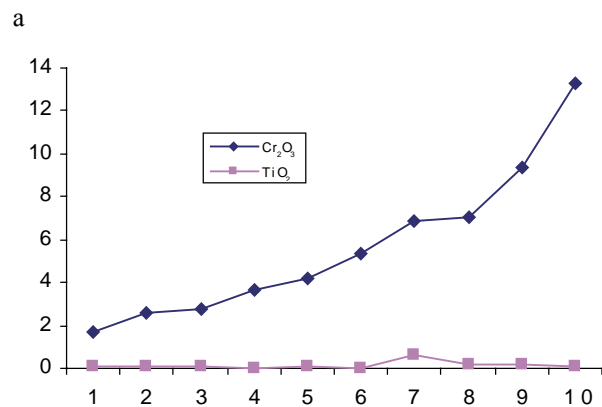
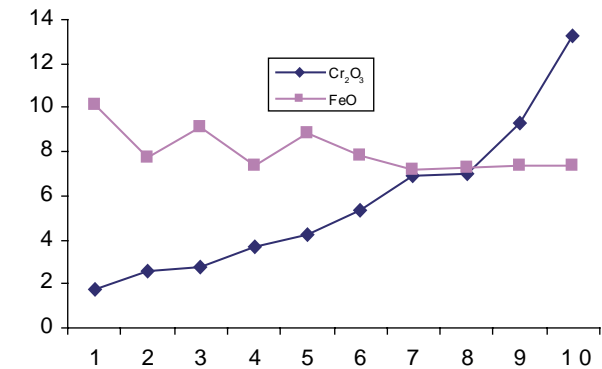
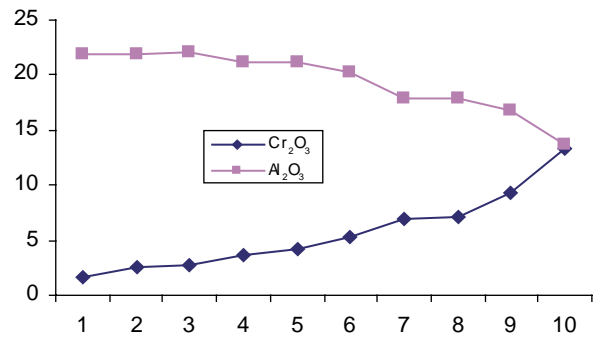
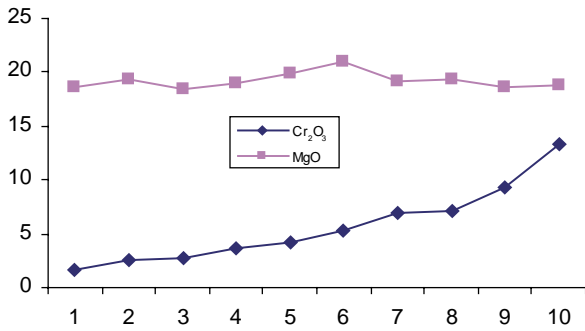


Рис. 10. Соотношение изоморфных компонентов в пироп-альмандинах. (по ординате вес %, по горизонтали аналитические данные, ранжированные по содержанию Cr_2O_3)



b



c

d

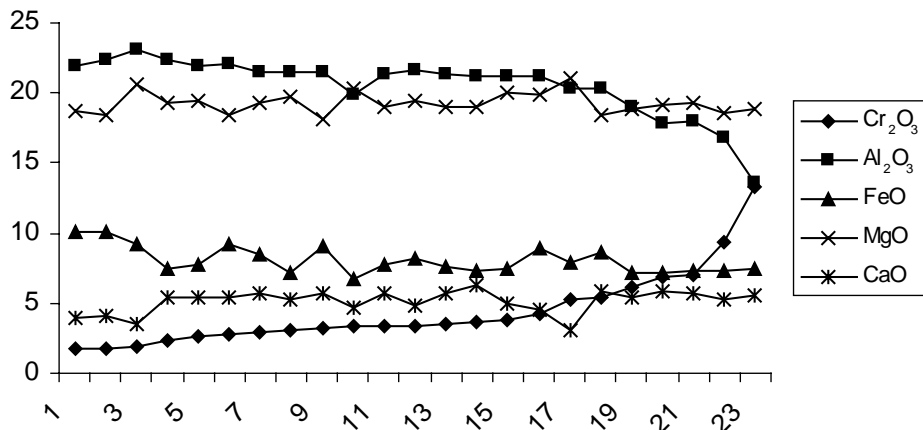


Рис. 11, a,b,c,d. Соотношение главных химических компонентов в пирропах. Пробы ранжированы по содержанию Cr₂O₃. На рис. 11, e выборка соответствует табл.4.

Следует отметить в распределении компонентов на графике (рис. 11e) своеобразный рубеж, соответствующий 6 % Cr₂O₃, после которого содержания Fe, Mg, Ca практически не меняются.

Все зерна пирропа имеют окраску фиолетово-сиреневых тонов, но интенсивность ее максимальная у зерен 47; 134; 81 (см. рис. 6), в которых содержание Cr₂O₃ > 7 % (табл. 4).

Таблица 4

Окраска пирропов проб 7001 (Нижний Бык) и 7003 (Поддубный) зависит от их химического состава. Изображение зерен см. рис. 6

Зерна	Проба	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	TiO ₂	MnO	SiO ₂	Окраска
59	7003	1,71	21,95	10,12	18,67	3,98	0,08	0,46	40,85	Сиреневая слабая
58	7003	1,8	22,39	10,02	18,41	4,07	0,06	0,46	40,96	Сиреневая слабая
55	7003	1,9	23,05	9,18	20,55	3,51	0,08	0,4	41,2	Сиреневая слабая
78	7003	2,35	22,34	7,39	19,24	5,35	0,03	0,57	41,67	Сиреневая слабая
48	7003	2,62	21,89	7,76	19,39	5,41	0,1	0,43	41,49	Сиреневая слабая
57	7003	2,72	22,11	9,14	18,39	5,35	0,08	0,47	41,4	Сиреневая слабая

53	7003	2,97	21,56	8,41	19,31	5,67	0,03	0,44	41,53	Сиреневая слабая
80	7003	3,03	21,56	7,2	19,79	5,29	0,01	0,33	41,75	Сиреневая средняя
54	7003	3,16	21,55	9,09	18,2	5,72	0,09	0,51	41,09	Сиреневая средняя
56	7003	3,35	19,81	6,71	20,28	4,62	0,98	0,23	41,38	Сиреневая средняя
50	7003	3,4	21,33	7,68	19,06	5,63	0,12	0,42	41,4	Сиреневая средняя
79	7003	3,41	21,66	8,22	19,49	4,81	0,07	0,57	41,71	Сиреневая средняя
76	7003	3,47	21,34	7,65	19,06	5,65	0,01	0,49	40,94	Сиреневая средняя
75	7003	3,7	21,13	7,38	18,95	6,22	0	0,38	40,97	Сиреневая средняя
52	7003	3,84	21,27	7,45	20,04	5,04	0,24	0,45	41,15	Сиреневая средняя
136	7001	4,2	21,14	8,88	19,85	4,5	0,1	0,53	40,44	Сиреневая средняя
77	7003	5,31	20,33	7,86	21,04	3	0,04	0,45	41,4	Сиреневая интенсивная
135	7001	5,34	20,33	8,61	18,36	5,91	0,12	0,49	40,38	Сиреневая интенсивная
51	7003	6,12	18,96	7,22	18,79	5,39	0	0,47	40,99	Сиреневая интенсивная
49	7003	6,87	17,86	7,15	19,21	5,86	0,59	0,37	40,72	Сиреневая интенсивная
47	7003	7,04	17,93	7,28	19,29	5,63	0,14	0,38	41,01	Фиолетовая густая
134	7001	9,34	16,74	7,35	18,59	5,22	0,15	0,51	40,74	Фиолетовая густая
81	7003	13,25	13,61	7,4	18,87	5,61	0,07	0,47	39,69	Фиолетовая густая

Отмеченные особенности в распределении окраски граната полезны при поисках шлиховым способом на стадии полевых работ, когда возможна корректировка маршрутов до получения данных лаборатории. Они полезны и при подборе образцов для аналитических исследований.

2.2. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВИДЫ ГРАНАТОВ.

Химический состав их — носитель информации о типах и возможной продуктивности коренного источника.

Пироп — крайний магнезиальный член ряда пиральспитов (пироп-альмандин-спесартин). По данным [2], предельное содержание MgO в пиропе 29,8 %, Al₂O₃, максимальное для гранатов — 25,4 %, SiO₂ — 44,8 %. Пироп имеет минимальные значения параметров элементарной ячейки — 11,44, в то время как альмандин — 11,49, гроссуляр — 11,84, уваровит — 12,05. Это отражает генезис материнских пород. Пиропы образуются в услови-

ях максимального давления, при котором возникают более сжатые структуры, отсюда генетическая связь с алмазом и другими высокобарическими минералами. В реальных условиях «чистый» пироп маловероятен. К нему относят разности с определенными вариациями состава по основным и второстепенным компонентам и микрокомпонентам. Вариации определены условиями минералообразования. Точная реконструкция последних невозможна из-за многофакторности кристаллизации, открытости природных минерало-геохимических систем. Мы сталкиваемся с большим разнообразием химического состава «спутников алмаза» в пределах рудных полей, месторождений, диатрем. То же можно видеть, сравнивая включения спутников в самих алмазах, в чем убеждаемся по многим работам [14 и др.]. Ниже, рассматривая вариации составов «минералов-спутников» из промежуточных коллекторов Воронежской области на фоне той

обширной информации, которая получена исследователями в течение длительной истории алмазных исследований, мы попытаемся проиллюстрировать эти выводы на конкретных примерах.

Итак, из проб 7001—7014, характеризующих меловые и палеогеновые отложения региона, проанализировано рентгеноспектральным методом 84 зерна граната, из которых удалось доказать принадлежность к пиропам 46 на основании критериев, о которых говорилось выше. От ближайшей по свойствам группы пироп-альмандин пиропы отличаются, прежде всего, по максимальному уровню содержания MgO (не ниже 18 %) и Cr₂O₃ (не ниже 1,5 %). Разброс значений для пиропов из проанализированной серии оказался для MgO в узком диапазоне 18,18—21,24 %, для Cr₂O₃ интервал значительней, 1,5—13,25 %. Содержание SiO₂ в

пиропе (максимальное вообще для гранатов) — 40,0—41,93 %. Эти отличия являются качественными, присущими лишь пиропу, как особой минеральной фазе, что можно видеть из нашей выборки по отсутствию переходных разностей между пиропами и пироп-альмандинами (табл. 5). Для пироп-альмандин максимальное значение MgO 14,2 % (при содержании Cr₂O₃ в этом образце 0,02 % и максимальным содержанием Cr₂O₃ в этой группе граната 0,19 %). Пироп-альмандины отличаются высоким содержанием общего железа (16—27 %), которого в пиропе менее 10 %. Диапазон колебаний содержания SiO₂ в пиропе и пироп-альмандинах хотя и не резко различно, но, тем не менее, иное. Для последних в проанализированной серии образцов SiO₂ 36,91—39,97 %.

Таблица 5

Химические составы гранатов из меловых и палеогеновых отложений Воронежской антеклизы

№пр	Пробы	Зерна	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	MnO	Cr ₂ O ₃	Vсerol
Пиропы												
1	7003	81	0,05	18,87	13,61	39,69	5,61	0,07	7,4	0,47	13,25	99,02
2	7001	134	0,04	18,59	16,74	40,74	5,22	0,15	7,35	0,51	9,34	98,66
3	7013	39	0,01	18,38	17,33	40,4	6,66	0,11	8,03	0,37	7,49	98,78
4	7003	47	0,07	19,29	17,93	41,01	5,63	0,14	7,28	0,38	7,04	98,76
5	7003	49	0,06	19,21	17,86	40,72	5,86	0,59	7,15	0,37	6,87	98,71
6	7003	42	0,08	20,02	18,08	40,4	5,85	1,01	7,04	0,33	6,65	99,44
7	7003	46	0,03	18,72	18,85	41,13	5,9	0,09	7,97	0,42	6,34	99,45
8	7003	51	0,05	18,79	18,96	40,99	5,39	0	7,22	0,47	6,12	98
9	7001	135	0,06	18,36	20,33	40,38	5,91	0,12	8,61	0,49	5,34	99,59
10	7003	77	0,03	21,04	20,33	41,4	3	0,04	7,86	0,45	5,31	99,45
11	7001	136	0,05	19,85	21,14	40,44	4,5	0,1	8,88	0,53	4,2	99,69
12	7003	52	0,06	20,04	21,27	41,15	5,04	0,24	7,45	0,45	3,84	99,56
13	7003	75	0,03	18,95	21,13	40,97	6,22	0	7,38	0,38	3,7	98,75
14	7003	76	0,05	19,06	21,34	40,94	5,65	0,01	7,65	0,49	3,47	98,65
15	7003	44	0,02	21,15	21,28	41,88	3,88	0	6,91	0,46	3,44	99,01
16	7005	8	0,02	19,74	20,71	41,14	4,85	0,1	7,83	0,4	3,43	98,22
17	7003	79	0,02	19,49	21,66	41,71	4,81	0,07	8,22	0,57	3,41	99,94
18	7003	50	0,03	19,06	21,33	41,4	5,63	0,12	7,68	0,42	3,4	99,08
19	7003	56	0,08	20,28	19,81	41,38	4,62	0,98	6,71	0,23	3,35	97,44
20	7008	24	0,02	18,42	21,52	40,93	5,77	0,09	8,54	0,5	3,27	99,05
21	7003	54	0,03	18,2	21,55	41,09	5,72	0,09	9,09	0,51	3,16	99,44
22	7007	15	0	18,23	21,48	40,79	6,11	0,04	8,43	0,46	3,06	98,6
23	7005	6	0,05	19,37	21,65	40,99	5,42	0,15	7,64	0,41	2,99	98,67
24	7003	53	0,01	19,31	21,56	41,53	5,67	0,03	8,41	0,44	2,97	99,93
25	7010	27	0,02	18,98	21,76	41,03	5,54	0,05	7,79	0,46	2,94	98,56
26	7004	1	0,03	19,83	21,93	41,71	5,57	0,02	7,01	0,33	2,8	99,23
27	7003	40	0	19,42	22,32	40,57	5,77	0	8	0,46	2,79	99,33
28	7012	35	0	19,6	21,79	41,19	5,71	0,03	7,19	0,36	2,74	98,61
29	7003	57	0,02	18,39	22,11	41,4	5,35	0,08	9,14	0,47	2,72	99,67
30	7003	48	0,05	19,39	21,89	41,49	5,41	0,1	7,76	0,43	2,62	99,12
31	7003	41	0,02	19,62	22,19	41,67	5,5	0	7,82	0,39	2,6	99,81
32	7006	9	0,04	19,33	22,38	41,33	5,47	0	7,83	0,52	2,5	99,39

Новые находки высокобарических минералов в осадочном чехле Воронежской антеклизы...

33	7011	29	0,02	19,19	22,17	41,04	5,3	0,08	8,28	0,41	2,38	98,87
34	7003	78	0,02	19,24	22,34	41,67	5,35	0,03	7,39	0,57	2,35	98,96
35	7011	30	0,02	21,24	22,75	41,93	3,95	0,02	7,02	0,32	2,21	99,46
36	7013	41	0	20,67	22,95	41,87	4,46	0	7,29	0,42	2,21	99,85
37	7006	14	0,03	19,44	22,51	41,31	5,4	0,02	7,98	0,49	2,16	99,34
38	7003	45	0,05	19,54	21,51	41,85	4,97	0,1	8,65	0,44	2,1	99,22
39	7003	55	0,02	20,55	23,05	41,2	3,51	0,08	9,18	0,4	1,9	99,89
40	7009	26	0,06	18,18	22,09	40,62	4,97	0,1	10,6	0,37	1,81	98,8
41	7003	58	0,01	18,41	22,39	40,96	4,07	0,06	10,02	0,46	1,8	98,19
42	7003	59	0,04	18,67	21,95	40,85	3,98	0,08	10,12	0,46	1,71	97,86
43	7011	31	0,02	19,33	21,63	41,25	5,02	-0,01	8,39	0,49	1,7	97,82
44	7013	40	0,03	19,34	22,62	41,2	4,85	0,04	8,82	0,4	1,63	98,94
45	7009	25	0,05	19,72	23,04	41,16	5,07	0,03	7,65	0,47	1,56	98,75
46	7003	43	0,03	19,89	22,64	41,09	4,15	0,27	9,71	0,39	1,5	99,66
Пироп-альмандины												
47	7012	37	0	10,91	22,16	38,78	5,51	0,09	21,3	0,38	0,19	99,31
48	7002	ряд 5	0	11,3	21,49	38,91	0,99	0,06	25,25	0,25	0,09	98,35
49	7007	16	0,03	11,31	22,39	39,08	5,69	0,12	20,39	0,48	0,08	99,58
50	7011	32	0,02	10,81	22,06	38,73	7,14	0,1	18,69	0,55	0,07	98,16
51	7013	42	0	10,27	22,28	38,31	1,46	0,04	26,68	0,3	0,07	99,41
52	7008	22	0,04	10,95	22,59	39,25	9,59	0,14	16,28	0,09	0,06	98,99
53	7006	10	0,05	11,81	22,28	39,13	6,26	0,1	18,71	0,36	0,05	98,75
54	7008	21	0,02	10,96	22,7	39,51	9	0,04	16,73	0,21	0,05	99,21
55	7014	47	0,04	10,36	22,35	39,2	8,23	0,19	18,97	0,38	0,04	99,75
56	7003	10	0,02	10,9	21,98	38,96	7,84	0,01	18,34	0,33	0,03	98,41
57	7003	15	0,02	12,91	21,97	38,69	2,05	0,05	22,23	0,19	0,03	98,14
58	7004	3	0	13,93	22,98	39,97	5,43	0,1	16,75	0,38	0,03	99,57
59	7008	23	0,05	10,8	22,59	39,21	8,89	0,09	17,36	0,21	0,02	99,21
60	7011	33	0,05	14,25	23,02	39,86	6,06	0,1	15,17	0,29	0,02	98,82
61	7006	11	0,02	11,75	22,66	39,54	7,58	0,12	17,16	0,31	0	99,13
62	7010	28	0,03	12,46	22,77	39,63	6,52	0,09	17,65	0,32	0	99,47
Гранаты Э-типа парагенезиса алмаза из трубки Удачная (Якутия) [13]												
<i>Включения из алмаза</i>												
		Ud -6/90	0,17	10,6	20,4	39,5	6,71	1,01	20,7	0,42	0,12	99,63
		Ud -1/90	0,26	9,37	21,6	39,5	9,08	0,71	18,9	0,32	0,03	99,77
<i>Включения из алмазоносных эклогитов</i>												
		Ud -11/ 90	0,22	8,04	21,5	39,6	9,43	0,50	19,6	0,43	0,02	99,34
		Ud -117	0,17	15,7	22,2	41,6	6,88	0,62	11,7	0,27	0,1	99,24
Альмандины												
63	7003	9	0,01	8,61	20,34	37,62	7,06	0,21	23,09	0,58	0,11	97,63
64	7003	65	0	9,97	21,09	38,11	5,92	0,27	23,55	0,46	0,1	99,45
65	7002	98	0,05	2,77	21,63	37,84	12,03	0,14	24,64	1,59	0,09	100,79
66	7003	6	0,04	7,89	20,14	37,5	6,59	0,25	24,25	0,47	0,05	97,17
67	7002	97	0,02	6,76	21,26	38,19	6,32	0,08	25,85	0,62	0,02	99,13
68	7002	101	0,03	5,69	21,47	37,91	11,14	0,09	22,4	0,34	0,02	99,1
69	7003	1	0,03	9,26	20,77	38,29	5,69	0,2	23,41	0,68	0,01	98,32
70	7002	100	0,03	8,33	21,79	38,21	6,17	0,05	23,37	0,67	0,01	98,62
71	7003	5	0,03	2,68	20,26	36,91	9,64	0,01	26,77	2,28	0	98,58
Гроссуляры												
72	7003	ряд 2	0	0,18	21,44	38,26	34,08	0,25	4,85	0,54	0,1	99,71
73	7003	ряд 2	0,03	0,19	21,26	38,45	32,68	0,32	5,8	0,83	0,09	99,65
74	7003	ряд 2	0,02	0,15	20,96	38,47	32,36	0,29	5,25	0,52	0,01	98,04
75	7003	ряд 2	0,02	0,12	21,51	39,14	35,15	0,56	2,86	0,1	0,06	99,54

№пп	Пробы	Зерна	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	MnO	Cr ₂ O ₃	Vсerol
Гроссуляр-уваровиты												
76	7003	149	0,01	0,36	14,24	37,34	31,5	0,34	5,07	1,66	7,99	98,51
77	7003	168	0,02	0,21	16,15	37,34	32,37	0,21	3,84	0,49	6,58	97,21
Уваровиты												
78	7003	150	0	0,52	5,62	36,52	31,46	0,09	0,58	0,51	20,73	96,04
79	7003	148	-0,01	0,35	6,04	37,19	32,44	0,3	0,64	0,21	19,56	96,73
80	7003	151	0,03	0,32	7,71	36,87	32,99	0,21	1,74	0,43	18,91	99,22
81	7003	152	0	0,41	7,93	36,67	30,64	0,29	0,22	3,45	18,83	98,44
82	7001	129	0,02	0,3	8,87	37,55	32,78	0,09	0,31	0,42	16,32	96,65
83	7001	127	0,02	0,43	10,68	37,44	32,32	0,5	2,94	0,57	13,71	98,59
84	7001	128	0	0,42	10,73	37,05	32,72	0,72	2,81	0,57	13,55	98,59

Пироп-альмандины условно разделены по содержанию MgO на подгруппы: собственно пироп-альмандины и альмандины. К первым отнесены гранаты с содержанием MgO более 10 % (10—14,25 %). Между ними нет качественных различий в химическом составе, которые так отличают группы пиропов и пироп-альмандинов. Для подтвержде-

ния этого произведены кристаллохимические пересчеты данных микрозондового анализа. В таблице 6 приведены соотношения миналов в зернах пиропов и пироп-альмандинов, ранжированных в порядке уменьшения содержания Cr₂O₃ (нумерация зерен соответствует таковой в таблице 5, на рис. 6 и 7).

Таблица 6

Соотношение миналов в пиральспитах (пироп-альмандин-спесартинах) из меловых и палеогеновых отложений Воронежской антеклизы (пробы 7001—7014)

№пп	Зерна	Пироп	Альмандин	Спессаргин	Гроссуляр	Андрадит	Тандрадит	Уваровит	Сумма	Пробы	Cr ₂ O ₃
Пиропы											
1	81	70,03	23,12	0,99	0	0	0,25	5,61	100	7003	13,25
.2	134	68,44	18,96	1,07	0	0	0,52	11	99,99	7001	9,34
.3	39	67,38	17,41	0,77	0	0	0,38	14,06	100	7013	7,49
.4	47	70,29	16,09	0,79	0	0	0,48	8,57	96,22	7003	7,04
.5	49	70,1	13,27	0,77	0	0	2,04	14,29	100,47	7003	6,87
.6	42	72,2	10,62	0,68	0	0	3,45	13,48	100,43	7003	6,65
.7	46	67,8	16,73	0,86	0	0	0,31	15,19	100,89	7003	6,34
.8	51	68,83	16,06	0,98	0	0	0	17,84	103,71	7003	6,12
.9	135	66,28	16,86	1,01	0	0	0,41	15,12	99,68	7001	5,34
.10	77	75,21	18,04	0,91	0	0	0,14	15,1	101,94	7003	5,31
.11	136	70,98	17,47	1,08	0	0	0,34	11,39	101,25	7001	4,2
.12	52	71,48	13,1	0,91	0,8	0,8	0,81	10,9	98,79	7003	3,84
13	75	68,31	13,24	0,78	2,78	2,78	-0,1	10,61	98,41	7003	3,7
.14	76	68,76	13,87	0,98	2,34	2,34	0,03	9,96	98,28	7003	3,47
.15	44	75,34	13,75	0,93	0,09	0,09	0	9,75	99,95	7003	3,44
.16	8	71,39	14,49	0,82	1,28	1,28	0,34	9,87	99,46	7005	3,43
.17	79	69,4	15,21	1,15	1,26	1,26	0,24	9,66	98,18	7003	3,41
.18	50	68,49	13,3	0,86	2,3	2,3	0,41	9,72	97,3	7003	3,4
.19	56	73,77	8,1	8,48	0,29	0,29	3,37	9,7	96,01	7003	3,35
.20	24	66,43	14,99	1,02	2,71	2,71	0,31	9,38	97,55	7008	3,27
.21	54	65,51	16,01	1,04	2,79	2,79	0,312	9,05	97,51	7003	3,16
.22	15	66,03	14,58	0,95	3,52	3,52	0,14	8,82	97,53	7007	3,06
22а	80	70,83	12,75	0,67	2,48	2,48	0,03	8,53	97,89	7003	3,03
23	6	69,72	12,68	0,84	2,6	2,6	0,51	8,56	97,5	7005	2,99
24	53	68,77	14,63	0,89	3,02	3,02	0,1	8,42	98,85	7003	2,97
25	27	68,44	13,55	0,94	2,92	2,92	0,17	8,44	97,37	7010	2,94
26	1	70,67	11,81	0,67	3,15	3,15	0,07	7,94	97,46	7004	2,8

Новые находки высокобарических минералов в осадочном чехле Воронежской антеклизы...

27	40	69,38	13,74	0,93	3,45	3,45	0	7,93	98,88	7003	2,79
28	35	70,36	12,03	0,73	3,43	3,43	0,1	7,83	97,91	7012	2,74
29	57	65,9	15,99	0,96	2,94	2,94	0,27	7,76	96,76	7003	2,72
30	48	69,39	12,95	0,87	3,14	3,14	0,34	7,46	97,29	7003	2,62
31	41	69,45	13,27	0,78	3,34	3,34	0	7,32	97,5	7003	2,6
32	9	68,94	13,36	1,05	3,47	3,47	0	7,09	97,39	7006	2,5
33	29	68,89	14	0,84	3,37	3,37	0,27	6,8	97,53	7011	2,38
34	78	68,88	12,34	1,16	3,51	3,51	0,1	6,69	96,2	7003	2,35
35	30	74,98	12,54	0,64	1,89	1,89	0,07	6,21	98,22	7011	2,21
36	41	72,89	12,77	0,84	2,56	2,56	-0,03	6,2	97,79	7013	2,21
37	14	69,34	13,3	0,99	3,84	3,84	0,07	6,13	97,52	7006	2,16
38	45	69,94	14,62	0,9	3,31	3,31	0,34	5,98	98,4	7003	2,1
39	55	72,66	16,64	0,8	1,72	1,72	0,27	5,35	99,15	7003	1,9
40	26	65,75	18,46	0,76	3,77	3,77	0,34	5,21	98,0,5	7009	1,81
41	58	66,87	18,32	0,95	2,66	2,66	0,21	5,2	96,07	7003	1,8
42	59	67,97	18,46	0,95	2,66	2,66	0,28	4,95	97,93	7003	1,71
43	31	70	14,33	1,01	4,09	4,09	0	4,9	98,4	7011	1,7
44	40	69,26	14,92	0,81	3,89	3,89	0,14	4,61	97,54	7013	1,63
45	25	70,42	12,32	0,95	4,27	4,27	0,1	4,43	96,76	7009	1,56
46	43	70,72	15,96	0,79	2,94	2,94	0,91	4,24	98,5	7003	1,5
Пироп-альмандины											
49	16	42,36	37,22	12,02	7,43	7,43	0,43	0,24	96,13	7007	0,08
50	32	41	32,85	1,21	9,53	9,53	0,36	0,21	94,7	7011	0,07
52	22	40,83	22,53	0,19	12,63	12,63	8,49	0,18	89,49	7008	0,06
53	10	44,3	33,33	0,77	8,28	8,28	0,36	0,15	95,47	7006	0,05
54	21	40,89	26,83	0,45	11,96	11,96	0,14	0,15	92,37	7008	0,05
58	3	51,23	29,32	0,79	7,04	7,04	0,35	0,09	95,86	7004	0,03
59	23	40,39	28,44	0,45	11,91	11,91	0,03	0,06	93,18	7008	0,02
60	33	52,51	25,54	0,31	7,91	7,91	0,35	0,03	94,88	7011	0,02
61	11	43,79	28,52	0,66	10,04	10,04	0,42	0	93,48	7006	0
62	28	46,23	30,91	0,67	8,69	8,69	0,03	0	95,22	7010	0
Альмандины											
63	9	11,42	46,94	1,41	10,41	10,41	0,85	0,37	81,81	7013	0,11
64	65	37,89	43,47	1	7,6	7,6	0,97	0,3	99,28	7013	0,1
65	98	10,73	41,76	3,5	16,48	16,48	0,51	0,2	89,74	7002	0,09
66	6	31,03	46,04	1,05	8,99	8,99	0,93	0,16	97,19	7013	0,05
67	99	26,25	50,04	1,37	8,71	8,71	0,29	0,06	95,44	7002	0,02
68	101	22	37,83	0,75	15,36	15,36	0,33	0,06	91,69	7002	0,02
69	1/1	35,64	44,00	1,5	7,94	7,94	0,73	0,03	97,78	7013	0,01
70	100	32,1	44,59	1,47	8,48	8,48	0,18	0,03	95,33	7002	0,01
71	5	10,7	50,72	5,18	13,83	13,83	0,04	0	94,3	7013	0

При анализе результатов пересчета химического состава на миналы отметим, что в пиропсах при содержании Cr_2O_3 более 4 % отсутствуют миналы гроссуляра и андрадита; при этом относительно велика доля минала альмандина (16—23 %). Снижение содержания хрома в пиропсах ниже 4 % сопровождается снижением доли альмандинового минала, на фоне увеличения значения кальциевых миналов (в сумме доля миналов гроссуляра и андрадита достигает 8,5 %). В группе пироп-альмандинов иное соотношение миналов: более высокая

доля минала альмандина (23—50 %), что сопровождается высокой долей кальциевых миналов, хотя и без линейной зависимости. К критериям выделения минеральных фаз пересчеты химических анализов на миналы добавляют еще один. Согласно пересчетам, к пиропам следует относить разности граната с пироповым миналом 65—75 %. В пироп-альмандинах доля этого минала 40—52 %, в собственно альмандинах — менее 38 %. Ниже мы попытаемся обобщить результаты обработки рентгеноспектрального анализа пиропов, ильме-

нита и хромита с помощью различных модулей и соотношений компонентов, представить их на различных типах диаграмм, апробированных в литературе.

Диаграмма соотношения CaO и Cr_2O_3 в пироплах наиболее употребляемая при определении принадлежности пироба к тому или иному типу материнских пород, обладающих разным потенциалом алмазности [13]. Потенциал отражают не просто высокохромистые гранаты, но — кнорингитовые, с содержаниями Cr_2O_3 от 1,5 %, и CaO не более 5—10 %. Эти гранаты в нашей выборке выделены как пиропы.

Если сравнить полученное распределение составов граната (рис. 12) с аналогичным распределением для трубки «Мир» [17], то можно отметить следующее. Подобно пиропам из месторождений Якутии, в серии изученных образцов резко преобладают гранаты, характерные для лерцолитов. Лишь три зерна соответствуют пиропам из алмазносных гарцбургит-дунитов, (именно с содержанием таких разностей граната коррелируют

в Якутии алмазность кимберлитов), и три — пиропу из включений в алмазе. Таким образом, все гранаты, отнесенные нами к пиропам (с доминирующим кнорингитовым миналом) соответствуют пиропам алмазносных кимберлитов Якутии, а шесть из них оказываются в алмазносной ассоциации. Количественное соотношение типов граната в изученной серии образцов сопоставимо с распределением, например, их же в кимберлитах трубки «Мир». На диаграммах отразились составы пиральспитов пиропы Э-типа и У-типа, в понимании [13]. Составы гранатов из осадочных отложений Воронежской антеклизы разделились на два поля (см. рис. 11) по параметрам MgO и FeO (доля в % от суммы трех компонентов) при примерно равных значениях параметра CaO . Левое поле плотно заняли фигуративные точки, соответствующие пиропам, но оно оказалось разделенным границей А-В, отчего большая часть точек попала в область В. Правое поле практически полностью лежит в области С; это в основном пироп-альмандины.

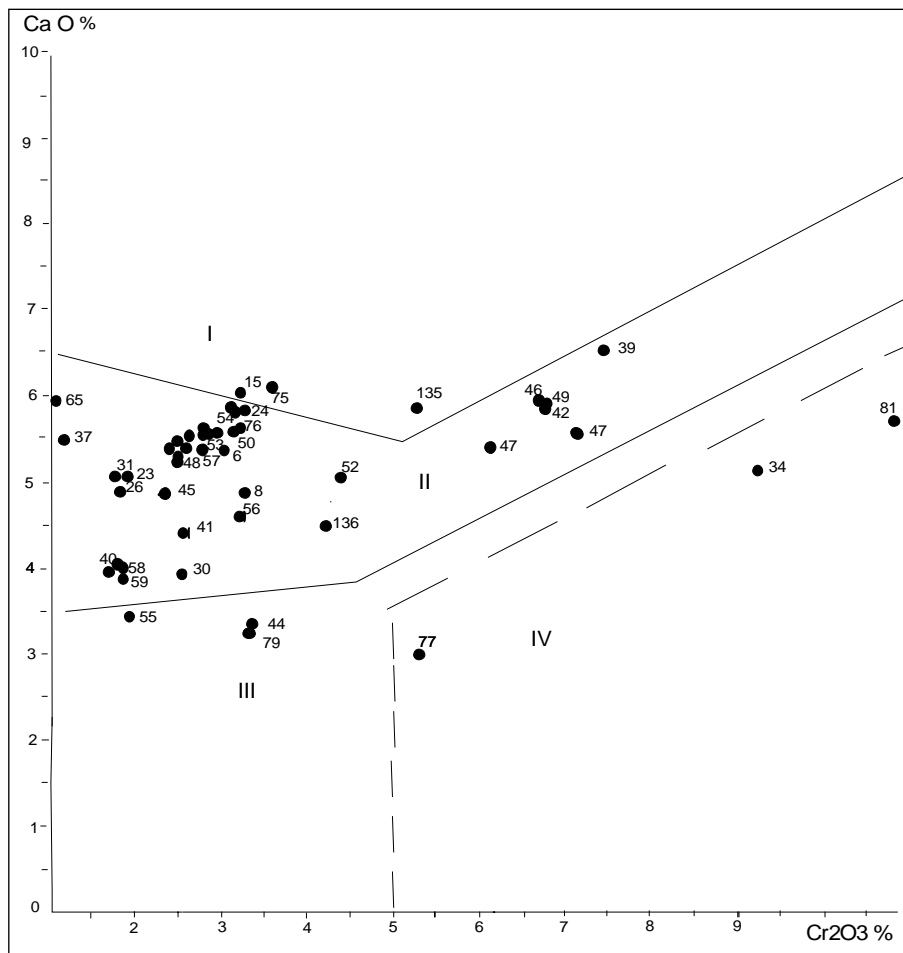


Рис. 12. Распределение фигуративных точек CaO и Cr_2O_3 в пироплах пробы 7003 (см. также рис. 6). I — область верлитов; II — область лерцолитов; III — область гацбургит-дунитов; IV — включения в алмазе.

На трехкомпонентной диаграмме CaO , MgO , FeO (рис. 13), по рекомендации [13] указаны контуры области 95-процентного состава гранатов-включений в алмазах У-типа (сплошная линия) и Э-типа (штриховая линия). Гранаты эклогитового парагенезиса (Э-типа), распространены в ксенолитах алмазоносных эклогитов и как включения в алмазах, в том числе, Якутской провинции.

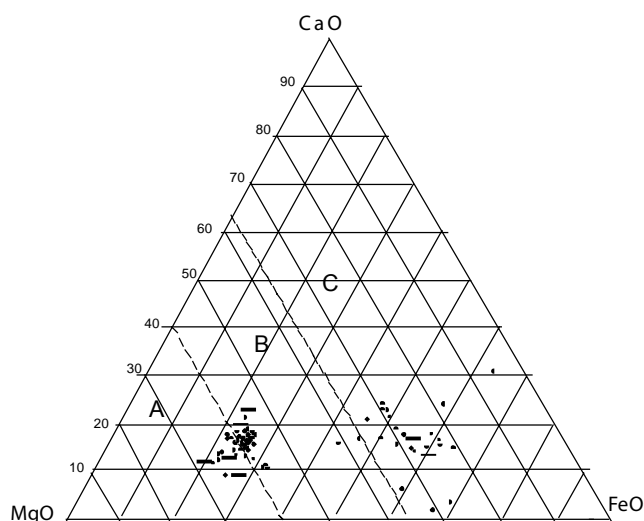


Рис. 13. Трехкомпонентная диаграмма состава гранатов. А.В.С — области, выделенные в соответствии с классификацией [13]. Левое поле ф.т. пиропов, правое поле — пироп-альмандинов.

В работе [13] приведены составы таких гранатов. Все они принадлежат непрерывной серии по кальциевости и магнезиальности при содержании общей окиси железа 10,3—22,3 %. Характерной особенностью их химического состава являются: низкие содержания Cr_2O_3 (сотые доли процента), повышенные содержания TiO_2 (0,2—1,01 %) и особый диагностический признак — увеличенные количества Na_2O (0,06—0,26 %). При сравнении наших гранатов и гранатов Э-типа Якутии (см. табл. 5) делаем вывод: ближе всего к этому типу пироп-альмандины, занимающие на диаграмме (см.

рис. 13) обособленное поле в зоне В. Однако, полностью отвечающих составу гранатов Э-типа по перечисленным выше критериям среди них нет — не достаёт Ti и Na . Ближе к Э-типу оранжевые пироп-альмандины пробы 7003 (зерна 6—9); 7008(22); 7006 (10—11); 7007(16), которые занимают положение по соотношению параметров MgO — FeO между пиропами и пироп-альмандинами. На диаграмме точки их состава выделены кружками. Таким образом, наши пиропы на этой диаграмме в основной массе оказались не только на границе зон А—В, но и на границе типов пиропов: ультраосновного и эклогитового парагенезисов. Впрочем на положительную прогнозную оценку вывод не влияет, в любом случае, это - область состава тех пиропов, которые обнаруживаются как включения именно в алмазах. Наши пиропы нельзя отнести к эклогитовому типу уже на основании более высокого содержания Cr_2O_3 , характерного для граната ультраосновных пород. По диаграмме состава CaO и Cr_2O_3 , (см. рис. 12) видно, что в основной своей массе наши пиропы соответствуют гранату из лерцолитов, которые количественно доминируют в кимберлитах ЯАП. Пироп-альмандины по составу основных компонентов близки гранатам алмазоносных эклогитовых ассоциаций, но отличаются меньшими содержаниями второстепенных компонентов — Ti и Na . Оценить практическое значение последних параметров сложно.

2.3. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ИЛЬМЕНИТОВ

Ильмениты доминируют среди оксидных рудных минералов тяжелой фракции меловых и палеогеновых песков Воронежской антеклизы. Их много в изученных пробах, но — из проанализированных зерен лишь около 10 % содержат MgO более 1 % и относятся к пикроильменитам. В таблице 7 приведены химические составы таких ильменитов, ранжированных в порядке уменьшения содержания MgO .

Таблица 7

Химический состав пикроильменитов из меловых и палеогеновых отложений Воронежской антеклизы (пробы 7001—7014, см. рис. 8)

Проба	Зерна	MgO	Al_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3	FeO	MnO	V_2O_3	Сумма
.1	7014	88	11,26	0,15	51,05	4,41	31,26	0,29	98,42
.2	7004	36	7,41	0,55	47,07	0,24	42,73	0,27	98,28
.3	7014	87	7,34	0,86	47,59	0,2	41,93	0,25	98,16
.4	7004	35	7,07	0,63	47,8	0,15	42,67	0,31	98,63
.5	7014	91	6,95	0,84	45,29	0,3	44,35	0,31	98,03

	Проба	Зерна	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	V ₂ O ₃	Сумма
.6	7013	77	6,26	0,56	49,03	0,07	42,86	0,36		99,13
.7	7013	84	5,97	0,21	56,78	0,14	33,45	0,69		97,25
.8	7001	227	5,86	0,45	57,06	0,11	32,72	0,52	0,38	97,32
.9	7013	74	5,64	0,45	49,84	0,05	42,97	0,4		99,35
.10	7013	80	3	0,18	48,18	0,02	46,93	0,93		99,23
.11	7013	79	1,72	0,22	48,81	0,05	30,58	18,07		99,44
.12	7002/1	237	1,7	0,23	57,42	0,11	34,74	0,57	0,41	95,55
.13	7011	23	1,69	0,54	60,73	0,14	30,74	0,22		94,05
.14	7013	82	1,67	0,45	45,4	0,01	50,47	1,15		99,16
.15	7003/2	ряд 3	1,58	0,4	63,39	0,14	27,11	0,22	0,46	94,65
.16	7003/1	ряд 3	1,51	0,27	61,44	0,18	28,82	0,21	0,5	93,59
.17	7013	83	1,26	0,23	45,21	0,22	49,53	2		98,45
.18	7014	92	1,02	0,5	35,43	0,04	58,97	0,62		96,57
.19	7007	65	0,96	0,91	61,42	0,14	30,38	0,31		94,11
.20	7002/2	242	0,93	1,26	62,43	0,12	21,27	0,29	0,68	89,4
.21	7003/3	ряд 1	0,93	0,25	61,11	0,13	32,11	0,29	0,52	96,2

Пикроильмениты из кимберлитов имеют размер зерен от долей мм до 3—5 мм, обычны и крупные индивиды минерала, вплоть до желвачков-агрегатов. Говоря про пикроильмениты наших проб, тоже отметим тенденцию тяготения минерала к крупным фракциям (рис. 8). Зерна обладают заметной окатанностью, но кристаллографические элементы на них просматриваются отчетливо. Иногда они имеют почковидную микроскульптуру, на что мы уже раньше обращали внимание при описании пикроильменитов Липецкой области [3, 7].

Широкие вариации состава ильменитов связаны с изоморфными замещениями изовалентного и гетеровалентного характера, протекающими по схемам: Mg²⁺-Fe²⁺ и (Mg, Fe²⁺) + Ti⁴⁺=2Fe³⁺. По-видимому, имеют место замещения и двухвалентных железа и марганца, но из-за невысокого химического потенциала последнего, они не имеют особого значения. Зерна ильменита в кимберлитах в значительной мере гетерогенные [17]. Для них характерна значительная дефектность структур. Неоднородность зерен отчетливо проявлена и в наших образцах (см. рис. 8, зерна 79 и 82 из основания готерива х. Чёлкино, проба 7013).

Химические анализы ильменита пересчитывались нами на миналы или на компоненты в мол. % по следующей схеме. Сначала по содержанию магния выделялась гейкилитовая составляющая MgTiO₃, затем по содержанию марганца — пирофанитовая компонента MnTiO₃. Остаток Ti связывался с Fe²⁺ в собственно ильменитовую составляющую FeTiO₃. Остаток железа представлялся в виде гематитовой составляющей Fe₂O₃, а тита-

на — в виде двуокиси, которая в лейкоксенизированных ильменитах представлена рутилом (TiO₂). Хром и алюминий по этой схеме предстают в виде эсколаитовой Cr₂O₃ и корундовой Al₂O₃ компонент (последние ввиду незначительной доли в таблице 8 не показаны). Для отображения на трехкомпонентных диаграммах миналы ильменита в этой таблице приведены к 100 %.

По молекулярным количествам ильменитовой и гематитовой компонент рассчитывались весовые содержания Fe²⁺ и Fe³⁺, поскольку электронно-зондовый анализ не различает Fe²⁺ и Fe³⁺ (все представляется в виде FeO). В практике минералогических исследований применяется способ пересчета электронно-зондовых анализов ильменита на кристаллохимические формулы и по кислородному методу, но это приводит к увеличению гематитовой компоненты (в мол. %) почти в два раза [1].

По доле гейкилитовой составляющей (1—36 %, см. табл. 8) проанализированные зерна образуют непрерывный ряд. Более дифференцированы они по пирофанитовой, гематитовой и рутиловой компонентам. Было произведено сравнение их с данными по ильменитам алмазоносных провинций Мира, имея в виду, что ильмениты ЯАП детально изучены [1, 12—16, 17].

Высокобарические минералы как объекты рентгеноспектрального анализа требуют особого подхода ввиду химической анизотропии. Данные по ильменитам алмазоносных месторождений показывают настолько широкие вариации их состава, что складывается впечатление об отсутствии

каких-либо связей между составом и алмазностью. Они, конечно, имеются, но носят не жесткий, скорее, статистический характер, поэтому для выводов важно иметь представительную выборку данных.

В первую очередь остановимся на характеристике распределения в ильменитах собственно ильменитовой составляющей — $FeTiO_3$. Большинство зерен содержит менее 1 % гейкилитовой компоненты. Основу их составляет ильменитовый минал $FeTiO_3$ (рис. 14, табл. 8). Это не означает, что ильмениты с низкой долей гейкилитовой составляющей не могут иметь отношения к алмазоносным источникам. Приводят [17] пример сростка алмаза и ильменита из кимберлитов Якутии, где ильменит почти на 100 % состоит только из $FeTiO_3$. Характерны широкие вариации соотношения гейкилитовой и ильменитовой компонент и в южноафриканских кимберлитах (0-100 %), но основ-

ная масса анализов группируется в диапазоне содержания $FeTiO_3$ 35—68 % в Якутии; 35—80 % в трубке Де Бирс; 35—60 % в кимберлитах Элиот Каунти, США.

Значительной вариации содержания гейкилитовой составляющей $MgTiO_3$. В якутских месторождениях количества MgO в ильменитах меняется от <0,02 до 18,8 %, $MgTiO_3$ — от 0 до 65 мол. %, но преобладающее число анализов попадает в интервал 13—64 мол. % $MgTiO_3$. Анализ ильменита с содержанием $MgTiO_3$ менее 13 мол. % для кимберлитов Якутии немного. В пределах отдельной трубки в ильменитах также широко колеблется содержание MgO . В трубке Тажная оно варьирует от 2,75 до 14,72 %, в трубке Спутник — от 1,08 до 14,28 мас. % [1]. В выборке ильменитов, которую мы ограничили содержанием гейкилитовой составляющей более 1 %, таких зерен 9 из 26 (см. табл. 8).

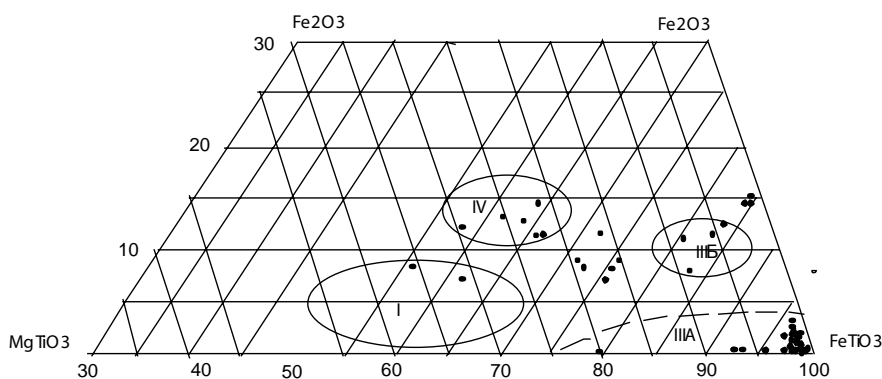


Рис. 14. Положение составов ильменитов на диаграмме основных миналов и сопоставление с областями фигуративных точек ильменитов Якутской провинции по данным В.К Гаранина и др [1]. Описание см. в тексте.

По рис.14 видно, что фигуративные точки наших ильменитов попадают по большей части в поле IIIA, с высоким содержанием ильменитовой компоненты и весьма низким — гематитовой. Поле ильменитов, выделенных как тип IIIB отличается

более высоким содержанием гематитовой компоненты (7-15 %). Наиболее интересными представляются поля I и IV, куда попадает часть наших ильменитов, с наиболее высокими содержаниями гейкилитовой и гематитовой компонент.

Таблица 8

Соотношение миналов в пикроильменитах

	Пробы	Зерна	$MgTiO_3$	$MnTiO_3$	$FeTiO_3$	TiO_2	Fe_2O_3
1	7014	88	35,16	0,65	56,09	0,00	8,10
2	7004	36	23,30	0,61	63,82	0,00	12,27
3	7014	87	23,04	0,56	65,06	0,00	11,35
4	7004	35	22,12	0,69	66,20	0,00	10,99
5	7014	91	22,08	0,70	62,62	0,00	14,60
6	7013	77	19,38	0,80	70,94	0,00	8,89
7	7013	84	18,49	0,88	73,95	6,68	0,00

	Пробы	Зерна	MgTiO ₃	MnTiO ₃	FeTiO ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
8	7001	227	18,15	1,37	72,34	8,14	0,00
9	7013	74	17,36	0,88	74,41	0,00	7,35
10	7013	80	9,30	2,06	80,73	0,00	7,91
11	7013	79	5,28	39,73	48,45	0,00	6,55
12	7002	237	5,36	1,29	78,28	15,06	0,00
13	7011	23	5,39	0,50	70,06	24,05	0,00
14	7003		4,90	0,49	66,68	27,93	0,00
15	7013	82	5,23	2,58	80,76	0,00	11,43
16	7013	83	4,18	4,75	79,61	0,00	11,46
17	7014	92	3,42	1,49	69,55	0,00	25,54
18	7011	29	2,85	0,89	65,67	30,60	0,00
19	7011	20	2,77	0,27	73,23	23,72	0,00
20	7014	96	2,10	9,41	88,49	0,00	0,00
21	7010	11	1,80	5,69	79,18	0,00	13,33
22	7012	73	1,50	5,18	77,55	0,00	15,77
23	7011	18	1,57	0,80	70,94	26,69	0,00
24	7011	17	1,30	0,96	67,81	29,93	0,00
25	7011	32	1,20	0,72	66,98	31,10	0,00
26	7011	15	1,16	0,92	76,33	21,59	0,00

Итак, одна из особенностей ильменита кимберлитового генезиса — повышенное содержание гематитовой компоненты. Ильмениты из кимберлитов Якутии в полной мере ее отражают, обнаруживая самые высокие известные для минерала значения Fe₂O₃, даже в сравнении с ильменитами кимберлитов Африки и США. Максимальное содержание Fe₂O₃ установленное в ильмените трубки им. XXIII съезда КПСС, составляет 26,7 мол. % [17]. Как и компоненты MgTiO₃ и FeTiO₃, гематитовая составляющая в ильменитах якутских кимберлитов испытывает колебания в диапазоне 0—27 мол. %, кимберлитов Западной Африки и Лесото — 0—20 мол. %, кимберлитов Эллиот Каунти (США) — не более 10 мол. % [17]. Полагают, повышенная растворимость Fe₂O₃ в ильмените из кимберлитов — результат высокой температуры образования, а отсутствие структур распада в нем объясняется закалкой твердого раствора при быстром подъеме магмы. Гомогенность ильменита с высоким содержанием Fe₂O₃ цитированные авторы объясняют резким перепадом давлений.

Разное соотношение ионов железа в ильменитах определяет различие в их магнитности: ферримагнитные свойства характерны для разностей с содержанием Fe₂O₃ > 10 мол. %, парамагнитные — для разностей с содержанием компоненты < 10 мол. % [1].

Данные о составе ильменита из кимберлитов показывают, что присутствие в нем Fe³⁺ обусловлено изоморфным замещением по схеме: (Mg²⁺–Fe²⁺) + Ti⁴⁺ = 2Fe³⁺. Это проявляется в закономерном возрастании роли Fe₂O₃ с уменьшением значений MgO и в отрицательной корреляции между общим железом и TiO₂, что нашло отражение и в ильменитах нашей выборки (рис. 15). Общую картину

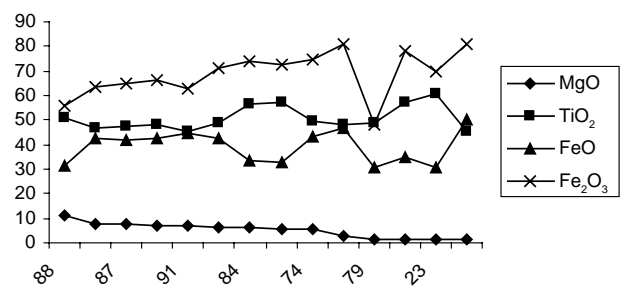


Рис. 15. Характер корреляционных связей химических компонентов в пикроильменитах проб, отобранных из осадочного чехла Воронежской антеклизы. По горизонтальной оси размещены данные для зерен 23 — проба 7011 (сеноман Бондарево, Острогжский район), 74, 79, 84—7013 (готерив Ренёвки, Становлянский район), 87, 88, 91—7014 (апт Чёлкино, Становлянский район). По вертикальной оси — содержания химических компонентов, %.

на графике соотношения химических компонентов искажает лишь зерно манганоильменита (№ 79 пробы 7013), в котором доля MnO составляет 18 %, доля Fe_2O_3 резко снижается. В целом в изученных ильменитах доля гематитовой составляющей варьирует от 0 до 25,54 %. Максимальное значение

отмечено в зерне № 92 пробы 7014 (апт Челкино Липецкой области) при содержании гейкилитовой компоненты 3,42 %.

Распределение ильменитов с разной долей гематитовой компоненты в зависимости от соотношения с MgO и TiO_2 показано на рис. 16.

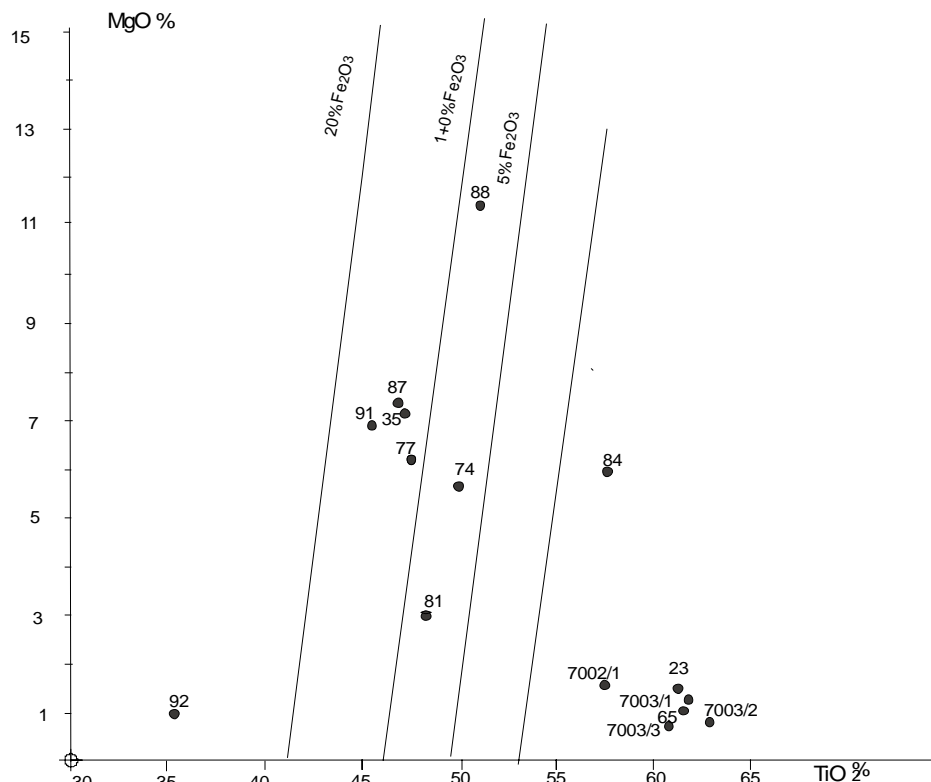


Рис.7 Соотношение ильменитов с разным кол-вом гематитовой компоненты

Рис. 16. Распределение гематитовой компоненты в зависимости от соотношения MgO и TiO_2 . Нумерацию зерен ильменитов см. на рис. 8.

По рис. 16 видно, зерна с гематитовой компонентой < 5 % предпочтительно оказывается в зоне с содержанием $TiO_2 > 57$ %, хотя в целом разброс этих соотношений широк.

Известно, насколько большое значение придается соотношению MgO и Cr_2O_3 в минералах-спутниках алмаза как петрологическому и генетическому индикаторам. На диаграмме рис. 17 показано распределение наших ильменитов по этому показателю.

Составы изученных нами ильменитов большей частью попали в область эклогитов и гранатовых ультрабазитов, но имеются и те, что соответствуют пиропам ультрабазитов и цемента кимберлитовой массы. Примесями, которые влияют на физические свойства ильменита из кимберлитов и несут информацию о генезисе минерала, являются Cr_2O_3 , Al_2O_3 и MnO . Многие исследователи указывают

на присутствие в кимберлитах Якутии ильменита с высокими примесями Cr_2O_3 , достигающими 4 мас. % [1, 16]. В нашей выборке обнаружено зерно именно такого состава с содержанием окиси хрома 4,41 % (проба 7014, зерно 88). В результате обобщения электронно-зондовых анализов выявлено, что содержание хрома в ильмените кимберлитов Якутии варьирует от 0,01 до 8,0 мас. %, в единичных случаях достигая 10,7 мас. % [17]. Причины, приводящие к повышенному растворению Cr_2O_3 в ильмените до сих пор недостаточно ясны. В проанализированных нами пробах пикроильмениты и высокожелезистые ильмениты на порядок различаются содержаниями Al_2O_3 (см. табл. 7) Доля Al_2O_3 в пикроильменитах составляет 0,1—0,9 %, а в высокожелезистых и низкомарганцевистых разностях глинозема сотые доли процента.

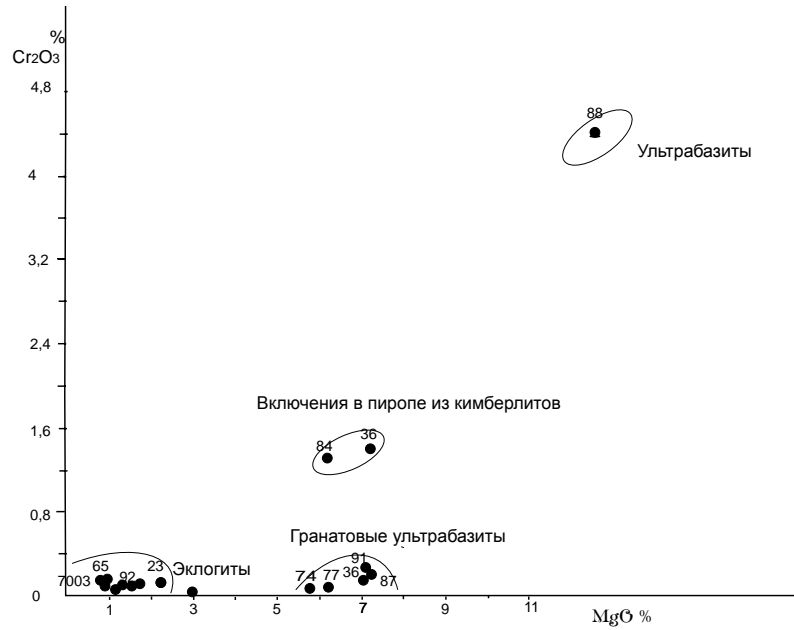


Рис. 17. Распределение ильменитов из новых проб по соотношению MgO и Cr_2O_3 на генетической диаграмме, составленной по [16]. Зерна 37 и 36 — из пробы 7004 (основание палеогена Дурово, Рыльский район), 74, 77, 81 — пробы 7013 (готерив, с. Ренёвка), 23 — пробы 7011 (сеноман, с. Бондарево, Острогожский район), 65 — проба 7007 (сеноман, п. Свобода под Курском), 92 — проба 7014 (апт Чёлкино, Становлянский район).

Значительная доля ильменитов наших проб принадлежит марганцовистым разновидностям, в которых содержание Mn колеблется в пределах десятых долей процента. Заметно количество и тех, где $MnO > 1\%$, а одно зерно содержит его 18,7%. Такие ильмениты отличаются и повышенным содержанием Al , хотя линейной корреляции между компонентами нет. Обычно содержания MnO в ильменитах из якутских кимберлитов невысокие (0,01—0,3 мас. %), но иногда ее может быть до 4,2 мас. %. Выделения такого ильменита встречены в трубках Спутник и Интернациональная. Ильменит подобного состава описан в дистеновом эклогите из трубки Сытыканская [1, 17]. Повышенными примесями марганца (2,12—4,06 мас. %) отличается одна из разновидностей микрокристаллического ильменита из связующей массы кимберлитов Средне- и Нижнекуонамского полей [1]. В трубке Удачная-Западная в ассоциации с армолокситом, ульвашипинелью и самородным железом обнаружен высокомарганцовистый ильменит необычного состава (19,9 мас. % MnO) [1, 17]. Близкий ильменит встречен в ассоциации с самородным железом и в трубке Амакинская-Южная. Ильменит с повышенными и высокими примесями MnO отличается пониженными содержаниями MgO и Fe_2O_3 . Подобное зерно обнаружено и нами (№ 79 из пробы 7013, готерив Реневки). Отметим присутствие в этой пробе шариков магнитного криококонита, возможно-

го аналога самородного железа якутских ассоциаций ильменитов с самородным железом.

Марганец в ильмените из кимберлитов явно играет более значительную роль, чем было принято считать до недавнего времени. Находки ильменита с содержаниями MnO до 9,3 мас. % описаны в кимберлитовых трубках ЮАР, Лесото и США. При этом образование марганцовистого ильменита там связывают со вторичными процессами [1, 17]. Распределение фигуративных точек наших ильменитов с примесями показано на трехкомпонентной диаграмме (рис. 18).

Из нее видно, что отдельная группа марганцовистых ильменитов бедна примесями (глиноземом и хромом) и фигуративные точки ее сосредоточены в верхней части диаграммы. Другая же группа более рассредоточена вдоль средней части линии $MnO - Al_2O_3$, и именно ильмениты этой группы отличаются повышенным содержанием окиси хрома.

2.4. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ХРОМШПИНЕЛИДОВ

Доля хромшпинелидов в тяжелой фракции изученных проб невелика по сравнению с ильменитами, они отличаются и более мелкими размерами. Зерна представлены субидiomорфными кристаллами октаэдрического габитуса. Всего проанализировано 16 зерен, химические составы которых приведены в табл. 9.

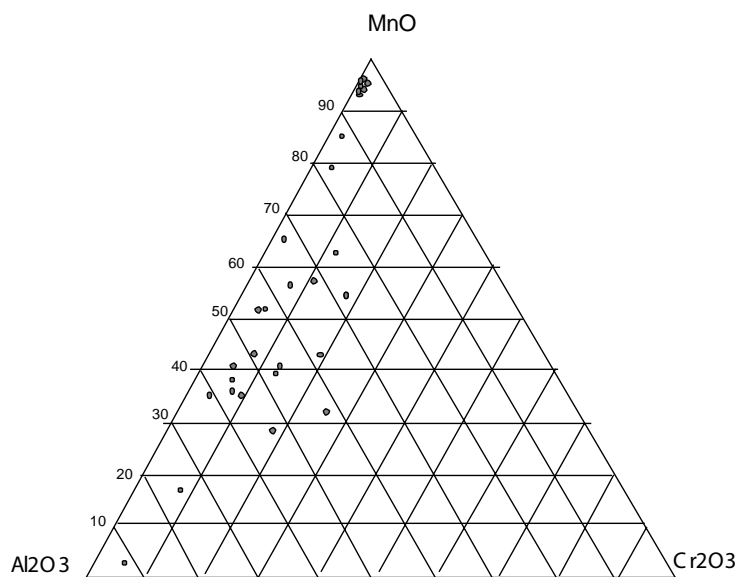


Рис. 18. Распределение компонентов примесей в ильменитах новых проб из меловых и палеогеновых отложений Воронежской антеклизы.

Таблица 9

Химические составы хромшпинелидов из новых проб, характеризующих меловые и палеогеновые отложения Воронежской антеклизы

Проба	Зерна	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	SiO ₂	V ₂ O ₃	NiO	Сумма
7005	55	10,43	15,9	0,39	50,95	17,82	0,34				95,84
7004	41	4,44	15,96	0,41	48,36	29,33	0,46				98,96
7008	70	17,16	21,17	0,55	45,82	14,42	0,21				99,33
7011	30	17,36	21,85	0,68	45,08	14,24	0,22				99,42
7005	6	8,53	14,82	0,25	44,18	28,46	0,43				98,64
7011	26	17,79	24,92	0,54	42,04	14,45	0,18				99,92
7003	254	15,33	21,84	0,65	41,14	18,4	0,2	0,22	0,17	0,2	98,15
7011	24	17,34	25,76	0,68	40,61	15,61	0,18				100,18
7011	28	16,69	24,95	0,6	40,48	16,84	0,22				99,78
7011	31	18,1	25,62	0,62	40,43	14,08	0,2				99,08
7003	256	12,69	23,26	0,71	36,87	24,67	0,26	0,17	0,21	0,17	99,01
7001	253	14,09	5,02	5,61	36,45	35,75	0,24	0,15	0,1	0,25	97,65
7003	255	10,01	5,74	6,55	34,8	39,02	0,25	0,13	0,23	0,27	97,1
7003	230	17,2	35,89	0,27	29,98	14,48	0,17	0,23	0,17	0,32	98,76
7001	252	7,38	8,06	6,37	24,52	50,87	0,28	0,16	0,5	0,31	98,45

Как видно из таблицы 9, в хромшпинелидах имеют место широкие вариации состава по всем компонентам, в том числе и по окиси хрома, результаты изучения которых отражены на диаграммах рис. 19 и 20.

Основные компоненты наших хромшпинелидов — хром, железо и алюминий; титан играет подчиненную роль. В них (см. рис. 19, 20) имеет место прямая корреляция между содержаниями железа и титана, магния и алюминия (при ее отсутствии между хромом и прочими компонентами). Все это признаки сложного гетеровалентного изо-

морфизма. Хромшпинелиды хорошие индикаторы фаций глубинности ультраосновных пород. На рис. 21 показано положение составов хромшпинелидов на фациальной диаграмме. Составы хромшпинелидов наших образцов оказались распределенными в областях всех фаций глубинности, но ни один не попал в поле алмаз-хромпиропов. Что это означает?

Для хорошо изученных кимберлитов ЯАП выявлен ряд типохимических особенностей хромшпинелидов [17]. Они характеризуются широкими вариациями по составу компонентов, но в них

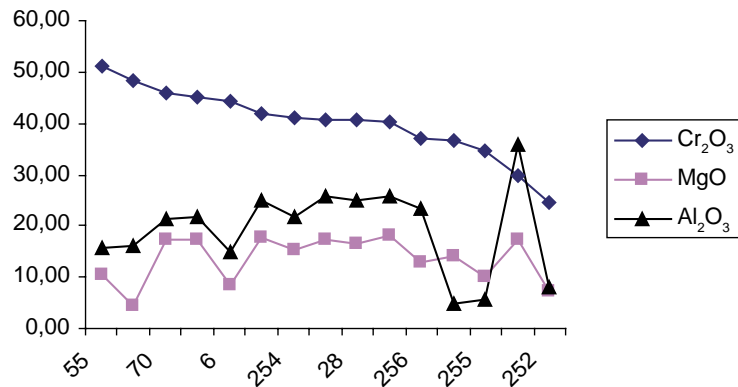


Рис. 19. Соотношение содержаний Cr₂O₃, MgO, Al₂O₃ в хромшпинелидах новых местонахождений

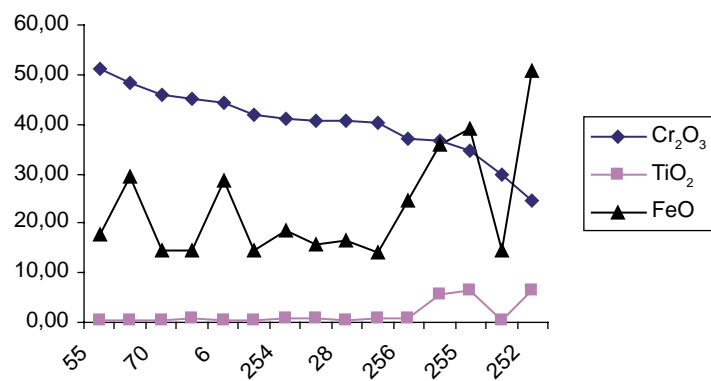


Рис. 20. Соотношение Cr₂O₃, TiO₂, FeO в хромшпинелидах новых местонахождений.

обязательно присутствие в переменном количестве хромита алмазной ассоциации (с содержанием Cr₂O₃ не менее 62 %). Такие хромиты пока не встречены в промежуточных коллекторах менее перспективной Анабаро-Оленекской области. В кимберлитах ЯАП от центральных к северным районам возрастает количество малоглубинных шпинелевых лерцолитов. Среди наших образцов не оказалось разностей минерала со столь высокими содержаниями Cr₂O₃ (максимальное содержание 50,95 %, проба 7005 из основания палеогена с. Пузачи Белгородской области, зерно 55).

Хромшпинелидсодержащие ксенолиты в кимберлитах делятся на две группы [17]: 1 — ультрабазиты с минералогическими разновидностями хромшпинель-гранатовые, катаклазированные хромшпинель-гранатовые дуниты, алькремиты, гранатизированные хромшпинелевые, безгранатовые хромшпинелевые; 2 — базит-ультрабазиты, в т.ч. шпинель-гранатовые пироксениты, порфирированные шпинель-гранатовые пироксениты, гранатизированные шпинелевые пироксениты, безгранатовые шпинелевые пироксениты. Перечислен-

ные минеральные парагенезисы отвечают широкому интервалу РТ-условий равновесия.

Из ксенолитов хромшпинель-гранатовых ультрабазитов алмазоносными являются магниезильные оливиновые разности с малым содержанием граната и шпинели. В гранате из этих пород 5,5–14,1 % Cr₂O₃, в хромите — > 62 % Cr₂O₃, 3,6–7,5 % Al₂O₃ и 0,02–0,5 % TiO₂. Однако в трубке Айхал в ассоциации с таким хромитом обнаружен и умеренно хромистый гранат, наиболее распространенный в лерцолитах (3,7–4,6 % Cr₂O₃, 5,8–6,7 % CaO). В кимберлитовых трубках встречены ксенолиты с менее хромистыми и более глиноземистыми хромшпинелидами. Они отнесены к коэситовой субфации и считаются потенциально алмазоносными. Такие шпинелиды имеются в проанализированной нами серии (зерно 55, проба 7005, основание палеогена в с. Пузачи Белгородской области). Хромшпинелиды из безгранатовых алмазодержащих ультрабазитов обладают свойствами хромита из включений в алмазе. Однако, например, в трубке Айхал встречаются ксенолиты со шпинелидами из пород практически всех фаций и субфаций глу-

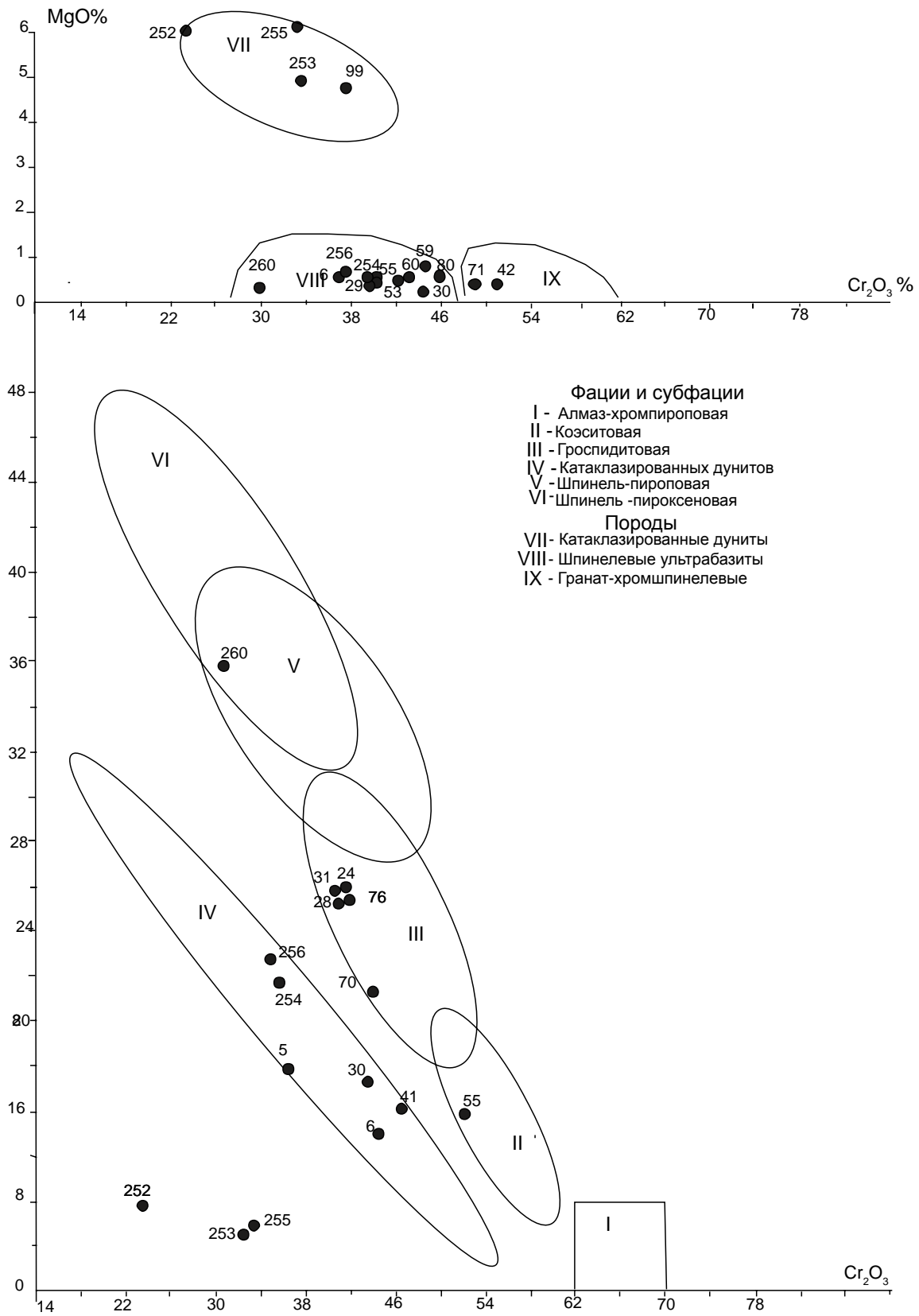


Рис. 21. Положение хромшпинелидов вновь обнаруженных проявлений на фациальной диаграмме глубинности материнских пород. Поля фаций и субфаций: I — алмаз-хромпироповая, II — коэситовая, III — гроспидитовая, IV — катаклазированных дунитов, V — шпинель-пироповая, VI — шпинель-пироксеновая

бинности. Хромшпинелиды наиболее глубинных фаций представлены октаэдрами, осложненными вициналями, кристаллами неправильной формы. Таким образом, в алмазоносных трубках, хотя и наблюдаются ксенолиты с хромитами разного состава, но все же характерно повышенное количество высокохромистых разностей.

Среди базит-ультрабазитовых ксенолитов в кимберлитах алмазосодержащих разностей не установлено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

При интерпретации выявленных особенностей химизма пиропов и других спутников алмаза нами использована типологическая методика В.С. Соболева [11], Н.В. Соболева [12—16], А.Д. Харьквива с соавторами [17], В.К. Гаранина [1] и других исследователей. Она основана на моделировании обстановок минералообразования по геохимическим критериям, модуль-индикаторным соотношениям химических компонентов в минералах-спутниках. Можно утверждать: сформулированные закономерности носят статистический характер, отчего стоит избегать категоричных выводов, основываясь на применении столь тонких инструментов. Это касается как исследования высокобарических минералов промежуточных коллекторов, так и первичных механических и химических ореолов рассеивания. Выход из ситуации один — больше опираться на статистику, выявление общего тренда, индивидуальные подходы к исследованию объектов, перспективы которых обозначились по комплексу прямых и косвенных признаков.

Пиропы по праву считаются одними из наиболее информативных в алмазописковой практике минералов, хотя бы потому, что сравнительно легко узнаваемы, чего не скажешь о пикроильменитах или хромитах, которые в массе близких по облику, но иных по генезису минералов визуальнo практически не распознаются. Впрочем, существует обширная группа глубинных пород, содержащих пиропы, и — не алмазоносных. На начальных этапах изучения минералогии кимберлитов ожидалось, что непосредственно алмазоносные материнские породы будут обладать четкими и однозначными минералого-геохимическими критериями алмазообразования. Однако методика прогноза так и не стала более простой и однозначной. Оказалось, что алмаз, хотя и является продуктом стрессовых обстановок, но последние далеко не однотипны. Даже среди классических трубок взрыва, связанных с проявлениями щелочного ультраосновного

основного магматизма, не оказалось единства — помимо кимберлитов были выявлены и лампроиты. В пределах однотипных месторождений, даже одних и тех же продуктивных диатрем уживаются ксенолиты пород разной глубинности, содержащих минералы-спутники с собственными геохимическими особенностями (например, пиропы Э- и У-типов [12]). Типы принадлежат геологическим формациям с разными перспективами алмазоносности.

Работы Н.В. Соболева и др. исследователей убеждают: реальные минерально-геохимические ассоциации не только отдельных алмазоносных провинций, но и даже отдельных рудных тел чрезвычайно вариабельны. Но особенно неожиданными кажутся результаты изучения химизма спутников алмаза, выделенных из внешних зон крупных алмазов [15]. Казалось бы — это предел сужения предмета исследования. Крупные алмазы — редкие находки. Были сопоставлены геохимические модули хромистости и магнезиальности хромитов — включений из внешних зон крупных алмазов и хромитов алмазоносных перидотитовых ксенолитов трубки Удачная, включений хромита из более мелких алмазов [15]. Оказалось, фигуративные точки включений из крупных алмазов разбросаны по всему полю диаграммы, а для хромитов из мелких алмазов и перидотитов они сконцентрированы в очень узкой области! Но разве не логичнее было ожидать обратного? Крупные алмазы встречаются значительно реже мелких и вероятность захвата ими минеральных ксенолитов разных парагенезисов меньше. Может быть, эти включения не ксеногенные, а сингенетичные алмазу? Единственное правдоподобное объяснение феномену — длительность, неравновесность условий кристаллизации крупных алмазов.

Итак, при геохимических исследованиях в сложившейся ситуации важно применять статистические методы, набирать возможно более валидную статистическую основу. Спутники алмазов принадлежат высокобарическим минералам с широкими вариациями изоморфных смесей, способных давать структуры распада. Применяемый для изучения минеральных объектов микрозондовый анализ потому и получил название, что отличается чрезвычайной локальностью. Между тем, зерна спутников даже в сотые доли мм могут оказаться весьма неоднородными по распределению химических компонентов. Следовательно, важно знать саму природу объекта, его структуру, возможный разброс значений того или иного геохимичес-

кого параметра, статистическую значимость различий между парагенезисами. В свете изложенных обстоятельств не следует переоценивать достоверность тонких геохимических реконструкций и разного рода «генетических» диаграмм, если и не сопровождается хорошая статистика. Вот очень показательная фраза из работы Н.В. Соболева с соавторами [13]: «Интересной закономерностью выявленной для крупных алмазов из трех изученных трубок (Мир, Удачная, Айхал), является резкое повышение роли Э-типа парагенезиса, практически на порядок, по сравнению с алмазами мелкого класса». Но раз это так, то насколько методологически обосновано выделение У- и Э-типов, если включения даже в крупных алмазах одних и тех же месторождений попадают в контрастные парагенезисы — ультраосновных пород и эклогитов? Что дает выделение этих парагенезисов для прогноза и моделирования обстановок генезиса алмаза?

Подводя итоги настоящему обсуждению, сделаем, наконец, и осторожные, предварительные выводы, касающиеся результатов изучения опорных проб 7001—7014. 1. Высокобарические минералы, присутствующие в промежуточных коллекторах Воронежской антеклизы, судя по типоморфным признакам, действительно происходят из коренных алмазосодержащих пород, тем более, что в шлихах алмаз их периодически сопровождает. Следовательно, обнаружение минералов охарактеризованной выше ассоциации должно рассматриваться в условиях Воронежской антеклизы как прямой поисковый признак при прогнозных построениях.

2. В ассоциации высокобарических минералов, присутствующей в осадочных толщах мела и палеогена региона, количественно доминируют пиропы, особенно умеренно хромистые разновидности, характерные для лерцолитов (их количественно больше и в ксенолитах алмазосодержащих кимберлитов). Среди пиропов Воронежской антеклизы встречаются разновидности, составы которых **идентичны пиропам алмазосодержащих гарцбургит-дунитов**, а также те, что характерны для **включений из алмазов ультрабазитовых ассоциаций**. Близки по составу к гранатам Э-типа алмазосодержащей ассоциации пироп-альмандины, которые также широко представлены в изученных пробах.

3. Обильно представлены ильмениты с широкими вариациями химического состава. Среди них имеются разновидности, которые принадлежат **пикроильменитам**. На генетических диаграммах они попали в область эклогитов и гранатовых ультра-

базитов, но имеются и те, которые соответствуют ильменитам ультрабазитов и ильменитам из цемента кимберлитовой массы. Содержание хрома в ильмените кимберлитов Якутии варьирует в широких пределах, в единичных случаях достигая 4 мас. %. **В нашей выборке обнаружено зерно именно такого состава, с содержанием окиси хрома 4,41 %.**

4. Хромшпинелиды более редкие минералы в изученных пробах по сравнению с гранатом и ильменитом, но и среди их зерен встречаются разновидности с составом, отвечающим **коэситовой** субфации глубинности, которая считается **потенциально алмазосодержащей**.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. М.: МГУ, 1984. — 240 с.
2. Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М., Наука, 1979. — 275.
3. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В. Ассоциации минералов-индикаторов алмазосодержащих осадочных чехлов Воронежской антеклизы // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж, ВГУ, 2001. — С. 423—433.
4. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В. О проблеме промежуточных коллекторов в Южно-Русской алмазосодержащей субпровинции // Проблемы литологии, минералогии и стратиграфии осадочных образований Воронежской антеклизы. Воронеж, ВГУ, Труды НИИ геологии, 2002. Вып. 11. — С. 5—16.
5. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Максимов В.М. Тектонические и фациальные критерии оценки перспектив алмазосодержащих юга Восточно-Европейской платформы // Алмазы и алмазосодержащие Тимано-Уральского региона. Сыктывкар, 2001. — С. 131—133.
6. Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Новый взгляд на роль авлакогенеза в формировании алмазосодержащих магматитов // Вестник Воронежского университета, сер. геол., 2002, № 13. — С. 7—18.
7. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В. О типоморфизме и коренных источниках алмазов нижнемелового (аптского) коллектора Воронежской антеклизы // Проблемы литологии, минералогии и стратиграфии осадочных образований Воронежской антеклизы. Воронеж, ВГУ, Труды НИИ геологии, 2002. Вып. 11. — С. 64—73.
8. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В. Кимберлиты и родственные им породы в нижнемеловом коллекторе осадочного чехла Воронежского университета // Вестник Воронежского ун-та, серия геол., 2003, № 1. — С. 48—57.
9. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В. Новые данные о минералах-спутниках алмаза в осадочных породах Россошанского массива, юго-восток Воронежской антеклизы // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века, Воронеж, ВГУ, 2003. — С. 249—252.

10. *Соболев В.С.* Классификация глубинных ксенолитов и типы верхней мантии // Геология и геофизика. — 1972. — № 12. — С. 37—42.
11. *Соболев В.С.* Парагенетические типы гранатов М., Недра, 1964. — 215 с.
12. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск: Наука, 1974. — 264 с.
13. *Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Усова Л.В.* Эклогитовый парагенезис алмазов кимберлитовой трубки «Мир» // Мантийные ксенолиты и проблема ультраосновных магм. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 4—16.
14. *Соболев Н.В., Тайлор Л.А., Зуев В.М., Белобородов С.М., Свайдер Г.А., Соболев В.Н., Ефимова Э.С.* Особенности эклогитового парагенезиса алмазов кимберлитовых трубок Мир и Удачная (Якутии). Мирный, 1998. — С. 1667—1678.
15. *Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Логвинова А.М., Суходольская О.В., Солодова Ю.П.* Распространенность и состав минеральных включений в крупных алмазах Якутии // ДАН, т. 376, № 3, 2001. — С. 382—386
16. *Соболев Н.В.* О минералогических критериях алмазности II Геол. и геофизика. — 1971. № 3. — С. 70—80.
17. *Харькив А.Д., Квасница В.Н., Сафронов А.Ф., Зинчук Н.Н.* Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. Киев. Наукова Думка, 1989. — 181 с.
18. *Чашка А.И., Смирнов А.И., Букин Ю.Г., Юрьева А.Л., Фисунова Л.Н.* Изучение продуктивности песков Воронежской области на высокобарическое минеральное сырье. Отчет НПАП «Недра», Симферополь, 2000. — 30 с.
19. *Чашка А.И.* Типоморфные особенности мелких алмазов терригенных комплексов пород и их использование при прогнозировании и поисках коренных источников. Отчет Крымского отделения УГГИ, Симферополь, 2001. — 34 с.
20. *Чашка А.И., Полканов Ю.А., Рыков К.Е., Юрьева А.Д.* Изучение потенциальной продуктивности песков Воронежской области для оценки их на высокобарическое минеральное сырье. Отчет по договору 29/1 с ФГУНПП «Аэрогеология». Симферополь, 2002. — 69 с.
21. *Чашка А.И.* К вопросу о перспективах коренной алмазности Украины // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж, ВГУ, 2003. — С. 173—176.
22. *Чашка А.И.* Роль и задачи шлихо-минералогического и геолого-геохимического опробования в поисках алмазных месторождений в Украине на современном этапе // Перспективи алмазності території України. Київ, УкрДГРІ, 2004. — С. 65—73.
23. *Чашка А.И., Козырь Н.А., Стрекозов С.Н., Лацько В.Г.* Особенности вещественного состава и некоторые вопросы петрологии кимберлитов Новоласпинского узла Приазовья // Прогнозирование и поиски коренных и россыпных алмазных месторождений. Мат. 2-ой Межд. научн. конф., 20-26 сент. 2004 г. Киев, УкрГГРИ, 2006. — С. 115—126.

Поступила в редакцию 20.11.06 г.