

А.Г.Бушев, Ю.А.Поленов, Г.Д.Аеров

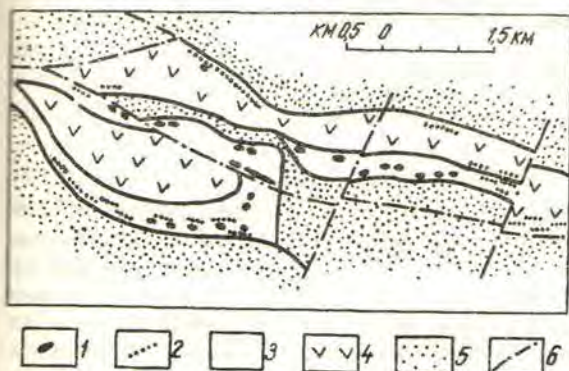
НОВЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЮВЕЛИРНОГО И ПОДЕЛОЧНОГО ЖАДЕИТА

Детальное изучение внутреннего строения жадеитоносных тел, минералов и минерально-генетических ассоциаций, развитых на месторождениях Казахстана, позволило выявить ряд новых перспективных параметров для оценки качества ювелирно-поделочного и ювелирного жадеита.

Эти оценочные параметры существенно дополняют поисковые критерии, ранее сформулированные Е.Я.Киевленко [4], Н.А.Добрецовым [2], А.Ф.Свириденко и др. [6] и В.Н. Москалевой [5].

Изученные месторождения приурочены к Кентерлаусскому гипербазитовому массиву герцинского возраста. Массив представляет собой пластовую интрузию длиной 30 км и шириной 15 км, вытянутую в субширотном направлении. Продуктивные участки располагаются в его западной части, которая наиболее эродирована, что подтверждается наличием в массиве ксенолитов и близостью к контакту. Первичные породы массива представлены дунитами, перидотитами и пироксенитами, которые в значительной степени или нацело серпентинизированы. Мощность зоны антигоритизации в основном составляет 100-150 м, причем до глубины 40-50 м первичные породы серпентинизированы почти полностью.

Жадеитовые месторождения генетически связаны с дайково-жильным комплексом, который включает дайки и жилы плагиигранитов, пегматитов, пневматолитов, альбититов и гидротермальные цеолитсодержащие жилы (рис.1). Продуктивными на ювелирный и ювелирно-поделочный жадеит являются только пегматиты и пневматолиты (альбититы).



Дайково-жильный комплекс в массиве образует несколько субпараллельных зон, вытянутых в субширотном направлении, но одиночные тела отмечаются вне пределов этой зоны.

Промышленно-жадеитоносные тела, где отмечаются ювелирный и ювелирно-поделочный жадеит, занимают вполне определенное положение в структуре дайкового комплекса. Это связано с достаточно четкой их зональностью. Для них характерна зональность по простирацию, где тела плагиигранитов сменяются пегматитами, затем пневматолитами, и на окончании жильной зоны развиты цеолитсодержащие гидротермальные жилы. Зональность достаточно четко выражена также вкост простираия массива. На северном контакте массива широко развиты плагииграниты и пегматиты, которые на южном контакте сменяются зоной, где резко преобладают пневматолиты (альбититы) и пегматиты. В южной зоне отмечаются также пегматитовые тела с кварцевыми ядрами, но без жадеита.

Отсутствие пересечений между разными жильными образованиями дайкового комплекса и закономерная смена тел разного состава по мере удаления от тел плагиигранитов свидетельствуют о преимущественно термальной причине зональности поля, где породы магматического генезиса сменяются на гидротермальные низкотемпературные жилы.

В структуре дайкового комплекса жадеитоносные пегматиты и альбититы занимают среднее положение между плагиигранитами и гидротермальными жилами.

Морфология тел дайково-жильного комплекса очень разнообразная. Здесь развиты тела жильной, дайкообразной, трубообразной, изометричной, линзовидной и четковидной формы (рис.2). Продуктивность жил разных морфогенетических типов отличается. Наиболее продуктивны на месторождении тела жильной формы, которые генетически связаны со сбросо-сдвигами и взбросо-сдвигами. Длина их достигает 200-400 м при мощности 10-30 м. Некоторые из них прослежены на глубину свыше 100 м. Наибольшей продуктивностью характеризуются жилы четковидного строения.

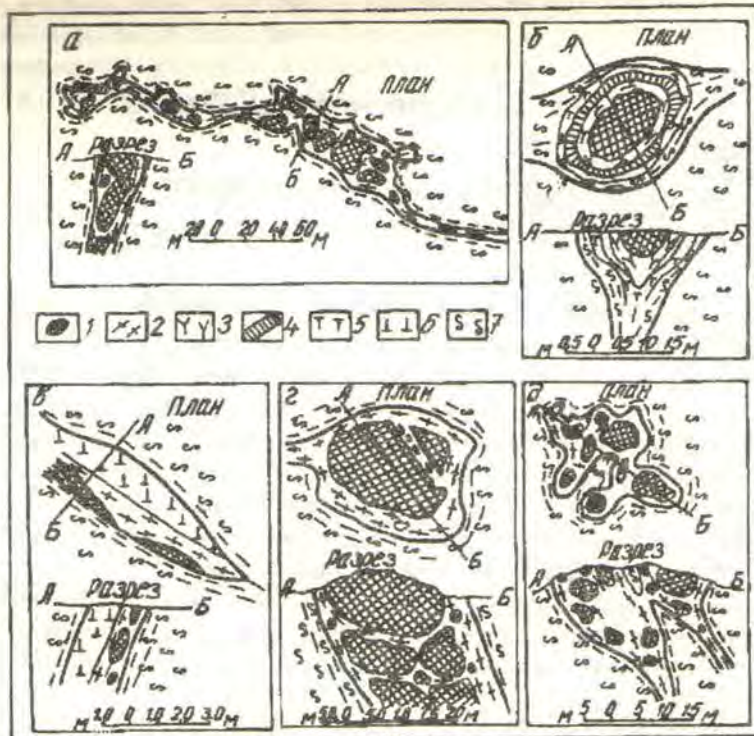


Рис. 2. Морфологические типы жадеитоносных тел:
 а - жиллообразный сложный; б - линзовидный; в - жиллообразный простой; г - трубообразный; д - неправильный;

1 - жадеит; 2 - глиноподобные породы тальк-хлорит-вермикулит-амфибол-альбитового состава; 3 - актинолит; 4 - хризотил-асбест; 5 - диопсид; 6 - тальк; 7 - серпентиниты

Реже на месторождении встречаются тела трубообразной и изометричной формы, которые были выявлены в центральной и южной части массива. Размеры их в плане невелики - 3-5 м, и на глубину они были прослежены до 5-10 м. В плане тела имеют округлые или слегка овальные очертания, которые не обнаруживают какой-либо связи с трещинной тектоникой. Изучение их на глубину показало отсутствие проводников или зон повышенной трещиноватости. Эти факты свидетельствуют о формировании таких тел по иному принципу, чем жильных образований. Видимо, они кристаллизовались на месте - в полостях остаточного типа. Жилы этого типа безрудные. В центральной их части развито кварцевое ядро вместо ядра жадеитового состава.

Внутреннее строение промышленно-жадеитоносных тел характеризуется четко выраженной зональностью, что отличает их от непродуктивных жил. Для непродуктивных и малопродуктивных пегматитовых тел характерно развитие на контакте с вмещающими породами зоны аплитовидных пегматитов, которые по составу близки к материнским плагиогранитам (табл. 1). В промышленных жилах внешняя зона может быть представлена кварц-плагиоклазовым эвтектическим пегматитом гипидиоморфнозернистой структуры, а зона аплитовидных пегматитов отсутствует. Минеральный и химический состав эвтектических пегматитов в отличие от аналогичных образований из хрусталеносных, редкометальных и слюдоносных пегматитов очень своеобразный. Они сложены очень кислым плагиоклазом - альбитом N3-6 и кварцем, содержание которого очень невелико и составляет 14-20%. Такой состав плагиоклазовых пегматитов свидетельствует о высоких давлениях и низких температурах их кристаллизации. По альбит-кварц-анортитовому термо-геобарометру они формируются при давлении свыше 10 кбар и температуре 620-640°. Такие резкие отличия в составах кварц-плагиоклазовых пегматитов из жадеитоносных тел могут служить надежным региональным поисковым критерием на жадеитоносность жил. В малопродуктивных жилах количество кварца более высокое - до 29-40%, что отвечает невысоким давлениям - порядка 3-5 кбар и температуре - 640-680°.

Практически во всех пегматитах и альбититах развита зона мономинерального альбита. В альбититах она слагает внешнюю зону, расположенную на контакте с вмещающими породами. В малопродуктивных жилах в альбитовой зоне резко увеличивается количество амфибола или жадеита и она по составу становится амфибол-альбитовой или жадеит-альбитовой.

Таблица 1

Химические и нормативные составы плагиогранитов аплитовидных и кварц-плагиоклазовых эвтектических пород из пегматитов Итмурундинского месторождения

Компо- ненты	Плагиограниты	Аплитовидные пегматиты		Кварц-плагиоклазовый пегматит			
SiO ₂	77.08	77.94	75.62	65.08	68.40	73.90	68.40
TiO ₂	0.03	-	-	0.04	-	0.02	-
Al ₂ O ₃	13.27	12.94	13.51	21.56	20.28	14.78	12.70
Fe ₂ O ₃	1.07	0.74	1.52	1.46	0.07	0.27	2.55
FeO	н.о.	н.о.	-	0.80	0.44	-	-
MnO	-	-	-	0.10	0.03	0.08	0.47
MgO	0.35	-	0.38	0.52	0.35	0.16	1.85
CaO	0.52	0.47	0.35	0.29	0.60	0.82	3.59
Na ₂ O	6.11	6.36	7.64	9.14	8.86	7.61	7.40
K ₂ O	0.29	0.38	-	-	-	0.62	1.60
Li ₂ O	0.001	0.001	-	0.03	-	-	-
Rb ₂ O	0.001	0.001	0.001	-	-	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-
ппп	0.77	-	-	-	-	1.25	1.33
Or	1.7	2.2	-	-	-	3.3	9.5
Ab	51.4	54.0	64.5	81.8	75.5	64.3	56.6
An	2.5	2.5	2.0	1.4	3.1	3.9	-
Q	38.7	38.2	29.3	10.6	14.4	26.3	14.0
Прочие	3.7	1.8	2.0	9.7	6.1	1.1	18.3

Для продуктивных пегматитов и альбититов отмечается развитие альбита N1-4, в то время как в малопродуктивных телах развит альбит N6-9.

В продуктивных жилах мономинеральная альбитовая зона сменяется зоной амфиболов, которая отсутствует в непромышленных жилах. Зона сложена крупнокристаллическими радиально-лучистыми, шестовидными и спутанно-волокнистыми агрегатами амфиболов разного состава. Чаще это кальций-магниевого и щелочные амфиболы (табл.2). Щелочные амфиболы, представленные, главным образом, рихтеритом и сцехеитом, широко развиты в продуктивных жилах и практически отсутствуют в непродуктивных телах. Мощность зоны амфиболов достигает 1-2, при этом во внешней части этой зоны преобладают кальций-магниевого амфиболы, а во внутренней - щелочные. Резкое увеличение щелочности амфиболов в жилах является хорошим поисковым признаком их жадеитовости в целом, что ранее отмечалось рядом исследователей [2,5].

Таблица 2

Химический состав амфиболов Итмурундинского месторождения

Компо- ненты	Кальций-магниевого амфиболы				Щелочные амфиболы				Измененные амфиболы	
SiO ₂	53.46	54.20	53.73	54.80	53.64	57.17	55.86	62.00	42.46	43.05
TiO ₂	0.07	0.12	0.02	-	-	0.05	0.34	0.22	0.37	-
Al ₂ O ₃	4.34	3.10	3.18	2.88	4.18	1.55	3.16	7.28	6.41	1.54
Fe ₂ O ₃	3.48	2.78	2.55	4.26	4.34	1.54	1.01	4.15	5.57	4.27
FeO	3.34	4.58	3.13	0.04	0.03	2.02	2.50	0.34	3.44	3.81
MnO	0.14	0.20	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.26	0.21
MgO	20.24	19.06	19.89	21.27	20.93	20.81	17.80	13.97	27.37	34.91
CaO	7.19	10.01	11.65	9.75	7.85	9.28	2.24	0.71	3.47	0.30
Na ₂ O	3.25	2.90	2.43	2.80	3.68	4.05	7.40	6.20	0.93	0.13
K ₂ O	0.30	-	-	0.63	0.63	0.57	2.40	2.21	0.18	-
Li ₂ O	0.003	0.002	0.002	-	-	-	-	0.009	0.008	-
Rb ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	0.001	-	-
Cs ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0.022	0.020	-	-	-	-	-	0.026	0.020	-
ппп	3.68	2.51	2.79	3.63	4.71	2.56	6.70	2.35	9.03	11.28
Сумма	99.51	99.48	99.49	99.96	99.88	99.50	99.84	99.53	99.52	99.50

Нередко в промышленных объектах Итмурундинского месторождения амфиболы, вследствие более поздней гидротермальной переработки, полностью изменяются, превращаясь в белую структурную глину. Эти структурные глины были детально изучены на дифрактометре ДРОН-2. Состав глин оказался

достаточно сложным. Основная масса ее представлена монтмориллонитом и каолинитом. Кроме этих минералов, в глинах выявлены вермикулит и хлорит. В них отмечаются небольшие обломки неизмененных амфиболов и жадеита. Состав структурной глины может служить поисковым критерием, поскольку глины, которые развиваются в зонах повышенной трещиноватости и тектонических нарушений по серпентинитам, характеризуются иным составом. В них развит хлорит, антигорит, а также в значительном количестве присутствуют кальцит и доломит.

В условиях Итмурундинского месторождения различие в составах глин может служить надежным поисковым критерием.

Центральное место в телах занимает жадеит или кварц. Вместе они практически не встречаются и в значительной степени являются антагонистами. Наличие кварца в жилах является отрицательным признаком на жадеитоносность тел.

Изучение Итмурундинского месторождения, по нашим данным и данным других исследователей [6], показало, что в нем присутствует практически весь спектр изоморфного ряда жадеит - диопсид. Это собственно жадеит, жадеитовый хлормеланит, омфацитовый хлормеланит, омфациит, диопсид - жадеит и хлормеланит. При этом непромышленные разности белой и серой окраски относятся к собственно жадеиту. Окрашенные ювелирные и ювелирно-поделочные разности, как правило, содержат омфацитовую и хлормеланитовую молекулы или реже повышенное количество хрома.

При оценке продуктивности месторождений определяющее значение имеет выход окрашенных разностей жадеита от общей массы жадеита. Трудность оценки заключается в том, что цветные разности часто находятся в глубине кусков или выходят на поверхность небольшой частью. Дробление кусков на мелкие части нецелесообразно, поскольку приводит к снижению выхода с ы р ь я за счет уменьшения размеров полезной площади, а также веса моноблоков.

Не менее важной задачей является автоматизация разбраковки и сортировки руды, поскольку ручная рудоразборка является трудоемким процессом. В этом случае важно жадеит отделить от других минералов. Как показали исследования, наиболее перспективными являются методы, основанные на различии их магнитных и электрических свойств.

Изучение магнитной восприимчивости проводилось по методике, разработанной в ВИМСе [3]. Данные по магнитной восприимчивости (χ) показали значительные отличия породообразующих минералов - полевых шпатов, амфиболов и кварца от жадеита (табл.3). Для жадеита эта величина составляет $0,42-3,86 \cdot 10^{-9}$ м³/кг, в то время как для альбита $-0,02 \cdot 10^{-9}$ м³/кг, кварца $-0,38 \cdot 10^{-9}$ м³/кг и карбонатов $-0,15 \cdot 10^{-9}$ м³/кг. Амфиболы, наоборот, характеризуются более высокими значениями этой величины - от $6,00 \cdot 10^{-9}$ до $34,0 \cdot 10^{-9}$ м³/кг. Ювелирные и ювелирно-поделочные разности жадеита по этой характеристике также четко отличаются от жадеита белой и серой окраски. С увеличением интенсивности цвета от белого через светло-зеленый к темно-зеленому величина $\chi_{\text{шт.}}$ изменяется от 0,42 через 2,50 до $3,86$ м³/кг (табл.3).

Таблица 3

Магнитная восприимчивость минералов жадеитоносных жил

Наименование минералов	$\chi \cdot 10^{-9}$ м ³ /кг при различных Н, кА/м				$\chi_{\text{шт.}} \cdot 10^{-9}$	$\chi_{\text{ср.}} \cdot 10^{-9}$
	438	700	1035	1178		
Альбит	0.346	0.228	0.160	0.144	0.02	
Ca-Mg амфибол	9.48	9.40	9.42	9.45	-	9.45
-»- амфибол	10.5	10.6	10.6	10.6	-	10.6
-»- амфибол	150.0	99.5	73.8	67.0	34.0	
Na-Ca амфибол	8.44	7.44	7.00	6.88	6.0	
Жадеит белый	0.829	0.670	0.564	0.550	0.42	
	0.830	0.670	0.565	0.550	0.42	
	0.580	0.518	0.482	0.470	0.42	
Кварц	- 0.38	- 0.37	- 0.38	- 0.38	-	- 0.38
Кальцит	0.010	- 0.025	- 0.058	- 0.078	- 0.15	
Жадеит ювелирный	2.51	2.53	2.52	2.48	-	2.51
светло-зеленый	2.49	2.47	2.47	2.48	-	2.48
	4.08	3.47	3.09	3.00	2.50	-
Жадеит ювелирно-	3.85	3.85	3.87	3.90	-	3.87
поделочный темно-	3.88	3.84	3.85	3.88	-	3.86
зеленый	4.30	4.15	4.04	4.00	3.86	

Различия в магнитных свойствах минералов могут эффективно использоваться для поисков слепых и скрытых жадеитоносных тел геофизическими методами.

Не менее эффективным является метод, основанный на определении диэлектрических свойств.

Для определения величины диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенциального угла диэлектрических потерь ($\text{tg} \delta$) были разработаны специальная методика и аппаратура [1], которые

позволяют определить их истинные величины, исключив влияние влажности воздуха, капиллярной и трещинной воды и посторонних солевых примесей.

В результате исследований было установлено, что наиболее значительные отличия жадеита от других минералов руд наблюдаются в значениях углов диэлектрических потерь (табл.4). Для альбита, кварца и глины величина не превышает 36,8-57,3 ед., для амфиболов она не снижается ниже величины 430 ед., в то время как жадеит характеризуется значениями величин от 91 до 286,9 ед.

Таблица 4

Диэлектрические свойства минералов жадеитоносных тел

Наименование минералов и ассоциаций	Диэлектрические свойства	
	диэлектрическая проницаемость, угол диэлектрических потерь, tgδ	
Кварц-альбитовая эвтектическая порода	6.04	37.9
Альбит	5.76	51.3
	5.76	57.3
	8.16	539.5
Са-Mg амфиболы	10.26	597.6
	8.51	733.1
	7.91	547.5
	8.08	670.2
Na-Mg амфиболы	4.41	428.5
	4.35	40.0
Кварц	4.71	40.3
Глины	7.10	36.8
Жадеит белый и серый	5.9	98.2
	4.77	91
	6.94	120
	6.04	107.3
Ювелирные и ювелирно-поделочные разности жадеита	7.91	149.1
	7.18	199.0
	7.91	217.8
	7.58	278.1
	8.08	286.1

Жадеит ювелирного и ювелирно-поделочного качества по этому показателю отличается от жадеита, имеющего белую и серую окраску. Значения тангенциального угла диэлектрических потерь в первых колеблются от 150,0 до 290,0 ед., что в 1,5-2 раза ниже показателей для непромышленных разностей. Диэлектрическая проницаемость цветных разностей жадеита составляет 7,2-8,1 ед., что выше по сравнению с белым жадеитом, где эта величина не превышает значений 7,0.

Различия в диэлектрических характеристиках минералов и горных пород позволяют использовать электрофизические методы для поисков слепых жадеитоносных тел.

Рассмотренные в работе новые оценочные параметры позволяют повысить эффективность оценки на ювелирно-поделочный и ювелирный жадеит при проведении геологоразведочных работ на жадеитовых месторождениях, автоматизировать обогащение руд этих месторождений и значительно сократить потери этого редкого и ценного вида сырья на всех стадиях его оценки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берестецкий А.Л., Бушев А.Г. Диэлектрические свойства кварца слюдоносных пегматитов как поисковый критерий их слюдоносности // Прикладные и экологические аспекты минералогии: Тез.докл.год.сессии. Кн. 1. М., 1991. - С.136-137.
2. Добрецов Н.Л., Татаринцов А.В. Жадеиты и нефриты. - Новосибирск: Наука, 1983.
3. Добровольская Н.В. Магнитостатический метод исследования диа- и парамагнитных минералов: Метод.рекомендации /НСОММИ, ВИМС. - М., 1981. - 29 с.
4. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней. - М.: Недра, 1983. - 263 с.
5. Москалева В.Н. К минералогии Прибалхашских жадеитов // Зап.ВМО. - 1962, сер.2, ч.91, вып. 1. - С.38-49.
6. Свириденко А.Ф., Коваленко В.С., Смирнов А.А., Коваленко И.В., Терпиловский Л.Ю. Пороодообразующие и ювелирно-поделочные жадеиты Прибалхашья и Полярного Урала // Минералы и парагенезисы минералов горных пород и руд. - М.: Наука, 1979. - С.100-110.