

М. Е. ЯКОВЛЕВА, Л. С. ПУТОЛОВА

О МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ НЕКОТОРЫХ ЯШМ
И О ПРИЧИНЕ ИХ ОКРАСКИ

В минералогической справочной литературе приведено следующее определение яшмы: «общее название различно окрашенных плотных кремнистых пород, хорошо принимающих полировку. Излом плоскоравновостный, крупноравновостный. Под микроскопом представляет собой агрегат мелких кварцевых зерен, иногда с халцедоном и другими минералами — гематитом, хлоритом и др.» (Минералы, 1965, стр. 192). «... массивная тонкозернистая плотная кварцевая порода с относительно высоким содержанием примесей... Яшмы определяются, скорее, макроскопическим, а не микроскопическим признакам: по окраске, по полной непрозрачности, мутности и преимущественно ровному и гладкому, а не запозистому излому, присутствию большого количества примесей инородного материала... По мере уменьшения содержания пигментирующего вещества яшмы постепенно переходят в просвечивающийся тонкозернистый материал, „носящий различные названия — кремнистый роговик, новакулит и т. д.“» (Дэна и др., 1966, стр. 286—287).

Таким образом, яшмой является окрашенная в различные цвета тонкозернистая плотная порода, обладающая относительно высокой твердостью (6,5—7 по Моосу). Главные минералы в составе яшмы — кварц, халцедон или смесь кварца и халцедона. Окраска яшмы зависит от характера и количества минералов-примесей.

Последние, как отмечают некоторые авторы, могут быть представлены гематитом, окрашивающим породу в красный цвет, гетитом, окрашивающим ее в бурый и желтый цвета, смесью глинистого материала и оксида железа, придающей яшмам белый, желтоватый или серый цвет и фарфоровидный облик (Игумнов, 1960; Chatterjee, 1962; Дэна и др., 1966). Зеленый цвет яшму окрашивают эпидот, хлорит и частично актинозит (Малахов, Надеяев, 1940).

А. Е. Ферсман (1954), классифицируя яшмы по окраске и происхождению, выделяет следующие группы: однородные яшмы, однородные с отдельными пятнами или включениями, полосатые, порфиоровые, пестрые, цветные (ситцевые), брекчий-конгломераты, сфероидальные (копейчатые) и натечные (агатовые) яшмы.

В данной статье изложены результаты исследования однородных по составу и окраске пород. К этой группе А. Е. Ферсман относит красные, розовые, фиолетовые, зеленые, серые и др. Нами подобраны только разновидности зеленого, серого и синего цветов, краткая характеристика которых приведена в табл. 1.

Все перечисленные в табл. 1 образцы были подвергнуты микроскопическому исследованию, спектральному анализу и дифрактоскому

Характеристика исследованных образцов

образец	Месторождение	Цвет	Макроскопические особенности
1	Казахстан, Итмурунды	Зеленый	Однородная
2	Казахстан, Кентерлау	Синий (голубой в порошке)	С пиритом и волосовидными обособлениями кварца
3	Урал, Орск	Светло-зеленый	Слабо выраженная полосчатость
2840	Урал, Николаевск	Зеленовато-синий (светло-зеленый в порошке)	Брекчиевидная
39221	Урал, Орск, Казах-Чихан	Зелено-серый	Однородная
35446	Урал, озеро Калкан, Верхне-Уральский район	Зеленовато-серый	»
35448	То же	Стально-серый	Тонкослоистая
39517	Урал, Муйнаковское, Уччалпский район	То же	То же
5565	Урал, Монетная Дача, Пермская область	Зеленый	Слабо выраженная полосчатость
42005	Алтай, Гольцовский район	Светло-серый	Однородная
66955	Тянь-Шань, р. Отук	Темно-серый	»
41194	В. Сибирь, устье р. Онон	Темно-зеленый	»
3511	В. Сибирь, Нерчинск, Яшмоная Гора	»	»
38931	Армения, Зангезур, с. Шингер	Грязно-зеленый	Пятнистая, в тонких сколах подобная маховику
63991	Крым, гора Кара-Даг	Зеленый	Эффузив с мелкими вкраплениями полевого шпата
3542	Саксония	Темно-зеленый	Однородная

Примечание. Образцы с четырех- и пятизначными номерами принадлежат коллекции Минералогического музея АН СССР.

Для части сделан термический анализ, и только два образца из Казахстана (1 и 2) подвергнуты полному химическому анализу.

Подавляющее количество исследованных образцов обладает очень тонкой зернистостью, поэтому микроскопическое изучение их производилось в очень тонких шлифах и в иммерсии при самом большом увеличении вплоть до применения иммерсионного объектива. Однако при использовании последнего метода в некоторых случаях невозможно однозначно решить вопрос о минеральном составе пород. Спектральные анализы¹ интересны только с точки зрения содержания главных породообразующих элементов, позволяющих ориентировочно судить о составе минералов, которые присутствуют в породе наряду с кварцем (особенно в тех случаях, когда чрезвычайно тонкая зернистость затрудняет их диагностику в шлифах). Большую помощь оказали дифрактограммы² и термограммы³, позволившие окончательно откорректировать результаты микро-

¹ Выполнены в спектральной лаборатории ИГЕМ АН СССР.

² Сняты в МГУ О. Л. Свешниковой и расшифрованы авторами.

³ Выполнены в термографической лаборатории ИГЕМ.

Химические анализы яшм из Казахстана (в вес. %) *

Компоненты	Итмурунды	Кентерлау	Компоненты	Итмурунды	Кентерлау
SiO ₂	70,22	76,38	MgO	3,98	4,50
TiO ₂	Сл.	Сл.	CaO	0,35	0,26
Al ₂ O ₃	13,66	10,72	Na ₂ O	3,83	5,84
Fe ₂ O ₃	1,51	2,15	K ₂ O	2,60	0,28
FeO	1,65	1,28	H ₂ O ⁻	0,23	0,16
MnO	0,04	0,39	H ₂ O ⁺	1,92	0,82
			Сумма	99,99	100,36

* Аналитик Г. А. Осолодкина.

скопического и спектрального анализов. Таким образом, только сочетание перечисленных методов исследования дало возможность решить вопрос о минеральном составе исследованных образцов и о причине окраски.

Более детальному исследованию были подвергнуты образцы из Казахстана: синий из месторождения Кентерлау и зеленый из месторождения Итмурунды. Месторождение Кентерлау представлено линзовидным телом, залегающим среди серпентинитов ультраосновного массива. Месторождение Итмурунды также образует линзовидное тело, но залегающее в зеленых полосчатых спилитах (по данным Ю. Б. Комиссарова и др. 1966 г.). Это очень плотные однородные массивные породы, химические анализы которых приведены в табл. 2.

Результаты пересчета химических анализов на минеральный состав приведены в табл. 3.

Таблица 3
Количественно-минеральный состав пород (в %)

Минералы	Содержание в %	
	Итмурунды	Кентерлау
Кварц-кristобалит (низкотемпературный) . . .	31,2	36,5 (+опал)
Альбит	32,0	43,0
Калиевый полевой шпат	15,5	—
Пеннин *	21,3	—
Глаукофан-рибекит **	—	20,5

* Размер чешуек — 0,003—0,009 мм.

** Размер волокон — до 0,03 мм в длину.

Из обоих химических анализов были вычтены окислы, входящие в состав лейкократовых минералов. Оставшиеся окислы, приведенные к 100%, дают приближенное представление о составе хлорита и щелочной амфибола, а также об их схематических формулах. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Кривые нагревания и гидростатического взвешивания обеих пород приведены на рис. 1 и 2. Эндотермические пики у зеленой разности со-

Химический состав хлорита-пеннина из зеленой породы и щелочного амфибола глаукофан-рибекитового состава из синей породы (в %)

Окислы	Хлорит	Амфибол	Окислы	Хлорит	Амфибол
SiO ₂	33,0	50,2	MgO	18,7	9,1
Al ₂ O ₃	21,6	11,5	CaO	1,6	1,2
Fe ₂ O ₃	7,1	10,5	Na ₂ O	—	5,4
FeO	7,7	6,2	H ₂ O ⁺	9,0	4,0
MnO	0,2	1,9	H ₂ O ⁻	1,1	—

Кристаллохимические формулы:

пеннина — $(Mg_{2,8}Ca_{0,2}Fe_{0,7}^{2+}Fe_{0,5}^{3+}Al_{1,8})_{6,0} [Si_{3,3}Al_{0,7}]_4(O_{11,6}OH_{6,4})_{18}$;

амфибола — $(Na_{1,5}Ca_{0,2}Mn_{0,3})_2(Mg_{2,0}Fe_{0,7}^{2+}Fe_{1,2}^{3+}Al_{1,1})_5[Si_{7,5}Al_{0,7}]_8(O_{22,1}OH_{1,9})_{24}$.

ветствуют пеннину (Иванова, 1949); причем первому пику при 625—650°C отвечает потеря веса около 1,88%, близкая к полученной химическим анализом — 1,92%. Сложнее картина у синей разновидности. Эндотермический пик при 975—995°C соответствует, по-видимому, разложению щелочного амфибола (Куман, 1959). Потеря же веса происходит при 200°C и составляет 2,06%. Химическим анализом была дважды определена потеря при прокаливании, которая не превысила 1,03%. Экзотермические пики при 200°C имеют место у обоих образцов, но у зеленого при этом нет ярко выраженной потери веса, и пик, вероятно, отвечает в основном полиморфному превращению кристобалита. Экзотермический пик и потерю веса у синего образца можно объяснить, кроме полиморфного превращения кристобалита, также и присутствием опала, неравномерно распределенного в породе и вызвавшего повышенную потерю веса при термическом анализе. Отсутствие же потери веса при разложении щелочного амфибола остается без объяснения.

Из изложенной точки зрения о синей и зеленой яшмовидных породах из Казахстана следует, что красящими примесями в них являются щелочной амфибол (в синей) и пеннин (в зеленой). Однако породы эти, макроскопически отнесенные к яшмам, по минеральному составу должны быть названы кварц-полевошпатовыми яшмовидными породами, образовавшимися в очень низкотемпературную стадию метаморфизма, о чем свидетельствуют присутствующие низкотемпературный кристобалит и опал.

Пример классических яшм представляют собой Орские на Южном Урале. Они полностью отвечают тому определению, которое дано в начале статьи, т. е. это в основном кварцевые породы, содержащие какое-то количество примесей. В обр. 3 из этого месторождения содержится, кроме преобладающего кварца, смесь актинолита, пеннина и редко встречающегося эпидота. Светло-зеленый цвет яшмы вызывается преимущественно актинолитом (до 0,06 × 0,006 мм) и пеннином (до 0,03 — 0,04 мм), но не исключено также влияние эпидота.

В обр. 38221 с месторождения Казах-Чихан, кроме кварца, присутствуют в меньшем количестве альбит, доломит; редко встречается магнетит. Зелено-серая окраска яшмы вызывается пумпеллиитом и клиноцоизитом (около 0,009—0,001 мм), равномерно распределенными в породе.

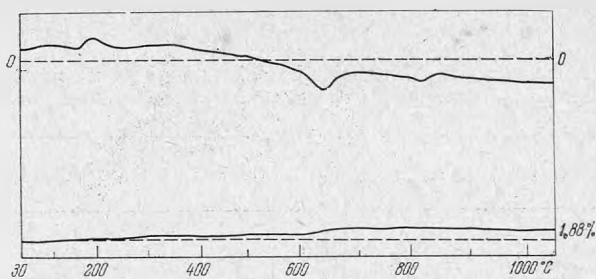


Рис. 1. Кривая нагрева и гидростатического взвешивания зеленой яшмовидной кварц-полевошпатовой породы с месторождения Итмурунды, Казахстан

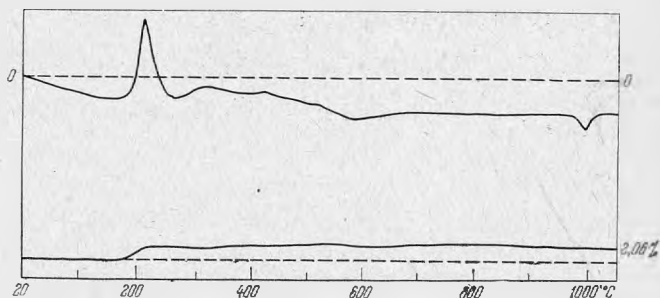


Рис. 2. Кривая нагрева и гидростатического взвешивания синей яшмовидной кварц-полевошпатовой породы с месторождения Кентерлау, Казахстан

Интересна брекчиевидная Николаевская яшма (Урал, № 2840), имеющая зеленовато-синий цвет в большом куске, синевато-зеленый в мелких и светло-зеленый в порошке. В ее составе основным минералом является кварц, подчиненными — альбит, актинолит, сфен и гранат. Зелено-синий цвет яшмы вызывается в основном асбестовидным амфиболом (около $0,06 \times 0,002$ мм), пронизывающим всю массу породы. Химическим анализом в составе яшмы установлено содержание 4,52% Na_2O и 0,33% K_2O . Брекчиевидная текстура вызвана ветвящимися тонкими кварцевыми прожилками и волосовидными скоплениями мельчайших зерен граната и сфена.

Широко известны плотные стально-серого цвета яшмы с озера Калкан Верхнеуральского района. Нами исследованы три образца: два с озера Калкан (№ 35446 и 35448) и один из месторождения Муйнаковского Учалинского района (№ 39517). Образцы 35448 и 39517 очень близки между собой, и это заставляет предполагать, что они принадлежат одному и тому же месторождению, но названы по-разному. По данным А. Е. Ферсмана (1954), яшмы с озера Калкан представляют собой окремненные порфириновые туфы.

Этому определению отвечает обр. 35446, состоящий в основном из тонкозернистого кварца с примесью альбита, серицита (?), хлорита и эпидота. Зеленовато-серый цвет яшмы вызван тонкочешуйчатым хлоритом ($\sim 0,02$ мм). Обломочной структуры не сохранилось. Однако обр. 35448 и 39517 являются альбитизированными, хлоритизированными и актинолитизированными туфами; в их составе нет никаких кристаллических модификаций кремнезема. Чтобы установить, не присутствует ли в них кремнезем в виде опала, был сделан термический анализ с гидростатическим взвешиванием. Полученные кривые (рис. 3) не показывают

потери веса при 200° С. Это свидетельствует о том, что опала в составе описываемых туфов нет. Слабо выраженная эндотермическая остановка при 375° С в обр. 35 448, сопровождаемая слабым скачком потери веса, по-видимому, обязана хлориту, а остановка при 910° С в обр. 39517 — актинолиту.

Процесс низкотемпературного метаморфизма описываемых туфов выразился в образовании тонкозернистой альбит-актинолит-хлоритовой массы; сохранились угловатые и идиоморфные зерна первичного пироксена и присутствует палагонит, развившийся по пироксену, а также четко выделяются равномерно рассеянные округлые, эллипсоидальные и

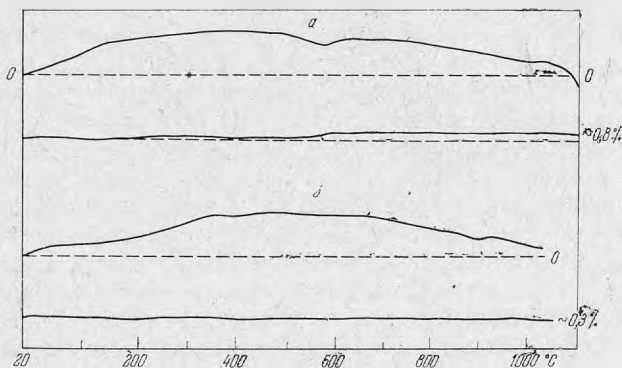


Рис. 3. Кривые нагревания и гидростатического взбухания туфов

а — обр. 35448, озеро Калкан; б — обр. 39517, Муйнакское месторождение

более неправильной формы участки размером до 0,2—0,3 мм, сложенные более крупными зернами альбита с актинолитом или хлоритом и реже пренитом. Породу секут тонкие (до 0,2 мм) альбитовые прожилки. Кристаллизация вторичных минералов сцементировала обломки туфа; при этом образовалась зеленокаменная порода, темно-серый цвет которой обусловлен темноцветными минералами, входящими в ее состав.

Характерны большая плотность и твердость описываемых образцов. Они с трудом чертятся кварцем; следовательно, их суммарная твердость около 6. Твердость альбита 6—6,5, а актинолита 5—6 по Моосу. Таким образом, высокая твердость образцов не противоречит их минеральному составу.

Из изложенного следует, что окремнение порфировых туфов на озере Калкан встречается не повсеместно. Вероятно, одни участки подвергались окремнению, тогда как в других прошли процессы альбитизации и актинолизации. Близкая твердость тех и других позволила использовать в камнерезном деле обе разновидности.

Яшма зеленого цвета с Монетной Дачи на Урале (обр. 5565) сложена кварцем, эпидотом (от 0,03 до 0,003 мм), пумпеллитом (до 0,03 мм) и актинолитом (около 0,03 × 0,003 мм). Темноцветные компоненты широко развиты и даже создается впечатление, что минералы группы эпидота присутствуют в том же количестве, что и кварц. Выделения эпидота иногда имеют форму порфировых образований размером до 0,16 × 0,10 мм. Зеленая окраска яшмы вызвана в основном эпидотом; но, вероятно, оказывает влияние и примесь пумпеллита и актинолита.

Близкие состав и структуру имеет яшма с Гольцовского рудника на Алтае (обр. 42 005). В ее составе основным является кварц; присутствует также альбит, а из темноцветных составных частей — эпидот (~ 0,001 мм)

и актинолит (до $0,03 \times 0,015$ мм), придающие породе светло-серый цвет. Эпидот иногда имеет форму, напоминающую псевдоморфозы по микротрещинам. Таким образом, основываясь на структурных особенностях яшм с Монетной Дачи и с Гольцовского рудника, можно высказать предположение, что они образовались за счет эффузивных пород.

Примером частичного окварцевания эффузива служит обр. 339 с горы Кара-Даг в Крыму, у которого сохранились порфириновые вкрапления лабрадора и авгита, тогда как основная масса полностью замещена главным образом халцедоном и селадонитом с примесью хлорита и калишита. По-видимому, селадонит является основным минералом, придающим породе зеленый цвет.

Выделяется группа яшм темно-зеленого и грязно-зеленого цвета окраска которых вызвана только селадонитом. К этой группе принадлежат: обр. 3511 с Яшмовой горы (Восточная Сибирь) темно-зеленого цвета скрытокристаллической структуры (под микроскопом различимы только редкие чешуйки серицита размером $0,002-0,015$ мм; а по данным рентгена в составе яшмы присутствуют кварц, селадонит и серицит); обр. 1119 с р. Онон (Восточная Сибирь) и обр. 3542 из Саксонии, имеющие темно-зеленый цвет и состоящие из халцедона и тонкоагрегатного селадонита (отдельные чешуйки селадонита достигают сотых долей миллиметра); обр. 38931 из с. Шингер (Армения) грязно-зеленого цвета с буроватыми участками, состоящими из халцедона, радиальнолучистые выделения которого достигают $0,5$ мм в диаметре, скрытокристаллического селадонита, распределенного пятнами, скоплениями копьевидного кальцита и бурого цвета зерен (вероятно, ярозита).

Все описанные образцы отличаются составом и структурой от типичных яшм; причем темно-зеленые разности можно назвать плазмой, а грязно-зеленая является переходной к моховику.

Наконец, обр. 66955 с р. Отку (Тянь-Шань) темно-серого цвета характеризуется тем, что в его составе преобладают кварц (редко достигает $0,009$ мм) и серицит (до $0,03$ мм); небольшую примесь составляют магнетит и буроватые в шлифе комочки (вероятно, органического происхождения); различимы спикеры губок. По составу образец должен быть назван кремнистой породой; серая окраска, вероятно, вызвана органическим веществом, принадлежащим к свободному битуму А, судя по белесой люминесценции хлороформа, которым был обработан порошок (Флоровская, 1949).

Выводы

1. Макроскопическое определение породы как яшма очень условно. Для точной диагностики, кроме микроскопии, в некоторых случаях необходимо применение рентгена, термического и химического анализов. Из 15 исследованных образцов, названных яшмами, 6 образцов не принадлежат к таковым. Это яшмовидные кварц-полевошпатовые породы, частично окварцованный эффузив, альбитизированные и актинолитизированные туфы и кремнистая порода. Кроме того, 3 образца являются скорее плазмой, чем яшмами.

2. Минералами, придающими породам зеленый, зеленовато-серый и серый цвета, являются пеннин, селадонит, эпидот, клиноцоизит, пумпелиит, актинолит. Окрашивающим минералом может быть один из перечисленных: например, пеннин или селадонит; может быть сочетание двух минералов: например, эпидота и актинолита или актинолита и пеннина, а также трех; но при этом может преобладать один минерал, создающий основную тон окраски, тогда как присутствующие в подчиненном количестве другие цветные минералы могут оказывать влияние на характер

основного цвета. Кроме того, на окраску влияют количество и размеры зерен красящих минералов, а также характер распределения их в породе.

3. Синий цвет обусловлен щелочным асбестовидным амфиболом глаукофан-рибекитового состава, а зеленовато-синий асбестовидным актинолитом.

【ЛИТЕРАТУРА

- Дэна Дж. Д., Дэна Э. С., Фрондель К.* Система минералогии, т. III. Минералы кремнезема. Изд-во «Мир», 1966.
- Иванова В. П.* Хлориты.—Труды ИГиН АН СССР, серия петрогр., 1949, вып. 20 (№ 35).
- Игумнов А. Н.* О текстурных особенностях пестроцветной яшмы Южного Урала.—Труды Горно-геол. ин-та Уральского ФАН СССР, 1960, вып. 36, Мин. сб. № 4.
- Куман В. Е.* О некоторых особенностях натрового метасоматоза в Криворожском бассейне.—Докл. АН СССР, 1959, 125, № 5.
- Малатов А. Е., Надельев К. М.* Генетические особенности месторождений Орских пестроцветных ямш.—Труды и материалы Свердловского гор. ин-та, 1940, вып. 6. Минералы, т. II, вып. 2, изд-во «Наука», 1965.
- Ферман А. Е.* Очерки по истории камня, т. 1. Изд-во АН СССР, 1954.
- Фроловская В. Н.* Краткое руководство по люминесцентно-битуминологическому анализу. Гостоптехиздат, 1949.
- Chatterjee A.* Mineragraphy and genesis of jasper associated with the B. H. J. Rocks of Keohjhar distr. Orissa—Sci. and Cult, 1962, 28, N 5.