

## О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ОБЫКНОВЕННОГО И БЛАГОРОДНОГО ОПАЛА

В настоящем сообщении кратко излагаются результаты исследования нескольких образцов опалов из коллекции Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана АН СССР, включающих обыкновенные опалы из месторождений СССР и ЧССР, а также благородный опал из ВНР (табл.).

Как известно [1], основной химический состав опала прост — это  $\text{SiO}_2$  и кислородно-водородные группировки, представленные как собственно водой, так и (ОН), занимающие разные структурные положения. Особенности состава и ряд свойств как обыкновенного, так и благородного опала, по сравнению с халцедоном, обусловлены примесями (главным образом, аструктурными). Поэтому изучение их характера, способа вхождения в опал, связи с ними физических свойств и явилось, в основном, целью проведенного исследования.

Изучению опалов с минералогических и физико-химических позиций с применением современных методов посвящено много исследований, результаты которых до 1978 г. сведены в монографии Н.Д. Денискиной с соавторами [2]. Мы кратко остановимся только на некоторых из них, дополнив более поздними данными.

Опалы с точки зрения фазового состава часто неоднородны, представляя собой смесь аморфного и кристаллического кремнезема в разных количественных соотношениях. Кристаллический кремнезем — это кристобалит и тридимит, обладающие разной степенью раскристаллизации и упорядоченности, разным размером кристаллов и характером распределения в аморфной фазе.

При исследовании опалов методами рентгеновской дифракции и ИК-спектроскопии Джонс и Сегнит (по данным [2]) выделили три структурных типа: *K* — опал, в котором присутствует упорядоченный  $\alpha$ -кристобалит; *KT* — опал, сложенный разупорядоченными кристаллическими фазами  $\alpha$ -кристобалита и  $\alpha$ -тридимита; *A* — опал, состоящий из аморфного кремнезема. Наибольшим распространением в природе пользуются *KT*-опалы, исследование которых методом электронной микроскопии (реплики, микродифракционный контраст, микродифракция), рентгеновской дифрактометрии и ИКС позволило В.Г. Балакиреву с соавторами [3] установить, что большинство *KT*-опалов состоят из скоплений микрокристаллов размером от 100 до 1000 Å, принадлежащих  $\alpha$ -тридимиту с хорошо развитыми дефектами упаковки кристобалитового типа, а те *KT*-опалы, у которых наблюдается микродифракция в виде диффузного кольца в области  $d$ -4,1 — 4,3 Å, дающего основание считать их аморфными, состоят из большого числа хаотично расположенных и плохо раскристаллизованных микрокристаллов тридимита. При исследовании методами электронной микроскопии и дифракции благородных опалов Сандерс [4] установил, что кристаллическая фаза в них отвечает тридимиту разной степени кристалличности.

Изучая опалы методами ИК-спектроскопии и рентгеновской дифракции, И.И. Плюснина [5] установила, что они составляют большую группу  $\alpha$ -кристобалитовых опалов с неупорядоченной структурой. Для них характерны хорошо выраженный рефлекс 4,10 и 2,50 Å. Наличие же рефлексов  $\alpha$ -тридимита 4,26 и 4,07 Å указывает на неупорядоченность кристобалита. Упорядоченность — неупо-

Характеристика исследованных образцов опала

Образец	Месторождения	Цвет, прозрачность	Показатель преломления	Потеря веса <sup>в)</sup>			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> вес %
				потеря при прокаливании	H <sub>2</sub> O	газовая составляющая	
81837	Кара-Агач, Целиноградский р-н, КазССР	Белый с розоватым нацветом, просвечивает	1,466	5,81	5,78	0,03	0,06
81838	Там же	Светло-розовый, матовый; в тонких сколах просвечивает светло-оранжевым	1,43— 1,37	3,68	3,61	0,07	0,10
81839	"	Оранжево-красный, прозрачный	1,44— 1,37	6,40	6,39	0,01	0,09
81840	"	Красно-коричневый, матовый, просвечивает в тонких сколах	1,43— 1,37	4,21	4,20	0,01	0,22
81841	Джетыгора, КазССР	Молочно-белый, матовый	1,446— 1,434	3,30	3,19	0,11	0,01
56840	Кос-Чеку, КазССР	Светло-бурый, матовый	1,468	4,26	4,20	0,06	0,27
4910	Чехословакия	Молочно-белый, слабо просвечивает	1,447	4,52	4,51	0,01	0,10
6604	Telkibanya						
6605 ПДК	Венгрия	Молочно-белый, полупрозрачный. Благородный опал	1,450				

\*Аналитик Г.А. Осолодкина. \*\*Сняты на геологическом факультете МГУ О.Л. Свешниковой. \*\*\*Сняты в лаборатории термографии ИГЕМ.

FeO вес. %	Данные дифрактограмм** (Положение характеристических пиков в Å)	Данные дериватограмм***		Характеристика под микроскопом (иммерсионные препараты)	Люминесценция
		Потеря веса, %	Этапы потери веса		
Не обн.	Кристаллит: 4,11; 2,49—2,51 Тридимит: 4,27	5,6	до 200°—3,7%, от 200 до 1000°—1,9%	Изотропный, бесцветный	Слабая
"	Кристаллит: 4,07—4,13; 2,48—2,51 Тридимит: 4,22—4,31	3,65	до 200°—2,5%, от 200 до 1000°—1,15%	Изотропный, буроватого цвета, изобилуют тончайшие точечные включения (поры?)	"
"	1) Рентгеноаморфен; 2) кристаллит: 4,09 оч. слабый; 3) кристаллит: 4,09—4,11; 2,49—2,51 Тридимит: 4,27	5,4	до 400°—4,2%, от 400 до 1000°—1,2%	Изотропный, бледно-желтоватый, редкие скопления точечных включений (поры?)	Отсутствует
"	Кристаллит: 4,09—4,15; 2,49—2,52; 2,10; 1,61; 1,44 Тридимит: 4,22—4,31	5,3	до 400°—4,2%, от 400 до 1000°—1,1%	Изотропный, светлокоричневый, изобилуют тончайшие точечные включения (поры?)	"
0,03	Кристаллит: 4,07—4,11; 2,49; 2,10; 1,61; 1,44 Тридимит: 4,23—4,31; α-кварц: 3,33 оч. слабый	3,1	до 300°—2,4%, от 300 до 1000°—0,9%	Изотропный, бесцветный, очень пористый	Сильная, максимум при 500—540 нм
Не обн.	Кристаллит: 4,09—4,11; 2,48—2,49; 2,07—2,08; 1,614; 1,43 Тридимит: 4,23	4,3	до 200°—2,5%, от 200 до 1000°—1,8%	Изотропный, бледно-желтоватый	Слабая
0,01	4,03 очень слабый	4,7	до 500°—4%, от 500 до 1000°—0,7%	Слабо анизотропный, бесцветный, содержит разобщенные глобулы величиной от 10 до 60 мкм в диаметре с показателем преломления около 1,535, состоящие из субмикроскопического анизотропного агрегата, по-видимому, халцедона	Сильная
	4,04 очень слабо проявлен	—	—	При одном никеле окрашен в бурые, желтые, розовые, зеленые и синие цвета; резко проявлен псевдохронизм; отмечается тонкая штриховка в трех направлениях подобная спайности. В скрещенных николях — сильная дисперсия	Очень сильная, максимум при 370—380 нм

рядоченность слагающих опалы кристаллических фаз зависят от времени и являются промежуточными состояниями, сопровождающими фазовые превращения в системе низкотемпературного кремнезема.

Характерная особенность благородных опалов, отличающая их от обычных, по данным многочисленных исследований, заключается в закономерном расположении однородных по размеру частиц кремнезема почти сферической формы с диаметром от 1500 до 4500 Å. Промежутки (матрица) между сферами заполнены аморфным кремнеземом, воздухом, водяным паром и жидкой водой. Разница в показателях преломления сфер и матрицы обуславливает неоднородности в опалах, которые образуют трехмерную решетку, способную дифрагировать свет, если расстояние между неоднородностями соответствует длинам волн видимого света. Разница в величинах показателей преломления может находиться в пределах 0,1—0,01. Более детальные данные по этому вопросу приведены у Н.Д. Денискиной с соавторами [2].

Кристаллическая фаза исследованных нами опалов по данным рентгеновской дифрактометрии представлена в основном низкотемпературным (опаловым) кристаллитом с хорошо проявленным рефлексом 4,15—4,07 Å, менее интенсивным 2,52—2,48 Å и слабыми — около 2,10—2,07; 1,614—1,610 и 1,44—1,43 Å. Кроме того, присутствует четкое отражение 4,31—4,22 Å, принадлежащее тридимиту. На дифрактограммах опала с месторождения Джетыгора иногда отмечается слабо выраженный рефлекс 3,33 Å, отвечающий, по-видимому, α-кварцу. Дифрактограммы оранжево-красного прозрачного опала с месторождения Кара-Агач свидетельствуют о его фазовой неоднородности, заключающейся в том, что одни участки в нем состоят из α-кристаллита и α-тридимита, другие — из очень слабо проявленного α-кристаллита и третьи — из рентгеноаморфной фазы. Очень слабо проявлена кристаллическая фаза у благородного молочно-белого опала из ВНР и у молочно-белого, слабо просвечивающегося опала из ЧССР. Последний содержит различные под микроскопом разобщенные глобулы халцедона, который не проявился на дифрактограмме, вероятно, из-за малого содержания. В соответствии с данными, полученными И.И. Плюсниной [5], исследованные нами опалы сложены главным образом разупорядоченным α-кристаллитом.

Оптические свойства исследованных нами опалов характеризуются в основном изотропностью. Исследованием их в иммерсионных жидкостях установлено, что они подразделяются на оптически микрооднородные и микронеоднородные. Первые обладают постоянным показателем преломления, тогда как для вторых характерны колеблющиеся значения для разных микроучастков. Показатели преломления микрооднородных опалов лежат в пределах 1,447—1,468. В микронеоднородных опалах значения их не превышают 1,44—1,43 и даже опускаются до 1,37. Микронеоднородность выражается в хаотичном расположении участков с различными показателями преломления. Границы таких участков или четкие или с постепенным переходом между ними. Опал из ЧССР (обр. 4910) обладает слабой анизотропией. Он содержит в основной микрооднородной массе разобщенные глобулы размером от 10 до 60 мкм в диаметре. Глобулы обладают субмикроскопической зернистостью с показателем преломления около 1,535, суммарно слабо анизотропные и, по всей вероятности, принадлежат халцедону.

Значения показателей преломления в исследованных опалах в общем лежат в пределах, приводимых в литературе. Однако при наших исследованиях не установлена зависимость их величин от содержания воды в опалах.

Характер яркости блеска опалов на изломе неодинаковый. Наиболее яркий стеклянный — у прозрачных, полупрозрачных и благородных опалов.

Матовость опалов в образцах проявлена с различной степенью. Особенно хорошо она выражена в молочно-белом опале (кахолонг опаловый) с месторождения Джетыгора. По-видимому, матовость опалов зависит от их пористости. В указанном опале пористость повышена, размер пор менее 0,5 мкм в диаметре [6].

Окраска опалов — розовая, оранжево-красная, красно-коричневая и бурая, связана с примесью трехвалентного железа [7], наибольшее содержание которого (0,22%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) отмечается в наиболее темноокрашенном красно-коричневом опале. В работе [3] высказано предположение о том, что в опалах красящие металлические примеси могут быть адсорбированы на поверхности тридимит-кристобалитовых микрокристаллов в виде субдисперсных гидроокисей.

Известно, что в опалах вода играет существенную роль. Количественное содержание ее в изученных образцах определялось методом Пенфильда, взвешиванием при прокаливании и термогравиметрическим методом. Дифференциально-термический метод позволил проследить кинетику потери веса опалами при нагревании. При определении у обыкновенных опалов содержания воды и величины потери при прокаливании установлено, что потери при прокаливании (от 3,30 до 6,40%) практически состоят из воды (от 3,19 до 6,39%). Но так как потери при прокаливании во всех образцах больше содержания воды, то разницу между их значениями мы отнесли за счет газовой составляющей, величина которой колеблется от 0,01 до 0,11%. Необходимо отметить, что при определении содержания воды приходилось прокалывать навески около 10 мин., после чего устанавливался постоянный вес. Это обстоятельство можно объяснить трудностью вскрытия очень мелких закрытых пор.

Исследование опалов групп *K*, *KT* и *A* дифференциально-термическим (ДТА) и термогравиметрическим (ТГ) методами дало возможность Джонсу с соавторами ([8], а также по данным [2]) разделить их по характеру кривых на три группы: 1) с незначительным эндотермическим пиком между 100 и 200°С, с постепенной потерей веса до 500°С; 2) с заметным эндотермическим пиком при 125—140°С, с резкой потерей веса при этих температурах и незначительной далее до 400°С; 3) с сильно проявленным эндотермическим пиком при 140°С также с резкой потерей веса в начале нагрева и незначительной — выше 400°С. Перечисленные группы кривых не отражают различия в кристаллической структуре опалов, а отражают характер их пористости: открытым порам соответствуют кривые с резко выраженным эндотермическим пиком, а закрытым — кривые со слабо проявленным эндотермическим эффектом.

Большая часть воды в опалах является адсорбционной, а меньшая — химически связанной в виде одиночных и двойных гидроксильных групп [9]. Выделение химически связанной воды происходит между 200 и 600°С, причем единичные группы могут сохраняться до 1000°С.

Термические свойства исследованных нами опалов определены на дериватографе из больших навесок (от 770 до 1599 мг). Дериватограммы их представленные на рис. 1, показывают, что эндотермические пики (ДТА) у одних образцов хорошо выражены, крутые и имеют четко проявленные максимумы, у других — растянуты, со сглаженными максимумами, до слабо проявленного максимума у молочно-белого опала из ЧССР. Максимумы эндотермических пиков колеблются от 140 до 190°С, и только у опала из ЧССР он имеет наибольшую температуру, отвечающую 240°С. Согласно Джонсу и Сегнету, эндотермический эффект на кривых ДТА опалов связан с их дегидратацией. Наши данные соответствуют этому выводу.

На кривых потери веса (ДТГ) имеются хорошо выраженные пики, отвечающие наиболее интенсивно идущему процессу, температурные интервалы которых укладываются в температурные интервалы эндотермических проявлений. Это четко отражено на рис. 1 (кривые 1—3). Однако у ряда образцов (кривые 4—6) петли на кривых ДТГ осложнены образованием двух горбов разной интенсивности. При этом более низкотемпературный горб имеет ту же природу, что и у кривых 1—3, а второй, более высокотемпературный, отвечает, как нам представляется, окислению органической примеси. Это предположение хорошо согласуется с образцом из Джетыгоры (обр. 81841), из которого выделено битуминозное вещество.

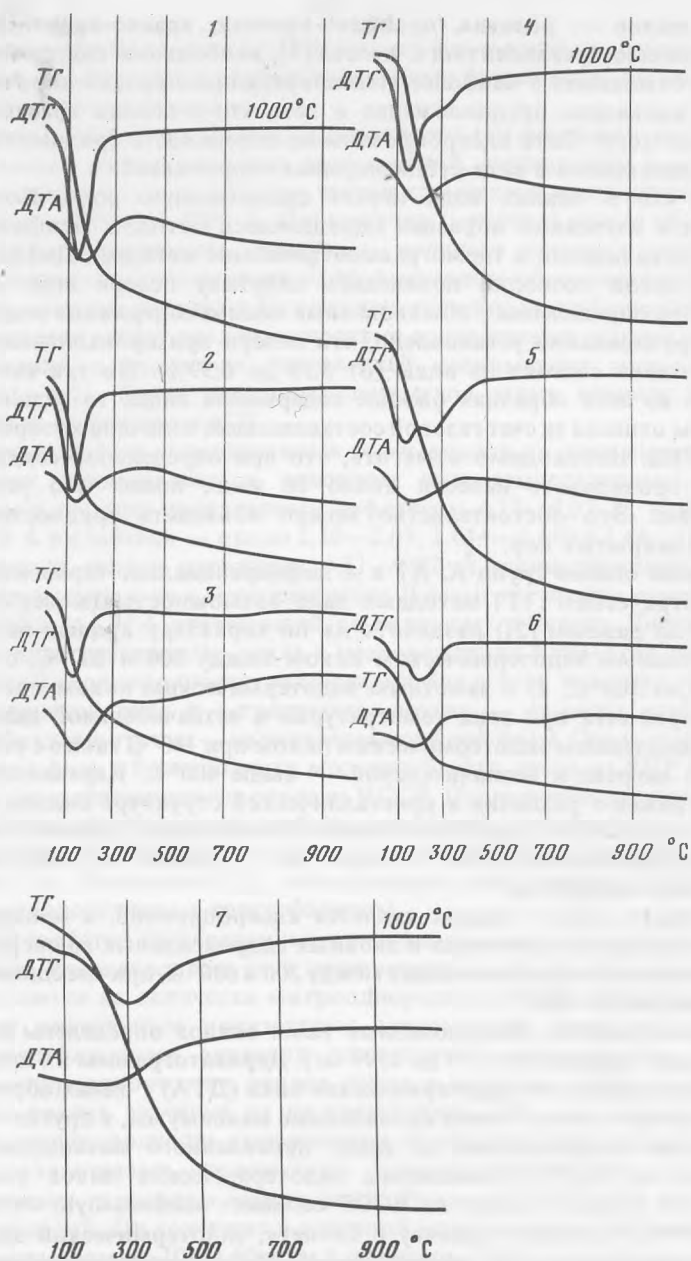


Рис. 1. Дериватограммы обыкновенных опалов

1 — обр. 81837, белый с розовым нацветом, просвечивает; навеска 770 мг; 2 — обр. 81838, светло-розовый, матовый; навеска 889 мг; 3 — обр. 56840; светло-бурый, матовый, навеска 1500 мг; 4 — обр. 81839; оранжево-красный, прозрачный; навеска 889 мг; 5 — обр. 81840, красно-коричневый, матовый, навеска 879 мг; 6 — обр. 81841, молочно-белый, матовый (кахолонг); навеска 1500 мг; 7 — обр. 4910, молочно-белый, просвечивает; навеска 1556 мг

Об этом подробнее будет изложено ниже. Но оно не соответствует другим двум образцам, у которых отсутствует люминесценция, вызываемая битумами (см. табл.). Это противоречие может быть связано с наличием в них красящих окислов железа, способных гасить люминесценцию, особенно, если она не ярко выражена. Образование второго горба делает петли на кривых ДТГ растянутыми и соответственно оказываются растянутыми эндотермические пики, а, кроме того, сдвигает максимумы обеих кривых к более высокой температуре.

Исследованные опалы теряют в весе (кривые ТГ) от 3,1 до 5,6%, при этом наибольшая потеря (от 58 до 85% от общей потери веса) падает на интервал от начала нагрева до 200—500°С, а далее до 1000°С вес теряется медленно, и кривые ТГ имеют слабый плавный наклон. Эти два типа потери веса опалами, как уже сказано, связаны с двумя типами пор, развитыми в них. Интенсивная потеря веса отвечает освождению капилляров и пор от газо-водной смеси, заполняющей их, т.е. от адсорбированной воды, а медленная — с удалением воды из очень мелких пор и гидроксильных групп, входящих в структуру опала. В исследованных опалах медленная потеря веса составляет 0,7—1,9% (кривые ТГ).

Примеси в исследованных опалах имеют неорганическую и органическую природу. Неорганические примеси по результатам полуколичественного спектрального анализа<sup>1</sup> составляют от 0,25 до 1,13%. Среди них Al достигает 0,5%, а Mg, Na, Fe и Ca не превышает 0,2% каждый. Эти данные позволяют считать, что исследованные образцы являются относительно чистыми представителями кремнезема  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Наибольший интерес и специфику примесей в опалах составляют обнаруживаемые в них органические соединения. С ними связаны и характерные для некоторых опалов явления люминесценции.

Люминесценция обыкновенных опалов проявляется неодинаково. Как видно из таблицы, в одних образцах она отсутствует, в других выражена слабо, а третьим свойственно интенсивное свечение. Люминесценция, очевидно, вызывается присутствием в опалах битуминозных веществ, содержание которых определялось люминесцентно-эталонным и люминесцентно-капиллярным анализами из вытяжек в хлороформе [10].

Цвет люминесценции обыкновенных опалов ( $\lambda=365$  нм) преимущественно голубовато-белый и желтовато-белый. Наиболее сильно, но неоднородно по интенсивности люминесцирует молочно-белый матовый опал (кахолонг) месторождения Джетыгора. При этом цвет люминесценции образцов опала, раствора битуминозных веществ в хлороформе и капиллярной вытяжки их из этого раствора одинаковый — голубовато-белый. Содержание хлороформенного битумоида в опале составляет 0,001%.

Наиболее обогащенным битуминозным веществом оказался благородный опал из ВНР (0,007%). Ему свойственно очень яркое свечение в голубых и желтовато-голубых тонах. Часть битуминозных веществ свободно экстрагируется из благородного опала, а часть находится, по-видимому, в связанном состоянии, поскольку минерал продолжает люминесцировать и после экстракции из него битуминозных веществ. Это свидетельствует о тонкодисперсном распределении в опале битуминозных компонентов и частичном выполнении ими закрытых пор. Для благородного опала была проверена люминесценция на целом ряде образцов и изделий. Было установлено, что все они без исключения обладают интенсивной люминесценцией при равномерном свечении всей поверхности образца голубым и голубовато-белым цветом.

Спектры люминесценции обыкновенного и благородного опалов неидентичны<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Выполнены в Спектральной лаборатории ИГЕМ Р.В. Кортман.

<sup>2</sup> Сняты в Спектральной лаборатории кафедры минералогии МГУ.

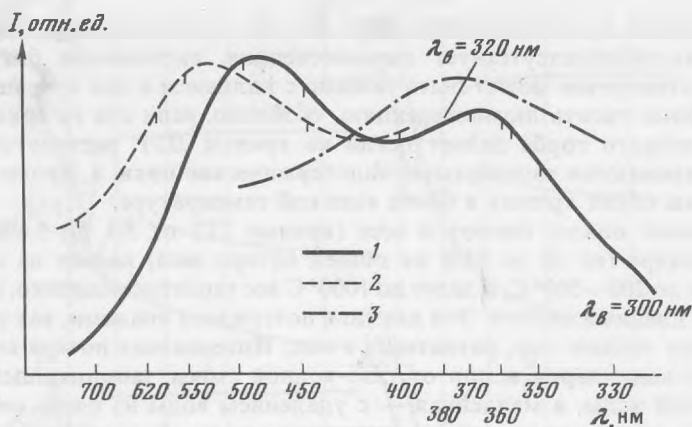


Рис. 2. Спектры люминесценции

1 — обычный опал (обр. 81841, Джетыгора, КазССР);  
2 — хлороформенный битумоид, экстрагированный из обычного опала, обр. 81841, Джетыгора; 3 — то же из благородного опала, обр. 6604—6605 ПДК(ВНР)

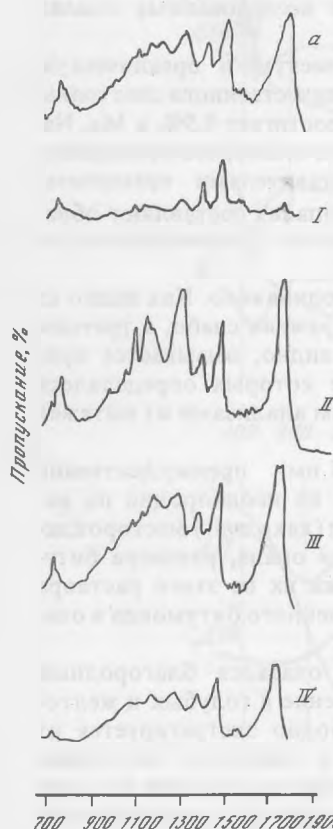


Рис. 3. ИК-спектры хлороформенного битумоида, экстрагированного из обычного опала. Обр. 81841, Джетыгора, КазССР

*a* — нефракционированный хлороформенный битумоид; *I* — фракция метаново-нафтеновых углеводородов; *II* — фракция ароматических углеводородов и петролейно-эфирных смол; *III* — фракция бензольных смол; *IV* — фракция спирто-бензольных смол и асфальтенов

Для благородного опала характерно то, что его поглощение и люминесценция обусловлены одной широкой полосой с максимумом в области 370—380 нм. Цвет люминесценции определяется краем указанной полосы, лежащей в видимом диапазоне (рис. 2).

Спектр люминесценции битуминозного вещества, экстрагированного из обычного опала (обр. 81841, Джетыгора), обнаружил широкую полосу с максимумом, находящимся в области 500—540 нм. Спектр люминесценции самого опала имеет две полосы: одна лежит в области примерно 370 нм, а другая — в области 500—540 нм. Одна из указанных полос близка к таковой для битуминозного вещества, экстрагированного из этого опала, а другая практически совпадает с полосой благородного опала.



Следовательно, голубая люминесценция благородного опала определяется присутствием в нем одного люмогена. Предположительно к нему могут быть отнесены ароматические углеводороды, входящие в состав битуминозных веществ. Часть из них приурочена к закрытым порам, вследствие чего не поддается до конца извлечению хлороформом. В обыкновенном опале, возможно, присутствует два люмогена. Кроме ароматических углеводородов, здесь содержатся и смолистые компоненты битуминозных веществ, распределяющиеся по капиллярам и вызывающие свечение минерала белым и желтоватым цветом и свободно извлекаемые из него хлороформом.

Таким образом, примесь битуминозных веществ в опалах обыкновенном и благородном, как показали исследования, невелика (0,001—0,007%), но она достаточна, чтобы вызвать люминесценцию минерала. Состав битуминозных веществ, содержащихся в опалах, довольно близок. Для благородных опалов отмечается большее содержание битуминозных веществ, в обыкновенных опалах оно более низкое, а иногда фиксируется и их отсутствие.

Изучение состава битуминозного вещества, экстрагированного из обыкновенного опала, выполнено методами тонкослойной хроматографии и ИК-спектроскопии [11]. Получены данные, показывают, что основу вещества составляют кислородсодержащие структуры эфирного и кислотного типа (полосы поглощения при 1000—1300, 1700—1800  $\text{см}^{-1}$ ). Углеводородные радикалы входят в состав сложных кислородных структур (рис. 3).

Фракционирование вещества выявило его следующий групповой состав (в %): метаново-нафтеновые углеводороды — 12, ароматические углеводороды и петролейно-эфирные смолы — 30, бензольные смолы — 35, спирто-бензольные смолы — 17, асфальтены — 6. Особенностью группового состава битуминозного вещества, экстрагированного из опала, является высокий выход масляной фракции и заметная доля участия в ней ароматических углеводородов. В составе смолистых компонентов преобладают бензольные смолы. Такой групповой состав свидетельствует о высокой преобразованности вещества и его восстановленном характере.

Структурные особенности битуминозного вещества из опалов проявляются в составе выделенных хроматографических фракций. В I фракции метаново-нафтеновых углеводородов отмечается присутствие в основном групп  $\text{CH}_2$ - и  $\text{CH}_3$ -парафиновых структур низкой степени разветвленности со средней длиной парафиновых цепей (до  $\text{C}_{15}$ — $\text{C}_{17}$ ). Во II фракции наибольшее развитие имеют эфиры-фталаты (полосы поглощения 750, 1000—1300, 1500—1600, 1700—1800  $\text{см}^{-1}$ ), находящиеся в стадии распада. Определенный вклад в состав фракции вносят кислоты (те же области поглощения и 1400—1500  $\text{см}^{-1}$ ). Хорошо выражен кислотный пик при 1300  $\text{см}^{-1}$ . Основу III фракции составляют кислоты и спирты со средней длиной парафиновых цепей, отчасти — эфиры. Не исключено присутствие жиров (триглицериды). В IV фракцию входит сумма спирто-бензольных смол и асфальтенов. Ее представляют сложные гетеросистемы кислотного и спиртового типа. Фталатных форм не установлено.

Сопоставление состава битуминозного вещества из опала и обсидиана [12] обнаруживает определенное сходство. Для битуминозного вещества из опала характерна лучшая дифференцированность кислородных структур, меньшая окисленность вещества и большее значение углеводородных структур по сравнению с обсидианом. По данным ИК-спектроскопии в битуминозном веществе опала повышена роль углеводородных структур. Это прослеживается по всем хроматографическим фракциям.

Состав битуминозного вещества опала сопоставлен также с аналогичным веществом, выделенным из халцедоновых жезд, содержащих участки иризирующего агата (месторождение Кафигшим Туркменской ССР). В битуминозном веществе халцедоновых жезд доминируют спирты, простые и сложные эфиры, возможно, хиноидные и непредельные структуры. Среди углеводородных структур, определяемых в небольшом количестве, отмечены длинноцепочные метаново-

нафтеновые структуры (полосы поглощения 700—725 см<sup>-1</sup>) и гетероструктуры, сопряженные с кислородными группировками (1700—1750 см<sup>-1</sup>). В небольших количествах определены фталаты.

Особенностью битуминозных веществ из халцедоновых жеод является отсутствие ароматических структур, не определяемых ни в одной из хроматографических фракций. Во II фракции выявлены неидентифицированные структуры (1360, 1530—1560 см<sup>-1</sup>). Отмечены неопредельные структуры. По особенностям своего состава это вещество обнаруживает сходство с битуминозными веществами осадочных образований, что вполне закономерно, так как исследованные жеоды генетически связаны с осадочными породами.

Присутствие органического вещества в опалах, в том числе по составу близкого к нефти [13—15] объясняется захватом его в процессе полимеризации опала на стадии гелеобразования. Для синтеза благородного опала, как известно из литературы [2], необходимы условия, способствующие полимеризации кремнезема. Такие условия могут быть созданы либо путем выпаривания раствора кремнезема в щелочной среде, либо путем гидролиза органического производного кремнезема (тетраэтоксисилана). Эти условия должны быть справедливы и для природного опалообразования [2].

Наши данные о присутствии битуминозного вещества в благородных опалах подтверждают вывод о его существенной роли в природном процессе. Но состав битуминозного вещества благородного опала пока неизвестен.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование опалов выявило некоторые, ранее неизвестные его свойства. К ним относятся возможная микронеоднородность изотропных обыкновенных опалов, разное поведение их при нагревании, а также присутствие битуминозных веществ, вызывающих люминесценцию минерала. Исследован состав и структурные особенности битуминозного вещества из обыкновенного опала. Отмечено повышенное содержание битуминозных веществ в опалах благородных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дэна Дж., Дэна Э.С., Френдель К. Система минералогии кремнезема. М.: Мир, 1966.
2. Денискина Н.Д., Калинин Д.В., Казанцева Л.К. Благородные опалы, их синтез и генезис в природе. Новосибирск: Наука, 1980.
3. Балакирев В.Г., Цинобер Л.И., Коваленко В.С. и др. Электронно-микроскопическое исследование кристобалит-тримитовых опалов. — Докл. АН СССР, 1977, т. 233, N 4.
4. Sanders J.V. Microstructure and crystallinity of gem opals. — Amer. Mineral., 1975, vol. 60, N 9—10.
5. Плюсина И.И. Инфракрасные спектры опалов. — Докл. АН СССР, 1979, т. 246, N 3.
6. Барсанов Г.П., Яковлева М.Е. Минералогическое исследование некоторых подолочных и полудрагоценных разновидностей скрыто-кристаллического кремнезема. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 29. М.: Наука, 1981.
7. Дорфман М.Д., Соколов А.И., Гусев В.Н. Исследование структуры и характера воды в некоторых опалах. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 20. М.: Наука, 1971.
8. Jones J.V., Segnit E.R., Nicson N.M. Differential thermal and x-ray analysis of Opal. — Nature, 1963, vol. 198, N 4886.
9. Jones J.V., Segnit E.R. Water in sphere — type opal. — Mineral. Magaz., 1969, vol. 37, N 287.
10. Флоровская В.Н. Люминесцентно-битуминологический метод в нефтяной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1957.
11. Ермакова В.И., Барташевич О.В. Опыт применения тонкослойной хроматографии в нефтяной геохимии. Экспресс-информация ВИЭМС, 1975, N 6.
12. Потапова Л.И., Ермакова В.И., Яковлева М.Е. О составе битуминозных веществ серебристого обсидиана. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 29. М.: Наука, 1981.
13. Сливко М.М., Павлишин В.И. О находке в пегматитах Волыни опалов, содержащих органическое вещество. — Минералогический сб. Львовского ун-та, вып. 1. 1967.
14. Гигахвили Г.М., Калужный В.А. Черные опалы из пегматитов Волыни, содержащие органическое вещество. — Докл. АН СССР. Сер. Геол., 1969, т. 186, N 4—6.
15. Мицюк Б.М., Багмут Н.Н., Матяш И.В., Федотов Ю.Ф. О природе спектров ЭПР черных опалов Волыни. — В кн.: Конституция и свойства минералов. Киев: Наук. думка, 1974.