

## Особенности грязевулканического процесса по термогеохимическим и спектроскопическим данным

Изучен кальцит из твердых выбросов грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической области и соседних регионов. На основании полученных спектральных, спектроскопических и термогеохимических данных установлены особенности грязевулканического процесса, температурный интервал минералообразования. Особенности кальцита из грязевых вулканов различных регионов приводят к мысли об общности причин, движущих сил и физико-химических условий, характерных для грязевулканического минералообразующего процесса в целом. Различия типоморфных особенностей кальцита предопределены спецификой местных условий: литологией осадочной толщи, наличием в ней жидких и газовых скоплений, обогащенностью теми или иными химическими элементами, пульсационным характером процесса.

Грязевой вулканизм — своеобразное природное явление — приурочен к зонам развития альпийской складчатости. В каждом из регионов его развития он имеет специфические особенности. В последние годы в продуктах грязевулканических извержений обнаружен комплекс минералов, свойственных типичным гидротермальным ассоциациям. Полиметаллические месторождения Перевальное и о-ва Челекен [4], связанные с деятельностью грязевых вулканов, дают основание предположить наличие рудных месторождений, приуроченных к грязевулканическому аппарату. Это обуславливает необходимость создания модели грязевулканического минералообразования, для теоретического обоснования которой нужно выяснить генетическое единство и специфику грязевулканических проявлений различных регионов — Керченского и Таманского п-овов и Азербайджана.

Среди твердых выбросов грязевых вулканов на площадях сопочных полей почти повсеместно обнаруживаются обломки кальцита. Изменение вещества сопочной брекчии в виде карбонатизации дает основание считать образование кальцита генетически связанным с процессом грязевого вулканизма. Типоморфные особенности кальцита позволяют сравнить и выявить специфику грязевулканического процесса различных регионов.

Кальцит в виде тонкозернистых масс, мелких зерен и цемента образует осветленные участки среди сопочной брекчии. Степень карбонатизации различна — от незначительной до сплошной, когда вся порода приобретает мелкозернистое строение. Форма прозрачных зерен кальцита, имеющих размеры до 0,1 мм, обычно лапчатая, реже — ромбическая. Дальнейшая перекристаллизация ведет к образованию радиально-лучистых сферолитов. Внутренняя часть сферолита обычно бывает сложена пелитоморфным карбонатным веществом. Поверхностная оболочка представляет собой монокристаллическое образование. По трещинам в виде прожилков развиваются жильные выделения кальцита. Характерной морфологической особенностью кальцита сопочной брекчии является наличие сложных сростаний. Встречаются друзы и сростки кристаллов ромбо- и скаленоэдрического габитуса. Характерны жилки поперечного и продольно-волокнистого строения.

Друзы хорошо ограненных кристаллов кальцита размером до 10 мм и больше образуются на вулканах Джау-Тепе и Ак-Тубе. Агрегаты крупнозернистого строения встречены в сопочных выбросах Булганакского, Тарханского, Джау-Тепе, Еникале, Насырского и других вулканов. Иногда прослеживаются обломки кальцита фунтиковей структуры. На вулкане взрывного типа горы Горелой, расположенной на берегу Таманского п-ова, обнаружен кальцит волокнистого строения, окрашенный в желтый цвет. Встречаются также кристаллы полихромного кальцита: центральная часть кристалла — молочно-белая, а внешняя оболочка — розовая (вулкан горы Карабетова).

Окраска, прозрачность и количество примесей в кальците различ-

ны. Он бывает окрашен в желтый, розовый, голубой и молочно-белый цвет. Серый и почти черный кальцит переполнен пелитоморфными частичками и твердыми битумами.

Химический состав кальцита довольно однообразен [2, 7]. Примеси Fe, Mn и Mg не превышают 4 %. Спектральным анализом, проведенным в ИГН и ИГФМ АН УССР, установлены в незначительных количествах Ni, Ti, V, Cr, Cu, Pb, Ba, Sr и др. Интерес представляет Sr, так как выявлены некоторые закономерности его распределения на изучаемых

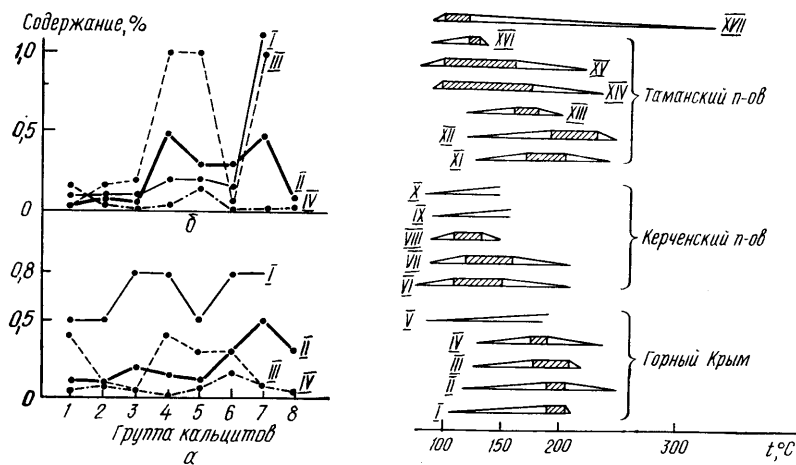


Рис. 1. Распределение элементов-примесей (а — стронция, б — марганца) в кальците Из грязевых вулканов: I — Керченского, II — Таманского п-ова, III — Азербайджана, IV — из жил Горного Крыма

Рис. 2. Вариации температур гомогенизации газовой-жидких включений в кальците Из жил Горного Крыма: I — Карадаг, II — Караби-Яйла, III — с. Приветное, IV — мыс Алчак, V — холодноводный кальцит; из сопочной брекчии грязевых вулканов Керченского п-ова; VI — Джау-Тепе, VII — Ак-Тубе, VIII — Булганак, IX — Малый Тархан, X — Андреевский; Таманского п-ова: XI — Семигорский, XII — Гнилая, XIII — Шуго, XIV — Гладковский, XV — Карабетова, XVI — гора Горелая, XVII — Шапсуг. Заштрихована область наиболее встречающихся температур гомогенизации газовой-жидких включений в кальците

объектах. Наиболее обогащен Sr (рис. 1) кальцит грязевых вулканов Керченского п-ова (до 0,67 %). Кальцит Таманского п-ова и Азербайджана имеет близкие средние содержания Sr (0,216 и 0,200 % соответственно). Сравнение кальцита грязевулканических областей с жильным кальцитом Горного Крыма показало, что содержание Sr в последнем на порядок ниже (0,05 %). Даже минимальные количества Sr в кальците грязевых вулканов из сопочной брекчии горы Карабетова в два раза превышают наличие Sr в кальците жил Горного Крыма. Распределение Sr в глинах и сланцах (0,045 %), известняках (0,07 %), почвах (0,03 %), морской воде (0,013 %), а также в различных типах вод (табл. 1) не позволяет однозначно указать его источник в кальците, но дает возможность предположить, что привносились дополнительные порции вещества в процессе грязевулканической деятельности.

Марганец обнаружен во всех исследованных пробах кальцита. Ва-

#### 1. Распределение Sr в природных водах Керченского п-ова (по данным В. И. Морозова, полученным в 1967 г.)

Тип вод	Содержание Sr, мг/л			Количество проб
	от	до	среднее	
Сопочные	Не обн.	2,0	1,5	8
Пресные	» »	7,6	3,6	30
Минерализованные источники	углекислые	2,0	18,0	5
	сероводородные	2,0	19,4	6
Соляные озера	6,0	24,0	17,4	5

риации его содержаний происходят в интервале от 0,06 (Горный Крым) до 1,0 % (черный кальцит Джау-Тепе и Азербайджана). Средние содержания Mn в кальците грязевых вулканов исследуемых районов имеют близкие значения: Керченский п-ов — 0,25, Таманский п-ов — 0,32, Азербайджан — 0,52 % (рис. 1, б). Титан присутствует во всех пробах примерно в равных количествах (обычно это тысячные доли процента, иногда — сотые). Отчетливо прослеживается зараженность кальцита грязевых вулканов Zr, среднее содержание которого составляет около 0,001 %. Во всех пробах присутствует Mg в виде оксида и карбоната, трехвалентное железо, незначительное количество Cu и Ba. В некоторых пробах обнаружены Y, Ce, Pb, Ni, следы La, Sc и Rb. Редкоземельные элементы встречены в 21 образце в виде следов или в количестве менее 0,0001 %.

Газово-жидкие включения в кристаллах кальцита имеют незначительные размеры (до 2—3, реже — 10—15 мкм). Обычно они одно- и двухфазные с точечной фазой включения. Объем газовой фазы в более крупных включениях достигает 20 % объема вакуоли. Насыщенность включениями различна. Так, в кальците сопочных выбросов вулкана Гладковского преобладают очень мелкие ниточные и округлые водные и двухфазные включения вдоль зон роста кристаллов. На вулкане горы Карабетова в кальците по зонам роста, межзерновым пространствам и трещинам преобладают пленочные довольно крупные одно- и двухфазные включения. На Шапсуге сильно дробленный кальцит переполнен мельчайшими включениями с точечной (или менее 5 % объема) газовой фазой. Считается, что минералы, возникающие при крайне неравновесных состояниях минералообразующей среды, содержат максимальное количество включений, размеры которых тем меньше, чем больше степень пересыщения минералообразующих растворов и выше скорость отложения вещества [3, 4]. Опираясь на это утверждение, можно считать, что изученный кальцит мог образоваться при различных состояниях среды — как более, так и менее равновесных.

Многофазные включения являются довольно большой редкостью. Третья фаза представляет собой маслянистую жидкость буроватой окраски. В исследованных образцах кальцита грязевых вулканов Азербайджана содержится очень много мельчайших включений с одной и двумя фазами. При нагревании большинство включений взрывается, не достигнув гомогенизации, что свидетельствует о наличии в вакуолях значительной концентрации углеводородов.

Термометрия газово-жидких включений в кальците показала, что наиболее представительным при гомогенизации содержимого включений в кальците Керченского п-ва является интервал 110—160 °С, Таманского — 90—120 и 130—160 °С. Одиночные включения в кальците Таманского п-ова гомогенизируются при температуре 330 °С. В жильных кальцитах Горного Крыма гомогенизация происходит при температуре 170—230 °С (рис. 2).

Термозвуковая декрепитационная активность кальцита характеризует степень флюидонасыщенности минерала. Средние ее значения возрастают в такой последовательности: кальцит грязевых вулканов Керченского п-ова, Таманского п-ова, Азербайджана. Наиболее высокая флюидонасыщенность отмечается у кальцитов из жил Горного Крыма (табл. 2).

Анализ водных вытяжек кальцита показал, что в минералообразующем растворе присутствует Si-ион. В некоторых вытяжках обнаружены F-ион и Cl-радикал, вступающий в соединения с углеводородами. Содержание Si-иона в кальцитах весьма контрастно (табл. 3). Наиболее близки средние значения в кальцитах Керченского п-ова и Горного Крыма. В кальцитах Таманского п-ова и Азербайджана содержание Si-иона на порядок выше. В кальците Горного Крыма Cl-радикал, вступающий в соединения с углеводородами, не обнаружен. На Керченском п-ове он определен только на вулкане Джау-Тепе, где вдвое превышает количество Si-иона. В кальците грязевых вулканов

2. Значения декрепитационной активности кальцита (по результатам термовзвучковой декрепитации)

Район исследований	Декрепитационная активность, импульс			Количество групп*
	минимальная	максимальная	средняя	
Керченский п-ов	2295	5985	4219	8
Таманский п-ов	315	9450	4624	7
Азербайджан	2020	7750	5203	3
Горный Крым	1965	12300	5531	10

\* Группа охватывает статистически оправданное количество проб, отобранных на конкретном объекте.

3. Средние содержания  $\text{Cl}$  в водных вытяжках кальцита

Район исследований	Содержание $\text{Cl}$ , $\mu\cdot 10^{-6}$ г/г навески						Количество групп опробования
	$\text{Cl}$ -ион			$\text{Cl}$ -радикал			
	максимальное	минимальное	среднее	максимальное	минимальное	среднее	
Керченский п-ов	16,5	5,5	8,5	17	0	3,5	5
Таманский п-ов	140	0	72,6	20	3,8	5,2	6
Азербайджан	136	5,5	58,0	13	7,5	3,4	6
Горный Крым	41	0	10,9	0	0	0	9

Таманского п-ова и Азербайджана частота встреч  $\text{Cl}$ -радикала значительно выше, и отношение содержаний  $\text{Cl}$ -радикала к  $\text{Cl}$ -иону изменяется от 1:4 до 1:30.

Фтор обнаруживается весьма редко. На вулкане горы Горелой его содержание в водных вытяжках волокнистого кальцита достигает  $81 \cdot 10^{-6}$  г/г навески при отсутствии  $\text{Cl}$ . Надо заметить, что волокнистый кальцит характеризуется и аномально низкой декрепитационной активностью (315 импульсов). В водных вытяжках жильного кальцита близ с. Счастливое (Горный Крым) обнаруживается как  $\text{Cl}$ , так и  $\text{F}$ . Декрепитационная активность этого кальцита (6400 импульсов) превышает средние значения для кальцитов Горного Крыма.

Статистическая обработка и факторный анализ полученного материала показали, что  $\text{Cl}$  имеет слабую корреляцию со всеми проанализированными переменными, в том числе и с декрепитационной активностью. Несколько выше коэффициент корреляции  $\text{Cl}_{\text{общ}}$  с  $\text{Mn}$  (0,5175). С последним наиболее тесно связан  $\text{Cl}$ -ион, с которым коэффициент корреляции составляет 0,6259. Перевернутая матрица факторов свидетельствует, что для каждого из исследуемых районов распределения  $\text{Cl}$  специфично, но в кальците Керченско-Таманской области  $\text{Cl}$  управляет  $\text{Mn}$  и  $\text{Sr}$ .

С целью выяснения типоморфных особенностей кальцита была впервые исследована естественная термолюминесценция (ТЛ) и рентгенолюминесценция (РЛ) 50 проб кальцита из твердых выбросов грязевых вулканов Керченско-Таманской области, Азербайджана и Горного Крыма.

Кальцит на ТЛ и РЛ отбирали из мелко раздробленных зерен под биноклем (с целью отделения чистого материала от примесей). Подготовка проб и экспериментальные исследования проводились по традиционной методике [3].

Как известно, естественная природная ТЛ представляет собой свечение предварительно возбужденных минералов при нагревании и обусловлена небольшим количеством примесных элементов и различного рода дефектами в структуре минералов [6]. Естественную ТЛ кальци-

тов изучали в стандартных условиях — при строго постоянных навеске, напряжении на ФЭУ, усилении, скорости нагрева. Все образцы кальцитов, за исключением кальцита из вулкана Джау-Тепе, двух образцов из вулканов Шуго и Келаны, обладают естественной ТЛ (рис. 3). На ТЛ кривых зарегистрированы три пика с максимумами при температурах:  $t_2=230 \dots 250$ ,  $t_3=290 \dots 310$ ,  $t_4=340 \dots 360$  °С. Пик  $t_2$  наблюдается у небольшого числа кальцитов, пик  $t_3$  характерен для всех образцов, но у четырех кальцитов из вулканов Азербайджана (Тоурагай, Миликчо-

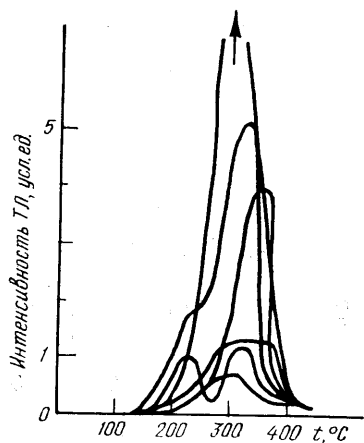


Рис. 3. Кривые природной ТЛ кальцитов

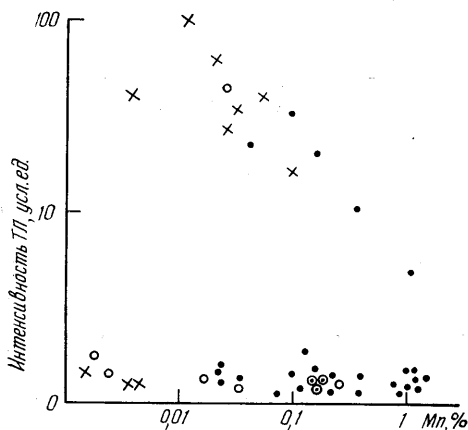


Рис. 4. Зависимость интенсивности ТЛ кальцитов от содержания в них марганца  
Для грязевых вулканов: ● — Азербайджана, ○ — Таманского п-ова, ○ — Керченского п-ова; × — для жил Горного Крыма

банлы, Шангар, Котурдаг) он смещен в область более высоких температур, и таким образом, кривые ТЛ этих кальцитов также сводятся к однопиковым. В ряде образцов (из вулканов Булганак, Экиздаг, Котурдаг) пик  $t_2$  плохо разрешен. При высоких температурах в кальците образуются структурные дефекты с более глубокими уровнями захвата, чем при низких. Поэтому высокотемпературные пики ( $t_3$  и выше) являются более долгоживущими, более устойчивыми к термическому воздействию и, следовательно, самыми информативными.

Большинство центров захвата и центров излучения в кальците возникло благодаря наличию примесей. Установлено [5], что все главные пики в природных карбонатных минералах обусловлены ионами  $Mn^{2+}$ , которые являются центрами комбинации или центрами излучения. Обычно наиболее эффективны центры излучения, образованные одиночными примесными атомами. До определенной концентрации примеси являются активаторами ТЛ. При большем содержании они ведут себя как гасители.

Физико-химические условия минералообразования и последующая история изменения минеральных индивидов определяют степень дефектности кристаллической решетки. Нарушение кристаллической структуры и изменение химического состава минерала могут быть вызваны различными причинами на разных стадиях грязевулканического процесса. Поэтому сопоставление ТЛ-характеристик кальцитов проводилось как для разных районов, так и для близлежащих сопочных полей.

В целом, величина светосуммы ТЛ кальцита Горного Крыма отличается большей интенсивностью (на один-два порядка выше), чем кальцитов грязевых вулканов Керченско-Таманской области и Азербайджана, у которых величина светосуммы около 1. Только у образца из вулкана Малый Тархан и кальцитов из вулканов Тоурагай, Меликчобанлы, Шангар, Котурдаг (Азербайджан) она повышается до второго порядка. В этих кальцитах наблюдаются и самые высокотемпературные пики — 340—370 °С. Иногда в этом интервале температур плохо разрешенный пик дает длинногорбую кривую с плавным подъемом ее от

290—300 до 370 °С. Такие высокотемпературные пики (выше 340 °С) вообще редко встречаются в кальците. Наличие высокотемпературных пиков с достаточно высоким запасом светосуммы у части образцов кальцита из твердых выбросов грязевых вулканов, видимо, объясняется кристаллизацией их в условиях повышенного давления и температуры без последующего отжига ловушек в период дальнейшей геологической истории кальцита. Возможно также последующее насыщение их в результате транспортировки минералов к поверхности по эруптивному каналу в периоды активизации деятельности грязевого вулкана. При этом происходит одновременный обжиг более низкотемпературных ловушек. Физико-химические условия среды определяют неравномерное распределение примесей в кристалле, от которых зависит степень нарушения решетки и характер распределения в ней дефектов. Независимо от природы эти локальные нарушения структуры и состава существенно влияют на характер люминесценции. Этим объясняется нарушение прямой зависимости интенсивности люминесценции кальцитов от содержания в них главной активирующей примеси — Mn, а также сравнительно низкая интенсивность ТЛ кальцитов грязевулканического комплекса (рис. 4).

Интенсивность ТЛ кальцита, отобранного на отдельных участках одного сопочного поля, может значительно колебаться, что свидетельствует о различных источниках обломков кальцита и эволюции процессов его преобразования. Характерная для основной массы образцов кальцита низкая интенсивность ТЛ, измеряемая величинами первого порядка, возможно, является производной природного высвечивания кальцита в процессе каждой последующей фазы грязевого вулканизма. Отсутствие ТЛ в кальците вулканов Шуго, Джау-Тепе и Келаны, вероятно, объясняется концентрационным тушением ионов Mn (больше 1 %). Содержание Fe (признанного иона-гасителя люминесценции в карбонатах) не коррелируется с интенсивностью ТЛ в образцах.

Спектры РЛ кальцита регистрировались в области 200—850 нм. Измерения проводили при комнатной температуре на порошкообразном материале. Спектры РЛ исследованных кальцитов по типу кривой практически не имеют различий как для отдельных образцов, так и для отдельных районов. Различаются спектры по их интенсивности. Для всех спектров характерно присутствие одной, довольно интенсивной полосы (максимум 630 нм), обусловленной электронными переходами в ионах  $Mn^{2+}$ . Интенсивность РЛ выражается в основном величинами второго и третьего порядков, и только у отдельных образцов увеличивается до четвертого. Обычно интенсивность полосы 630 нм коррелируется с концентрацией Mn в кальците. Так, кальциту грязевых вулканов Азербайджана, который наиболее обогащен Mn, соответствует наибольшая интенсивность РЛ, характеризующаяся величинами третьего и четвертого порядков (рис. 5).

Благодаря рентгеновскому возбуждению люминесценция редкоземельных ионов в минералах наблюдается даже при малых концентрациях —  $n \cdot (10^{-4} \dots 10^{-6}) \%$ . Содержание  $Ce^{3+}$  в ряде кальцитов из грязевых вулканов Керченского п-ова достигает  $n \cdot 10^{-4} \%$  (вулканы Малый Тархан, Джау-Тепе), в кальците из грязевых вулканов Азербайджана спектральным анализом улавливаются только его следы. Отсутствие полос  $TR^{3+}$  в спектрах РЛ можно объяснить перекрыванием их полосами поглощения других примесных ионов редких земель в образце, что ведет к передаче энергии возбуждения  $Ce^{3+} \rightarrow TR^{3+}$  (а также  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ ). Это положение было доказано экспериментальными исследованиями [6].

Обобщая полученный материал, можно сказать, что кальцит твердых выбросов грязевых вулканов имеет как сходные, так и отличительные типоморфные характеристики. Несмотря на морфологические отличия, окраску и наличие примесей, кальцит грязевулканических областей обладает близким химическим составом, и среди примесей выделяется повышенное содержание Sr, особенно в грязевых вулканах.

Керченского п-ова. Форма, характер наполнения и нахождения газожидких включений, а также насыщенность ими кристаллов кальцита также сходны.

Температурный интервал минералообразования грязевулканического процесса отражается наиболее представительным интервалом гомогенизации газожидких включений — 90—160 °С. Геологические особенности развития отдельных регионов отразились на специфике распределения температуры.

Основными типоморфными особенностями исследованного кальцита, по данным ТЛ и РЛ, являются: 1) стабильность формы кривой ТЛ

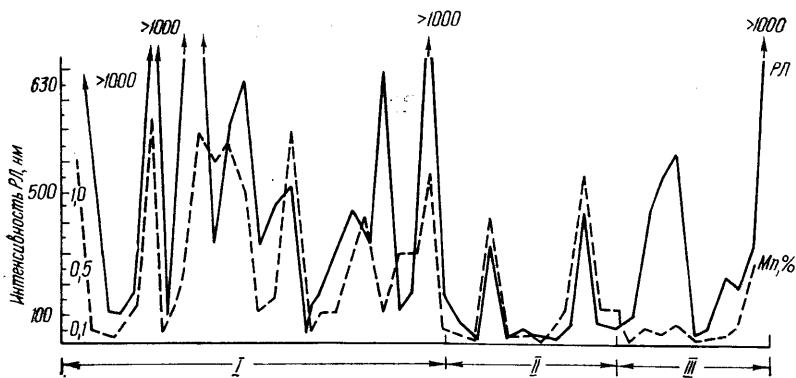


Рис. 5. Зависимость интенсивности РЛ кальцитов из различных районов (I — Азербайджан; II — Керченский и Таманский п-ова; III — Горный Крым) от содержания в них марганца

кальцита твердых выбросов грязевых вулканов различных регионов; 2) общая низкая величина светосуммы ТЛ кальцита грязевых вулканов по сравнению с кальцитами Горного Крыма; 3) наличие у всех кальцитов высокотемпературного пика 310—360 °С. Эти особенности кальцита из грязевых вулканов различных регионов приводят к мысли о сходстве причин, движущих сил и физико-химических условий грязевулканического минералообразующего процесса. Различия типоморфных особенностей кальцита отражают специфику местных условий — литологии осадочной толщи, наличия в ней жидких и газовых скоплений, обогащенности теми или иными химическими элементами, пульсационным и неравновесным характером процесса.

Глубокою благодарностью авторы выражают Е. Ф. Шнюкову за научное руководство при написании статьи, Ю. В. Соболевскому и В. А. Кутнему — за предоставленный каменный и первичный аналитический материал.

1. Грановская Н. В. Объемно-статистический анализ флюидных включений и его значение в расшифровке онтогении минеральных систем // Проблемы генетической информации в минералогии. — Сыктывкар: Изд. Коми фил. АН СССР, 1976. — С. 72—73.
2. Демин В. М., Куршев С. А. Размер газожидких включений в минералах как индикатор скорости их кристаллизации // Минералогическая термометрия и барометрия. — М.: Наука, 1965. — 327 с.
3. Король Р. Ф., Полякова А. И. Исследование термолюминесценции карбонатных пород северо-западного окончания Мармарошского массива // Геол. журн. — 1977. — Т. 37, вып. 6. — С. 133—138.
4. Лебедев Л. И., Никитина И. Б. Челекенская рудообразующая система. — М.: Наука, 1983. — 240 с.
5. Медлин У. Природа ловушек и эмиссионных центров в термолюминесцирующих горных породах // Физика минералов. — М.: Мир, 1971. — С. 87—112.
6. Таращан А. Н. Люминесценция минералов. — Киев: Наук. думка, 1978. — 196 с.
7. Шнюков Е. Ф., Науменко П. И., Лебедев Ю. С. и др. Грязевой вулканизм и рудообразование. — Киев: Наук. думка, 1971. — 332 с.
8. Шнюков Е. Ф., Соболевский Ю. В., Гнатенко Г. И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. — Киев: Наук. думка, 1986. — 148 с.

Calcite from hard outbursts of mud volcanos in the Kerchen-Taman mud-volcanic region and neighbouring region has been studied. Peculiarities of mud-volcanic process, temperature range of mineral formation are revealed proceeding from the obtained spectral, spectroscopic and thermogeochemical data. Peculiarities of calcite from mud volcanos in different regions permit arriving at the notion on similarity of causes, motive forces and physicochemical conditions of the mud-volcanic mineral-forming process. Differences in typomorphic peculiarities of calcite reflect specific character of local conditions: lithology of sedimentary series, presence of liquid and gas aggregations in it, enrichment in different chemical elements, pulsation character of the process.

УДК 550.41:553(22+495)

В. А. Зинченко

### **Теоретические аспекты геохимического определения источника урана докембрийских месторождений натриево-урановой формации**

Обосновывается возможность определения источника U (коровый или мантийный) при образовании докембрийских месторождений натриево-урановой формации с помощью геохимического изучения ураноносных альбититов путем сопоставления концентрации U и химических элементов теоретического парагенезиса урановорудного процесса в альбититах. Этот подход позволяет выявить, сопровождают ли накопление U элементы указанного парагенезиса и насколько сопоставимы с ним их содержания, что лежит в основе ответа на вопрос об источнике U.

В последние 20—25 лет открыты многочисленные докембрийские урановые месторождения в щелочных метасоматитах — альбититах, развитых в разных по составу породах протерозойского возраста. Наиболее широко ураноносные альбититы распространены среди гранитоидов и гнейсов, слагающих щиты. Так, на Канадском щите месторождения натриево-урановой формации известны в урановорудной провинции Черчилл [13] — районы Атабаска и Биверлодж, на Балтийском — в северной части Швеции, на Бразильском — Итатая и др. [9].

Приуроченность месторождений натриево-урановой формации к докембрийским щитам обусловлена многими геологическими процессами, значительная интенсивность и многообразие которых особенно характерны для ранних этапов геологической истории планеты — архея и протерозоя как наиболее протяженных по времени, которое выступает одним из важных факторов в геологии. Поэтому докембрийские породы, длительное время испытывавшие различные изменения, могли стать вмещающими для многих генетических типов урановых месторождений докембрийского возраста. Прежде всего это касается протерозойских образований, так как время их формирования и, следовательно, возможность проявления при этом разнообразных геологических процессов почти в три раза превосходят временной интервал становления архейских пород и в четыре раза — фанерозойских.

Развитие месторождений натриево-урановой формации происходит на фоне проявления метаморфизма и ультраметаморфизма, возрастающей роли крупных разрывных нарушений в протерозое, обуславливающих дифференцированное развитие различных блоков земной коры и контролирующих разнообразные геологические процессы — осадконакопление, магматизм, метаморфизм, ультраметаморфизм и рудогенез. Как показывает изучение урановорудных провинций щитов и древних платформ, гранитизация является одним из наиболее мощных факторов перераспределения U и концентрации его в благоприятных геолого-структурных обстановках [13]. С ней связывают формирование растворов, содержащих U. По представлениям Я. Н. Белевцева,