Академия Наук СССР
Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. КУРНАКОВА

61096 -
АВ.

На правах рукописи

Б. Г. Эренбург

РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ КАРБОНАТОВ ГРУППЫ КАЛЬЦИТА

Автореферат диссертации,
представленной на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Москва — 1962 год

БИБЛИОТЕКА
Отделения Химических
наук АН СССР

ОХЧ

Академия Наук СССР
Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. КУРНАКОВА

На правах рукописи

Б. Г. Эренбург

РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ КАРБОНАТОВ ГРУППЫ КАЛЬЦИТА

Автореферат диссертации,
представленной на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Москва — 1962 год

Работа выполнена в Западно-Сибирском геологическом управлении Министерства геологии и охраны недр СССР.

Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Академии наук СССР просит Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого совета или прислать свои отзывы.

О дне и времени защиты за 10 дней будет опубликовано в газете «Вечерняя Москва».

Защита предполагается в

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Отделения химических наук АН СССР.

Дата рассылки автореферата

Ученый секретарь ИОНХ
кандидат хим. наук

(М. А. ГЛУШКОВА)

Безводные средние карбонаты ряда двухвалентных металлов (Ca, Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Cd), кристаллизующиеся в тригональной сингонии, образуют кристаллохимическую группу кальцита. Большинство из этих карбонатов широко распространены в природе либо в более или менее чистом виде, либо в виде изоморфных смесей, а также двойных солей. Некоторые из них имеют важное практическое значение в качестве промышленного сырья.

Несмотря на длительную историю изучения этих веществ, точное определение их состава в ряде случаев до сих пор представляет большие методические трудности, на которые указывают авторы специальных работ. Эти трудности особенно велики при исследовании некоторых весьма распространенных горных пород осадочного происхождения, так как карбонатный материал их чрезвычайно тонкодисперсен, имеет сложный химический и фазовый состав вследствие широко развитых изоморфных замещений и очень тесно перемешан с некарбонатной частью породы.

Опыт рентгеновской лаборатории Западно-Сибирского геологического управления показывает, что в таких случаях весьма эффективным методом исследования является рентгенометрический анализ, который допускает массовое применение и дает наиболее полные и надежные данные о химическом и минералогическом составе сложных карбонатов. Однако, для правильной интерпретации результатов массового рентгенометрического анализа оказалось необходимым исследовать ряд вопросов, недостаточно разработанных в литературе.

Опубликованные эталонные таблицы рентгеновских констант для большинства даже индивидуальных карбонатов весьма разноречивы. Критерии для выбора наилучших литературных данных часто отсутствуют, так как во многих публикациях недостаточно полно описана использованная методика. Таким образом, в литературе отсутствует надежная сводка структурных параметров интересующих нас веществ. Это обстоятельство, правда, не препятствует в ряде случаев рентгенометрическому определению индивидуальных карбонатов (когда различия в их константах велики), но делает невозможным использование рентгенометрических данных для определения состава изоморфных смесей.

Для интерпретации рентгенометрических характеристик сложных природных карбонатов необходимо далее знать, как изменяются их структурные параметры с изменением химического состава. Литературные данные по этому вопросу очень скудны.

Особенно широкий круг вопросов возникает в связи с проблемой изоморфной смесимости карбонатов рассматриваемой группы. В литературе последних лет рассмотрены некоторые из этих вопросов, в частности, исследованы условия равновесия при высоких температурах и давлениях CO_2 в ряде карбонатных систем. Оказывается, однако, что имеются случаи, когда изоморфная смесимость в условиях равновесия, даже при высоких температурах, значительно ниже, чем фактическая изоморфная смесимость, наблюдаемая в природе. Этот факт важен не только с минералогической и геохимической точки зрения, но представляет и общехимический интерес, так как мы сталкиваемся здесь с малоизученным классом метастабильных смешанных кристаллов с аномально широкими областями смесимости. Подобные системы должны возникать, при определенных условиях, в ходе некоторых технологических и лабораторных процессов и обусловливать специфические свойства получаемых продуктов. Сколько-нибудь широкое исследование таких смешанных систем возможно провести только на искусственном материале.

В соответствии с вышеизложенным в представленной работе рассматриваются три группы вопросов: 1) эталонные рентгеновские константы карбонатов группы кальцита и доломита; 2) характер зависимости структурных параметров смешанных карбонатов группы кальцита от их состава и методика их рентгенометрического анализа; 3) вопросы изоморфной смесимости природных и искусственных карбонатов группы кальцита.

1. Эталонные рентгеновские константы индивидуальных карбонатов группы кальцита и доломита

Рентгенометрический метод позволяет обычно определять межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки природных изоморфных смесей карбонатов с точностью не более $\sim 0{,}1\%$, так как на рентгенограммах этих систем вследствие ряда причин редко удается получить достаточно четкие линии в области больших углов Брэгга. Этим обусловливаются относительно умеренные требования к эталонным рентгеновским константам, предназначенным для идентификации и определения состава карбонатов. Однако, расхождения между данными разных авторов гораздо больше допустимых. Так, для $MgCO_3$ величина a_{rh} по данным разных литературных источников колеблется от 5,61 до 5,67 kX, а α — от 48° 02′

до 48° 12′. Для всех других индивидуальных карбонатов (кроме кальцита) и доломита расхождения между данными разных авторов еще больше. Многие из этих противоречащих друг другу данных вошли в широко используемые в настоящее время справочные издания.

Основной причиной указанных больших расхождений являются не столько различия в составе исследованных разными атомами эталонных карбонатов, сколько несовершенство методики определения межплоскостных расстояний и параметров элементарной ячейки. Об этом свидетельствует встречаемое довольно часто несоответствие между приводимыми одним и тем же автором межплоскостными расстояниями и параметрами элементарной ячейки. В некоторых работах межплоскостные расстояния определены настолько грубо, что из них вообще не могут быть вычислены сколько-нибудь надежные значения параметров.

Нашей задачей являлось нахождение достаточно надежных и точных значений рентгеновских констант индивидуальных карбонатов для указанных выше практических целей. В качестве эталонных мы использовали образцы природных или искусственных карбонатов достаточно чистых по данным спектрального или химического анализа. Мы применяли порошковый (дебаевский) метод анализа, с внесением поправок по эталонному веществу (диаметр камеры 143,25 мм, Fe-излучение), причем большое внимание уделялось промеру рентгенограммы и построению графика поправок. Найденные таким путем таблицы межплоскостных расстояний использовались для вычисления по способу наименьших квадратов параметров гексагональной элементарной ячейки карбоната. При этом в расчет принимались все достаточно точно определенные межплоскостные расстояния, а не только соответствующие большим углам скольжения. Эта методика вычисления параметров была разработана автором для анализа смешанных карбонатов, на рентгенограммах которых отсутствуют линии в области больших ϑ, и применена для расчета рентгенограмм индивидуальных карбонатов. Ошибки в определении параметров a и c для этих последних составляли соответственно $\sim$0,0005 kX и $\sim$ 0,005 kX, т. е. 0,01% и 0,03%.

Подробное обсуждение полученных экспериментальных данных и их сопоставление с литературными показывают, что только для карбоната марганца нами найдены недостаточно точные значения констант: исследованные нами природные и искусственный образцы $MnCO_3$ показали завышенные размеры ячейки вследствие присутствия примесей. В таблице 1 приведены найденные нами значения параметров элементарной ячейки для индивидуальных карбонатов типа кальцита и доломита; кроме $MnCO_3$, для которого приведены наиболее надежные литературные данные.

Таблица 1

Карбонат	Гексагональная ячейка			Ромбоэдрическая ячейка		$d_{10\bar{1}4}$ (kX)
	a (kX)	$b = \frac{c}{a}$	c (kX)	a_{rh} (kX)	α	
$CaCO_3$	4,981	3,419	17,028	6,363	46°05′	3,030
$CdCO_3$	4,916	3,308	16,262	6,119	47°22′	2,940
$CaMg(CO_3)_2$	4,797	3,300	15,974	6,002	47°07′	2,879
$MnCO_3$	4,767	3,279	15,633	5,893	47°43′	2,838
$FeCO_3$	4,681	3,277	15,340	5,784	47°45′	2,786
$ZnCO_3$	4,647	3,232	15,019	5,680	48°18′	2,745
$CoCO_3$	4,653	3,214	14,955	5,663	48°31′	2,741
$MgCO_3$	4,625	3,241	14,989	5,665	48°11′	2,736

Сопоставление между собой данных таблицы 1 показывает, что уменьшение угла α с увеличением ребра ромбоэдра, отмеченное ранее рядом авторов, не является общей закономерностью. Величина ромбоэдрического угла зависит не только от размеров катиона, но и от характера связи Me-O в карбонате: при сопоставимых размерах катиона наименьшие значения α соответствуют Ca и Mg, образующим связи преимущественно ионного характера, наибольшие — Cd, Zn, Co, а также Ni, образующим связи со значительной долей ковалентности.

2. Об определении состава природных смешанных карбонатов группы кальцита по рентгенометрическим данным

Проведенные нами рентгенометрические, а также химические и термографические исследования образцов сложных природных карбонатов позволили выработать ряд приемов качественного и полуколичественного определения их состава по рентгенометрическим данным, с использованием результатов исследования другими методами и с учетом имеющихся сведений об изоморфной смесимости карбонатов. Методика рентгенометрического исследования была такой же как и для индивидуальных карбонатов, причем ошибки в определении параметров элементарной ячейки сложных карбонатов были в 2—3 раза больше. Кроме того применялась съемка в камерах диаметром 57,3 мм от цилиндрического и от плоского образца.

При массовом анализе важную качественную характеристику дает величина $d_{10\bar{1}4}$ (межплосткостное расстояние для самой интенсивной линии на рентгенограммах карбонатов типа кальцита, см. табл. 1). Эти простейшие рентгенометрические данные иногда необходимо дополнять данными спектрального (или химического) анализа, так как разные катио-

ны, присутствующие в изоморфной смеси, могут одинаково воздействовать на величину $d_{10\bar{1}4}$.

Если кроме величины $d_{10\bar{1}4}$ определены и другие межплоскостные расстояния, особенно, в области средних и больших углов ϑ, что позволяет вычислить параметры элементарной ячейки, то возможности определения состава карбоната по одним лишь рентгенометрическим данным значительно увеличиваются. Это важно в тех случаях, когда образец не является чисто карбонатным и выделение мономинерального карбоната представляет трудности или когда в образце присутствуют одновременно две (или больше) карбонатных фазы. В частности, для каждой карбонатной фазы из сложных марганцево-железистых пород можно установить, судя по соотношению между величинами $\frac{c}{a}$ и a, принадлежит ли эта фаза к изоморфному ряду $FeCO_3$—$CaCO_3$ или $FeCO_3$—$MnCO_3$ или же она содержит в значительных количествах все три компонента одновременно.

Особый интерес представляет количественное или полуколичественное определение состава карбонатов рентгенометрическим методом. Согласно немногочисленным опубликованным данным, линейные параметры элементарных ячеек для ряда двойных карбонатных систем подчиняются в первом приближении правилу Вегарда, т. е. ведут себя как аддитивные величины. То же отмечено в некоторых случаях и для величины $d_{10\bar{1}4}$. Эти данные относятся преимущественно к искусственным системам. Природные карбонаты, содержащие в значительном количестве более двух катионов, оставались в этом отношении совершенно неизученными.

Полученные в настоящей работе данные (табл. 2) показывают, что для карбонатов весьма разнообразного состава опытные и вычисленные по правилу аддитивности значения параметра a гексагональной ячейки отличаются друг от друга не очень сильно. То же можно сказать и о величине $d_{10\bar{1}4}$. Таким образом, обе указанные величины могут рассматриваться в первом приближении как аддитивные. (Для параметра c гексагональной ячейки, а также a_{rh} и α ромбоэдрической, отклонения от аддитивности в некоторых случаях значительны). Поэтому значения a и $d_{10\bar{1}4}$ для сложных карбонатов всегда могут быть приблизительно предсказаны, исходя из их состава.

Обратная задача приближенного определения состава карбоната по рентгенометрическим данным, очевидно, легко разрешима для двойных систем. Однако, практически наиболее важным и, вместе с тем, трудным является определение состава карбонатов, содержащих 3—4 катиона одновременно. Оказывается, что и для таких систем приближенное решение этой задачи в некоторых случаях возможно. Примером является

Таблица 2

№№ пп.	№ образцов	Химический состав сложного карбоната (мол. %)				Параметры элементарной ячейки									d_{1014} (kX)	
						a (kX)		$b = \frac{c}{a}$	c (kX)		a_{rh} (kX)		α			
		$CaCO_3$	$MgCO_3$	$FeCO_3$	$MnCO_3$	Опытн.	Вычисл.	Опытн.	Опытн.	Вычисл.	Опытн.	Вычисл.	Опытн.	Вычисл.	Опытн.	Вычисл.
1	878у	91.1	2.3	2.0	4.0	4.959	4.96	3.411	16.915	16.88	6.324	6.31	46°10′	46°15′	3.009	3.01
2	927у	72.9	4.9	1.3	21.0	4.926	4.92	3.397	16.734	16 61	6.261	6 22	46°20′	46°34′	2.984	2.97
3	1181у	55.1	4.5	3.7	36.7	4.889	4.88	3.370	16,476	16.36	6.175	6 14	46°38′	46°50′	2.953	2.94
4	265у	50.9	16.7	10.2	22.2	4.837	4.84	3.353	16.218	16.21	6.085	6.08	46°51′	46°59′	2.917	2.91
5	1697у	53.5	33.0	4.6	8.9	4.825	4.83	3.333	16.08	16.15	6.041	6.06	47°04′	47°00′	2.898	2.90
6	58у	48.6	31.4	9.6	10.4	4.819	4.72	3.335	16.071	16.08	6.037	6.04	47°03′	47°05′	2.898	2.895
7	4912	52.4	37.3	9.4	0.9	4.807	4.82	3.334	16.026	16.09	6.020	6.04	47°04′	47°02′	2.889	2.90
8	573а	47.4	38.8	7.4	6.4	4.805	4.81	3.330	16.00	16.02	6.012	6.02	47°07′	47°08′	2.884	2.89
9	573б	52.0	42.7	5.1	0.2		4.81			16.07		6.03		47°03′		2.89
10	582I	17.1	0.3	1.5	81.1	4,796	4.80	3.311	15.880	15.87	5.973	5.97	47°20′	47°24′	2.866	2.87
11	689б	13.9	5.7	7.5	72.9	4.777	4.78	3.304	15.783	15.77	5.940	5.94	47°25′	47°31′	2.855	2.85
12	347у	8.1	6.0	9.0	76.9	4.764	4,77	3.299	15.716	15.68	5.917	5.91	47°29′	47°37′	2.844	2.84

проведенное нами вычисление содержания изоморфного кальция в сидеритах. Это вычисление можно проводить на основе правила аддитивности так, как если бы другие катионы отсутствовали в изоморфной смеси: действие изоморфного $CaCO_3$ на константы решетки сидерита очень велико вследствие больших различий в радиусах ионов Ca^{++} и Fe^{++}, а действия присутствующих изоморфных $MgCO_3$ и $MnCO_3$ сравнительно невелики и в значительной мере взаимно компенсируются.

3. Об изоморфной смесимости природных и искусственных карбонатов группы кальцита

Опубликованные результаты экспериментальных исследований некоторых двойных карбонатных систем, содержащих кальций, магний, железо, марганец, кадмий, полностью подтверждают качественные закономерности изоморфной смесимости солей в зависимости от соотношений размеров катионов и температуры, установленные правилами В. С. Соболева (1948). Данные минералогии также в большинстве случаев согласуются с этими правилами. Однако, описаны и совершенно необычные случаи, относящиеся как к природным, так и к искусственным карбонатным системам. Так, например, природные магнезиальные кальциты содержат до 20 мол. % изоморфного $MgCO_3$, хотя разница в размерах катионов кальция и магния весьма велика (40% по отношению к радиусу меньшего катиона), и равновесная растворимость $MgCO_3$ в $CaCO_3$ составляет даже при 500° всего 5 мол. %. С другой стороны, имеются указания, что методом совместного осаждения карбонатов невозможно получить $CaCO_3$, содержащий более 12 мол. % изоморфного $MnCO_3$, тогда как разница в радиусах катионов составляет всего лишь 20%, и известны природные и искусственные (высокотемпературные) марганцовистые кальциты, содержащие более 40 мол. % изоморфного $MnCO_3$.

Нами были поставлены многочисленные опыты по совместному осаждению ромбоэдрических карбонатов с целью выяснения возможностей образования двойных смешанных карбонатов с аномально широкими областями смесимости. Осаждение производилось путем постепенного приливания при интенсивном перемешивании смеси растворов хлоридов или сульфатов соответствующих катионов, взятых в заданных пропорциях, к раствору $NaHCO_3$ или смеси растворов $NaHCO_3$ и Na_2CO_3, при температурах 50—80° и атмосферном давлении, в некоторых случаях в токе CO_2. При работе с Fe^{++} принимались специальные меры для предотвращения окисления. Полученные осадки слегка промывались, высушивались, в некоторых случаях прокаливались при температуре 250°—300°, затем подвергались рентгенометрическому, химическому и, выборочно, термографическому и электронномикроскопическому исследованию. Постепенное и плавное изменение констант

кристаллической решетки карбоната с изменением его химического состава указывало на образование ряда смешанных карбонатов с непрерывным взаимным замещением катионов.

Опыты показали, что указанным способом можно в большинстве двойных карбонатных систем приготовить гомогенные (по рентгенометрическим данным) тонкодисперсные термодинамически метастабильные, но относительно весьма устойчивые ромбоэдрические смешанные карбонаты с чрезвычайно широкими областями смесимости. Практически полные непрерывные ряды смешанных карбонатов получены в системах $CaCO_3$—$MnCO_3$ и $CaCO_3$ —$FeCO_3$. В принципе аналогичные, но неполные данные получены для рядов $MnCO_3$ — $MgCO_3$, $MnCO_3$ — $ZnCO_3$, $MnCO_3$ — $CoCO_3$, а также $CdCO_3$ — $ZnCO_3$, $CdCO_3$ — $CoCO_3$, $CaCO_3$ — $ZnCO_3$ и $CdCO_3$—$MgCO_3$. В системе $CaCO_3$—$MgCO_3$ удалось приготовить непрерывный ряд смешанных карбонатов в интервале приблизительно от 17 до, по меньшей мере, 45 мол. % $MgCO_3$. В осадках, состоящих из карбонатов кальция и кобальта (также кальция и никеля) присутствие ромбоэдрических продуктов установить не удалось, так же как и в карбонатных осадках, содержащих только Mg, Zn, Co и Ni.

Сама возможность возникновения метастабильных гомогенных смешанных карбонатов с аномально широкими областями смесимости обусловлена определенным способом их приготовления, прежде всего, порядком сливания растворов. Обратный порядок сливания растворов благоприятствует раздельному выпадению карбонатов. Имеют значение и другие условия осаждения, в частности, разбавление растворов. Анализ изменения ширины линии с изменением угла ϑ на рентгенограммах искусственных смешанных карбонатов, приготовленных путем осаждения, показывает, что вопреки мнению некоторых авторов, такие системы могут быть в достаточной степени гомогенными, и что расширение линий на их рентгенограммах обусловлено, главным образом, высокой степенью дисперсности материала.

Природа этих смешанных систем остается не вполне выясненной и требует дальнейшего изучения. Для многих из них характерно аномальное увеличение линейных параметров решетки. Имеются признаки, которые позволяют предполагать, что в отношении характера распределения компонентов наши смешанные карбонаты в некоторой степени аналогичны так называемым гриммовским смешанным кристаллам.

Полученные нами данные показывают, что метастабильные высокомагнезиальные кальциты могут образоваться не только биологическим путем, как полагают некоторые авторы, но также и химическим. Результаты наших исследований некоторых природных карбонатов показывают, что, помимо магнезиальных кальцитов, в природе нередко встречаются и другие

метастабильные смешанные карбонаты с аномально широкими областями смесимости. Таковы, прежде всего, хемогенные конкреционные кальций — содержащие сидериты, широко распространенные среди угленосных осадочных пород. Такая порода содержит обычно несколько карбонатных фаз, например, два сидерита различного состава и тонкодисперсный кальцит (кроме того некоторое количество кварца и силикатов). Один из сидеритов, судя по параметрам элементарной ячейки, мало отличается по составу от чистого сидерита, иногда, возможно, содержит изоморфную примесь $MgCO_3$, другой — «кальциосидерит» — содержит изоморфный $CaCO_3$ в количестве по меньшей мере до 15 мол. %, в то время как равновесная растворимость $CaCO_3$ в $FeCO_3$ даже при 500° не превышает 5 мол. %.

Другим примером термодинамически метастабильных, но относительно чрезвычайно устойчивых систем являются богатые марганцем осадочные карбонаты нижне-кембрийского возраста. Некоторые из них представляют собой, по-видимому, родохрозиты с аномально высокими содержаниями кальция, другие — марганцовистые доломиты с аномально высокими содержаниями марганца.

ВЫВОДЫ

1. На основании собственных экспериментальных исследований и критического анализа литературных данных определены достаточно точные значения констант решетки для чистых карбонатов рассматриваемой группы.

2. Установлено, что величина ромбоэдрического угла α в рассматриваемой группе карбонатов зависит не только от размеров катиона, как считают некоторые авторы, но и от характера связи Me—O: при сопоставимых размерах катиона наименьшие значения α соответствуют связям преимущественно ионного характера, наибольшие — связям со значительной долей ковалентности.

3. Приготовлены и подробно исследованы рентгенометрически более 30 образцов смешанных карбонатов, принадлежащих к рядам $CaCO_3$—$MnCO_3$, $CaCO_3$—$FeCO_3$, $CaCO_3$—$MgCO_3$, $MgCO_3$—$MnCO_3$, $MnCO_3$—$ZnCO_3$ и $MnCO_3$—$CoCO_3$.

4. Доказано, что путем непосредственного осаждения при обычных атмосферных условиях и температуре ниже 100° могут образовываться тонкодисперсные метастабильные ромбоэдрические смешанные карбонаты весьма разнообразного состава с аномально широкими областями смесимости. В частности, искусственные ряды $CaCO_3$—$MnCO_3$, $CaCO_3$—$FeCO_3$ и, вероятно, $MgCO_3$—$MnCO_3$ являются непрерывными, а в ряду $CaCO_3$—$MgCO_3$ получены карбонаты, содержащие от 17 до, по меньшей мере, 45 мол. % $MgCO_3$.

5. Установлено, что кроме описанных в литературе биогенных магнезиальных кальцитов в природе встречаются и другие метастабильные изоморфные смеси карбонатов с аномально широкими областями смесимости. Таковы хемогенные кальциосидериты, а также некоторые карбонаты, богатые марганцем.

6. Показано, что различные эмпирические правила, определяющие изоморфную смесимость веществ в зависимости от относительных размеров замещающих друг друга ионов, имеют смысл только в отношении термодинамически стабильных систем. В образовавшихся в неравновесных условиях термодинамически метастабильных, но относительно весьма устойчивых смешанных системах изоморфная смесимость может быть гораздо больше равновесной.

7. Показано, что для природных изоморфных смесей карбонатов типа кальцита сложного состава параметр a гексагональной элементарной ячейки может рассматриваться в первом приближении как аддитивная величина. Установлены и некоторые другие закономерности изменения параметров элементарной ячейки сложных карбонатов в зависимости от состава, которые позволяют устанавливать принадлежность этих карбонатов к тому или другому изоморфному ряду, а в некоторых случаях и полуколичественно оценивать содержание изоморфных примесей по известным значениям констант решетки.

8. На основании опыта массового применения рентгенометрического метода для анализа разнообразных тонкодисперсных карбонатных осадочных пород сложного состава, а также более подробного исследования некоторых важных типов таких пород, можно рекомендовать массовый рентгенометрический анализ в качестве основного минералогического метода их исследования, так как он дает наиболее полную и точную минералогическую характеристику сложных карбонатов, при достаточно большой производительности и относительно невысокой стоимости.

9. Предложен способ вычисления параметров элементарной ячейки карбоната по данным порошкового рентгенометрического анализа, который целесообразно применять в тех случаях, когда по той или другой причине невозможно использовать прецизионную область углов θ.

БИБЛИОТЕКА
Отделения Химических
наук АН СССР

Основное содержание работы опубликовано в следующих статьях:

1. Б. Г. Эренбург. Разведка и охрана недр, № 1 (1955).
2. Б. Г. Эренбург. Известия Академии наук СССР, сер. физ., 20, № 7 (1956).
3. Б. Г. Эренбург. Журн. неорг. хим. 4, № 8 (1959).
4. Б. Г. Эренбург. Журн. структ. хим., 2, 178 (1961).
5. Б. Г. Эренбург. Журн. структ. хим., 2, 212 (1961).
6. Б. Г. Эренбург. Записки Всес. минер. об-ва, 91, № 3 (1962).
7. Б. Г. Эренбург. Рентгенография минерального сырья, № 2 (1962).
8. Б. Г. Эренбург. Бюллетень научно-технической информации мин. геол. и охраны недр СССР, № 5—6 (1962).

Результаты работы были доложены также на V, VI и VII Всесоюзных совещаниях по применению рентгеновых лучей к исследованию материалов (Тезисы докладов, Ленинград, 1955, 1958 и 1961).

Т-12791 26.XI-62 г. Заказ 814 Тираж 160

Типография НИИ труда