

МЕТОДЫ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И КОНСТАНТЫ МИНЕРАЛОВ

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При лабораторной обработке образцов, отобранных в ходе проводившихся нами полевых исследований антропогена Кубы, особое внимание уделялось диагностике тонкодисперсных и слоистых (глинистых) алюмосиликатных минералов и минеральных образований методом рентгенодифрактометрического анализа. Подавляющее количество определений было выполнено на рентгенодифрактометре УРС-И-М. Использовано $\text{CuK}\alpha_{1,2}$ -излучение, фильтрованное никелем. Скорость вращения счетчика квантов типа МСТР-4 составляла $2^\circ 2\theta$ в мин. В типичных условиях работы аппаратуры и фиксированном положении гониометра получены рентгенодифрактограммы для всех образцов фракций $< 0,001$ мм в виде ориентированных препаратов в трех состояниях: воздушно-сухом, с этиленгликолем и прокаленных при 550°C . В необходимых случаях снимались образцы после прокаливания до 300°C . Для многих образцов получены, кроме того, рентгенодифрактограммы в пределах $2\theta = 57-63^\circ$ от порошковых препаратов, для измерения значений d_{060} преобладающих фаз. Для определения индекса структурной упорядоченности каолинитов, по Хинкли [Hinckley, 1965], для ряда образцов проводилась съемка рентгенограмм от порошков в пределах $2\theta = 18-26^\circ$. Полимерные модификации слюд там, где это было возможно, определялись по порошкограммам в пределах $2\theta = 16-35^\circ$.

Большая часть определений от порошковых препаратов, а также определения минералов, требующие разрешения близких по значению d/n рефлексов, таких, например, как гиббсит, байерит, нордстрандит, проводились на аппарате ДРОН-2,0.

В целях обеспечения необходимой точности измерений d/n при определении минералов группы карбонатов, в особенности при идентификации магнезиальных кальцитов и протодоломитов, различных по содержанию магнезиальной составляющей, проводилась регулярная проверка юстировки прибора по тонкорастертым порошкам исландского шпата и кварца. Практически всегда была возможность, кроме того, проверить точность измерений по внутреннему стандарту, каковым в большинстве случаев был кварц.

Выбор методов, приемов и режимов работы аппаратуры определялся двумя главными обстоятельствами. Во-первых, стремлением получить сопоставимые между собой данные для глинистых минералов во фракциях $< 0,001$ мм в исходном состоянии, т.е. с рентгеноаморфной составляющей фракций. Во-вторых, желанием обеспечить достаточно детальную характеристику фазового состава тонкодисперсного материала и структурных особенностей основных минералов. Полученные таким образом материалы составили основной объем информации о фазовом составе фракций $< 0,001$ мм четвертичных отложений и кор выветривания. Поскольку режимы работы аппаратуры не изменялись, это дает возможность прямого сопоставления дифракционных картин не только по значениям d/n , но и по интенсивностям.

В тех случаях, когда идентификация фаз по упомянутому выше комплексу данных была затруднительна вследствие слишком высокого содержания рентгеноаморфных соединений или если было необходимо получить более детальную характеристику какого-либо конкретного минерала, проводилась рентгеносъемка от препаратов, предварительно обработанных с помощью методов Мэра-Джексона [Mehra, Jackson, 1960] или Хасимото-Джексона [Hashimoto, Jackson, 1960]. Методом Мэра-Джексона с помощью дитионит-лимоннокислой системы с буферным раствором бикарбоната натрия из препаратов удаляются "свежие" рентгеноаморфные гидроокислы железа и, по-видимому, алюминия. В методе Хасимото-Джексона используется быстрое кипячение в растворе NaOH . С его помощью из фракций удаляются "застарелые" рентгеноаморфные соединения алюминия и кремния.

Для отождествления ряда глинистых и тонкодисперсных минералов, в частности хлоритов, бейделлита и других, применялись обработки фракций в горячей 10%-ной HCl , а также насыщение литием, калием, натрием и кальцием.

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ

Диагностика минералов основывалась на их оптических свойствах и данных физических методов: рентгенодифрактометрического, термического и ИК-спектроскопического, согласно признакам и константам, имеющимся в специальной и справочной литературе [Винчелл, 1933; Горбунов и др., 1952; Винчелл, Винчелл, 1953; Методы изучения ..., 1957; Штрунц, 1962; Браун, 1965; Костов, 1971; Градусов, 1976; Дриц, Сахаров, 1976]. В работе рассматриваются минералы следующих классов: силикаты, окислы простые и сложные, гидроокислы, карбонаты, сульфаты и фосфаты.

Силикаты

Рассматриваются минералы, относящиеся практически ко всем отделам обширного класса силикатов: слоистые, каркасные, слоисто-цепочечные и цепочечные и островные.

Слоистые силикаты

Слоистые силикаты — одна из наиболее широко распространенных групп минералов в четвертичных отложениях Кубы. Определение этих минералов требовало комплексного применения методов: петрографического, рентгеноструктурного, термического, ИК-спектроскопического и химического. ИК-спектроскопический метод обязательно применялся для идентификации минералов каолиновой группы в том случае, если они присутствовали в небольших количествах в полиминеральных фракциях или во фракциях, богатых рентгеноаморфными компонентами.

Группа каолинита, метакаллауазита, аллофана

Каолинит — бесцветные чешуйчатые агрегаты с $Nm = 1,559-1,569$; $Ng-Np = 0,006$. Характеризуется симметричными дифракционными пиками с d/n первого базального рефлекса в пределах $7,16-7,18$ Å, второго — $3,58-3,56$ Å и отсутствием общих рефлексов. Рефлексы минерала исчезают после прокаливании до 550°C . На термограммах имеется острый эндотермический пик при $580-600^\circ$ и экзотермический — при $980-1000^\circ\text{C}$, а на ИК-спектрограммах дублет в области валентных колебаний (ОН)-группы при 3630 и 3700 см^{-1} . Профиль пиков на дифрактограммах большинства исследуемых каолинитов низкий, тупой и широкий, а индекс структурной упорядоченности, по Хинкли, составляет чаще всего $< 0,2$, реже $0,2-0,4$, что характеризует каолиниты как крайне неупорядоченные или плохо упорядоченные.

Метакаллауазит — изотропен или лишь слабо действует на поляризованный свет с $N = 1,549-1,561$. Рентгенометрически диагностируется по широким асимметричным базальным отражениям при $7,18-7,35$ Å и $3,55-3,52$ Å при обязательном наличии на рентгенограммах от ориентированных препаратов общего рефлекса с $4,4$ Å, высота которого составляет не менее $1/4-1/3$ высоты каждого из базальных рефлексов. При насыщении этиленгликолем и нагревании до $100-200^\circ\text{C}$ d_{001} чаще всего остается постоянным, но иногда увеличивается (при насыщении этиленгликолем) и сокращается (после прокаливании до $100-200^\circ\text{C}$). На термограммах имеется эндозффект $140-150^\circ$, асимметричный эндозффект при $550-570^\circ$ и экзозффект при $900-920^\circ\text{C}$.

Аллофан — бесцветное или окрашенное гидроксидом железа изотропное вещество с $N = 1,47-1,51$. Рентгеноаморфен. На термограммах обычно два эффекта: эндотермический при 150° и экзотермический при $900-920^\circ\text{C}$.

Группа серпентина

Антигорит — пластины бесцветные или зеленоватые с $Nm = 1,57$; $Ng-Np = 0,011$. На термограммах минерала есть два эндотермических эффекта при $140-150$ и $720-730^\circ$ и острый экзотермический эффект при $840-860^\circ\text{C}$.

Хризотил — бесцветные или зеленоватые волокнистые пластины с $Nm = 1,54$; $Ng-Np = 0,013$. На термограммах три эндотермических эффекта при $140-150$, $660-670$ и 820° и острый экзозффект при $840-860^\circ\text{C}$.

Серпентин — коллоидальные разности серпентиновых минералов.

Все перечисленные минералы рентгенографически определяются по острым отражениям, значения d/n которых образуют целочисленную серию от $7,36$ Å ($d_{002} = 3,65-3,68$ Å), и наличием на рентгенограммах от ориентированных препаратов общего рефлекса с максимумом при $4,5$ Å.

Алюмосерпентин (?) — хрупкое фарфоровидное колломорфное и чешуйчатое вещество белого и голубого цвета, слабо действующее на поляризованный свет или изотропное с $N = 1,498-1,543$, наиболее часто — $N = 1,530$. Состав (в %): $\text{SiO}_2 = 30,86-34,36$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 26,17-23,79$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,39-1,93$; FeO — нет или $1,93$; $\text{MgO} = 18,57-19,74$; $\text{H}_2\text{O}^+ = 14,54-12,98$; $\text{H}_2\text{O}^- = 6,46-3,86$. Минерал характеризуется целочисленной серией отражений, значения d/n которых кратны $7,07-7,11$ Å ($d_{002} = 3,53-3,55$ Å; $d_{003} = 2,37$ Å) и $d_{060} = 1,524$ Å. На рентгенограммах от ориентированных препаратов есть четкие общие рефлексы с $d/n = 4,4$ Å. Термограммы минерала близки хризотилу: на них есть три эндотермических эффекта при $120-130$, $660-670$ и 820°C и экзотермический эффект при $850-860^\circ\text{C}$. Все перечисленные эффекты, однако, значительно менее четко выражены, чем у хризотила. ИК-спектры этого минерала характеризуются серией широких и нечетко выраженных полос в области деформационных колебаний атомных групп структуры $450-700\text{ см}^{-1}$ и двумя широкими полосами с максимумом при 1020 и 3450 см^{-1} .

Группа слюда

Мусковит — бесцветные или чуть зеленоватые листочки с совершенной спайностью по 001. $Nm = 1,582-1,619$; $Ng-Np = 0,036-0,054$. Рентгеноструктурным методом определяется по целочисленной серии рефлексов от значения $d_{001} = 10-10,2$ Å. Интенсивность отражения второго порядка минерала составляет не менее $1/3-1/4$ интенсивности первого базального рефлекса. Значение d_{060} на порошковой диаграмме равно $1,43-1,49$ Å. На рентгенограммах от порошковых препаратов наблюдаются некоторые из основных рефлексов, характерные для слюды полиморфной модификации 1M₁ и признаки модификаций 2M₁ ($3,5$; $3,2$; $2,98$ Å), реже 1M ($3,65$; $3,10$; $2,85$ Å).

Парагонит — натриевая слюда, по оптическим свойствам сходная с мусковитом. Рентгенографически определяется по отражениям с $d/n = 9,65-9,8$; $4,82$; $3,22$ Å.

Биотит — густоокрашенные в бурые и зеленовато-бурые тона, резко плеохроирующие пластины с $Nm = 1,609-1,696$; $Ng-Np = 0,039-0,081$. На рентгенограммах от ориентированных препаратов биотиту принадлежат рефлексы с $d/n = 10,0-10,2$ Å и $3,33-3,34$ Å. Рефлекс от (002) не фиксируется или очень слабый. На рентгенодифрактограммах от порошковых препаратов $d_{060} = 1,54$ Å.

Группа смектита

Общими признаками минералов группы смектита, отличающими их от смешанослойных образований с высоким содержанием соответствующего пакета, являются наличие рефлекса с $d/n = 12,5$ или $15-16$ Å с более или менее сильно выраженной асимметрией этих рефлексов в результате более плавного спада интенсивности со стороны отражений меньших углов на рентгенограммах в воздуш-

но-сухом состоянии, наличие максимумов при 17–18 Å (до 19–20 Å у дисперсных смектитов) и 8,4–8,8 Å на рентгенограммах от этиленгликолевых комплексов и, наконец, сокращения структуры минерала до 10 Å после прокаливании до 550°C. Термографически все смектиты характеризуются сильным эндотермическим эффектом при 120–150°C.

Диоктаэдрические алюмо-магниево-железистые смектиты (бейделлит, монтмориллонит) — бесцветные, чуть зеленоватые или желтоватые тонкопластинчатые, спутанно-волокнистые или коллоидные агрегаты с $Nm = 1,50–1,55$; $Ng-Np = 0,025–0,035$. Значения d_{060} на порошкограммах = 1,49–1,50 Å. Для бейделлита характерен сильный эндотермический эффект при 540–560° и слабый экзотермический — при 900°C. У монтмориллонита эндотермический эффект при 650–700° выражен слабо, а при 850–900°C — более отчетливо.

Диоктаэдрические железистые смектиты (монтронит) — зеленые, желто-зеленые или коричневые пластинчатые, чешуйчатые или коллоидные агрегаты с $Nm = 1,54–1,65$; $Ng-Np = 0,03–0,04$. У метаколлоидных разновидностей $Ng-Np = 0,003–0,004$. Значение d_{060} на рентгенодифрактограммах от порошковых препаратов равно 1,502–1,505 Å. На термограммах обычно проявляются широкие слабые эндотермические эффекты при 430–500° и слабые экзотермические — при 900–1000°C.

Триоктаэдрические высокомагниево-железистые смектиты — по оптическим свойствам и формам выделения близки монтмориллониту, но отличаются зеленым цветом. Значение d_{060} от порошковых препаратов равно 1,53–1,54 Å. На термограммах отсутствуют или слабо выражены среднетемпературные эндотермические эффекты, но есть мощный экзотермический эффект при 800–950°C.

Группа хлоритов

Хлориты встречаются в виде чешуйчатых выделений в сферолитах или пластинчатых агрегатах зеленого, желто-зеленого или сине-зеленого цвета, с $Nm = 1,57–1,66$; $Ng-Np = 0,001–0,025$. Некоторые из них (пеннины) обладают аномальными фиолетовыми интерференционными окрасками. В большинстве случаев плеохроичны.

Встречены триоктаэдрические хлориты с $d_{060} = 1,53–1,54$ Å. Рентгенометрически они определялись по острым симметричным рефлексам с d/n от воздушно-сухих и насыщенных этиленгликолем ориентированных препаратов: 14,0–14,2; 7,07–7,10; 4,75 и 3,54–3,52 Å. Значение d_{060} иногда несколько уменьшается (до 13,8–13,5 Å) от прокаливании при 550°C. Рефлексы минерала часто, но не всегда исчезают при обработке препаратов горячей 10%-ной HCl.

Группа пиррофилита и талька

Пиррофиллит — листовато-чешуйчатые бесцветные агрегаты с $Nm = 1,588$; $Ng-Np = 0,048$. Рентгенографически определяется по целочисленной серии базальных рефлексов от 9,2 Å, $d_{060} = 1,49$. На термограммах есть широкий эндотермический эффект при 750–800°C.

Тальк — листовато-чешуйчатые бесцветные агрегаты с $Nm = 1,589$; $Ng-Np = 0,045–0,050$. На рентгенограммах серия рефлексов с $d/n = 9,36$; 4,68; 3,12 Å; $d_{060} = 1,53–1,54$, а термограммы характеризуются эндотермическим эффектом при 900–960°C.

Слоистые силикаты со смешанослойной структурой

В основу идентификации смешанослойных образований положены результаты специальных структурных исследований В.А. Дрица, Б.А. Сахарова [1976] и Б.П. Градусова [1976]. Описываются смешанослойные минералы с чередованием двух- и трехэтажных слоев (каолинит-смектиты), трехэтажных слоев с различными межслойными промежутками (слюда-смектиты и слюда-вермикулиты), трехэтажных слоев и одноэтажных хлоритовых прослоек (хлорит-смектиты и слюда-хлориты). Определение перечисленных смешанослойных образований проводилось главным образом по рентгеноструктурным показателям, разработанным Б.П. Градусовым [Градусов, 1976].

Каолинит-смектиты. Оптические свойства каолинит-смектитов близки каолиниту: $Nm = 1,56–1,68$; $Ng-Np = 0,007–0,011$, но они отличаются зеленоватым оттенком, что иногда позволяет идентифицировать минерал при петрографических исследованиях. Определение образований проводилось рентгеноструктурным методом по рефлексам с $d = 7,2–7,6$ и 3,56–3,50 Å от препаратов в воздушно-сухом состоянии. В этиленгликолевых и глицериновых комплексах d первого основного рефлекса уменьшается. Наблюдается увеличение d этого рефлекса после прокаливании до 350°C. В этиленгликоле и глицерине d второго основного рефлекса смешанослойного образования соответственно увеличивается. После прокаливании до 550°C оба рефлекса исчезают. При высоком содержании в полиминеральной фракции каолинит-смектита на дифрактограммах можно видеть широкий слабый рефлекс с $d = 11–12$ Å. В отличие от метагиллузита на рентгенограммах от ориентированных препаратов общие рефлексы не фиксируются или они имеют высоту, меньшую 1/4 высоты базальных рефлексов.

Термографическая характеристика каолинит-смектитов близка минералам каолиновой группы. На термограммах видны две эндотермические остановки при 120–150 и 580–560° и экзотермический эффект при 950–970°C. У некоторых образцов экзотермический эффект по сравнению с каолинитом смещается в сторону более низких температур (до 880–930°C).

Диоктаэдрические гидрослюды — чешуйчатые агрегаты с $Ng' = 1,6–1,56$; $Np' = 1,57–1,53$; $Ng-Np' = 0,035–0,030$. На дифрактограммах значение d основного базального рефлекса равно 10,2–10,5 Å, на рентгенограммах от этиленгликолевых и глицериновых препаратов оно смещается в область больших углов и равно, как правило, 9,8–9,9 Å. На термограммах не очень сильные эндотермические остановки при 140–180, 450–600 и 850–980°C. Высокотемпературные экзотермические эффекты не выражены или выражены слабо.

Слюда-смектиты (со слюдыстым пакетом мусковит-серицитового типа). В зависимости от соотношения пакетов d основного базального рефлекса больше 10 Å, но меньше 15,5 Å у воздушно-сухих препаратов; больше 10 Å и меньше 18 Å в глицериновых комплексах и больше 9,5 Å, но меньше 10 Å после прокаливании до 550°C. Образование не растворяется в 10%-ной горячей HCl, d_{060} его равно 1,49–1,50 Å.

Слюда-вермикулиты или гидробиотиты (со слюдяным пакетом биотит-флогопитового типа). Гидробиотиты по оптическим свойствам и характеру термограмм близки вермикулитам [Гинзбург, Рукавишников, 1951]. На дифрактограммах они определяются по d основного базального рефлекса, значение которого от воздушно-сухих препаратов больше 10,2 Å, но меньше 14,4 Å, в глицериновом комплексе оно не изменяется, а после прокаливании до 550°C сокращается до 9,5–10 Å; d_{060} образования = 1,53–1,54 Å. В малоугловой области на дифрактограммах гидробиотитов, образованных в процессе трансформации биотита, обычно проявляются рефлексы с $d > 23$, но < 30 Å, что характеризует их как частично упорядоченные или упорядоченные.

Увеличение количества вермикулитовых пакетов в гидробиотите приводит к уменьшению d первого базального рефлекса до значения 23–25 Å, а третьего рефлекса — до значения $< 8,4$, но $> 8,28$ Å.

Хлорит-сметиты — лучистые, чешуйчатые или сетчато-волоконистые агрегаты светло-зеленого или зеленого цвета, часто плеохроирующие с $Nm = 1,56–1,60$; $Ng-Np = 0,005–0,035$. Значение d основного базального рефлекса на дифрактограммах от воздушно-сухих препаратов больше 14,2 Å, но меньше 15,5 Å. В глицериновых комплексах значение этого рефлекса увеличивается, но не больше, чем до 18 Å, а при прокаливании до 550° снижается до величины 10,2–14,0 Å; d_{060} образования = 1,53–1,54 Å.

При высоком содержании хлоритовых пакетов d основного базального рефлекса близко 14 Å в воздушно-сухом состоянии, его значение практически не меняется при насыщении глицерином и сокращается до 12–13 Å после прокаливании до 550°C. Уменьшение числа хлоритовых пакетов в смешанослойном образовании и увеличение сметитовых пакетов приводит к постепенному спаду интенсивности рефлексов 14 и 7 Å на рентгенограммах от воздушно-сухих образцов, увеличению значения второго рефлекса от 7,1 до 7,4 Å, сокращению интенсивности базальных рефлексов с $d = 4,7–4,8$ Å и, наконец, к уменьшению d четвертого рефлекса до значения $< 3,54$ Å. С этиленгликолем хлорит-сметиты с большим содержанием сметитовых пакетов дают рентгенодифрактограммы с первым базальным рефлексом $> 16,0$ Å. В полиминеральных фракциях, содержащих хлорит-сметиты, с разным содержанием хлоритовых и сметитовых пакетов, неоднородность смешанослойного образования выявляется на рентгенограммах от насыщенных этиленгликолем препаратов по обособлению 14–16 Å и 16–18 Å рефлексов.

Термограммы хлорит-сметитов характеризуются тремя эндотермическими остановками: при 120–140, 530–570 и 830°C. Высокотемпературная эндотермическая остановка переходит в экзотермический эффект при 880–890°C.

Слюда-хлориты — бесцветные или чуть зеленоватые лучистые или пластинчатые агрегаты, оптические свойства которых близки диоктаэдрической гидрослуде. Значение d основного базального рефлекса образования на дифрактограммах от воздушно-сухого и насыщенного этиленгликолем или глицерином препарата колеблется в пределах 11–12 Å и не снижается ниже 11 Å после прокаливании до 550°.

Каркасные силикаты

Каркасные силикаты определялись главным образом петрографическим методом и в иммерсии. Для идентификации этих минералов в полиминеральных тонкодисперсных фракциях и для качественной характеристики результатов элювиального процесса применялся рентгеноструктурный анализ.

Плаггиоклазы — бесцветные призматические или неправильные по форме выделения. Почти всегда в них можно наблюдать полисинтетические двойники. Оптические свойства плаггиоклазов закономерно и постепенно меняются с химическим составом:

Минерал	Nm	$Ng-Np$
Альбит	1,534	0,010
Олигоклаз	1,541	0,007
Лабрадор	1,558	0,008

По значениям d/n (в Å/интенсивность) на дифрактограммах определялись: альбит (6,39/6; 4,02/8; 3,77/7; 3,66/8; 3,18/10) и лабрадор (4,04/8; 3,75/8; 3,63/7; 3,22/8).

Калиевые полевые шпаты — бесцветные, буроватые или красновато-бурые, неправильные по форме зерна или таблитчатые выделения с преломлением, заметно меньшим канадского бальзама ($Nm = 1,525–1,531$; $Ng-Np = 0,006$). Двойники простые или отсутствуют, у микроклинов часто наблюдалась характерная микроклиновое решетчатое.

Рентгенографически определялись по рефлексам с $d/n = 4,21$ и $3,25$ Å (для микроклина) и $4,26$; $3,79$; $3,46$ Å (для ортоклаза).

Цеолиты — бесцветные игольчатые, лучистые, пластинчатые и неправильные по форме агрегаты с $Nm = 1,47–1,54$; $Ng-Np = 0–0,015$ (ближе не определялись).

Слоисто-цепочечные и цепочечные силикаты

Слоисто-цепочечные силикаты (сепиолит и палыгорскит) определялись комплексом методов: петрографическим, иммерсионным, рентгеноструктурным и термографическим, а цепочечные силикаты (пироксены и амфиболы) — главным образом петрографическим и иммерсионным методами.

Группа сепиолита, палыгорскита

Сепиолит — бесцветные волокнистые агрегаты с $Nm = 1,52$; $Ng-Np = 0,009–0,010$. Рентгенографически определяется по серии рефлексов с $d/n = 12,1–12,3$; $4,6$; $3,23$; $2,61$ Å. На термограммах четыре эндотермических эффекта: при 100, 300–350, 500 и 800°C. Высокотемпературная эндотермическая остановка непосредственно переходит в сильный экзотермический эффект при 820–850°C.

Пальгорскит — бесцветный волокнистый агрегат с $Nm = 1,512-1,55$; $Ng-Np = 0,007$. На рентгенограммах видна серия рефлексов с $d/n = 10,4$; $6,4$; $4,3$; $3,25$ Å. Термографически определяется по трем сильным эндотермическим эффектам: $100-150$, $280-350$ и $500-530^\circ$. Высокотемпературные эндо- и экзотермические эффекты выражены слабо.

Пироксены

Кристаллы бесцветные, чуть буроватые или зеленоватые, в этом случае слабо плеохроирующие, короткопризматические с ясной спайностью под углом $87-88^\circ$. Угол погасания ромбических пироксенов 90° , у моноклинных — $30-40^\circ$. На рентгенограммах рефлексы с $d/n = 3,0$; $2,52$; $1,48$ Å (ближе не определялись).

Амфиболы

Кристаллы желтовато-зеленые, зеленые, бурые, сине-фиолетовые, сильно плеохроирующие, реже бесцветные, обычно длиннопризматические или игольчатые с совершенной спайностью под углом около 56° . Ромбические амфиболы отличаются прямым погасанием, а у моноклинных — угол погасания $0-25^\circ$. На рентгенограммах наблюдаются рефлексы с $d/n = 8,4-8,5$ Å.

Роговые обманки — зеленые или бурые, хорошо плеохроирующие призматические кристаллы с $Nm = 1,620-1,725$; $Ng-Np = 0,020-0,070$; угол погасания с $Ng = 15-25^\circ$ (ближе не определялись).

Островные силикаты

Островные силикаты определялись главным образом петрографическим методом и в иммерсии.

Оливин — бесцветные или чуть желтоватые короткопризматические кристаллы с острыми гранями. Угасание прямое, параллельное удлинению и трещинам спайности. $Nm = 1,670$; $Ng-Np = 0,035-0,050$.

Цоизит — бесцветные призмы и стебельчато-игольчатые выделения с аномальной интерференционной окраской: желто-бурой, синей или тускло-красной. $Nm = 1,72$; $Ng-Np = 0,005-0,009$.

Эпидот — столбчатые или неправильнозернистые выделения зеленого или желтоватого цвета, отчетливо плеохроирующие с $Nm = 1,74$; $Ng-Np = 0,032$.

Сқсқурит — агрегат цоизита и эпидота среди плагиоклазов.

Окислы простые и сложные

Минералы определялись методами петрографии и рентгенографии.

Кварц — бесцветные неправильные по форме выделения с $No = 1,544$; $Ne-No = 0,009$. На рентгенограммах рефлексы с $d/n = 4,26$; $3,34$ Å.

Кварцин — отличается от кварца более низким показателем преломления с $No = 1,535$. Удлинение положительное. Рентгеноструктурная характеристика аналогична кварцу.

Халцедон — бесцветные радиально-лучистые и метаколлоидные выделения. Отличается от кварца и кварцина пониженными показателями преломления, $No = 1,531-1,539$; $Ne-No = 0,008-0,010$.

Опал — бесцветный, изотропный с $N = 1,41-1,46$. Рентгеноаморфен, но иногда регистрируются рефлексы при $4,1$ Å, как у кристобалита.

Магнетит — черный, непрозрачный, с синеватым отливом в отраженном свете. Сильно магнитен. На дифрактограммах определяется по рефлексам с $d/n = 2,53$; $1,61$; $1,48$ Å.

Гематит — темно-красный, непрозрачный, в тонких шлифах просвечивает красным цветом. Рентгенографически определяется по рефлексам с $d/n = 2,69$; $2,51$ Å.

Маггемит — черный или темно-красный, непрозрачный. Слабо магнитен. Определяется на дифрактограммах по рефлексам с $d/n = 2,9$; $2,51$ Å.

Гидроокислы

Минералы группы гидроокислов определялись комплексом методов: петрографическим, иммерсионным, рентгеноструктурным, термографическим, ИК-спектрографическим и химическим.

Гиббсит — бесцветные таблитчатые выделения или метаколлоидные агрегаты с $Nm = 1,566-1,568$; $Ng-Np = 0,021$. На рентгенограммах четкие рефлексы с $d/n = 4,83$; $4,36$ Å; термограммы характеризуются эндотермической остановкой при $280-310^\circ\text{C}$, а ИК-спектрограммы имеют триплет в области 3450 , 3530 и 3630 см^{-1} .

Бёмит — встречается только в дисперсном состоянии. Диагностировался рентгенографически по рефлексам с $d/n = 6,1$; $3,16$ Å.

Байерит — обнаружен на рентгенограммах по рефлексам с $d/n = 4,72$; $4,36$; $2,21$ Å, в парагенезе с бёмитом и норстрандитом.

Норстрандит — определен рентгенографически по рефлексам с $d/n = 4,79$; $2,39$; $2,26$ Å в парагенезе с байеритом и бёмитом.

Гётит — желтовато-коричневые дисперсные агрегаты с $d/n = 4,15-4,16$; $2,67$ Å и четкой эндотермической остановкой при $330-360^\circ\text{C}$.

Окислы-гидроокислы железа (ближе неопределенные) — дисперсные образования пигментной составляющей элювия и осадочных отложений — они непрозрачны в проходящем свете и имеют красноватый цвет в отраженном свете.

Окислы-гидроокислы марганца (ближе неопределенные) — сажистые, непрозрачны с полуметаллическим или матовым блеском в отраженном свете. С уксуснокислым бензидином дают синие окраски.

На рентгенограммах большинства из перечисленных минералов группы гидроокислов за исключением гиббсита из-за того, что они плохо кристаллизованы и находятся в полиминеральных фракциях с большим содержанием рентгеноаморфных компонентов, реально наблюдаются лишь наиболее сильные рефлексы: $6,1$ Å — для бёмита, $4,72$ Å — для байерита, $4,79$ Å — для норстрандита и $4,15-4,16$ Å — для гётита.

Карбонаты

Карбонаты определялись петрографическим, рентгеноструктурным и термическим методами. *Арагонит* — метакolloидные выделения буроватого оттенка с $Nm = 1,68$; $Ng-Np = 0,15$. На рентгенограммах серия рефлексов с $d/n = 3,39$; $3,27$; $2,70$; $1,97$ Å.

Кальцит — зерна и зернистые агрегаты бесцветные или буроватые от примесей. Спайность под углом 75° . Очень сильное двупреломление с $No = 1,658$; $No-Ne = 0,172$. На рентгенограммах рефлексы с $d/n = 3,03$; $2,49$; $2,28$; $2,09$ Å, а на термограммах мощный эндотермический эффект при $860-940^\circ\text{C}$.

Люблинит — войлокоподобная модификация кальцита.

Магнезиальный кальцит — отличается от кальцита значением d/n меньшим $3,03$ Å, но большим $2,9$ Å.

Протоделомит — определялся рентгеноструктурным методом по $d/n = 2,9$; $2,67$ Å.

Деломит — бесцветные или буроватые зерна с ромбоэдрической спайностью и $No = 1,682$; $No-Ne = 0,180$. На рентгенограммах рефлексы с $d/n = 2,88$; $2,67$ Å, а на термограммах — два резких эндотермических эффекта при $800-850$ и $920-950^\circ\text{C}$.

Сульфаты

Сульфаты диагностировались петрографическим методом, в иммерсии и термическим анализом. *Гипс* — бесцветные таблицы и агрегаты с $Ng' = 1,530$; $Np' = 1,520$. На термограммах два эндотермических эффекта при $125-250$ и $150-280^\circ\text{C}$.

Фосфаты

Коллофан (?) — бурые или красно-бурые колломорфные и оолитоподобные слабо действующие на поляризованный свет выделения с $N = 1,57-1,60$. Рентгенографически определялся по рефлексам с $d/n = 3,44$; $2,79$; $2,70$ Å.

ЛИТЕРАТУРА

- Винчелл А.Н. Оптика и микроскопия искусственных минералов. Л.: Госхимтехиздат, 1933. 216 с.
- Винчелл А.Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. М.: ИЛ, 1953. 561 с.
- Гинзбург И.И., Рукавишников И.А. Минералы древней коры выветривания Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 715 с.
- Горбунов Н.И., Цюрупа И.Г., Шурыгина Е.А. Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 186 с.
- Градусов Б.П. Минералы со смешанослойной структурой в почвах. М.: Наука, 1976. 128 с.
- Дриц В.А., Сахаров Б.А. Рентгеноструктурный анализ смешанослойных минералов. М.: Наука, 1976. 255 с. (Тр./ГИН АН СССР; Вып. 295).
- Костов И. Минералогия. М.: Мир, 1971. 584 с.
- Методы изучения осадочных пород. М.: Госгеолтехиздат, 1957, т. I. 610 с.
- Рентгеновские методы изучения и структуры глинистых минералов. М.: Мир, 1965. 599 с.
- Штрунц Х. Минералогические таблицы. М.: Госгортехиздат, 1962. 531 с.
- Hashimoto J., Jackson M.L. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. — Clays and Clay Minerals, 1960, vol. 5, p. 120-130.
- Hinkley D.N. Mineralogical and chemical variations in the kaolin deposits of the Coastal plain of Georgia and South Carolina. — Amer. mineralogist, 1965, vol. 50, p. 1865-1883.
- Mehra O.P., Jackson M.L. Iron oxide removal from soils and clay systems buffered with sodium bicarbonate by dithionite-citrate. — Clays and Clay Minerals, 1960, vol. 5, p. 317-327.