

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПО ЧЕРТЕ И ХИМИЧЕСКИМ РЕАКЦИЯМ

Доц. М. Н. Чуева

Одним из диагностических признаков, по которому устанавливается цвет минерала в порошке, является черта, получаемая на фарфоровой неглазурованной пластинке (бисквите).

Исследование минералов по черте известно с давних времен в горной практике при разработке рудных месторождений. В 1801—1816 гг. В. М. Севергин систематизировал минералы по наружным отличительным признакам и при этом использовал черту минерала [9].

Черта минерала может быть использована и для химических испытаний при помощи метода растирания с твердым химическим веществом. Важно также испытывать черту минерала на разложение в кислотах и щелочах. Качественный химический анализ методом растирания порошков впервые научно был обоснован Д. И. Менделеевым в 1868 г. [6, 7]. Изучением реакций между твердыми веществами занимался в 1898 г. Ф. М. Флавицкий [11].

В настоящее время качественный анализ руд и минералов методом растирания порошков разрабатывается П. М. Исаковым [5]. На растирание черты указывал А. К. Болдырев в курсе описательной минералогии [1].

В минералогической практике Ленинградского горного института широко используется определение минералов по методу растирания черты и химических реакций на черте минерала. Начало работ по систематизации приемов испытания минералов в их черте было сделано сотрудниками кафедры минералогии Ленинградского горного института К. М. Малковой и В. Ф. Петрунем.

При макроскопической диагностике минералов выделяются три метода: 1) визуального наблюдения простым глазом по внешнему виду минерала, т. е. устанавливаются морфология и оптические свойства (цвет, блеск, прозрачность и непрозрачность минеральных индивидов); 2) визуального определения с испытаниями механических свойств минералов — твердости при царапании, хрупкости при раздавливании, спайности и излома при раскалывании, способности коваться при расплющивании и получении черты на фарфоровой пластинке; 3) химических испытаний минерала или его черты.

Одновременное использование этих трех методов позволяет быстро диагностировать минералы. Применение методов производится в указанной последовательности. Сравнение цвета и блеска черты с цветом и блеском минерала помогает при определении минерала.

По способности при прочерчивании по бисквиту оставлять след минералы делятся на дающие черту и не дающие черту. Минералы, не дающие черту, обладают твердостью больше шести, для них характерен стеклянный и реже алмазный блеск, — это свойственно окислам и кислородным радикаловым соединениям. По цвету минералы дают черную окрашенную и белую черту. Минералы, дающие черную черту, могут по цвету совпадать с чертой или быть светлее. Черная черта, совпадающая с черным цветом минерала, характерна для окислов; черная же черта темнее цвета минерала свойственна сульфидам с металлическим блеском. Для минералов с окрашенной чертой чаще наблюдается обратное явление, т. е. черта светлее минерала и реже цвет окрашенной черты совпадает с цветом минерала. Совпадение окрашенной черты с цветом минерала характерно для минералов, у которых главной составной частью являются элементы хромофоры (малахит, азурит, гарниерит и др.). Белая черта характерна для минералов не окрашенных или слабо окрашенных примесями хромофоров.

Кроме того, минералы с чертой делятся по блеску черты на минералы с блестящей металлической чертой и с матовой землистой. Для металлической черты характерно совпадение с цветом минерала, и она обычно окрашена. Ниже приводится краткая характеристика черты по отдельным классам минералов.

Самородные металлы имеют блестящую металлическую черту, совпадающую с цветом минерала (золото, медь, серебро, платина и др.).

Сульфиды по блеску делятся на сульфиды с металлическим и сульфиды с алмазным блеском. У сульфидов с металлическим блеском обычно матовая черная черта, темнее цвета минерала, и лишь немногие из них дают металлическую черту, совпадающую с цветом минерала (молибденит, халькозин, частично галенит и др.). Сульфиды с алмазным блеском дают матовую окрашенную или белую черту. Матовая окрашенная черта сульфидов чаще светлее минерала (сфалерит и др.) и редко совпадает с цветом минерала (киноварь, аурипигмент).

Окислы и гидроокислы обладают полуметаллическим, алмазным и стеклянным блеском. Окислы и гидроокислы с полуметаллическим блеском темноокрашенные или черные и дают цветную или черную черту. Цветная окрашенная черта светлее минерала, а черная черта совпадает с черным цветом минерала (магнетит, ильменит, пиролюзит и др.). Окислы с алмазным блеском имеют окрашенную черту светлее минерала или совпадающую с цветом минерала (куприт). Окислы со стеклянным блеском чаще не окрашены или слабо окрашены (кварц, корунд), причем обладают твердостью выше семи и черты на бисквите не дают. Гидроокислы со стеклянным блеском не окрашены или окрашены механическими примесями гидроокислов железа и марганца, но в отличие от окислов со стеклянным блеском они обладают твердостью ниже пяти и поэтому дают черту. Для гидроокислов со стеклянным блеском характерна черта белого цвета.

Для кислородных соединений с радикал-ионной кристаллической структурой характерен стеклянный блеск, реже проявляется алмазный блеск с жирным отблеском. Черта их чаще белая и редко окрашена светлее минерала или совпадает с цветом минерала (малахит, азурит, эритрин, гарниерит).

Черта минерала является наиболее благоприятным материалом для химических испытаний, так как представляет собой разрыхленную массу кристаллического вещества. Химическая диагностика основана на разложении минералов кислотами, щелочами и кислородом воздуха при растирании черты, а также на разложении черты минерала при расти-

рации с солями. При растворении минералов получают характерные реакции с окрашиванием растворов, выпадением осадков солей или выделением газовых пузырьков. В случае растирания черты с солями образуются окрашенные смеси.

Для минералов, которые одновременно с растворением в кислотах или щелочах дают вновь образованные кристаллические осадки солей, получают пленочные реакции. Частные химические реакции на катионы и анионы подбираются с таким расчетом, чтобы происходило полное их осаждение или образование характерных окрашенных комплексных соединений в растворах и т. п. При этом учитываются состав минерала и мешающие открытию друг друга элементы.

Из кислот для разложения минералов используются концентрированные соляная и азотная, а из щелочей — аммиак и едкий калий. При получении же частных химических реакций, кроме кислот и щелочей, употребляются соли: кислый серноокислый калий, азотнокислый аммоний, роданистый аммоний, роданистый калий, иодистый калий, диметилглиоксим, железистосинеродистый калий, железосинеродистый калий и др. Техника выполнения реакций очень проста и требует мало времени. Химические реакции проводятся на черте или на кристаллах и зернах минералов при комнатной температуре. В случае же растирания черты реакции происходят при участии тепла, создаваемого в момент растирания. Растирание черты производится вторым бисквитом или стеклянной палочкой с сильным нажимом для создания большего тепла, которое способствует более быстрому течению химической реакции.

В предлагаемой работе приведено определение тех минералов, которые дают характерное разложение при растворении или растирании черты, и минералов, легко определяемых по пленочным реакциям. Диагностика минералов по черте и химическим реакциям дана по классам, а внутри класса минералы расположены по алфавиту.

1. Самородные элементы

А. Металлы

1. *Висмут* (Bi) — серебрианебелого цвета с желтоватым оттенком, красноватой побелалостью и металлическим блеском. Черта металлическая серебрианебелая, бурно растворяется в HNO_3 с обильным выделением пузырьков водорода, и слабее — в HCl . При прибавлении воды к солянокислому раствору висмута выпадает белый осадок хлорокиси висмута, а от введения олова — черный бархатистый осадок металлического висмута.

Пленочная реакция — от капли азотной кислоты поверхность минерала вскипает и темнеет.

2. *Железо* (Fe) — стальносерого цвета с металлическим блеском. Черта металлическая стальносерая. В азотной кислоте растворяется с бурным выделением пузырьков окислов азота и водорода. Растворение же в соляной кислоте протекает медленно с выделением пузырьков водорода, а в царской водке процесс растворения идет быстрее, раствор окрашивается в зеленовато-желтый цвет от FeCl_3 . При прибавлении к раствору железа в царской водке железистосинеродистого калия происходит синее окрашивание (берлинская лазурь), а от роданистого аммония — буро-красное. Обе реакции указывают на присутствие трехвалентного железа. От самородной платины железо отличается растворимостью в кислотах. Под действием раствора серноокислой меди железо покрывается красной пленкой.

3. *Золото* (Au) — золотисто-желтого цвета с металлическим блеском. Черта металлическая золотисто-желтая, медленно растворяется в царской водке и SnCl_2 , дает красновато-золотистый осадок золота. С ртутью амальгамируется.

4. *Медь* (Cu) — меднокрасного цвета с металлическим блеском. Черта металлическая меднокрасная, легко растворяется в HNO_3 с обильным выделением пузырьков водорода и зеленым окрашиванием раствора, благодаря образованию $\text{Cu}[\text{NO}_3]_2$.

От аммиака черта меди медленно растворяется и раствор синее вследствие образования комплексной медноаммиачной соли.

5. *Платина* (Pt) — серебриносерого цвета до стальносерого с металлическим блеском. Черта стальносерая, очень медленно растворяется в царской водке, не окрашивая, в отличие от железа, раствора.

6. *Серебро* (Ag) — серебристо-белого цвета с бурой или черной побежалостью и металлическим блеском. Черта металлическая серебрино-белая; от HNO_3 легко растворяется с выделением пузырьков водорода, а при прибавлении соляной кислоты выпадает обильный белый осадок хлористого серебра, который в свою очередь легко растворяется в аммиаке.

Б. Неметаллы

1. *Графит* (C) — от железо-черного до стальносерого цвета, с сильным металловидным жирным блеском, а в скрытокристаллических агрегатах с матовым блеском. Черта металлическая серо-черная, не растворяется в кислотах и щелочах. При растирании черта графита не меняется (в отличие от молибденита).

2. *Сера* (S) — желтого цвета со смолистым блеском. Черта желтовато-белая, не растворяется в кислотах и щелочах. В воде порошок черты всплывает. Черта растворяется в сероуглероде. Порошок серы от спички сгорает.

2. Сернистые соединения (сульфиды)

1. *Антимонит* (Sb_2S_3) — свинцово-серого цвета с синеватой побежалостью и металлическим блеском. Черта черная, легко разлагается в КОН с выпадением оранжевого осадка оксисульфосоли сурьмы. При растирании черта коричневает — образуются оксисульфосоли сурьмы, часть серы замещается кислородом воздуха и оранжевое соединение оксисульфосоли сурьмы смешивается с черным порошком минерала. В результате образуется смесь коричневого цвета.

Пленочная реакция — от капли КОН оранжевое пятно.

2. *Арсенопирит* (FeAsS) — от серебринобелого цвета до железо-черного с металлическим блеском. Черта черная, при растирании с HNO_3 разлагается, а при добавлении молибденовокислого аммония выпадает яркий зеленовато-желтый осадок мышьяковолибденовокислого аммония.

3. *Аурипигмент* (As_2S_3) — золотисто-желтого цвета с алмазно-жирным до перламутрового блеском. Черта желтая, от КОН темнеет вследствие выпадения мышьяка. Черта растворяется в HNO_3 и от молибденовокислого аммония выпадает яркий зеленовато-желтый осадок (см. арсенопирит).

Пленочная реакция — от КОН поверхность минерала по сколам спайности темнеет вследствие выпадения металлического мышьяка.

4. *Борнит* (Cu_5FeS_4) — от меднокрасного до томпаковобурого цвета с синими пестрыми побежалостями и металлическим блеском. Черта черная, легко растворяется в HNO_3 с выделением пузырьков газа

и слабым зеленоватым окрашиванием раствора; от избытка аммиака раствор синее.

Пленочная реакция — от азотной кислоты оранжевое пятно.

5. *Буланжерит* ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$) — свинцово-серого цвета с металлическим блеском. Черта черная, разлагается азотной кислотой с выделением газовых пузырьков. При растирании черты с HCl и KJ образуется бурая смесь вследствие разложения иодистого калия сурьмой выделяется иод. При добавлении воды выпадает слабый золотисто-желтый осадок двуиодистого свинца (в отличие от галенита с образованием обильного осадка). Черта при растирании слабо коричневеет (см. антимонит).

6. *Висмутовый блеск* (Bi_2S_3) — свинцово-серого цвета с металлическим блеском. Черта черная, разлагается в HNO_3 с обильным выделением газовых пузырьков. При растирании черты с HCl и иодистым калием образуется бурая смесь вследствие выделения иода (висмут разлагает иодистый калий), а при добавлении воды хлороокись висмута выпадает и смесь белеет. Металлическое олово из солянокислого раствора вытесняет висмут в виде черного дентритообразного осадка.

Пленочная реакция — от HNO_3 вскипает и темнеет.

Висмутовый блеск от антимонита отличается отрицательной реакцией с KOH , а от буланжерита — положительными реакциями на висмут. Реакции на висмут устанавливаются по образованию белой хлороокиси висмута в воде и выпадению черного осадка висмута в присутствии олова. Кроме того, висмутовый блеск дает отрицательную реакцию на свинец с иодистым калием.

7. *Галенит* (PbS) — свинцово-серого цвета с металлическим блеском. Черта черная, при растирании с HCl разлагается с выделением сероводорода (запах). После добавления кристалликов KJ смесь вновь растирается и приобретает слабый желтый цвет вследствие образования PbJ_2 . При добавлении воды осадок приобретает яркий золотисто-желтый цвет, так как в нейтральной среде осадок PbJ_2 нерастворим.

Пленочная реакция — от HNO_3 моментально чернеет.

8. *Киноварь* (HgS) — алокрасного цвета с алмазным блеском. В смеси с гидроокислами железа буровато-красная с сероватым оттенком. Черта алокрасная или буровато-красная, в кислотах не разлагается. В момент прикосновения раскаленной стеклянной палочкой к красной черте киновари происходит сгорание серы и выделение капелек ртути (различимы под лупой), т. е. черта чернеет.

9. *Кобальтин* (CoAsS) — серебристо-белого цвета с красным оттенком и металлическим блеском. Черта черная, при растирании с HNO_3 частично разлагается и с молибденовокислым аммонием дает зеленовато-желтый осадок (см. арсенопирит). При тщательном растирании черты с KHSO_4 и прибавлении роданистого аммония образуется синяя комплексная соль кобальта $(\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{CNS})_4]$.

10. *Ковеллин* (CuS) — индигово-синего цвета со смоляным блеском. Черта черная, при растирании с царской водкой разлагается и от избытка аммиака синее.

Пленочная реакция — от HCl радужная пленка — красные радужные рефлексy.

11. *Молибденит* (MoS_2) — свинцово-серого цвета с голубоватым оттенком и жирновато-металлическим блеском. Черта металлическая, голубовато-свинцово-серая, при растирании зеленеет в отличие от графита. На холоде молибденит разлагается очень медленно в царской водке, в кислотах же без подогрева не разлагается.

12. *Пентландит* $[(\text{FeNi})_9\text{S}_8]$ — бронзово-желтого цвета с металлическим блеском. Черта черная, при растирании с каплей концентриро-

ванной HNO_3 разлагается и окрашивает раствор в зелено-желтый цвет (зеленый от никеля и желтый от железа). Черта розовеет при растирании с солью азотнокислого аммония и диметил-глиоксима — реакция на никель. При добавлении же аммиака розовая окраска усиливается и переходит в малиновую, при этом присутствие железа не мешает, так как аммонийная соль переводит двухвалентное железо в трехвалентное, которое не дает малиновой окраски с диметил-глиоксимом (в отличие от двухвалентного железа).

Пленочная реакция — пентландит от HNO_3 коричневеет.

13. *Пирит* (FeS_2) — латунножелтого цвета с металлическим блеском. Черта черная, при растирании с HNO_3 частично разлагается и с железосинеродистым калием дает темносинее окрашивание (реакция на двухвалентное железо), а с железистосинеродистым калием получается светлосинее окрашивание (часть железа переходит в трехвалентное).

14. *Пирротин* (Fe_{1-x}S) — бронзово-желтого цвета с томпаковобурой побежалостью и металлическим блеском. Черта черная, разлагается слабой соляной кислотой с выделением пузырьков сероводорода (запах), а с железосинеродистым калием дает синее окрашивание (реакция на двухвалентное железо). Металлический цинк из солянокислого раствора пирротина осаждает черный порошок железа (цинк покрывается черной пленкой).

Пленочная реакция — от царской водки коричневеет (выделяется сера).

15. *Реальгар* (AsS) — оранжево-красного цвета со смоляножирным до алмазного блеском. Черта оранжево-красная, от KOH разлагается и быстро чернеет от выделения мышьяка. При растирании черты с HNO_3 разлагается, а с молибденовокислым аммонием дает яркий зеленовато-желтый осадок мышьяковомолибденовокислого аммония.

16. *Сфалерит* (ZnS) — светлого цвета различных оттенков до коричневого, бурого и черного с алмазным блеском. Черта белая, желтая и коричневая, под действием слабой HCl легко разлагается и выделяет обильное количество H_2S , который легко устанавливается по запаху. В солянокислом растворе с дитизином розовое окрашивание.

17. *Тенантит* (Cu_3AsS_3) — от стальносерого до железо-черного цвета с металлическим до полуметаллического блеском. Черта черная, при растирании с азотной кислотой разлагается и с молибденовокислым аммонием дает зеленовато-желтый осадок мышьяковомолибденовокислого аммония; от избытка аммиака раствор синее (см. медь).

18. *Тетраэдрит* (Cu_3SbS_3) — от стальносерого до железо-черного цвета с металлическим блеском. Черта черная, при растирании коричневеет (см. антимонит), при растирании же с азотной кислотой частично разлагается и раствор от избытка аммиака синее (реакция на медь).

19. *Халькозин* (Cu_2S) — от свинцово-серого цвета до железо-черного с металлическим блеском. Черта свинцово-серая до черной, частично металлическая. Черта разлагается в концентрированной азотной кислоте без растирания (в отличие от тетраэдрита) с выделением газовых пузырьков NO и выпадением серы. Раствор при этом окрашивается в слабый зеленый цвет от $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. При избытке аммиака раствор слабо синее вследствие незначительного образования комплексной аммиачной меди. Кроме того, в отличие от тетраэдрита поверхность халькозиновых зерен синее от HNO_3 .

20. *Халькопирит* (CuFeS_2) — латунножелтого цвета с зеленоватым оттенком и металлическим блеском. Черта черная, при растирании с

концентрированной азотной кислотой разлагается, и от избытка аммиака раствор слабо синее (реакция на медь). При растирании же с азотной кислотой и диметил-глиоксимом в аммиаке раствор дает розовое окрашивание (реакция на двухвалентное железо).

Пленочная реакция — зерна халькопирита помещаются на цинковую пластинку и смачиваются соляной кислотой, при этом моментально образуется коричневатая-черная пленка смеси свободных металлов железа и меди. Эта пленочная реакция позволяет отличать халькопирит от пирита, так как на пирите подобной пленки в данных условиях не образуется. Для получения же пленки на халькопиритовых зернистых агрегатах их следует смочить соляной кислотой и потереть металлическим цинком.

3. Окислы и гидроокислы

1. *Гематит* (Fe_2O_3) — от железо-черного до стальносерого цвета с металлическим и полуметаллическим блеском. Черта вишнево-красная, слабо растворяется в концентрированной соляной кислоте с окрашиванием раствора в желтый цвет. Растворение происходит медленно и черта при наблюдении не изменяется. Черта при растирании с железистосинеродистым калием синее благодаря присутствию трехвалентного железа.

2. *Гетит* (HFeO_2) — от темнубурого до черного цвета с матовым до полуметаллического блеском. Черта коричнево-бурая с красноватым оттенком, в концентрированной соляной кислоте очень медленно разлагается, при растирании разложение ускоряется и от железистосинеродистого калия в растворе появляется лазурносиняя окраска (реакция на трехвалентное железо).

3. *Ильменит* (FeTiO_3) — черного цвета с полуметаллическим блеском. Черта черная, в концентрированной соляной кислоте разлагается лишь при длительном растирании (в отличие от магнетита), добавление к раствору железосинеродистого калия дает зеленовато-синее окрашивание (реакция на двухвалентное железо). Черта растирается с кристалликами кислого сернокислого калия, а затем с диметил-глиоксимом; после растирания прибавляется аммиак, и появляется розовое окрашивание благодаря присутствию двухвалентного железа.

4. *Касситерит* (SnO_2) — окрашен в серые и бурые оттенки до смоляночерного цвета с алмазным блеском. В изломе блеск смоляной до жирного. Черты на бисквите обычно не дает и лишь черный касситерит слабо прочерчивает коричневатую черту. При дроблении зерен темноокрашенного касситерита получается светлокоричневый порошок в отличие от синеватого порошка черного турмалина и оранжево-желтого порошка коричневого или бурого рутила. Порошок касситерита в кислотах и щелочах не разлагается.

Пленочная реакция — зерна смачиваются HCl и потираются металлическим цинком или помещаются на цинковую пластинку, при этом они покрываются пленкой металлического олова.

5. *Куприт* (Cu_2O) — красного цвета со свинцово-серым оттенком и алмазным блеском. Черта коричнево-красная, быстро обесцвечивается под каплей HCl , происходит растворение с выпадением белого осадка хлористой меди. Черта растворяется в азотной кислоте с зеленым окрашиванием и обильным выделением пузырьков водорода, а от аммиака вначале выпадает голубой осадок основной соли меди, который, в свою очередь, в избытке аммиака растворяется и раствор синее.

Пленочная реакция — от HCl белый налет хлористой меди.

6. *Лимонит* ($\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) — от темнубурого до желтобурого цвета с полуметаллическим или матовым блеском. Черта светлорубая до жел-

тобурой, слабо растворяется в концентрированной соляной кислоте с желтым окрашиванием раствора от FeCl_3 . Реакция на трехвалентное железо с железистосинеродистым калием дает синее окрашивание.

7. *Магнетит* ($\text{Fe}^{\cdot\cdot}\text{Fe}_2^{\cdot\cdot}\text{O}_4$) — черного цвета с полуметаллическим блеском. Черта черная, быстро растворяется в соляной кислоте и при этом раствор окрашивается в желтый цвет, что указывает на присутствие трехвалентного железа.

В солянокислом растворе получается реакция на трехвалентное железо с железистосинеродистым калием и образованием лазурносинего окрашивания. Реакция же на двухвалентное железо с железосинеродистым калием дает зеленовато-синее окрашивание. Обе реакции производятся одновременно — с разных сторон капли раствора.

8. *Пирролюзит* (MnO_2) — черного цвета с синевато-серым оттенком и полуметаллическим блеском. Черта черная (бархатная), медленно растворяется в соляной кислоте с коричневато-бурым до черного окрашиванием раствора, оттенок раствора зеленоватый.

9. *Псиломелан* ($m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) — черного до печоночнобурого цвета с матовым блеском. Черта черная до коричневато-черной, легко растворяется в соляной кислоте с характерным окрашиванием раствора в пятнистый коричневато-чернобурый цвет. Окрашивание раствора (видимое на глаз) распознается.

10. *Тенорит* (CuO) — черного цвета с матовым блеском. Черта черная, растворяется в царской водке с зеленым окрашиванием от меди.

11. *Тунгстит* (H_2WO_4) — желтого или зеленовато-желтого цвета, землистый в агрегатах. Черта светложелтая, слабо растворяется в HCl , при растирании металлическим оловом появляется синяя окраска окислов вольфрама.

12. *Хромит* (FeCr_2O_4) — черного цвета с металловидным блеском. Черта коричневато-бурая, в кислотах и щелочах не разлагается (в отличие от марматита).

4. Силикаты

1. *Гарниерит* ($\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) — зеленого цвета в плотных или землистых массах. Черта зеленая, при растирании с диметил-глиоксидом дает малиновое окрашивание благодаря никелю. Черта медленно растворяется в соляной кислоте с зеленым окрашиванием.

2. *Ревдинскит* (Ni, Mg) $_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$ — зеленовато-серого цвета с перламутровым или матовым блеском. Черта белая, слабо зеленоватая. В отличие от гарниерита, в соляной кислоте разлагается с трудом. При растирании же его черты с диметил-глиоксидом получается очень слабое розовое окрашивание (реакция на никель).

Хризоколла ($\text{CuSi}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) — голубовато-зеленого цвета, в скрыто-кристаллических массах с матовым блеском. Черта голубовато-белая, в соляной и азотной кислотах медленно разлагается с образованием белого осадка кремниевой кислоты. При действии аммиака раствор синее (реакция на медь).

5. Вольфраматы и молибдаты

1. *Вольфрамит* (Fe, Mn) $[\text{WO}_4]$ — черный с полуметаллическим блеском. Черта вишнево-коричневая до буро-коричневой, при растирании с KOH , а затем с соляной кислотой и оловянным карандашом получается слабое посинение в результате образования соединений вольфрама. Черта, растертая с соляной кислотой, дает синее окрашивание при добавлении железосинеродистого калия (реакция на двухвалентное железо). К черте, растертой с HNO_3 , прибавляется аммиак и азотнокислое се-

ребро, в результате этого раствор приобретает фиолетово-черное окрашивание (реакция на марганец).

2. *Вульфенит* ($\text{Pb}[\text{MoO}_4]$) — желтого, бурого, красноватого и зеленоватого цвета с алмазным блеском и слегка жирноватым отблеском. Черта белая, при растирании с KJ слегка желтеет и при последующем приливании воды выпадает обильный золотисто-желтый осадок PbJ_2 . При растирании черты в соляной кислоте железной палочкой раствор зеленеет и синеет благодаря образованию окислов молибдена.

Пленочная реакция — зерна вульфенита от HCl покрываются белой пленкой хлористого свинца, которая в свою очередь от прикосновения железной иглы становится зелено-синей (реакция на молибден).

3. *Повеллит* ($\text{Ca}[\text{MoO}_4]$) — белого и желтоватого цвета в землистых агрегатах. Черта белая, при растирании с HCl железной иглой зеленеет и синеет. Черта медленно растворяется в HCl , при прибавлении H_2SO_4 выпадает белый осадок сернокислого кальция.

Пленочная реакция — зерна, смоченные соляной кислотой, при потирании железной иглой зеленеют и синеют (реакция на молибден).

4. *Ферримолибдит* ($\text{Fe}_2[\text{MoO}_4]_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) — серножелтый в землистых агрегатах. Черта светложелтая, при растирании зеленеет. При растирании черты с HCl железной иглой смесь окрашивается в зелено-синий цвет. При растирании роданистым аммонием появляется красное окрашивание (реакция на трехвалентное железо).

Пленочная реакция — смачивание соляной кислотой и потирание железной иглой дает позеленение и посинение (реакция на молибден).

5. *Шеелит* (CaWO_4) — белого, желтого и буроватого цвета с шелковистым блеском. Черта белая, при растирании оловом в соляной кислоте дает интенсивную синюю окраску вольфрамовых соединений. Черта медленно растворяется в соляной кислоте, при добавлении серной кислоты выпадает белый осадок сернокислого кальция.

Пленочная реакция — смачивание соляной кислотой и потирание оловянным карандашиком вызывают посинение.

6. Сульфаты

1. *Англезит* ($\text{Pb}[\text{SO}_4]$) — белого цвета с алмазно-жирноватым блеском. Черта белая, разлагается в 5-процентном KJ и приобретает ярко-желтую окраску благодаря образованию PbJ_2 .

Пленочная реакция — от 5-процентного KJ желтеет.

2. *Гипс* ($\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — бесцветный, белый или серый с перламутровым и стеклянным блеском. Черта белая, не растворяется в кислотах и щелочах.

Пленочная реакция — под раскаленной стеклянной палочкой поверхность минерала белеет в результате потери воды.

3. *Брошантит* ($\text{CuSO}_4[\text{OH}]_6$) — изумруднозеленого цвета со стеклянным блеском. Черта бледнозеленая, легко растворяется в HNO_3 с зеленым окрашиванием раствора, от избытка аммиака раствор синеет (см. медь). При прибавлении капли хлористого бария к азотнокислому раствору черты выпадает белый осадок сернокислого бария (реакция на анион $[\text{SO}_4]^{2-}$).

4. *Халькантит* ($\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) — небесноголубого или синего цвета со стеклянным блеском. Черта голубая, легко растворяется в воде с голубым окрашиванием и в аммиаке — с образованием интенсивно синей окраски раствора.

Пленочная реакция — поверхность минерала от аммиака синеет.

5. *Ярозит* ($\text{KFe}_3[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_6$) — охристожелтого цвета с бурым оттенком и стеклянным блеском. Черта желтая, растворима в соляной

кислоте, при добавлении хлористого бария выпадает белый осадок сернокислого бария (реакция на анион $[\text{SO}_4]^{2-}$). При растирании черты с роданистым аммонием получается буро-красное окрашивание, а с железистосинеродистым калием — синее (реакция на трехвалентное железо).

Пленочная реакция — поверхность минерала под каплей железистосинеродистого калия синее.

7. Фосфаты, арсенаты и ванадаты

1. *Аннабергит* ($\text{Ni}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) — от яблочнозеленого до темнозеленого цвета со стеклянным или матовым блеском. Черта светлозеленая, растворяется в HCl с ярким зеленым окрашиванием, характерным для никеля. При растирании с диметил-глиоксимом получается яркое малиновое окрашивание (реакция на никель), от азотной кислоты черта растворяется и при добавлении молибденовокислого аммония выпадает зеленовато-желтый осадок мышьяково-молибденовокислого аммония.

2. *Апатит* ($\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3[\text{F}, \text{Cl}]$) — белого цвета с оттенками различных окрасок и со стеклянным блеском. Белая черта растворяется в азотной кислоте, а при добавлении молибденовокислого аммония выпадает обильный яркий желтый осадок фосфорномолибденовокислого аммония. При добавлении к азотнокислому раствору серной кислоты выпадает обильный белый осадок сернокислого кальция.

Пленочная реакция — от азотной кислоты с молибденовокислым аммонием образуется желтая пленка фосфорномолибденовокислого аммония, которая синее от потирания оловянным карандашом. В отличие от мышьяково-молибденовокислого аммония посинение дает только фосфорномолибденовокислый аммоний.

3. *Бирюза* ($\text{CuAl}_6[\text{PO}_4]_4[\text{OH}]_8 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) — яблочнозеленого или серовато-зеленого цвета с восковым блеском. Черта зеленоватая, белая, растворяется в азотной кислоте, а с молибденовокислым аммонием дает яркий желтый осадок фосфорномолибденовокислого аммония. Черта синее от аммиака (реакция на медь).

4. *Ванадинит* ($\text{Pb}_5[\text{VO}_4]_3\text{Cl}$) — желтого, бурого, красноватого цвета с алмазным блеском. Характерное растворение белой черты в соляной кислоте с красноватым окрашиванием раствора и одновременным выпадением белого осадка хлористого свинца. При введении железной палочки раствор зеленеет вследствие образования окислов ванадия. При растирании черты с KJ получается желтобурая смесь (бурюю окраску придает иод, так как иодистый калий в присутствии ванадия разлагается); при добавлении воды выпадает золотисто-желтый осадок PbJ_2 .

Пленочная реакция — от соляной кислоты поверхность зерен ванадинита быстро разрушается с образованием белой рыхлой пленки хлористого свинца и красноватым окрашиванием раствора, при прикосновении железной иглы пленка и раствор зеленеют.

5. *Вивианит* ($\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) — от серовато-синего до черного цвета со стеклянным блеском. Черта синевато-серая, легко растворяется в HNO_3 и под действием молибденовокислого аммония выделяется обильный, яркий желтый осадок фосфорномолибденовокислого аммония, синее от растирания оловом. При растирании черты вивианита с диметил-глиоксимом и прибавлении аммиака черта розовеет от двухвалентного железа.

Пленочная реакция — от азотной кислоты с молибденовокислым аммонием желтеет.

6. *Миметезит* ($\text{Pb}_5[\text{AsO}_4]_3\text{Cl}$) — желтого, зеленовато-желтого или бурого цвета с алмазным или жирным блеском. Черта белая медленно растворяется в азотной кислоте, с молибденовокислым аммонием дает

зеленовато-желтый осадок мышьяковомолибденовокислого аммония. При растирании черты с KJ получается желтоватая смесь, при прибавлении к ней воды выпадает золотисто-желтый осадок PbJ_2 .

Пленочная реакция — от соляной кислоты покрывается белой пленкой хлористого свинца.

7. *Скородит* ($Fe[AsO_4] \cdot 2H_2O$) — яблочнозеленого или буровато-серого цвета в скрытокристаллических массах. Черта серовато-белая, легко разлагается в KOH с образованием коричнево-бурого осадка гидрата окиси железа. Присутствие трехвалентного железа проверяется с железистосинеродистым калием по синему окрашиванию. Черта растворяется в HNO_3 , с молибденовокислым аммонием образуется зеленовато-желтый осадок мышьяковомолибденовокислого аммония.

Пленочная реакция — от KOH буреет.

8. *Эритрин* ($Co_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$) — розового или малинового цвета в землистых агрегатах. Черта розовая, легко растворяется в HCl. При растирании черты с роданистым аммонием образуется смесь интенсивно синего цвета вследствие образования комплексной кобальтовой соли, которая легко разлагается в воде с обесцвечиванием. При взаимодействии черты с азотной кислотой и молибденовокислым аммонием выпадает зеленовато-желтый осадок мышьяковомолибденовокислого аммония.

Пленочная реакция — от соляной кислоты темносинее пятно, которое быстро обесцвечивается во влажной воздушной среде.

8. Карбонаты

1. *Азурит* ($Cu_3[CO_3]_2[OH]_2$) — темносинего цвета со стеклянным блеском, в землистых массах голубой. Черта синяя и голубая, легко растворяется в 5-процентной HCl со вскипанием и окрашиванием раствора в зеленовато-желтый цвет, от аммиака раствор синеет (см. медь).

2. *Базовисмутит* ($Bi_4[CO_3][OH]_2O_4$) — серого цвета в землистых массах. Черта белая, бурно вскипает в 5-процентной HCl. При добавлении KJ раствор буреет вследствие выделения иода, так как иодистый калий разлагается в присутствии висмута. Из солянокислого раствора висмут восстанавливается металлическим оловом в виде бархатно-черных дендритообразных агрегатов. Стеклянная палочка, смоченная солянокислым раствором базовисмутита, окрашивает пламя свечи в васильково-синий цвет (реакция на висмут).

3. *Доломит* ($CaMg[CO_3]_2$) — белого цвета со стеклянным блеском. Черта белая, растворяется со вскипанием в концентрированной соляной кислоте. Из раствора при действии серной кислоты выпадает белый осадок сернокислого кальция. В 5-процентной HCl черта доломита медленно растворяется и слабо вскипает, поэтому зеленая окраска химических чернил медленно восстанавливается в фиолетовую (в отличие от кальцита).

4. *Кальцит* ($Ca[CO_3]$) — бесцветный, белый или окрашен в различные оттенки со стеклянным блеском. Черта белая, растворяется в 5-процентной HCl со вскипанием. Зеленый цвет химических чернил в 5-процентной HCl становится фиолетовым. При растирании кальцитовый черты реакция протекает моментально. Из солянокислого раствора кальцита при действии серной кислоты осаждается обильный белый осадок сернокислого кальция.

5. *Магнезит* ($Mg[CO_3]$) — белого или серого цвета со стеклянным блеском или матового цвета в землистых агрегатах. Черта белая, слабо вскипает при растирании в концентрированной соляной кислоте. В 5-процентной HCl черта не растворяется.

6. *Малахит* ($\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$) — шелковистый или землистый зеленого цвета. Черта зеленая, вскипает в 5-процентной HCl с окрашиванием раствора в зеленовато-желтый цвет. От аммиака раствор синее (см. медь).

7. *Родохрозит* ($\text{Mn}[\text{CO}_3]$) — розового или малинового цвета со стеклянным блеском. Черта белая, в концентрированной соляной кислоте растворяется со вскипанием. При растворении черты в HNO_3 и добавлении аммиака и азотнокислого серебра раствор быстро темнеет вследствие образования гидроокислов марганца и выпадения серебра.

Пленочная реакция — зерна родохрозита покрываются темной пленкой при смачивании азотной кислотой, аммиаком и азотнокислым серебром.

8. *Сидерит* ($\text{Fe}[\text{CO}_3]$) — от белого до темнобурого цвета со стеклянным блеском. Черта белая или буроватая, в концентрированной соляной кислоте растворяется со вскипанием и при этом раствор окрашивается в буровато-желтый цвет. При растирании черты с сернокислым калием, а затем с диметил-глиоксимом и добавлением аммиака получается малиновая окраска (реакция на двухвалентное железо).

9. *Смитсонит* ($\text{Zn}[\text{CO}_3]$) — белого или серого цвета со стеклянноматовым блеском. Черта белая, растворяется со вскипанием в концентрированной HCl , при прибавлении железистосинеродистого калия выпадает белый осадок железистосинеродистого цинка-калия. От дитизона розовое окрашивание.

10. *Церуссит* ($\text{Pb}[\text{CO}_3]$) — от белого до серого цвета с алмазным или стеклянным блеском. Черта белая, при растирании с KJ и прибавлении воды выпадает обильный золотисто-желтый осадок PbJ_2 . Черта растворяется со вскипанием в концентрированной соляной кислоте.

Пленочная реакция — на поверхность минерала наносится капля раствора иодистого калия и капля соляной кислоты — на минерале образуется желтая пленка двуиодистого свинца.

9. Галоиды

1. *Атакамит* ($\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$) — от изумруднозеленого до темнозеленого цвета со стеклянным блеском. Черта светлозеленая, легко растворяется в азотной кислоте с зеленым окрашиванием, при прибавлении аммиака раствор голубеет. Черта растворяется в азотной кислоте, при введении азотнокислого серебра выпадает белый осадок хлористого серебра.

2. *Галит* (NaCl) — бесцветный или белый до синеватого цвета со стеклянным блеском. Черта белая, легко растворима в воде, при прибавлении азотнокислого серебра выпадает белый осадок хлористого серебра. Стеклянная палочка, смоченная водным раствором галита, окрашивает пламя свечи в желтый цвет благодаря наличию натрия (палочка при этом не реагирует на пламя свечи, так как для плавления стекла температура пламени свечи недостаточна).

3. *Кераргурит* (AgCl) — бесцветный до фиолетового и темносерого со стекляннно-жирным блеском. Черта белая, растворяется в аммиаке, при прибавлении соляной кислоты выпадает белый осадок хлористого серебра.

4. *Сильвин* (KCl) — белый или бесцветный со стеклянным блеском. Черта белая, легко растворяется в воде. От азотнокислого серебра выпадает белый осадок хлористого серебра. Стеклянная палочка, смоченная водным раствором сильвина, окрашивает пламя свечи в фиолетовый цвет, благодаря наличию калия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев А. К. Курс описательной минералогии. Кубуч, 1928.
 2. Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.
 3. Глинка Н. Л. Общая химия. Госхимиздат, 1952.
 4. Доливо-Добровольский В. В., Клименко Ю. В. Рациональный анализ руд. Metallurgizdat, 1947.
 5. Исаков П. М. Качественный анализ руд и минералов методом растирания порошков. Госгеолиздат, 1953.
 6. Менделеев Д. И. Сочинения. Изд. АН СССР, 1949, т. 13.
 7. Менделеев Д. И. Основы химии. СПб, 1881.
 8. Некрасов Б. В. Курс общей химии. Госхимиздат, 1952.
 9. Севергин В. М. Новая система минералов, основанная на наружных отличительных признаках. Изд. Академии наук, СПб., 1816.
 10. Тредвелл Ф. П., Голл В. Т. Курс аналитической химии, т. 1. Госхимиздат, 1946.
 11. Флавицкий Ф. М. О взаимодействии твердых веществ. Журнал Русского физико-химического общества, 1898, т. 30.
 12. Чуева М. Н. Минералогический анализ шихов и рудных концентратов. Госгеолиздат, 1950.
-