

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

А. А. САВАРИН

**ОБЩАЯ ХИМИЯ.
ТЕХНОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ**

Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области горнодобывающей промышленности
в качестве практикума для обучающихся
по специальности 1-51 01 01
«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2022

УДК 549.057(076)
ББК 26.311.7я73
С126

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Е. Ф. Кудина;
кандидат сельскохозяйственных наук В. В. Дробышевская;
кафедра «Водоснабжение, химия и экология» учреждения образования
«Белорусский государственный университет транспорта»

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Саварин, А. А.

С126 Общая химия. Техногенные минералы: практикум /
А. А. Саварин ; М-во образования Республики Беларусь, Го-
мельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им.
Ф. Скорины, 2022. – 84 с.
ISBN 978-985-577-871-5

В практикуме анализируются задания по теоретическим вопро-
сам, лабораторные работы, дается контрольный тест. Каждая тема
содержит краткий обзор основных понятий и задания для самостоя-
тельной работы.

Адресован студентам, обучающимся по специальности 1-51 01 01
«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

УДК 549.057(076)
ББК 26.311.7я73

ISBN 978-985-577-871-5

© Саварин А. А., 2022
© Учреждение образования «Гомельский
государственный университет
имени Франциска Скорины», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Раздел 1. Разнообразие минералов. Анализ их состава и строения	5
Лабораторная работа 1. Физико-химические свойства минералов...	33
Лабораторная работа 2. Окраска водных растворов солей.....	34
Лабораторная работа 3. Анализ состава минералов. Термический анализ морита.....	35
Лабораторная работа 4. Получение кремниевой кислоты и изучение ее устойчивости.....	36
Лабораторная работа 5. Физико-химические свойства горных пород. Сравнение с минералами.....	37
Раздел 2. Техногенные минералы. Химические элементы в их составе	39
Раздел 3. Образование техногенных минералов и их устойчивость	51
Лабораторная работа 1. Взаимодействие портландцемента с водой	60
Лабораторная работа 2. Гидролиз техногенных минералов (солей).....	61
Лабораторная работа 3. Химические свойства минерала хоганита	62
Тестовые задания	63
Словарь терминов	71
Литература	74
Приложение А. Основные правила безопасности для студентов при проведении лабораторных работ	77
Приложение Б. Классификация титриметрических методов	78
Приложение В. Кларки видообразующих элементов в земной коре	79
Приложение Г. Периодическая система и геохимическая классификация элементов	81
Приложение Д. Техногенные минералы различных классов	82
Приложение Е. Таблица плотности простых веществ (г/см³)	84

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Общая химия» связана с целым комплексом предметов профессиональной подготовки студентов специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»: геологией, геохимией, минералогией и др. Преподается студентам 1 курса в первом семестре. Важнейшие задачи дисциплины – овладение знаниями современных теорий и понятий химии о строении вещества, рассмотрение связи строения и структуры с физическими и химическими свойствами природных соединений, их номенклатурой; об источниках сырья для промышленной переработки.

Используемые человечеством полезные ископаемые формировались на протяжении многих миллионов лет. За это время геосферы Земли существенно изменились. Эволюция необратима. Проблема исчерпаемости полезных ископаемых заставляет не только бережно относиться к природным ресурсам, но и обратить внимание на те соединения, которые образовались сравнительно недавно, в трансформированной хозяйственной деятельностью литосфере, – техногенные минералы.

Материал, содержащийся в практикуме, связан с темами дисциплины «Общая химия»: «Основные понятия и законы химии», «Неорганические соединения и их свойства», «Окислительно-восстановительные процессы», «Растворы».

Студентам-геологам 1 курса сложно ориентироваться в постоянно увеличивающемся количестве публикаций по химии и минералогии. Поэтому практикум включает не только краткие теоретические положения в форме «вопрос-ответ», задания для повторения пройденного материала, но и контрольный тест, терминологический словарь, ссылки на электронные ресурсы научно-исследовательских институтов, тематические журналы, технику безопасности (Приложение А), а также приложения (список техногенных минералов различных классов с химическими формулами, геохимическая классификация элементов, плотности простых веществ и кларки видообразующих элементов).

Цель издания – адаптация студентов-геологов к изучению дисциплин химического профиля, активизация их познавательной деятельности, ознакомление с научной профильной литературой, воспитание гражданской ответственности за рациональное использование природных ресурсов Республики Беларусь.

РАЗДЕЛ 1. РАЗНООБРАЗИЕ МИНЕРАЛОВ. АНАЛИЗ ИХ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ

Вопрос 1. Насколько разнообразны минералы и на чем основана их классификация?

Список минералов постоянно пополняется и насчитывает около 5 800 названий. Многообразие минералов обусловлено, прежде всего, различными условиями их образования. Если эндогенные минералы образованы вследствие происходящих процессов внутри земной коры и верхней мантии, магматизма и метаморфизма, то экзогенные (гипергенные) – вследствие выветривания и осаждения из водных растворов.

В основе классификации минералов – особенности их химического состава (рисунки 1, 2): самородные элементы, оксиды и гидроксиды, соли кислот (сульфиды и их аналоги, галоидные соединения, сульфаты, вольфраматы, фосфаты, карбонаты, силикаты и др.).

Химический состав минерала указывается формулой. Например, $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$ (оливин) и $\text{NaCa}_2\text{Be}_3\text{Si}_4\text{O}_{13}(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (альфларсенит) относятся к силикатам.

В формуле на первом месте ставятся катионы, а затем анионы. В оливине – Mg^{2+} и $[\text{SiO}_4]^{4-}$ соответственно. При изоморфизме атомы или группы атомов пишут через запятую (Mg, Fe). Изоморфизм наблюдается во многих минералах. При этом явлении происходит замещение одних атомов (или групп атомов) на другие. Различают *изовалентный* и *гетеровалентный* изоморфизм. В первом случае атом одного металла замещается атомом другого металла той же валентности (например, в сидерите FeCO_3 атом железа может замещаться атомами Mg, Ca). Во втором случае происходит замещение атомами с различными валентностями, но при сохранении зарядов (замещение пары: $\text{Ca}^{+2} + \text{Al}^{+3}$ на $\text{Na}^{+1} + \text{Si}^{+4}$). Если катионов несколько, то их записывают в порядке увеличения валентности. Так, в формуле альфларсенита атомы металлов располагают в следующей последовательности Na-Ca-Be. В формуле кристаллогидратов число молекул воды указывают в конце.

Многие минералы имеют сложный химический состав. Так, болтвудит $(\text{K}, \text{Na})(\text{UO}_2)(\text{SiO}_3\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ относится к сложным гидроксидо-силикатам уранила, а шрекингерит $\text{NaCa}_3(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3(\text{SO}_4)\text{F} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – к сложным сульфат-карбонатам уранила.



а



б



в

а – азурит $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, б – малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (карбонаты),
в – серпентин $\text{Mg}_6(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ (силикат)

Рисунок 1 – Минералы классов карбонаты, силикаты



а



б



в

а – пирит FeS_2 , б – кобальтин CoAsS (сульфиды),
в – касситерит SnO_2 (оксид)

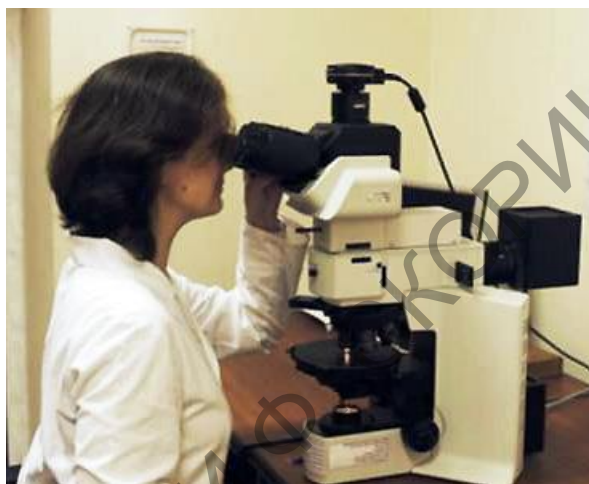
Рисунок 2 – Минералы классов сульфиды, оксиды

Вопрос 2. Какие методы используются для установления химического состава минералов?

Для установления качественного и количественного состава минералов используют разные физические, физико-химические и химические методы анализа (рисунок 3).



а



б



в

а – рентгенофлуоресцентный, б – оптико-минералогический,
в – фотометрический

Рисунок 3 – Методы геолого-геохимических исследований

Анализ элементного состава минералов основан на следующих физических явлениях:

- взаимодействию различных электромагнитных излучений и частиц с кристаллом;
- воздействию высоких температур.

Такие методы являются спектрометрическими. Электромагнитные волны характеризуются различными длиной и частотой волны ($\lambda = c / \nu$) (рисунок 4).

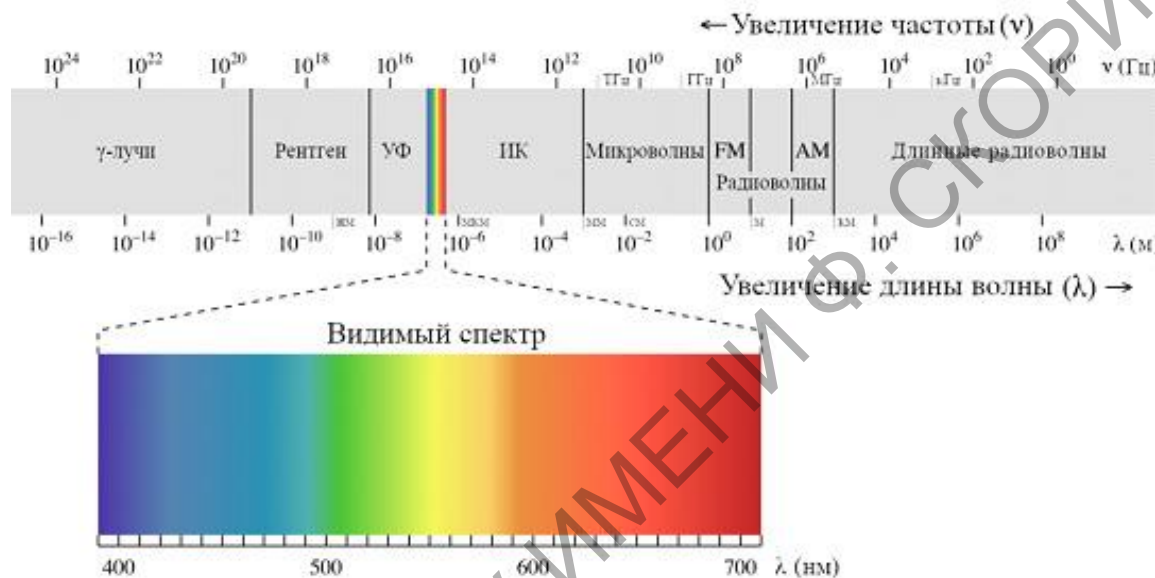


Рисунок 4 – Шкала электромагнитных волн

Рентгенофлуоресцентный (РФА) метод основан на исследовании спектра, полученного при воздействии рентгеновского излучения на минерал. В результате облучения атом переходит в возбуждённое состояние, сопровождающееся переходом электронов на более высокие квантовые уровни. В возбуждённом состоянии атом находится очень малое время, затем снова возвращается в нормальное положение (основное состояние). При этом каждый атом испускает фотоэлектрон с энергией строго определённого значения. По энергии и количеству квантов определяют строение вещества.

Рентгеноструктурный (РСА) метод базируется на изучении дифракции (рассеяния) рентгеновских лучей при их прохождении через анализируемый материал.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭСА) позволяет определить элементный состав минерала путем исследования спектров испускания свободных атомов и ионов в газовой фазе в области длин

волн 150–800 нм. Спектры поглощения или испускания атомов получают посредством перевода вещества в парообразное состояние при температуре в диапазоне 1 000–10 000 °С.

Термический метод основан на комплексном изучении физических и химических процессов, возникающих вследствие постепенного нагревания и последующего разрушения минерала. Анализируют тепловой эффект, спектральные характеристики, состав и количество выделяемых газов, происходящие окислительно-восстановительные реакции и др.

Широко применяются и химические методы, в частности, гравиметрический и титриметрический.

Гравиметрический метод основан на измерении массы выделенного определенного компонента сложного соединения (минерала, горной породы). При гравиметрическом анализе исследуемое вещество может отгоняться в виде летучего соединения (метод отгонки), либо осаждаться из раствора как малорастворимое соединение (метод осаждения).

При *титровании* постепенно прибавляют приготовленный раствор реагента (титранта) к анализируемому раствору (Приложение Б). Затем измеряют объем реагента известной концентрации, который был затрачен на взаимодействие с определяемым веществом. В основе математических расчетов титриметрического метода – закон эквивалентов¹. По особенностям химических реакций различают титрование кислотно-основное, осадительное, комплексометрическое и окислительно-восстановительное.

Многие ионы нельзя обнаружить специфической химической реакцией. Поэтому их разделяют на аналитические группы, имеющие свой групповой реагент. Например, по сероводородной (сульфидной) классификации катионы делят на 5 групп, а в качестве групповых реагентов используют карбонат и сульфид аммония, сероводород и соляную кислоту.

Следует заметить, что химические методы базируются на использовании математических функций и статистической обработке полученных данных.

¹ Закон эквивалентов: массы реагирующих веществ пропорциональны их эквивалентам или эквивалентным массам: $m_1 / m_2 = \mathcal{E}_1 / \mathcal{E}_2$.

Эквивалент элемента – такое его количество, которое соединяется с 1 мо-
лем атомов водорода или замещает его в реакциях. Эквивалентная мас-
са – масса 1 эквивалента (г/моль).

Вопрос 3. Химические и физические методы широко используются при поиске месторождений полезных ископаемых. На чем основаны геохимические методы поиска?

К геохимическим методам поиска месторождений полезных ископаемых относятся литохимический, гидрохимический, атмохимический и биохимический.

Литохимический метод – анализ состава и особенностей распределения химических элементов в горных породах, продуктах их выветривания и почвах.

Гидрохимический метод основан на определении в природных водах гидрохимических аномалий – участков распространения подземных или поверхностных вод с повышенными (на несколько порядков) концентрациями элементов-индикаторов месторождений (Ni, Cu, Pb, I, Br и др.).

Атмохимический метод основан на анализе подземной атмосферы и ее приземного слоя, т. е. химического состава газов, насыщающих горные породы (CH_4 , CO_2 , H_2S , паров ртути и др.).

Биохимический метод основан на анализе химического состава организмов и продуктов их жизнедеятельности (торфа, растительного опада и др.), а также на приуроченности определенных видов растений к участкам среды с особым химическим составом.

Вопрос 4. Что такое порог чувствительности метода?

Порог чувствительности – концентрация обнаруживаемого минимума вещества (элемента), выраженная в единицах массы или в массовых процентах. Более чувствителен тот метод, который позволяет обнаруживать вещество в меньшем количестве. Выбор метода очень важен для химического анализа минералов. Так, если концентрация элемента в анализируемом минерале меньше допустимой, то такой химический элемент не будет выявлен. Порог чувствительности зависит от многих факторов: температуры, pH среды, наличия тех или иных веществ (элементов), мешающих определению.

Вопрос 5. Для поиска месторождений минералов важное значение имеет геохимическое картирование территорий. Какие результаты были получены при составлении геохимического атласа Европы? Какое они имеют экологическое значение?

Выбранные химические элементы охватывали три главных геохимических класса – *халькофильный*, *сидерофильный* и *литофильный* (классификация элементов – по В. М. Гольдшмидту). Про-

бы подготавливались и анализировались по единой методике. Наибольшее значение уделялось 17 элементам: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sr, Tl, V, Zn, U. Создан «Геохимический атлас Европы». Он включает всю базу геохимических данных, результаты статистической обработки, более 400 геохимических карт.

Концентрации тяжелых металлов влияют на экологическое состояние территорий. Аномалии различного состава и интенсивности занимают около 30 % территории Европы. Концентрации элементов в ряде случаев превышали в 10 и более раз значения кларков в почвах, несмотря на то, что все пробы отбирались в местах неизменных природных ландшафтов. Геохимические аномалии классов [Hg-Sb-Cd-Pb] и [Pb-Cd-Zn-Hg-Sb-As] обусловлены хозяйственной деятельностью. Они выявлены в Центральной и Южной Европе (Германия, Чехия, Словакия, Австрия, Испания). Аномалии класса [Ni-Cr-Co] зарегистрированы в Греции и Италии.

Интенсивные геохимические исследования проводятся и учеными Республики Беларусь (рисунок 5).

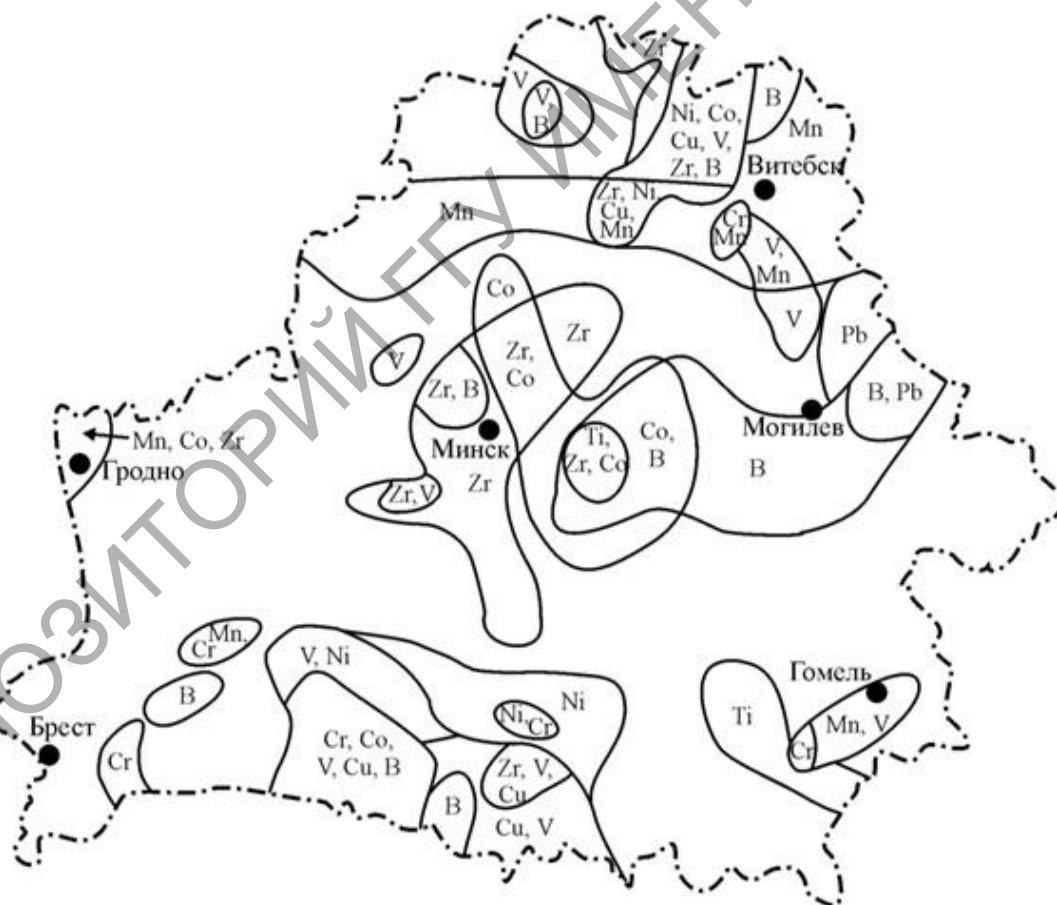


Рисунок 5 – Геохимические аномалии в покровных отложениях Беларуси (концентрации элементов выше кларка) [15]

Вопрос 6. Какие кислоты используются для разложения руд и минералов?

Наибольшее применение получили соляная, азотная и серная кислоты, в меньшей степени – бромоводородная и фосфорная кислоты. Поясним использование тех или иных кислот.

HCl. Сильная соляная кислота переводит в раствор сложные многокомпонентные системы (хлориды многих металлов хорошо растворимы в воде), не дает побочных продуктов.

Под воздействием кислоты распадаются:

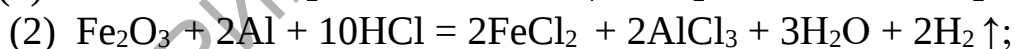
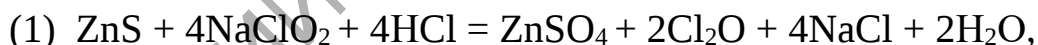
– полностью при обычных условиях: кальцит CaCO_3 , стронцианит SrCO_3 , малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, церуссит PbCO_3 , смитсонит ZnCO_3 , гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а также фосфаты:



– полностью при повышенной температуре: доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, сидерит FeCO_3 , галенит PbS , ванадаты, шеелит CaWO_4 , гюбнерит MnWO_4 и др.:



– полностью при применении окислителей (1) или восстановителей (2): гематит Fe_2O_3 , магнетит Fe_3O_4 , пиролюзит MnO_2 , халькопирит CuFeS_2 , сфалерит ZnS , пирит FeS_2 , киноварь HgS , арсениды и др.:



– частично: барит BaSO_4 , стибнит Sb_2S_3 , флюорит CaF_2 , монацит $(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4$, вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ и др.

HNO_3 . Азотная кислота – сильный окислитель. При растворении минералов, содержащих Pb, Cu или Ag, восстанавливается до оксидов азота, но при растворении минералов с алюминием или цинком – до аммиака. Чистая азотная кислота применяется, прежде всего, для растворения сульфидных минералов свинца, висмута, сурьмы, олова и др., а также – для фосфатов (например, апатита), ванадатов, сульфатов, карбонатов, вольфрамов (шеелит). Смесь HNO_3 и HCl (царская водка) используется для разложения полиметаллических руд (свинца, цинка, меди), оксидных соединений вольфрама и молибдена, фосфатов железа и марганца, арсенидов и др.

Смесь HNO_3 и H_2SO_4 – для сульфидных и фосфатных минералов редких элементов. Кроме того, используются и другие смеси с азотной кислотой ($\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$, $\text{HNO}_3 + \text{Br}_2$, $\text{HNO}_3 + \text{KClO}_3$).

H_2SO_4 . Концентрированная серная кислота обладает окислительными свойствами. Реакционная способность увеличивается при нагревании. Концентрированная кислота используется для разложения барита BaSO_4 , шеелита CaWO_4 , монацита $(\text{Ce}, \text{La})\text{PO}_4$, силикатов редкоземельных металлов, минералов селена и теллура и др. Широкое применение находят и смеси с серной кислотой: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaNO}_2$, $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KMnO}_4$ – для ртутных минералов, $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ – для оксидных минералов марганца, основных фосфатов железа, алюминия и марганца.

HBr . Применяется для разложения магнетита Fe_3O_4 . С окислителями – для урановых руд. В смеси с соляной и азотной кислотами – для малорастворимых сульфидных или арсенидных минералов.

H_3PO_4 . Концентрированная фосфорная кислота используется для растворения оксидов урана, фосфатов редкоземельных металлов. Смесь $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HNO}_3$ – для разложения марганцевых руд. Важное свойство фосфорной кислоты – способность к образованию комплексов: $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{FePO}_4 \rightarrow \text{H}_3[\text{Fe}(\text{PO}_4)_2]$. Это имеет особое значение для переработки устойчивых минералов (хромиты).

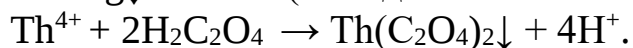
Вопрос 7. Минералы и горные породы имеют сложный химический состав. Как можно разделить элементы и их соединения?

Один из этапов гравиметрического метода анализа – *осаждение*, т. е. образование осадка малорастворимого соединения. Осадители должны избирательно (селективно) взаимодействовать с определяемым компонентом. Основные осадители:

– неорганические: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – для осаждения ионов магния; NH_4OH – алюминия и железа (III); H_2SO_4 – бария, стронция, свинца; HCl – серебра и др. Недостаток неорганических осадителей – невысокая селективность;

– органические: $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (щавелевая кислота) – для осаждения тория; диметилглиоксим – никеля; 1-нитрозо-2-нафтол – кобальта; 8-оксихинолин – магния и др. Органические осадители обладают большей селективностью.

Примеры осаждения:



Вопрос 8. Среди минералов есть и комплексные соединения. В чем особенность их химического строения?

Комплексные соединения (или координационные) состоят из внутренней и внешней сфер. Во внутреннюю сферу входит комплексообразователь (или центральный атом) и лиганды. Комплексообразователь имеет, как правило, положительный заряд и представлен ионами различных металлов. Лигандами могут быть как нейтральные молекулы (например, H_2O), так и ионы (OH^- и др.).

Примеры комплексных соединений.

а) $\text{Cs}[\text{Al}(\text{SO}_4)_2]$:

– внешняя сфера – ион Cs^+ ;

– внутренняя сфера – ион $[\text{Al}(\text{SO}_4)_2]^-$. Во внутренней сфере центральный атом – Al^{III} , лиганды – SO_4^{2-} . Координационное число – 2 (число групп SO_4^{2-});

б) $[\text{Fe}(\text{OH})_2]_2\text{SO}_4$, дигидроксосульфат железа (III):

– внешняя сфера – ион SO_4^{2-} ;

– внутренняя сфера – ион $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$. Во внутренней сфере центральный атом – Fe^{III} , лиганды – OH^- . Координационное число – 2 (число групп OH^-).

Природные силикаты – комплексные соединения: циркон $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$, оливин $(\text{Mg},\text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$, топаз $\text{Al}_2(\text{F},\text{OH})_2[\text{SiO}_4]$, берилл $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, полевой шпат $(\text{K},\text{Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, нефелин $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ и др.

Вопрос 9. Дать название комплексным ионам и соединениям.

$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ – триоксалатоферрат (III) калия,

$[\text{PtCl}_4]^{2-}$ – тетрахлороплатинат (II)-ион,

$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ – дицианоаргентат (I)-ион,

$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ – катион диамминсеребра (I),

$\text{H}_3\text{O}[\text{AuCl}_4]$ – тетрахлороаурат (III) оксония,

$\text{Na}_3[\text{SbS}_3]$ – тритиостибат (III) натрия,

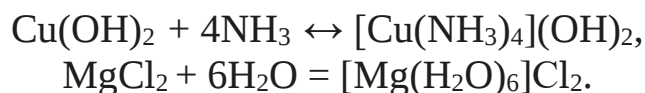
$\text{K}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$ – гексагидроксостаннат (IV) калия,

$[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ – дихлородиамминплатина,

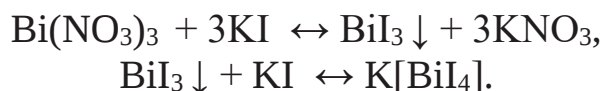
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]$ – дигидроксотетрааквахром.

Вопрос 10. Какие есть методы получения комплексных соединений?

Существует много способов получения координационных соединений. Способом *внедрения* образуют аммиакаты и аквакомплексы:



Способом *присоединения* получают ацидокомплексы при избытке реактива:



Способом *вытеснения* образуют комплексы со смешанными лигандами:

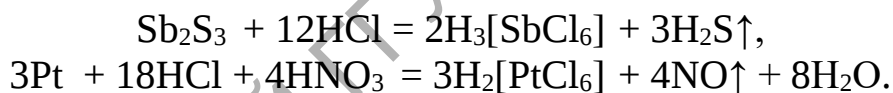


Комплексы металлов с переменной валентностью образуются и в результате окислительно-восстановительных реакций:



Вопрос 11. Какое значение имеют комплексные соединения при извлечении металлов из руд и разделении металлов?

Для извлечения металлов из руд (железа, меди, серебра, платины и др.), а также разделения металлов проводят химические реакции с образованием легкорастворимых или легкоплавких комплексных соединений. Например, реакции минералов стибнита и платины:



Вопрос 12. Привести примеры сложных ионов и дать им название.

Сложные (включают атомы нескольких элементов) анионы получают название от соответствующих кислот:

AsO_2^- – метаарсенит-ион от HAsO_2 ;

AsO_4^{3-} – арсенат-ион от H_3AsO_4 ;

FeO_4^{2-} – феррат-ион от H_2FeO_4 ;

MoO_4^{2-} – молибдат-ион от H_2MoO_4 ;

VO_3^- – метаванадат-ион от HVO_3 ;

WO_4^{2-} – вольфрамат-ион от H_2WO_4 .

Сложные катионы:

H_3O^+ – оксоний;

H_3S^+ – сульфоний;

H_2F^+ – фтороний;

NH_4^+ – аммоний;
 VO^{2+} – ванадил;
 UO_2^{2+} – уранил.

Вопрос 13. Что такое минеральная система? Сколько химических элементов может быть в минералах?

Минеральная система – это совокупность видообразующих химических элементов, которые необходимы для образования минерального вида. Всего насчитывают 70 видообразующих элементов (Приложение В). Число видообразующих элементов в минералах варьирует от 1 до 10 (таблица 1).

Таблица 1 – Минералы с различным числом видообразующих элементов

Число видообразующих элементов в формуле минерала	Пример минералов
2	KCl, сильвин
3	KCaCl ₃ , хлорокальцит
4	Na ₂ Ca(SO ₄) ₂ , глауберит
5	K ₂ Mg(SO ₄) ₂ • 4H ₂ O, леонит
6	K ₂ Ca ₂ Mg(SO ₄) ₄ • 2H ₂ O, полигалит
7	Ca ₆ Mg ₂ (SO ₄) ₂ (CO ₃) ₂ Cl ₄ (OH) ₄ • 7H ₂ O, татарскит

Наибольшее число минералов характерно для систем, включающих в себя 4 или 5 видообразующих элементов.

Характер распределения числа минералов в зависимости от числа видообразующих элементов близок к нормальному (рисунок 6).

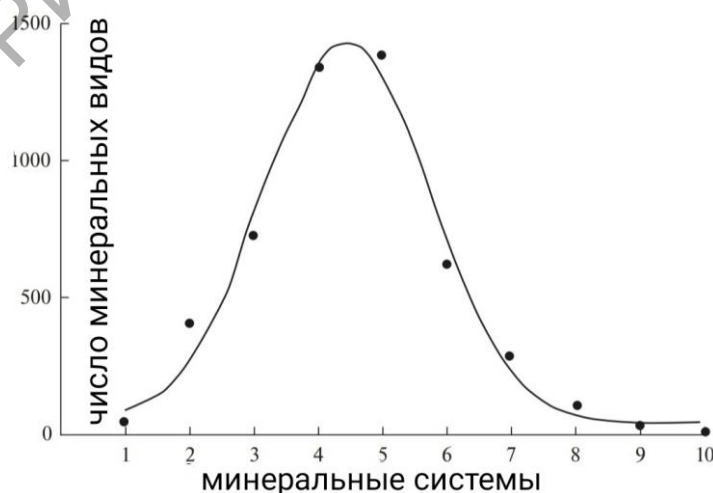


Рисунок 6 – Распределение числа минералов по системам разной компонентности [14, с изменениями]

В таблице 2 приведены оценочные данные по современному числу минералов в минеральных системах. Очевидно, что с усилением техногенеза будут выявлены новые минералы с тем или иным числом видообразующих элементов.

Таблица 2 – Оценочные данные по числу минералов

Число видообразующих элементов в формуле минерала	Число минералов в системе
1	> 45
2	≈ 450
3	≈ 800
4	≈ 1450
5	≈ 1550
6	> 700
7	≈ 350
8	≈ 130
9	> 30
10	> 10

Вопрос 14. В чем разница терминов «минеральный» и «атомный» кларк?

Минеральный кларк – число минеральных видов, в которые данный химический элемент входит как видообразующий, деленное на общее число минеральных видов (в процентах) [14]. Минеральный кларк химического элемента водорода в земной коре равен 55,63 %. Это значит, что число минералов, в которых водород является видообразующим элементом, составляет 55,63 % от общего числа минеральных видов.

Атомный кларк – количество атомов данного элемента в земной коре на миллион атомов (ppm).

Минеральные и атомные кларки представлены в Приложении В.

Вопрос 15. В чем разница между эмпирической и стехиометрической формулами минерала? Могут ли они совпадать?

Химический состав многих минералов изменчив. Так, эмпирическая формула пирита может быть $\text{Fe}_{0.975}\text{Co}_{0.020}\text{Cu}_{0.003}\text{S}_{1.980}\text{As}_{0.020}$. Однако основным металлом, исходя из соотношения атомов 0,975 : 0,020 : 0,003 (в сумме – около 1), является железо. Основным неметаллом является сера, так как соотношение равно 1,980 : 0,020

(в сумме – 2). Поэтому химическую формулу пирита принимают за FeS_2 (стехиометрическая формула).

Другой пример – минерал кобальтин. Одна из эмпирических формул – $(\text{Co}_{0.84}\text{Fe}_{0.13})_{0.97}(\text{S}_{1.23}\text{As}_{0.77})_{2.00}$. Основной металл – кобальт. Сера и мышьяк представлены статистически значимо (1,23 : 0,77). Поэтому стехиометрическая формула минерала – CoAsS .

Эмпирическая и стехиометрическая формулы минерала могут совпадать, например, у магнетита (Fe_3O_4), гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и др.

Вопрос 16. Норвежский ученый В. М. Гольдшмидт предложил геохимическую классификацию элементов, разделив их на литофильные, сидерофильные, халькофильные и атмофильные (Приложение Г). Какие соединения в природе образуют элементы первых трех групп?

Самая многочисленная группа элементов (более 50) – это *литофилы* («любящие камень»). Они составляют около 93 % массы земной коры и около 97 % массы солей, растворенных в Мировом океане. Основная часть литофильных элементов (Mg, Ca, Al, K, Si и др.) входит в состав силикатов, оксидов, галогенидов, карбонатов, сульфатов и фосфатов. Литофильных элементов в свободном состоянии в земной коре нет.

Сидерофильные элементы («любящие железо», Ir, Os, Ni и др.) образуют сплавы с железом, находятся и в самородном состоянии. К ним относятся элементы 8 группы и некоторые элементы из соседних групп.

Халькофильные элементы («любящие медь», Zn, Sb, Hg и др.) составляют лишь 0,046 % массы земной коры. Чаще образуют сульфиды. Могут переходить в самородное состояние.

Вопрос 17. Какие минералы являются основными природными источниками промышленного получения металлов?

Главными природными источниками получения металлов (в приведенном ниже перечне металлы расположены в порядке увеличения заряда ядра) в промышленности являются минералы:

- лития (сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$);
- бериллия (берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$);
- натрия (галит NaCl);
- магния (магнезит MgCO_3);
- алюминия (нефелин $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$);

- калия (сильвин KCl);
- кальция (кальцит CaCO_3);
- титана (рутил TiO_2);
- хрома (хромит $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$);
- марганца (пирролюзит MnO_2);
- железа (гематит Fe_2O_3);
- меди (халькопирит CuFeS_2);
- цинка (сфалерит ZnS);
- стронция (целестин SrSO_4);
- циркония (циркон ZrSiO_4);
- молибдена (молибденит MoS_2);
- кадмия (сфалерит $(\text{Zn}, \text{Cd})\text{S}$);
- олова (касситерит SnO_2);
- сурьмы (стибнит Sb_2S_3);
- бария (барит BaSO_4);
- вольфрама (вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$);
- ртути (киноварь HgS);
- свинца (галенит PbS);
- висмута (висмутин Bi_2S_3) и др.

Вопрос 18. Каковы главные отличия металлов и неметаллов?

Для *металлов* характерны следующие свойства: твердость, характерный блеск, высокая электро- и теплопроводность, ковкость, отдача электронов в окислительно-восстановительных реакциях (восстановители), положительность заряда ионов металла, проявление оксидами и гидроксидами металлов основных свойств.

Во внешнем слое атомов металлов находится малое число электронов (1–2, реже 3). Электроотрицательность – низкая.

Металлы образуют различные сплавы.

Абсолютное большинство химических элементов являются металлами.

Неметаллы: H, B, C, N, O, F, He, Ne, Si, P, S, Cl, Ar, As, Se, Br, Kr, Te, I, Xe, At, Rn.

Вопрос 19. В состав некоторых минералов входят редкоземельные металлы. В чем химическая особенность этих металлов? Где они находят применение?

К этой группе металлов причисляют химический элемент иттрий (Y, Z = 39) а также лантаноиды с порядковыми номерами

57– 71. Эти элементы имеют сходные кристаллохимические и химические свойства. Ионный радиус примерно одинаков и составляет 0,99–1,22 Å. Это вызвано лантаноидным сжатием, явлением, которое открыл известный геохимик В. М. Гольдшмидт.

У семейства лантаноидов ($_{58}\text{Ce} - _{71}\text{Lu}$) по мере увеличения заряда ядра происходит заполнение 4f-подуровня при неизменности структуры внешних слоев. Электронная конфигурация $4f^{2-14} 5s^2 5p^6 5d^{0-1} 6s^2$. Некоторые примеры электронных формул:

– церий Ce, Z = 58	$[\text{Xe}]4f^2 6s^2$.
– празеодим Pr, Z = 59	$[\text{Xe}]4f^3 6s^2$.
– неодим Nd, Z = 60	$[\text{Xe}]4f^4 6s^2$.
– прометий Pm, Z = 61	$[\text{Xe}]4f^5 6s^2$.
– самарий Sm, Z = 62	$[\text{Xe}]4f^6 6s^2$.
– европий Eu, Z = 63	$[\text{Xe}]4f^7 6s^2$.

Химические свойства этих элементов сходные. Наиболее характерна степень окисления +3. По химической активности большая часть лантаноидов напоминают кальций и магний.

Характерная особенность редкоземельных металлов – способность к изоморфизму, обусловленному близостью их ионных радиусов.

Примеры минералов: рабдофанит $(\text{Ce}, \text{Y})\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ксенотим YPO_4 , церианит CeO_2 , нордит $\text{Na}_3\text{SrMn}_2\text{La}[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ и др.

Редкоземельные металлы используются в качестве легирующих добавок сталей и сплавов, катализаторов в нефтехимии, получения сверхмощных постоянных магнитов, в производстве огнеупорного и оптического стекла, электродов дуговых ламп, сверхпроводниковых и лазерных материалов, высокотемпературных топливных элементов, в ядерной технике и пр.

Кроме того, эти металлы применяют даже для изготовления медицинских препаратов.

Вопрос 20. Способность элементов образовывать те или иные соединения определяется периодическим законом Д. И. Менделеева. Какие свойства определяются положением элемента в периодической системе?

Положением в периодической системе определяются:

- типы ионов: анионы – у неметаллов (Cl^- , S^{2-}), катионы – у металлов (Li^+ , Cd^{2+});
- цвет и растворимость соединений;

- оптические свойства соединений;
- окислительно-восстановительные свойства;
- кислотно-основные свойства.

Например, основной характер усиливается сверху вниз по группам и ослабевает в горизонтальных рядах от I группы к VII. Кислотные свойства выражены для неметаллов главных подгрупп IV–VII групп.

В ряду оснований $\text{LiOH} - \text{NaOH} - \text{KOH} - \text{RbOH}$ с ростом радиуса атома металла увеличивается и расстояние гидроксильной группы от атома металла. Поэтому облегчается электролитическая диссоциация. Сила оснований растет в подгруппе сверху вниз.

В ряду кислот $\text{HF} - \text{HCl} - \text{HBr} - \text{HI}$ притяжение водорода к ядру атома галогена ослабевает по мере увеличения размера атома галогена. Сила кислот растет в подгруппе сверху вниз.

Вопрос 21. В каких формах вода может находиться в минералах?

Конституционная вода. В узлах кристаллической решетки располагается ион OH^- . Вода прочно удерживается. При высоких температурах вода удаляется с разрушением структуры кристалла. Например, тальк $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ разрушается при нагревании до $1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ и более.

Кристаллогидратная (кристаллизационная) вода. Вода в решетке находится в виде молекул H_2O . Прочность этой связи сравнительно невелика. При нагревании минерала ($300\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$, иногда больше) вода выделяется ступенчато. Так, при нагревании минерала гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ сначала образуется промежуточное соединение $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, а затем, при длительном нагревании, средняя соль CaSO_4 . Примеры кристаллогидратов представлены на рисунке 7.

Структурно свободная вода. В берилле $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ вода находится в пустотах минерала. При нагревании она удаляется постепенно. При этом не происходит изменение структуры минерала. Берилл может также поглощать воду.

Коллоидная (адсорбционная) вода. В минерале опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ вода удерживается на поверхности дисперсных частичек под влиянием их силового поля. Вода выделяется при низкотемпературном нагревании.



а



б

а – гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, б – мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Рисунок 7 – Кристаллогидраты

Капиллярная (гигроскопическая) вода. В глинистых минералах вода удерживается за счет сил поверхностного натяжения. Она легко выделяется при низкотемпературном нагревании (немногим более 100°C).

Нагревание минерала для удаления воды – эндотермический процесс. Его особенности являются диагностическим признаком в определении минералов.

Вопрос 22. Есть ли различия у металлов в способности образовывать гидраты?

Гидраты образуются вследствие присоединения воды – *гидратации*. По мере увеличения заряда ионов металлов гидратные соединения образуются легче. Гидраты щелочных металлов (например, лития

и натрия) нестойки. Двухзарядные катионы легких металлов обычно гидратированы, а трехзарядные почти всегда гидратированы.

Твердые гидраты – кристаллогидраты. Они образуются в результате кристаллизации насыщенных водных растворов и при взаимодействии веществ с парами воды.

Вопрос 23. Какие минералы называют эвапоритами? Какие минералы наиболее обычны среди эвапоритов морской воды?

Минералы-эвапориты образуют месторождения в результате постепенного испарения воды и увеличения насыщения ее солями. Процесс накопления минералов – *галоге́нез*. Наиболее обычными минералами, образовавшимися из концентрированной морской воды, являются: ангидрит CaSO_4 , арагонит CaCO_3 , галит NaCl , гексагидрит $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, глауберит $\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$, карналлит $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, натрон $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, нахколит NaHCO_3 , эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и др.

Вопрос 24. Какой из минералов-эвапоритов (галит или гипс) образуется раньше?

NaCl – хорошо растворимая соль, а CaSO_4 – малорастворимая. Поэтому гипс откладывается раньше (в более нижних пластах), а галит – позже (в верхних пластах).

Вопрос 25. На территории Беларуси найдено около 230 минералов. Минералы каких классов неорганических соединений преобладают по количеству?

Из найденных на территории страны минералов около 70 % – соли неорганических кислот (рисунок 8). В количественном отношении минералы представлены следующим образом:

- силикаты (более 100 видов): циркон, оливин, фаялит, фенакит и др. (месторождения – Микошевичско-Житковичский выступ украинского кристаллического щита и др.);

- оксиды и гидроксиды (более 50): кварц, корунд, магнетит и др. (Припятский прогиб, месторождения глины позерского и сожского оледенений и др.);

- сульфиды (более 20): галенит, сфалерит, ковеллин и др. (Микошевичско-Житковичский выступ украинского кристаллического щита, Жлобинская седловина и др.);

- сульфаты: барит, целестин, гипс, мирабилит и др. (Припятский прогиб, месторождения каменной и калийной солей, давсонита и железа);



а



б



в

а – киноварь HgS , б – галит NaCl , в – кварц SiO_2

Рисунок 8 – Минералы с территории Беларуси

– карбонаты: кальцит, магнезит, родохрозит, сидерит (месторождения доломитов, заозерное месторождение боксито-даунсонитовых руд и др.);

– фосфаты: фосфорит, монацит, апатит, вивианит (Сожский и Припятский фосфоритоносные бассейны и др.);

– галоиды: галит, сильвин, флюорит, карналлит (Старобинское, Петриковское, Мозырское месторождения);

– самородные минералы: медь, золото, платина, сера (Брестская, Припятская, Оршанские впадины и др.);

– вольфраматы: шеелит и вольфрамит (проявления вольфрамоносной сульфидно-скарновой формации: Мир, Глушковичи, Раевшинское).

Вопрос 26. Самый многочисленный класс минералов на территории Беларуси – силикаты (примеры: оливин, циркон, фаялит, глинообразующие минералы и др.). Более 40 % всех найденных минералов на территории страны относятся к этому классу. В чем главная особенность строения силикатов?

Силикаты имеют сложное строение и различные изоморфные замещения. Основа их кристаллов – кремнекислородные тетраэдры (один атом кремния связан с четырьмя атомами кислорода). Среди них выделяют:

– островные силикаты (тетраэдры изолированы): оливин $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$, гранаты $\text{A}_2^{+2}\text{B}_2^{+3}[\text{SiO}_4]_3$ (где А и В – атомы разных металлов, в том числе, магния, алюминия, марганца, кальция, железа, хрома);

– цепочечные силикаты: диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ и др.;

– кольцевые силикаты: берилл $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ и др.;

– слоистые силикаты: тальк $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$, каолинит $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, и др.;

– каркасные алюмосиликаты: полевошпат $(\text{Na, K})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ и др.

Вопрос 27. Минерал тальк относится к силикатам. В чем особенность его физических и химических свойств?

Минерал тальк $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ (или $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – самый мягкий минерал. В небольшом количестве содержит примеси соединений железа, марганца, никеля, алюминия (Fe_2O_3 , MnO и др.).

Твердость по шкале Мооса – 1 (эталон самой низкой твердости). Минерал гигроскопичен. Легкий ($\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$). Температура

плавления высока (около 800 °С). Обладает низкой тепло- и электропроводностью. Не растворим в воде. Инертен к большинству химических веществ, в том числе к сильным кислотам и щелочам.

Вопрос 28. Какие примеры влияния химической связи на физические особенности минералов Вы знаете?

Галит (NaCl). Тип связи – ионная, так как Na и Cl являются типичным металлом и неметаллом соответственно. Разница электроотрицательностей хлора и натрия составляет

$$\text{ЭО}_{(\text{Cl})} - \text{ЭО}_{(\text{Na})} = 3,0 - 0,9 = 2,1.$$

Минерал галит характеризуется невысокой твердостью (2 по шкале Мооса) и хрупкостью, высокой температурой плавления (800 °С), низкой тепло- и электропроводностью.

Кварц (SiO₂). Тип связи – ковалентная. Si и O – неметаллы. Разница электроотрицательностей кислорода и кремния составляет

$$\text{ЭО}_{(\text{O})} - \text{ЭО}_{(\text{Si})} = 3,5 - 1,8 = 1,7.$$

Минерал имеет очень высокую твердость (7 по шкале Мооса) и температуру плавления (около 1720 °С), низкую тепло- и электропроводность.

Вопрос 29. Привести действие закона постоянства состава на примере химических свойств минералов.

Углекислый газ можно получить различными способами:

а) разложением карбонатных минералов при нагревании, на примере магнезита:



б) взаимодействием карбонатных минералов с кислотами, на примере сидерита:



Независимо от способа получения молекула углекислого газа состоит из одного атома углерода и двух атомов кислорода.

Вопрос 30. Привести пример генетической связи на примере химических свойств минералов.

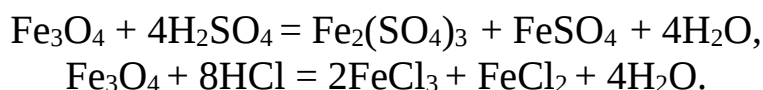
Генетическая связь – это возможность получения из соединения одного класса соединения другого класса.

Пример, температурное разложение минерала малахита



Из малахита (карбонатной соли) получен оксид меди (II).

Вопрос 31. Минерал магнетит состоит из оксидов железа (II) и (III). Написать реакции взаимодействия минерала с серной и соляной кислотами.



Вопрос 32. Сколько атомов кислорода содержится в 50 г минерала кальцита?

Дано:

$$\frac{m(\text{CaCO}_3) = 50 \text{ г}}{N(\text{O}) - ?}$$

Решение

$$1) n(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{50 \text{ г}}{100 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ (моль)};$$

$$2) n(\text{O}) = n(\text{CaCO}_3) \cdot 3 = 1,5 \text{ (моль)};$$

$$3) N(\text{O}) = n(\text{O}) \cdot N_A = 1,5 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 9,03 \cdot 10^{23}.$$

Ответ: $9,03 \cdot 10^{23}$ атомов кислорода

Вопрос 33. Каковы массовые доли средней соли и воды в минерале бишофите?

Дано:

$$\frac{\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\omega(\text{MgCl}_2) - ?}$$
$$\omega(\text{H}_2\text{O}) - ?$$

Решение

$$1) \omega(\text{MgCl}_2) = \frac{M(\text{MgCl}_2)}{M(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})} \approx \frac{95,22}{203,22} \approx$$
$$\approx 0,47 \text{ или } 47\%;$$

$$2) \omega(\text{H}_2\text{O}) = 100 \% - 47 \% = 53 \% \text{ или } 0,53.$$

Ответ: $\omega(\text{MgCl}_2) = 47 \%$,

$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 53 \%$.

Вопрос 34. Какова эквивалентная масса марганца в минерале пиролюзите?

Эквивалентная масса металла равна соотношению его молярной массы и валентности. Валентность марганца в пиролюзите MnO_2 равна 4.

$$M(\text{Mn}) = 54,94 \text{ г/моль}.$$

$$m_{\text{э}}(\text{Mn}) = 54,94 / 4 \approx 13,74 \text{ г/моль}.$$

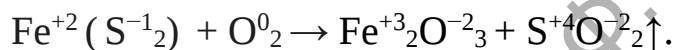
Вопрос 35. Указать степень окисления атомов в минерале $\text{Sn}_{21}\text{O}_6(\text{OH})_{14}\text{Cl}_{16}$. Является ли она максимально возможной у олова?

Минерал относится к окси- и гидроксигалогенидам. Поэтому степени окисления атомов кислорода, водорода и хлора равны -2 , $+1$ и -1 соответственно.

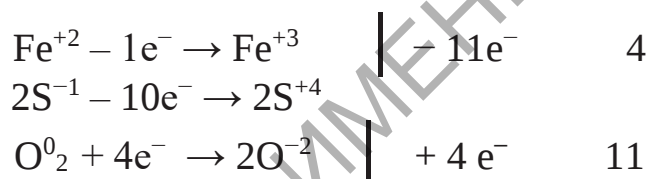
$\text{Sn}_{21}\text{O}^{-2}_6(\text{O}^{-2}\text{H}^{+1})_{14}\text{Cl}^{-1}_{16}$. Атомы этих трех элементов имеют общий заряд -42 . Поэтому заряд атомов олова равен $+42$. Делим $+42$ на число атомов олова: $42 : 21 = +2$. Это степень окисления атомов олова. Данная степень не является максимальной ($+4$).

Вопрос 36. Напишите окислительно-восстановительную реакцию обжига пирита.

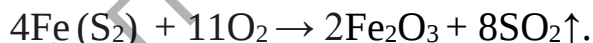
Указываем степени окисления всех атомов:



Записываем уравнения полуреакций:



Расставляем коэффициенты в уравнении:

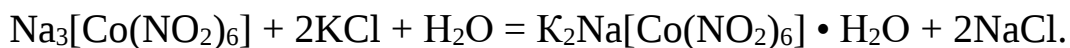


Вопрос 37. Как сильвинит $\text{NaCl} \cdot \text{KCl}$ разделяют на составляющие его соли? Какая реакция является качественной на хлорид калия?

В основе разделения этих солей – растворение и кристаллизация.

Растворимость хлорида калия при повышении температуры резко возрастает (при 25°C – $36,96$ г/100 г воды, при 100°C – $56,2$ г/100 г воды), а хлорида натрия – незначительно ($35,63$ и $39,4$ соответственно). При охлаждении насыщенного раствора первым выпадает в осадок хлорид калия.

При анализе содержания хлорида калия проводят реакцию получения двойной комплексной соли $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (гексанитрокобальтат (III) калия-натрия):



Вопрос 38. В составе каких минералов встречается магний? Какие из них являются промышленными источниками оксида магния?

Магний содержится в более 60 минералах. Наиболее важные – пироксены и амфиболы, доломиты, а также магнезит MgCO_3 и гидратные карбонаты (несквегонит $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, лансфордит $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), бруссит $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и др. Источники оксида – магнезит и бруссит.

Вопрос 39. Для каких целей используется доломит в сельском хозяйстве?

Доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) широко применяется в сельском хозяйстве для нейтрализации повышенной кислотности почв, обогащении ее ионами Ca^{2+} и Mg^{2+} , повышения эффективности использования органических и минеральных удобрений. Магний необходим для растений, так как входит в состав хлорофилла – комплексного соединения.



Вопрос 40. При обработке 0,9 г минерала кальцита соляной кислотой выделилось 200 см³ (н. у.) газа. Найти процентное содержание средней соли в кальците.

Решение



$$1) n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{0,2 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \approx 0,0089 \text{ моль};$$

$$2) \text{ по реакции } n(\text{CO}_2) = n(\text{CaCO}_3) \approx 0,0089 \text{ моль}.$$

Найдем массу средней соли:

$$m(\text{CaCO}_3) = M(\text{CaCO}_3) \cdot n(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль} \cdot 0,0089 \text{ моль} = 0,89 \text{ г};$$

$$3) \omega(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{m(\text{минерала})} = \frac{0,89 \text{ г}}{0,9 \text{ г}} \approx 0,989, \text{ или } 98,9\%.$$

Ответ: 98,9 %.

Задания для самостоятельной работы

1. Найти формулу минерала альбита, в котором содержится: натрия – 8,78 %; алюминия – 10,31 %; кремния – 32,06 %; кислорода – 48,85 %. К какому классу он относится?

2. Назовите геохимическую принадлежность по классификации В. М. Гольдшмидта всех входящих в минералы элементов:

- а) $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$;
- б) $\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2(\text{HAsO}_4)_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$;
- в) $\text{Pb}_{31}\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$;
- г) $(\text{NH}_4)[\text{BF}_4]$;
- д) $\text{K}(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Элементы какой геохимической группы преобладают?

3. Найти массу полезного компонента в 3 г минерала пенфилдита.

4. Найти массу ванадия в 500 мг минерала россита, в котором содержится 2 % примесей.

5. Найти массу воды в 0,75 кг минерала намувита.

6. Найти число катионов и анионов в кристалле криолита $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ объемом $0,003 \text{ см}^3$, если его плотность составляет $2,9 \text{ г/см}^3$.

7. Найти массовую долю воды и средней соли в гипсе.

8. Масс-спектрометр позволяет проводить анализ сложных соединений. Прибор работает в условиях вакуума (давление $10^{-5} - 10^{-6} \text{ Па}$). Во сколько раз воздух в масс-спектрометре более разрежен, чем в атмосфере Земли?

9. Какие из минералов (мирабилит, сильвин, морит, карналлит) при растворении в воде образуют окрашенные ионы и почему?

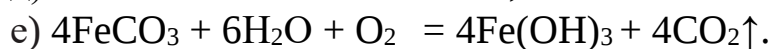
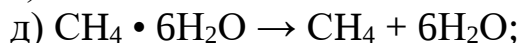
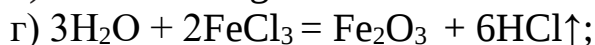
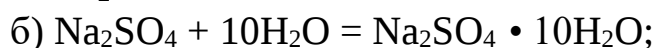
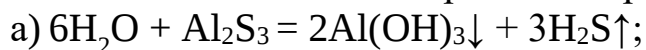
10. В чем отличие атомного кларка от весового? Есть ли отличия в числе трех химических элементов с наибольшим весовым и атомным кларком? Чем это обусловлено?

11. К группе основных минералов, в которых находятся атомы химических элементов с весовым кларком более 1 % в земной коре, относятся: апатит, бишовит, галит, гематит, гиббсит, гипс, давсонит, доломит, карналлит, кварц, корунд, магнезит, магнетит, мирабилит, кальцит, нефелин, оливин, опал, сидерит, сильвин, тальк, флюорит, халькопирит, эпсомит. Дайте характеристику названным минералам по следующим критериям:

- формула;
- класс минералов;
- химическое название;
- является ли кристаллогидратом;
- растворимость в воде;
- значение для промышленности;
- наличие или отсутствие промышленных запасов на территории Беларуси.

12. Назовите важнейшие минералы-эвапориты, относящиеся к классам сульфаты и галоиды. Укажите безводные и водные минералы.

13. К числу важнейших геохимических процессов, приводящих к формированию минералов, относятся: гидролиз, гидратация и дегидратация, карбонатизация, метасоматоз, конвекция, радиолиз, биохимический процесс, окисление и восстановление и др. В результате каких из названных геохимических процессов протекают реакции:



14. Какие газы, кроме кислорода, имеют наибольшее значение для природного образования минералов? Приведите несколько химических реакций в подтверждение.

15. Сколько граммов воды содержится в 5 г эпсомита, если доля примесей в минерале составляет 0,3 %.

16. В состав сильвинита, кроме галита (25–60 %) и сильвина (15–40 %), входят примеси: хлорид магния, оксид железа (III), сульфат кальция, глинистые вещества. Что придает сильвиниту красный цвет?

17. Как доказать наличие в карналлите атомов магния? Приведите качественную реакцию.

18. Минералы каких классов преобладают на территории Беларуси? Укажите их основные месторождения. Минералы каких классов не разведаны (отсутствуют) на территории страны? В чем главные причины необходимости бережного отношения к минерально-сырьевой базе Беларуси? Укажите различные аспекты.

19. Что анализируют при гидрохимическом методе поиска месторождений полезных ископаемых: кларки элементов или концентрацию ионов? Ответ обоснуйте.

20. Что такое геохимические аномалии? Насколько важно их выявление в мониторинге здоровья населения? Какие геохимические аномалии зарегистрированы на территории Беларуси?

21. При взаимодействии 2,5 г металла с кислородом получено 4,72 г оксида. Какова эквивалентная масса металла?

22. Что такое полезные и вредные примеси в полезных ископаемых? Приведите примеры полезных примесей металлов и вредных примесей неметаллов.

Лабораторная работа 1

Физико-химические свойства минералов

Цель: изучить воздействие водородного показателя (рН) среды на устойчивость минералов, получить навыки определения минералов.

Ход работы

1. Дать краткую характеристику предложенным минералам (кальцит, никельгексагидрит, корунд, галит, малахит, сера самородная) по следующим критериям:

- принадлежность к классу минералов по химическому составу;
- цвет;
- блеск;
- твердость минерала.

2. Изучить растворимость минералов в воде, обратив внимание на полноту растворения, цвет и прозрачность раствора. Результаты наблюдений занести в таблицу 3 (графа «Растворимость в воде»).

3. Определить рН предложенных растворов соляной кислоты и гидроксида натрия с помощью универсальной индикаторной бумаги рН(0-12). Выявить устойчивость (или неустойчивость минерала) в кислой и щелочной средах. Указать признаки химических реакций. Записать их уравнения в молекулярном и ионном видах. При наличии цветности раствора – объяснить. Результаты занести в таблицу 3 (графа «Наблюдаемые изменения в кислой и щелочной средах (рН = ...)»).

Таблица 3 – Результаты исследования свойств минералов

Название минерала, химическая формула	Растворимость в воде	Наблюдаемые изменения в кислой и щелочной средах (рН = ...)
Кальцит		
Никельгексагидрит		
Корунд		
Галит		
Малахит		
Сера самородная		

В выводах дать ответы на вопросы.

1. Какие минералы устойчивы в кислой, щелочной средах?
2. Изменяются ли результаты опытов при использовании серной кислоты и гидроксида бария? Ответ обоснуйте.

Лабораторная работа 2

Окраска водных растворов солей

Цель: изучить взаимосвязь строения электронных оболочек ионов металлов и окраски водных растворов солей.

Ход работы

1. Взвесить на аналитических весах по 250 мг сульфатов марганца (II), железа (II), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка. Отметьте цвет сухих солей.

2. Соли растворить в 30 мл воды. Изменилась ли окраска? Написать уравнения электролитической диссоциации солей.

3. Записать электронные формулы атомов металлов и их ионов. Что общего и различного в этих формулах? К каким элементам относятся данные металлы по особенностям строения электронных оболочек?

Результаты анализа и наблюдений занести в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты анализа и наблюдений

Ион	Количество d-электронов	Цвет водного раствора соли
Mn^{2+}		
Fe^{2+}		
Co^{2+}		
Ni^{2+}		
Cu^{2+}		
Zn^{2+}		

В выводах дать ответы на вопросы.

1. Как изменяется окраска водных растворов по мере увеличения числа d-электронов в электронной формуле ионов металлов? Наблюдается ли определенная закономерность в смещении полосы поглощения света?

2. Окраска какого раствора является «аномальной»? В чем особенность строения d-оболочки иона этого металла?

3. Во всех ли случаях изменится окраска при смешивании двух растворов?

Лабораторная работа 3

Анализ состава минералов. Термический анализ морита

Цель: получить навыки физико-химических методов анализа состава минералов.

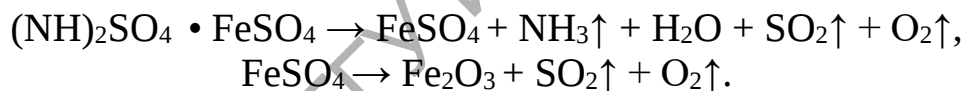
Ход работы

1. Насыпать в пробирку 2–3 см³ соли Мора (минерал морит, $(\text{NH})_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Отверстие пробирки неплотно закрыть резиновой пробкой. Обратить внимание на цвет соли до нагревания.

2. Закрепив пробирку держателем, равномерно ее разогреть.

3. Первым признаком разложения является изменение окраски кристаллов (указать их цвет) и появление большого количества паров воды на стенках пробирки. Изменение окраски обусловлено дегидратацией кристаллогидрата. Записать уравнение реакции дегидратации.

4. Продолжить нагревание, периодически фиксируя изменения запахов выделяющихся газов. Записать ОВР и расставить коэффициенты:



Используя справочные данные, указать температуры реакций разложения.

5. Обратить внимание на цвет твердого вещества в нижней части пробирки в конце нагревания. Какова его химическая формула? Как называется природный минерал с такой формулой?

В выводах дать ответы на вопросы.

1. Почему этот анализ относится к физико-химическому методу?

2. Можно ли считать морит термически устойчивым?

3. Привести примеры кристаллогидратов и входящих в них средних солей, различающихся по цвету.

4. Указать способы химического определения выделяющихся газов.

Лабораторная работа 4

Получение кремниевой кислоты и изучение ее устойчивости

Цель: получить навыки применения физико-химических методов.

Ход работы

1. Налить в пробирку 1 мл жидкого натриевого стекла (водный щелочной раствор $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$). Доказать щелочной характер среды.

2. Прилить в пробирку небольшими порциями раствор соляной кислоты. Сразу ли выпадает осадок? Почему? Указать цвет осадка. Описать это осадок. Что такое гель? Записать уравнения реакции в молекулярном и ионном видах. Является ли эта реакция окислительно-восстановительной?

3. Разделить полученный осадок на две части. К первой части прилить раствор гидроксида калия. Описать наблюдаемое явление, записать уравнения реакции в двух видах.

4. Вторую часть осадка нагревать на спиртовке. Изменяется ли он визуально? Чем это вызвано? Записать уравнение реакции.

Используя справочные данные, указать температуру реакции разложения.

5. Растворяется ли новый осадок в воде? Указать причину. Прилить в пробирку натриевой щелочи. Происходят ли изменения?

В выводах дать ответы на вопросы.

1. В чем особенность строения кремниевых кислот? Какое значение имеют соли этих кислот в образовании минералов. Привести несколько примеров.

2. Почему кремниевая кислота термически неустойчива, а минералы-силикаты – устойчивы? Привести пример самых термостойких минералов – солей кремниевых кислот.

3. Какие из проведенных действий относятся к физическим методам, а какие – к химическим?

Лабораторная работа 5

Физико-химические свойства горных пород.

Сравнение с минералами

Цель: закрепить знания по происхождению горных пород, получить навыки их определения (рисунок 9).

Ход работы

1. Дать характеристику горным породам (доломит, мел, мрамор, сильвинит, глина) по следующим критериям:

- химическая формула;
- происхождение;
- цвет;
- блеск;
- твердость.

Из каких минералов состоят названные породы?

2. Записать формулы горных пород (графа «Название породы, химическая формула»). Определить pH предложенных растворов натриевой щелочи и соляной кислоты. Выявить устойчивость горных пород в щелочной и кислой средах. Записать уравнения происходящих реакций в молекулярном и ионном видах. Результаты наблюдений занести в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты наблюдений свойств горных пород

Название породы, химическая формула	Наблюдаемые изменения в щелочной среде (pH = ...)	Наблюдаемые изменения в кислой среде (pH = ...)
Доломит		
Мел		
Сильвинит		
Мрамор		
Глина		

3. Порцию сухой глины поместить в фарфоровую чашку. Выявить наличие запаха. Поверхностно смочить породу водой. Изменился ли запах? Постепенно приливая воды, тщательно перемешать глину. Доказать ее пластичность (способность принимать любую форму под внешним воздействием). Провести подобные опыты с мелом. Имеются ли различия в свойствах?

В выводах дать ответы на вопросы.

1. Какая из предложенных горных пород наиболее изменчива по цвету, чем это обусловлено?

2. Какие горные породы по своим химическим свойствам имеют сходства с минералами (лабораторная работа 1), более активно реагируют с кислотой и щелочью?



а



б



в

а – сильвинит $\text{NaCl} \cdot \text{KCl}$, б – мрамор CaCO_3 ,
в – глина $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$

Рисунок 9 – Горные породы

РАЗДЕЛ 2. ТЕХНОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ИХ СОСТАВЕ

Вопрос 1. Что такое техногенные минералы? В чем причина их разнообразия?

Техногенные минералы образуются вследствие широкой хозяйственной деятельности человека: добычи и переработки полезных ископаемых (рисунок 10), строительства, накопления отходов производства и потребления, сжигания и др. Воздействие человека на горные породы может быть как прямым, так и косвенным (опосредованным). При добыче 1 т горной массы образуется около 0,75 т отходов.

Техногенные минералы могут образовываться не только в отходах горнодобывающих и горноперерабатывающих производств, шахтах, но и фактически повсеместно, включая почвы, а также любые сооружения (дома, мосты, система канализации). Разнообразные физические и химические процессы, быстро происходящие в приповерхностном слое, приводят к формированию минералов, многие из которых для науки являются новыми.

Многообразие образующихся минералов (Приложение Д) обусловлено:

- разными видами хранилищ отходов добычи и переработки полезных ископаемых (отвалы вскрышных пород, некондиционных руд и пород от проходки подземных горных выработок (рисунок 10), отвалы зол ТЭЦ, хвостохранилища, угольные терриконы, шламоотстойники и др.). Гипергенные и техногенные минералы кристаллизуются в широком интервале температур при значительных вариациях значений окислительно-восстановительного потенциала (E_h) и водородного показателя (pH).

Следует заметить, что отходы образуются на любом этапе технологической цепочки (от выемки из недр породы до получения конечного продукта). В техногенных минеральных образованиях (ТМО) находятся соединения многих десятков химических элементов;

- высоким содержанием в отходах, поступающих в хранилища, тех или иных элементов, превышающим их кларковое значение. Например, в отвалах, содержащих продукты сжигания углей Кузбасса, массовая доля элементов следующая: Ti – 12 % (кларк в земной коре по Ферсману – 0,61), Ga – 10 % (0,0001), Al – 9 % (7,45), Fe – 6 % (4,2), Y – 6 % (0,005), Zr – 6 % (0,025);

– многообразием физических, физико-химических и химических процессов, в которые вовлекаются горные породы и продукты их переработки (растворение, гидратация, окисление и др.).



Рисунок 10 – Минералообразование на стенках горных выработок [6, с изменениями]

Вопрос 2. В чем причина возрастающего интереса к техногенным минералам?

Возрастающий интерес к таким соединениям обусловлен целым рядом экономических, социальных и экологических проблем и факторов:

- геометрический рост добычи и истощение минерально-сырьевых ресурсов земной коры. Так, за последние 25–30 лет объем добычи основных черных и цветных металлов (Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) в мире увеличился более чем в 2,5 раза;

- рост издержек освоения новых месторождений и обустройства шахт и рудников ввиду их все более удаленного расположения;

- значительность площади трансформированных территорий, занимаемых предприятиями горной промышленности, отвалами и др. Например, площадь хвостохранилищ на комбинатах черной металлургии может составлять до 3 тыс. га;

- техногенная и экологическая опасность горнодобывающих и горно-перерабатывающих производств. Известно, что вблизи мест добычи сульфидных руд почва кислая, обогащена ионами тяжелых металлов;

- многообразие образующихся минералов различных классов;

– возможность управления геохимическими процессами в техногенных минеральных образованиях;

– быстрота образования техногенных минералов.

Техногенные минералы стали объектом особого внимания специалистов: проводятся тематические научные конференции, публикуются статьи в журналах, защищаются диссертации на соискание ученой степени кандидата и доктора наук, создаются музеи.

Вопрос 3. Сколько техногенных минералов зарегистрировано Международной минералогической ассоциацией (International Mineralogical Association, IMA)? Сколько всего минералов известно?

Международная минералогическая ассоциация основана в 1958 г. Она объединяет ученых 38 национальных минералогических обществ из Германии, Австралии, США, России, Китая, Японии, Индии, Бразилии, Великобритании, Швеции, Польши, Украины и др.

Международная минералогическая ассоциация (International Mineralogical Association, IMA) утвердила более 200 техногенных минералов. Комиссия IMA по новым минералам и их названию (Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification) включила в список 5 780 названий (по данным на январь 2022 г.).

Вопрос 4. Сколько химических элементов может входить в кристалл техногенного минерала? Насколько сложны могут быть они по строению?

Техногенные минералы отличаются друг от друга широким диапазоном количества входящих в них химических элементов: от 1 до 7 (теоретически возможно и больше). Так, по 7 элементов включают $\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{UO}_2)_2(\text{CO}_3)_6\text{F}_2 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$ (альбрехтшпрауфит) и $\text{H}\text{Ca}_4\text{Mg}_2\text{Al}_4(\text{SO}_4)_8\text{F}_9 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (ланнонит) и др. Данные примеры показывают, что сложность строения таких соединений обусловлена содержанием в них атомов различных металлов и кислотных остатков.

Вопрос 5. Сколько химических элементов определено в техногенных минералах? Сколько из них обнаруживается тяжелых металлов?

В техногенных минералах обнаружены атомы более 50 элементов:

– атомы большинства неметаллов (кроме атомов инертных газов): H, B, C, N, O, F, Si, P, S, Cl, As и др.;

– атомы металлов: Li, Be, Na, Mg, Al, K, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Ta, W, Pt,

Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Nd, Sm, Eu, U и др. К тяжелым металлам относятся элементы с $Z > 22$ и плотностью более 5 г/см^3 (Приложение Е). Из указанных металлов к тяжелым относятся V ($\rho = 6,11 \text{ г/см}^3$), Mn ($7,47 \text{ г/см}^3$), Tl ($11,85 \text{ г/см}^3$), Pt ($21,45 \text{ г/см}^3$) и др.

С учетом хозяйственного использования соединений практически всех имеющихся в земной коре химических элементов следует предположить их наличие и в техногенных минералах.

Вопрос 6. В техногенных минеральных образованиях (ТМО) происходят многоступенчатые химические реакции, в результате которых и создаются техногенные минералы. В чем еще состоит значение ТМО как минерально-сырьевой базы?

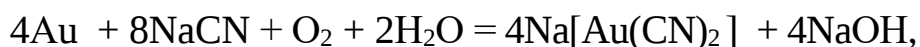
Более полное(-ая) использование (переработка) ТМО позволит:

- снизить расходы на поиск и разведку новых месторождений;
- извлекать редкие металлы (Li, Cs, Be, Sr, Zr, Nb, Ta), например, из золо-шлаковых отвалов энергетических предприятий;
- улучшить условия труда (ввиду нахождения техногенных месторождений на поверхности земли);
- освободить занимаемые земли от отходов, улучшив тем самым экологическую обстановку;
- получить дешевое сырье для стройматериалов (цемента, абразивов, стеклокерамики и др.).

Следует заметить, что научные исследования по использованию ТМО активизируются. Так, в настоящее время из углеотходов в промышленных количествах получают только один редкий металл (Ge), но технологии извлечения разработаны и для других металлов (Ga, Sc, Y).

Вопрос 7. В состав горной массы ТМО входят различные химические элементы. Как можно их извлечь с помощью химических методов?

Извлечение полезных компонентов из горной массы через их растворение – *выщелачивание*. Для перевода тех или иных элементов в раствор используют сильные кислоты (HCl, HNO₃, H₂SO₄, кислотное выщелачивание), цианидные реагенты и карбонаты (щелочное выщелачивание), тиомочевину (тиомочевинное выщелачивание) и др. Например, цианидное выщелачивание золота:



Вопрос 8. Почему техногенные минералы могут быстро образовываться? Что такое «сезонные» минералы?

На скорость образования техногенных минералов влияет целый комплекс факторов, в большинстве случаев отсутствующих в нижних слоях земной коры:

- физические (солнечный свет, значительный перепад температур, движение воздуха);
- химические (наличие воды, кислородная среда, присутствие углекислого газа и других химически активных соединений и др.);
- биологические факторы (разнообразие микроорганизмов, лишайников и др.).

На горящих терриконах угольных шахт могут образовываться минералы с продолжительностью «жизни» от нескольких дней до нескольких лет. Эти минералы растворяются в воде, затем могут вновь кристаллизоваться из растворов на поверхности отвалов или вблизи них. Поэтому они и получили название «сезонные».

Вопрос 9. Каково соотношение органических и неорганических техногенных минералов?

В представленном списке доля органических соединений составляет всего 4,33 %. В их числе:

– не встречающихся в природе:

1. $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – уитлиит (wheatleyite);
2. CH_3CONH_2 – ацетамид (acetamide);
3. $(\text{C}_6\text{H}_4)_2(\text{CO})_2$ или $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_2$ – хоэлит (hoelite);
4. $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{NH}$ – кладноит (kladnoite);
5. $\text{CaCu}(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – пейсит (paceite);
6. $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – хоганит (hoganite);
7. $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – кальклацит, (calclacite);

– встречающиеся в природе:

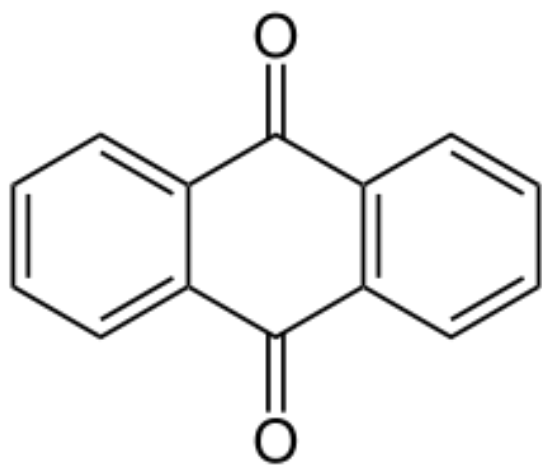
1. $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ – раватит (ravatite);
2. $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – тиннункулит (tinnunculite).

Таким образом, соотношение числа органических и неорганических минералов составляет приблизительно 1 : 22.

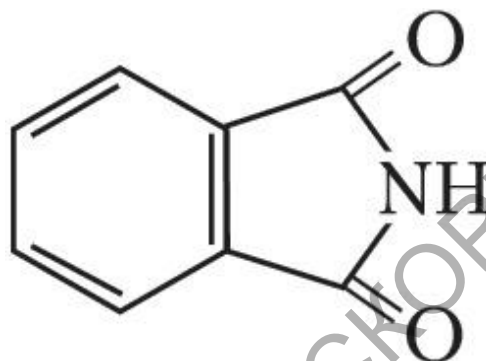
Следует заметить, что многие минералы, образующиеся в техногенных условиях (например, азурит, малахит, серпентин и др.), науке хорошо известны (рисунок 1).

Первых два карбонатных минерала ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ и $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) образуются в горелых отвалах угольных бассейнов, а силикат серпентин ($\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$) – в трубах паровых котлов.

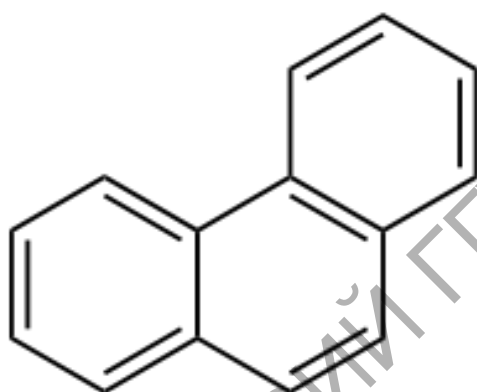
Структурная формула некоторых органических минералов представлена на рисунке 11.



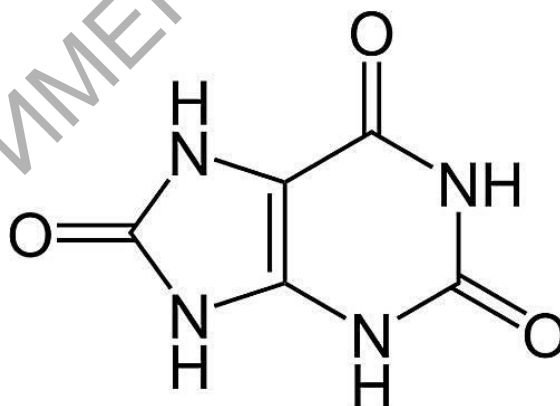
а



б



в



г

а – хоэлит, б – кладноит, в – раватит,
г – мочевая кислота (структурный элемент тиннункулита)

Рисунок 11 – Структурные формулы органических минералов

Вопрос 10. К каким группам органических соединений относятся вышеназванные минералы? Каковы их основные физические характеристики?

$\text{Na}_2\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – двойная соль щавелевой кислоты (предельной карбоновой кислоты). Ярко-голубой. Твердость по шкале Мооса – 1–2 балла. Плотность – $2,27 \text{ г/см}^3$.

CH_3CONH_2 – амид уксусной кислоты (предельной карбоновой кислоты). Бесцветный, серый. Твердость – 1–1,5. Плотность $1,16 \text{ г/см}^3$.

$(\text{C}_6\text{H}_4)_2(\text{CO})_2$ – производное ароматического соединения, представитель хинонов. Желтый, зеленовато-желтый. Плотность – $1,43 \text{ г/см}^3$.

$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO})_2\text{NH}$ – производное ароматического соединения, имид фталевой кислоты. Желтый, белый, бесцветный. Плотность – $1,47 \text{ г/см}^3$.

$\text{CaCu}(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – двойная соль уксусной кислоты. Темно-синий. Твердость – 1,5. Плотность – $1,47 \text{ г/см}^3$.

$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – соль уксусной кислоты. Синевато-зеленый. Твердость – 1,5. Плотность – $1,91 \text{ г/см}^3$.

$\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – смешанная соль уксусной и соляной кислот. Белый. Твердость – 1,5. Плотность – $1,5 \text{ г/см}^3$.

$\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ – полициклический ароматический углеводород. Бесцветный, серый. Твердость – 1,0. Плотность – $1,11 \text{ г/см}^3$.

$\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – дигидрат мочевой кислоты. Бесцветный, белый, желтоватый, красноватый. Плотность – $1,68 \text{ г/см}^3$.

Названные органические минералы имеют похожие физические свойства: низкую твердость и плотность. Голубоватые или синие оттенки обусловлены наличием атомов меди – элемента побочной подгруппы (I B).

Вопрос 11. Минералы каких классов неорганических соединений выявлены среди техногенных минералов?

Среди техногенных минералов выявлены:

- простые вещества (самородные): Al, Au и др.;
- оксиды и гидроксиды: SeO_2 , $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$;
- галоиды: $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{KAg}_9\text{Pb}_{26}\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$;
- сульфаты: $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
- фосфаты: $\text{NaMg}(\text{PO}_4) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_4\text{Mg}_5(\text{PO}_4)_6$;
- силикаты: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, Fe_2SiO_4 ;
- карбонаты: $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 ;
- нитраты: $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, NH_4NO_3 ;
- сульфиды: As_2Se_3 и др.

Вопрос 12. Найти формулу техногенного минерала, имеющего в массовых долях: меди – 26,56 %, железа – 46,69 % и кислорода – 26,75 %. Назовите минерал.

Дано:

Минерал $\text{Cu}_x\text{Fe}_y\text{O}_z$

$\omega(\text{Cu}) = 26,56 \%$

$\omega(\text{Fe}) = 46,69 \%$

$\omega(\text{O}) = 26,75 \%$

$x, y, z - ?$

Решение

$$x : y : z = \frac{\omega(\text{Cu})}{\text{Ar}(\text{Cu})} : \frac{\omega(\text{Fe})}{\text{Ar}(\text{Fe})} : \frac{\omega(\text{O})}{\text{Ar}(\text{O})} =$$

$$= \frac{26,56}{63,55} : \frac{46,69}{55,85} : \frac{26,75}{16} \approx 0,42 : 0,84 : 1,67 \approx 1 : 2 : 4$$

Ответ: минерал CuFe_2O_4 (купроспинель).

Вопрос 13. Найти формулу техногенного кристаллогидрата, имеющего в массовых долях: воды – 10,03 %, в средней соли цинка – 36,43 %, серы – 17,87 % и кислорода – 35,67 %. Назовите минерал.

Дано:

Минерал

$\text{Zn}_x\text{S}_y\text{O}_z \cdot n\text{H}_2\text{O}$

$\omega(\text{Zn}) = 36,43 \%$

$\omega(\text{S}) = 17,87 \%$

$\omega(\text{O}) = 35,67 \%$

$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 10,03 \%$

$x, y, z, n - ?$

Решение

$$x : y : z : n = \frac{\omega(\text{Zn})}{\text{Ar}(\text{Zn})} : \frac{\omega(\text{S})}{\text{Ar}(\text{S})} : \frac{\omega(\text{O})}{\text{Ar}(\text{O})} : \frac{\omega(\text{H}_2\text{O})}{\text{Mr}(\text{H}_2\text{O})} =$$

$$= \frac{36,43}{65,37} : \frac{17,87}{32,06} : \frac{35,67}{16} : \frac{10,03}{18} \approx 0,56 : 0,56 : 2,23 :$$

$$: 0,56 \approx 1 : 1 : 4 : 1$$

Ответ: минерал $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (ганнингит).

Вопрос 14. Найти жесткость воды, если в 1 л растворить 100 мг хлорида кальция.



В данном случае жесткость воды будет определяться концентрацией катионов кальция.

Решение

1. Найдем массу кальция в 100 мг средней соли.

$$\omega(\text{Ca}) = \frac{\text{Ar}(\text{Ca})}{\text{Mr}(\text{CaCl}_2)} = 0,36,$$

$$m(\text{Ca}) = 0,36 \cdot 100 = 36 \text{ мг.}$$

2. Найдем жесткость воды, зная, что 1 мг-экв жесткости соответствует содержанию 20 мг иона Ca^{2+} :

$$36 / 20 = 1,8^\circ \text{ Ж.}$$

Вода мягкая.

Задания для самостоятельной работы

1. К какому классу неорганических соединений относятся следующие техногенные минералы:

- а) $\text{Pb}_x\text{Cu}_y\text{Al}_z(\text{PO}_4)_m \cdot n\text{H}_2\text{O}$;
- б) $\text{Na}_2\text{Co}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$;
- в) NaVO_3 ;
- г) $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
- д) CuFe_2O_4 ;
- е) $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- ж) $\text{Fe}_3\text{AsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

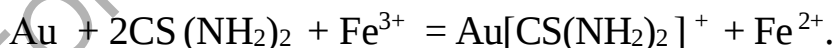
Укажите в них тяжелые металлы.

2. Найти массовую долю каждого элемента в минерале $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

3. В навеске минерала $\text{Pb}_3\text{O}_3\text{Sb}(\text{OH})\text{Cl}_2$ содержится $4,3 \cdot 10^{19}$ атомов свинца. Найти массу навески.

4. При термическом анализе минерала $\text{Pb}_4\text{Fe}(\text{AsO}_3)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ выделилось 0,02 г воды. Найти массу навески.

5. Тиомочевинное выщелачивание золота происходит по схеме:



Напишите эту реакцию в молекулярном виде при реагировании с сульфатом железа (III).

6. Из данных Приложения Д выпишите минералы, относящиеся к различным классам неорганических соединений. Укажите классификационную принадлежность всех химических элементов по В. М. Гольдшмидту (Приложение Г).

7. Выскажите предположение о цвете техногенных минералов $\text{Hg}_3\text{O}_2(\text{SO}_4)$ и $\text{NaMg}(\text{PO}_4) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Обратите внимание на следующее: в каких подгруппах таблицы Д. И. Менделеева находятся металлы, входящие в тот или иной минерал.

8. Какие техногенные минералы могут растворяться в воде? Чем объясняется эта способность? Напишите уравнения электролитической диссоциации:

- а) $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;
- б) $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$;
- в) $\text{K}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- г) $(\text{NH}_4)_2 [\text{SiF}_6]$;
- д) $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2$.

9. Сколько граммов кислорода (как химического элемента) содержится в 0,3 г минерала $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$?

10. Каково соотношение массовых долей металлов и неметаллов в минерале $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$?

11. Укажите степени окисления атомов в минералах. Являются ли они максимально возможными для атомов данных элементов?

- а) $\text{Pb}_2\text{O}(\text{CO}_3)$;
- б) CaFCl ;
- в) NiCuSb_2 ;
- г) $\text{Na}_2[\text{B}_5\text{O}_8(\text{OH})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- д) $\text{Pb}_{31}\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$;
- е) $\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2(\text{HAsO}_4)_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$.

12. На рисунке 12 представлено хвостохранилище, в котором находятся отходы горно-обогатительного предприятия. Можно ли на основе цвета отходов сделать предположение о наличии тех или иных металлов в растворе? Ответ обоснуйте.



Рисунок 12 – Хвостохранилище

13. Приведите примеры техногенных минералов, имеющие одинаковый качественный, но разный количественный состав (Приложение Д). Различаются ли эти минералы по твердости? Чем это обусловлено?

14. На рисунке 13 показана вертикальная слоистая структура отходов переработки медно-колчеданных руд. Выявляются чередующиеся два слоя: верхний, зона активной аэрации (оксифильный) – рыже-бурого цвета; нижний слой, сульфофильный – серого цвета. Чередование слоев обусловлено особенностями физико-химических процессов, протекающих в течение всего года. Так, сезонно изменяющаяся температура влияет на устойчивость соединений металлов, Eh и pH среды хвостохранилища. В каком слое содержание меди и цинка выше? Почему? Является ли это результатом природного выщелачивания?

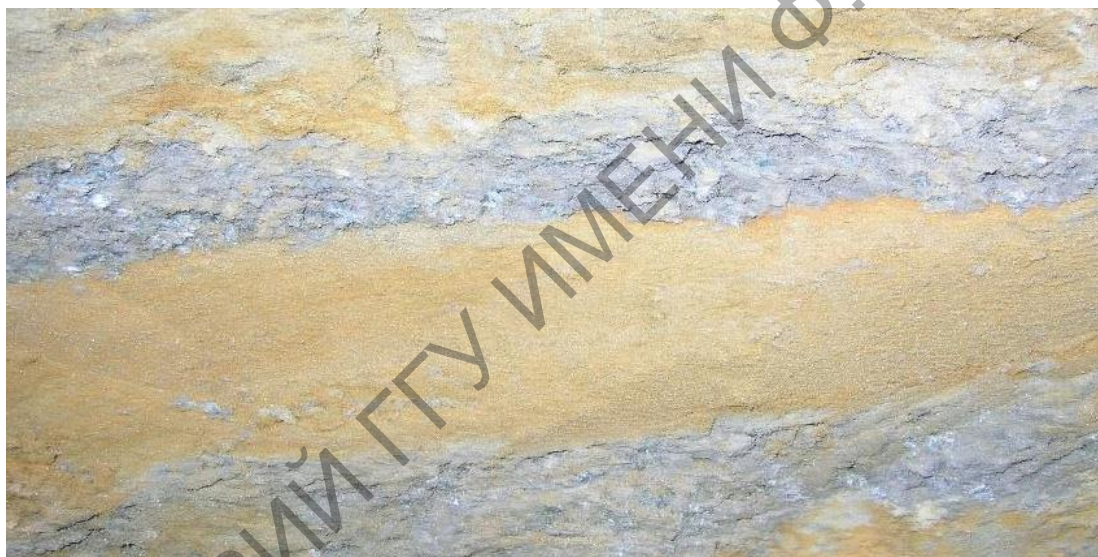


Рисунок 13 – Вертикальная структура отходов переработки медно-колчеданных руд

15. Гипергенный сфалерит может иметь формулу $(\text{Zn}_{0.82}\text{Fe}_{0.09}\text{Cu}_{0.02})_{0.93}(\text{S}_{0.97}\text{Se}_{0.03})_{1.00}$. Объясните численные значения. Какую валентность проявляют железо и медь? Как называется это явление?

16. Формула минерала копиапита $\text{FeFe}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$. Найдите валентность атомов железа.

17. Установите классификационную принадлежность минерала плюмбогумита $(\text{Ca}_{0.03}\text{Ba}_{0.09}\text{Pb}_{0.88})_{1.00}\text{Al}_{2.83}(\text{Si}_{0.07}\text{S}_{0.22}\text{P}_{1.77})_{2.00}\text{O}_8(\text{OH})_6$ и минерала биверит-коркита $(\text{Pb}_{0.88}\text{Mg}_{0.14}\text{K}_{0.13})_{1.16}(\text{Fe}_{2.93}\text{Al}_{1.56}\text{Zn}_{0.07})_{4.6}(\text{S}_{1.20}\text{P}_{0.25}\text{Si}_{0.28})_{2.00}\text{O}_8 \cdot 6(\text{OH}, \text{H}_2\text{O})$.

18. Многие техногенные минералы имеют в своем составе воду. Приведите примеры минералов и поясните: в какой из форм вода находится в их составе (конституционная вода, кристаллогидратная вода, структурно свободная вода, капиллярная вода).

19. Найдите формулу техногенного минерала, имеющего в своем составе массовые доли элементов: кальция – 29,5 %, железа – 41,1 % и кислорода – 29,4 %. К какому классу минералов он относится? Укажите валентность железа.

20. Почему число техногенных минералов будет увеличиваться? Будет ли меняться соотношение органических и неорганических техногенных минералов? Чем это вызвано?

21. Приведите примеры экологической опасности техногенных минералов.

22. Могут ли техногенные минералы быть использованы в строительстве, других областях хозяйственной деятельности? Приведите примеры.

23. Почему химический состав техногенных минералов может изменяться? Назовите факторы, влияющие на это явление? Какова в этом роль кислотных осадков? Какие кислоты имеют наибольшую концентрацию в кислотных осадках? Какие из них являются сильными?

24. Какие сходные физические свойства имеют органические техногенные минералы?

25. В чем причины высокой скорости образования техногенных минералов?

26. Имеются ли среди техногенных минералов такие, которые являются химически идентичными хорошо известным природным минералам, сформированным в ходе длительной эволюции? О чем это свидетельствует?

27. Найти жесткость воды, если в 300 мл раствора содержится 0,5 г эпсомита и 0,1 г ангидрита.

28. В растворе объемом 350 мл содержится 8,5 г сульфата хрома (III). Чему равна молярная концентрация растворенного вещества?

29. Почему органические техногенные минералы имеют низкую плотность? Могут ли они в воде диссоциировать на ионы? Приведите примеры.

РАЗДЕЛ 3. ОБРАЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛОВ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ

Вопрос 1. Что такое геохимические барьеры? Какое влияние они оказывают на образование техногенных минералов?

Геохимические барьеры – участки земной коры, которые характеризуются резким снижением интенсивности миграции химических элементов. Накопление элементов приводит к их аномальным концентрациям, значительно превышающим их кларковое значение.

Выделяют *кислородные*, или *окислительные* (А), *сероводородные*, или *сульфидные* (В), *глеевые* (С), *щелочные* (D), *кислые* (Е), *испарительные* (F), *сорбционные* (G), *термодинамические* (H) барьеры.

Кислородный барьер создается на участке резкого возрастания окислительно-восстановительного потенциала E_h , на нем активно идут процессы окисления. Сероводородные барьеры возникают при смене кислородной среды на сероводородную. Щелочные барьеры образуются при резком увеличении значений pH, а кислые – при резком их уменьшении. Термодинамические барьеры формируются при резком изменении температуры и давления.

В таблице 6 представлены сведения по условиям образования некоторых техногенных минералов в тех или иных геохимических барьерах.

Таблица 6 – Образование минералов в различных геохимических барьерах

Химическая формула	Условие образования	Класс геохимического барьера
S, NH_4Cl , AsS, NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	При горении терриконов угольных шахт, на участках выхода горячих газов	А, Н
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	При испарении сернокислых растворов	F
Fe_2O_3 , $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	При высокой температуре (800–1000 °C)	Н

Зная класс геохимического барьера, направление мигрирующего потока и условия миграции перед барьером, можно прогнозировать осаждение на конкретном барьере определённых элементов. Возможно решение и обратной задачи: по совокупности сконцен-

трировавшихся элементов определить класс барьера и условия миграции элементов.

Таким образом, изучение геохимических барьеров имеет важное значение в диагностике месторождений полезных ископаемых.

Вопрос 2. Техногенные минералы образуются в результате физического и химического выветривания различных горных пород и минералов. Какие факторы влияют на степень устойчивости к химическому выветриванию?

Устойчивость к химическому выветриванию определяется:

- особенностью химического состава;
- степенью измельченности (размером частиц);
- растворимостью в воде (при повышении температуры и давления растворимость в большинстве случаев возрастает);
- способностью противостоять низкому или высокому значению pH;
- термоустойчивостью и др.

Наиболее устойчивыми минералами к выветриванию являются: кварц SiO_2 , мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$, циркон ZrSiO_4 , глинистые минералы $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$, турмалин, рутил TiO_2 , титанит CaTiSiO_5 , магнетит Fe_3O_4 и др.

К неустойчивым минералам к выветриванию относятся: гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, ангидрит CaSO_4 , сидерит FeCO_3 , галит NaCl , сильвин KCl и др.

Вопрос 3. Какие техногенные минералы выявлены на горящих терриконах угольных шахт в Донбассе? В чем их особенность?

На горящих терриконах найдено более 20 минералов: сера S, нашатырь NH_4Cl , реальгар AsS , разнообразные сульфаты: ангидрит CaSO_4 , гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, масканьит $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, галотрихит $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, пиккерингит $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ и др. Наиболее часто встречаются сера, нашатырь, масканьит и пиккерингит.

Некоторые из минералов образуются при возгонке из газов, выделяющихся из глубины отвалов (сера, реальгар, нашатырь и др.). Но наиболее многочисленная группа минералов образовалась вследствие биохимического и химического окисления пирита (пиккерингит, галотрихит и др.).

Азотсодержащие минералы (NH_4Cl , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и др.) под влиянием осадков и кислорода вступают в окислительно-восстановительные реакции с образованием нитритов и нитратов.

Вопрос 4. Чем обусловлено многообразие техногенных минералов горелых отвалов Челябинского угольного бассейна?

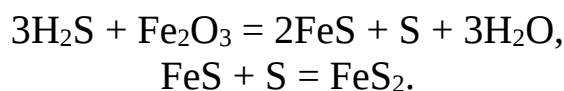
В горелых отвалах обнаружено более 200 минералов, относящихся к самородным элементам (C, Si, Fe, Cu, S), сульфидам (CaS, PbS, CuS и др.), фторидам (MgF₂, CaF₂, CaFCl), хлоридам (NH₄Cl, CaCl₂, FeCl₂, FeCl₃, CuCl, Cu₂(OH)₃Cl и др.), оксидам (MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Fe₃O₄, WO₃, PbO, PbO₂ и др.), гидроксидам (Mg(OH)₂, Al(OH)₃ и др.), силикатам (Mg₂SiO₄, Fe₂SiO₄, CaSiO₃, Ca₄(SiO₄)₂ • CaSO₄ и др.), карбонатам (CuCO₃ • Cu(OH)₂, Mg₅(CO₃)₄(OH)₂ • 4H₂O и др.), сульфатам (KAl(SO₄)₂, MgSO₄ • 7H₂O и др.), фосфатам (Ca₃(PO₄)₂, Mg₂(PO₄)F и др.), вольфраматам (FeWO₄, CoWO₄ и др.) и др.

Минералообразование происходит в широком диапазоне температур (1200 °C и выше) и чаще всего при давлении, близком к нормальному. Наблюдается явление *телескопирования* – наложение одних минеральных ассоциаций на другие. При горении происходит упрощение кристаллохимического состава отвалов. Полученные при этом минералы являются только безводными оксидами, силикатами и силикооксидами. Однако при высоких температурах образуются соединения, являющиеся переходными между обычными кристаллохимическими классами (между оксидами и силикатами, между силикатами и сульфатами и др.).

В горящих отвалах происходят физико-химические процессы, имеющие аналоги в промышленности, например: обжиг глинистых пород при производстве керамики, обжиг карбонатных пород при получении извести.

Вопрос 5. Техногенные минералы образуются и под асфальтобетонными покрытиями в городах. К какому классу минералов они относятся? Каково их происхождение?

Под таким покрытием наблюдается недостаток кислорода, но имеется достаточное количество органического вещества. Накапливается сероводород. Поэтому преобладают сульфиды: FeS₂ (пирит, марказит, мельниковит), Fe₃S₄ (грейгит) и др. Наиболее устойчивым в таких условиях является пирит. Образование пирита:



На образование минералов оказывают влияние бактерии.

Даже при отсутствии кислорода в теле полигона происходит комплекс взаимосвязанных реакций при активном участии микроорганизмов.

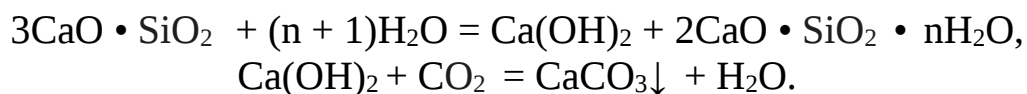
$$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) + n \text{ H}_2\text{O} = n (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$$
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$$
$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \text{ (уксусная кислота)}$$

Вопрос 7. Вблизи мест добычи сульфидных руд создаются особые геохимические условия, влияющие на формирование техногенных минералов: почва кислая и обогащенная ионами Cu^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} и др. Объясните это явление.

$$4\text{FeS}_2 + 15\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4.$$

Вопрос 8. На бетонных сооружениях, карнизах зданий могут образовываться карбонатные соединения. Запишите уравнение происходящих реакций.

На участках дефектов строительных сооружений один из компонентов бетона – трикальциевый силикат (алит, Ca_3SiO_5 или $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) – взаимодействует с атмосферной водой. В результате реакции образуется раствор гидроксида кальция, который и связывает углекислый газ с образованием карбонатов:



Причем, техногенные «сталактиты» образуются значительно быстрее, нежели в естественной природной среде.

Вопрос 9. В отходах горной промышленности содержится много минералов, которые различаются по степени химической активности. В чем особенность их взаимодействия с кислотными осадками?

По степени нейтрализующей способности при взаимодействии с кислотными осадками минералы могут быть объединены в группы:

- минералы, химическая активность которых постепенно возрастает (кальцит, доломит);
- минералы, взаимодействующие с кислотами в начальный период (сунгулит, флогопит);
- минералы, слабо взаимодействующие с осадками (мусковит, нефелин);
- минералы, не взаимодействующие с осадками (кварц, ортоклаз).

Вопрос 10. В техногенных условиях идет растворение минералов по схеме: $\text{MeS} - 2e^- \leftrightarrow \text{S}^0 + \text{Me}^{2+}$. Произведение растворимости двух сульфидов равны: $\text{PP}(\text{Me}_1\text{S}) = 1,6 \cdot 10^{-24}$ и $\text{PP}(\text{Me}_2\text{S}) = 2,5 \cdot 10^{-27}$. Какой из минералов легче растворится?

В случае малорастворимого минерала потенциал системы зависит только от произведения растворимости минерала.

Потенциал системы находится по уравнениям:

$$E = E^0 + (0,059/n) \cdot (\lg \text{PP минерала}) \quad \text{окисл. форма}$$

$$E = E^0 + (0,059/n) \cdot (\lg 1/\text{PP минерала}) \quad \text{восстан. форма}$$

Используем справочные данные: $E^0 = -0,48 \text{ В}$.

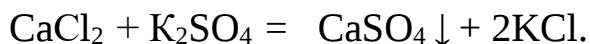
Так как в данном случае $n = 2$ (число электронов), рассчитываем величины потенциалов:

$$E(\text{Me}_1\text{S}) = -0,48 + 0,03 \cdot \lg 1/1,6 \cdot 10^{-24} = 0,23 \text{ В},$$

$$E(\text{Me}_2\text{S}) = -0,48 + 0,03 \cdot \lg 1/2,5 \cdot 10^{-27} = 0,32 \text{ В}.$$

Поэтому сульфид первого металла растворится легче.

Вопрос 11. Теоретическая задача. В техногенных условиях произошло смешение 400 мл 0,001 М раствора хлорида кальция и 100 мл 0,01 М раствора сульфата калия. Образуется ли при этом осадок?



Осадок образуется тогда, если произведение концентраций ионов, содержащихся в растворе, превышает произведение растворимости ($ИП > ПР$). Произведение растворимости того или иного вещества – справочные данные.

Решение

1. Находим молярную концентрацию хлорида кальция при смешении двух растворов:

$$C_m(\text{CaCl}_2) = 0,001 \cdot 0,4 / 0,1 + 0,4 = 0,0008 \text{ моль/л.}$$

2. Находим молярную концентрацию сульфата калия при смешении двух растворов:

$$C_m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,01 \cdot 0,1 / 0,1 + 0,4 = 0,002 \text{ моль/л.}$$

3. Так как $C_m(\text{CaCl}_2) = [\text{Ca}^{2+}]$, а $C_m(\text{K}_2\text{SO}_4) = [\text{SO}_4^{2-}]$, то находим ионное произведение:

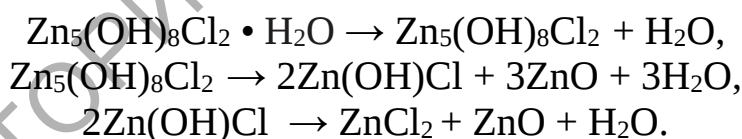
$$ИП(\text{CaSO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = 0,0008 \cdot 0,002 = 1,6 \cdot 10^{-6}.$$

По справочной таблице $ПР(\text{CaSO}_4) = 2,5 \cdot 10^{-5}$.

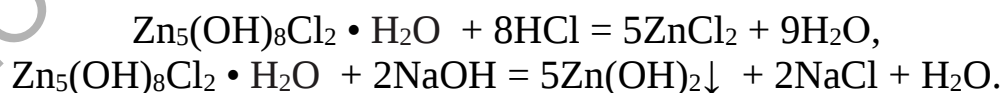
$ИП(\text{CaSO}_4) < ПР(\text{CaSO}_4)$. Поэтому осадок не образуется.

Вопрос 12. Минерал симонколлеит $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ нерастворим в воде. Насколько он устойчив к нагреванию, в кислой или щелочной среде?

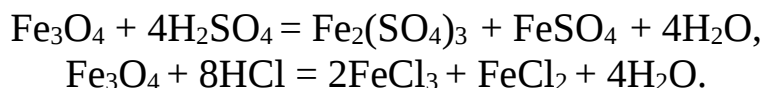
Минерал термически не устойчив, распадаясь ступенчато при сравнительно низких температурах, теряя воду (начиная со 110°C):



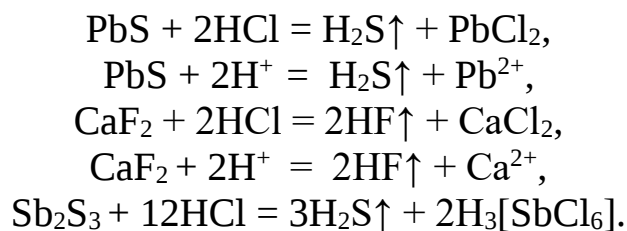
Распадается минерал в кислой и щелочной средах следующим образом:



Вопрос 13. Записать уравнения растворения минерала магнетита в серной и соляной кислотах.



Вопрос 14. Написать уравнение реакций в молекулярном и ионном видах галенита, флюорита, стибнита с соляной кислотой.



Вопрос 15. Среди минералов есть и комплексные соединения. Что является фактором их устойчивости?

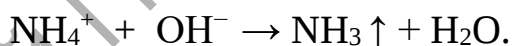
Устойчивость таких минералов к тем или иным факторам (температуре, величине рН среды и др.) определяется особенностью строения внешней и внутренней сфер, видами входящих лигандов.

Вопрос 16. Почему минерал нашатырь является неустойчивым?

Минерал нашатырь NH_4Cl , во-первых, хорошо растворяется в воде, что дает возможность образующимся ионам взаимодействовать с другими ионами:



Во-вторых, он не устойчив в щелочной среде:



Кроме того, нашатырь распадается при нагревании:



Задания для самостоятельной работы

1. Закончите уравнение реакции, напишите ионное уравнение:



Как называется нерастворимый в воде минерал?

2. Образуется ли минерал гиббсит в зоне гипергенеза, если концентрации ионов алюминия и гидроксид-ионов составляют $2 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а $\text{PP}(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,9 \cdot 10^{-33}$?

3. В таблице 7 представлены изменения энергии Гиббса химических реакций рудных минералов.

Таблица 7 – Изменение энергии Гиббса

Уравнение химической реакции	Изменение энергии Гиббса (кДж/моль)	
	298° К	373° К
без окислителя		
$\text{CuCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	–20,35	–35,41
$\text{ZnO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	–96,64	–110,20
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	–35,21	–37,60
$\text{CaMoO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{MoO}_4$	–8,15	–10,35
с окислителем		
$2\text{FeS}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{S}$	–174,98	–120,04
$2\text{FeS} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$	–127,12	–104,71
$2\text{CuS} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$	–126,41	–92,40
$\text{CuFeS}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$	–339,21	–225,79

Изменения этой энергии при самопроизвольном процессе в изолированной системе (которая обменивается с окружающей средой энергией или энергией и веществом) всегда отрицательны ($\Delta G < 0$). При $\Delta G > 0$ такая реакция невозможна.

Какая группа реакций (без окислителя или с окислителем) происходит более активно? Как влияет температура на протекание реакций?

4. Напишите окислительно-восстановительную реакцию пирита в присутствии воды и кислорода с образованием сульфата железа (III) и серной кислоты. Можно ли ее записать в ионном виде? В чем заключается ее экологическая опасность?

5. Гипергенные процессы в зонах окисления сульфидных цинковых руд приводят к образованию целого ряда минералов. Они могут иметь различное происхождение: выкристаллизовываться из растворов, образовываться в результате реакций замещения или обмена. К числу основных минералов в таких зонах относятся:

- Zn (самородный цинк);
- ZnO (цинкит);
- Zn_2SiO_4 (виллемит);

- $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (гемиморфит);
- $(\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Mg})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (бейлихлор);
- ZnSO_4 (цинкозит);
- $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (ганнингит);
- $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (бойлеит);
- $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (бианкит);
- $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (госларит);
- $(\text{Zn}, \text{Cu}, \text{Fe})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (цинкмелантерит);
- $\text{ZnAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ (дитрихит);
- $\text{ZnFe}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ (цинккопиапит);
- $(\text{Cu}, \text{Zn})_5(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ктенасит);
- $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (чангоит);
- ZnCO_3 (смитсонит);
- $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$ (гидроцинкит).

Минералы какого класса преобладают по числу? Какие из минералов образовались в результате уменьшения количества воды?

6. Почему среди техногенных минералов велика доля кристаллогидратов? Может ли в техногенных условиях образовываться гидрат метана? Почему?

7. Насколько устойчивыми являются техногенные минералы лансфордит и вульфингит? Ответ подтвердите уравнениями химических реакций. Используя справочную литературу, определите температуру разложения этих минералов. Какой из них распадается при более высокой температуре? Чем это обусловлено?

Лабораторная работа 1

Взаимодействие портландцемента с водой

Цель: получить доказательство разрушения цемента.

Ход работы

1. Насыпать в пробирку порошок портландцемента (основной компонент – силикаты кальция до 70–80 %).

2. Налить до половины пробирки дистиллированной воды, встряхнуть содержимое.

3. После отстаивания водную вытяжку разлить на три пробирки. В первую пробирку добавить несколько капель фенолфталеина, во вторую – раствор карбоната натрия, в третью – соляную кислоту.

4. Отметить происходящие изменения в пробирках, написать уравнения происходящих реакций в молекулярном и ионном видах. Являются ли эти реакции окислительно-восстановительными?

5. Изменяются ли продукты реакции при нагревании смеси или увеличении объема приливаемой воды? Провести опыты.

В выводах дать ответы на вопросы.

1. Какие два последовательных химических процесса происходят при взаимодействии портландцемента с водой?

2. Какое значение имеют эти процессы в образовании техногенных минералов? Привести примеры.

3. Насколько хорошо растворяется в воде кислород? Активизирует ли это процессы образования техногенных минералов?

4. Какие факторы могут влиять на скорость гидратации портландцемента? Как можно ослабить и усилить процесс гидратации?

Лабораторная работа 2

Гидролиз техногенных минералов (солей)

Цель: закрепить навыки определения продуктов гидролиза солей, проведения качественных реакций.

Ход работы

1. Получить водные растворы минералов (нитробарит, ганнингит, ландсфордит, флюорит). Указать цвет полученных растворов и тепловой эффект.

2. Заполнить таблицу 8, дав подробный ответ.

Таблица 8 – Результаты гидролиза минералов

Название минерала, химическая формула	Кислоты и основания, из которых образована соль (формула)	Предполагаемое значение pH водного раствора соли. Объяснение
Нитробарит, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$		
Ганнингит, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		
Ландсфордит, $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$		
Флюорит, CaF_2		
Хоганит, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$		

3. Написать уравнения гидролиза предложенных солей в молекулярном и ионном видах.

4. Определить величину pH каждого из растворов. Соответствует ли она предполагаемой? Объяснить причину соответствия или несоответствия.

5. Провести качественную реакцию:

- на анион растворов первой и третьей солей;
- на катион растворов второй и четвертой солей.

Написать все уравнения химических реакций в молекулярном и ионном видах. Что указывает на их прохождение?

В выводах дать ответы на вопросы.

- в каком случае может образоваться осадок при гидролизе?
- в каких случаях величина pH раствора ≈ 7 ?

Лабораторная работа 3

Химические свойства минерала хоганита

Цель работы: закрепить знания химических свойств солей, навыки проведения качественных реакций.

Ход работы

1. Насыпать в пробирку 1 г измельченного хоганита, отметить наличие слабого запаха.

2. Прилить 1 мл воды, растворить минерал. Увеличился ли объем раствора? Найти величину изменения объема раствора (в процентах). Найти массовую и молярную концентрацию полученного раствора.

3. Полученный раствор разлить на три пробирки. В первую пробирку прилить раствор серной кислоты, во вторую – раствор гидроксида калия, в третью – раствор фосфата натрия. Написать уравнения происходящих реакций в молекулярном и ионном видах. Какая из реакций является качественной на катион, а какая – на анион? В чем причина прохождения первой реакции? Сравнить константы диссоциации двух кислот.

4. Провести дегидратацию минерала. Изменился ли цвет минерала?

В выводах дать ответы на вопросы.

1. Обладает ли минерал хоганит устойчивостью к кислой или щелочной средам? Почему? Изменился ли бы результат, если в качестве реагентов взять фосфорную кислоту и водный раствор аммиака? Обоснуйте ответ.

2. Обладает ли минерал хоганит термической устойчивостью?

3. Может ли этот минерал образовываться в естественных природных условиях?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Ответьте на вопросы, выбрав вариант(-ы) из предложенных

1. ***В настоящее время известно около... минералов.***

- а) 3 000;
- б) 4 000;
- в) 5 000;
- г) 6 000;
- д) 7 000.

2. ***Одинаковый качественный состав имеют...***

- а) доломит и кальцит;
- б) гематит и магнетит;
- в) жесткая и тяжелая вода;
- г) тенардит и мирабилит;
- д) гидрат метана и метан.

3. ***Окислительно-восстановительной реакцией не является...***

- а) $\text{CuCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- б) $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- в) $\text{FeSO}_4 + 2\text{C} = \text{FeS} + 2\text{CO}_2$;
- г) $\text{CuCO}_3 = \text{CuO} + \text{CO}_2$;
- д) $\text{FeS} + \text{S} = \text{FeS}_2$;

4. ***Укажите верные утверждения:***

- а) бета частица – позитрон или электрон;
- б) при бета-плюс распаде ^{40}K образуется изобар;
- в) наибольший атомный кларк у железа;
- г) полная дегидратация минералов происходит при температуре до 200 °C;
- д) изоморфное замещение атомов происходит при сходной химической связи.

5. ***Укажите атомный кларк, если на 25 000 атомов приходится 3 атома данного элемента:***

- а) 0,00012;
- б) 3 : 25000;
- в) 25000 : 3;

- г) 120;
- д) 12.

6. К физическим методам исследования минералов не относится...

- а) изотопный анализ;
- б) спектральный анализ;
- в) прокаливание на угле;
- г) исследование магнитных свойств;
- д) рентгено-флуоресцентный анализ.

7. К внутренним факторам миграции химических элементов относится...

- а) заряд ядра;
- б) электроотрицательность;
- в) количество валентных электронов;
- г) величина рН;
- д) давление.

8. Укажите верные утверждения:

- а) радиогенное тепло образуется в основном в мантии;
- б) ртуть – атмосферный элемент;
- в) масса позитрона равна 1 а.е.м. ;
- г) при изовалентном изоморфизме Al может заменить Mg;
- д) миграция атомов с растворителем в зоне водообмена называется конвекцией.

9. К тяжелым металлам относятся...

- а) кальций;
- б) плутоний;
- в) марганец;
- г) гафний;
- д) скандий.

10. Жесткость воды – 12 градусов. Сколько мг ионов магния содержится в 500 мл раствора?

- а) 14,4;
- б) 144;
- в) 7,2;
- г) 72;
- д) 172,4.

11. **Укажите верные утверждения:**

- а) органических техногенных минералов больше, чем неорганических;
- б) элементы с наибольшим весовым кларком – O, Si, Mg;
- в) $\text{Эл}^0 - \text{пе}^- = \text{Эл}^{n+}$. Элемент – окислитель;
- г) гафний – легкий металл;
- д) теллур – неметалл.

12. **Изотоп меди-65 является продуктом бета-позитронного распада...**

- а) галлия-65;
- б) галлия-69;
- в) германия-65;
- г) цинка-65;
- д) цинка-69.

13. **К классам физико-химических барьеров относят...**

- а) кислородный;
- б) глеевый;
- в) макробарьер;
- г) испарительный;
- д) кислотно-щелочной.

14. **Кристаллогидратом не является...**

- а) берилл;
- б) магнезит;
- в) нефелин;
- г) апатит;
- д) бишофит.

15. **pH больше 7 имеют растворы...**

- а) угарного газа;
- б) углекислого газа;
- в) фтороводорода;
- г) дисциллированной воды;
- д) ганнингита.

16. **Укажите соли.**

- а) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;
- б) $\text{H}[\text{AuCl}_4]$;

- в) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$;
- г) $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$;
- д) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$.

17. *К силикатам не относится...*

- а) циркон;
- б) целестин;
- в) берилл;
- г) осмирид;
- д) вольфрамит.

18. *В геохимическом атласе Европы содержание металлов указывается...*

- а) в процентах;
- б) в весовых кларках;
- в) в долях единицы;
- г) в атомных кларках;
- д) в тоннах.

19. *Изобарами являются...*

- а) С-12 и С-14;
- б) протий и дейтерий;
- в) Ве-10 и В-10;
- г) Ве-10 и С-10;
- д) Na-23 и К-39.

20. *Заряд иона железа может быть...*

- а) три плюс;
- б) плюс два;
- в) шесть плюс;
- г) два плюс;
- д) ноль.

21. *Изотоп радона-222 является продуктом альфа-распада...*

- а) радона-226;
- б) радона-224;
- в) радия-222;
- г) радия-224;
- д) радия-226.

22. **Комплексным соединением не является...**

- а) сильвин;
- б) сильвинит;
- в) сфалерит;
- г) тяжелая вода;
- д) мягкая вода.

23. **К важнейшим породообразующим минералам относится...**

- а) тальк;
- б) сера;
- в) кварц;
- г) гематит;
- д) эпсомит.

24. **Сидерофильным(-и) элементом(-ами) является(-ются):**

- а) рутений;
- б) родий;
- в) платина;
- г) иридий;
- д) магний.

25. **На территории Белорусского Полесья геохимические аномалии в покровных отложениях, чаще всего, наблюдаются по металлу (выбрать один)...**

- а) ртути;
- б) железа;
- в) ванадия;
- г) бария;
- д) алюминия.

26. **Литофильным элементом является...**

- а) титан;
- б) калий;
- в) бор;
- г) кремний;
- д) барий.

27. **Укажите ошибочные утверждения:**

- а) борий – неметалл;
- б) растворимость минералов прямо пропорциональна числу составляющих его элементов;

- в) в горячей воде плохо растворяются газы;
- г) при нагревании растворимость солей увеличивается;
- д) кальций может быть самородным минералом.

28. Халькофильным элементом является...

- а) серебро;
- б) кадмий;
- в) ртуть;
- г) цинк;
- д) селен.

29. Степень окисления только минус 1 в сложных соединениях может иметь...

- а) водород;
- б) хлор;
- в) ксенон;
- г) фтор;
- д) франций.

30. К важнейшим эвапоритам относятся следующие минералы...

- а) бишофит;
- б) давсонит;
- в) оливин;
- г) стибнит;
- д) апатит.

31. При гидрохимическом методе поиска полезных ископаемых анализируют концентрацию ионов...

- а) меди;
- б) водорода;
- в) брома;
- г) кобальта;
- д) кальция.

32. Минерал сфалерит – промышленный источник получения...

- а) кадмия;
- б) меди;
- в) цинка;

- г) калия;
- д) олова.

33. Укажите ряд неметаллов:

- а) He, Ne, Se, P, Ir;
- б) B, C, N, Os, O;
- в) Ta, S, H, At, Br;
- г) Ar, As, Se, Br, Si;
- д) Cm, Cf, Sg, Po, Tm.

34. Рассолы являются природным источником промышленного получения...

- а) лития;
- б) хлора;
- в) осмия;
- г) фтора;
- д) йода.

35. К галоидам относится...

- а) сильвин;
- б) сфалерит;
- в) доломит;
- г) сидерит;
- д) флюорит.

36. Количество видообразующих элементов...

- а) не ограничено;
- б) равно 118;
- в) соответствует числу металлов;
- г) равно 70;
- д) равно 98.

37. Наибольшее число минералов в системе с числом химическим элементов является...

- а) 2;
- б) 3;
- в) 4;
- г) 5;
- д) 6.

38. Укажите верные утверждения:

- а) карбонатизация происходит в щелочной среде;
- б) изоморфизм есть у алмаза;
- в) пример гидратации: тенардит → мирабилит;
- г) каолинит образуется в результате гидролиза полевого шпата;
- д) торф не является каустобиолитом.

39. Компонентом газовых гидратов является...

- а) сероводород;
- б) этан;
- в) фтор;
- г) водород;
- д) криптон.

40. Наиболее распространенные элементы земной коры сложены изотопами групп...

- а) четный – нечетный;
- б) четный – четный;
- в) нечетный – четный;
- г) нечетный – нечетный;
- д) стабильный – нестабильный.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Анион	отрицательно заряженный ион (F^- , HCO_3^- , CH_3COO^- , $[Al(SO_4)_2]^-$).
Выветривание	совокупность различных процессов (физических, химических, биохимических), в результате воздействия которых происходит изменения горных пород и минералов в приповерхностном слое. Зона выветривания (гипергенеза) – часть земной коры, в которой оно происходит.
Геохимический атлас Европы	картографический проект, выполненный 26 европейскими странами. Были опробованы водные системы, донные и пойменные осадки, почвы (гумусовый горизонт, верхний и нижний горизонты). В отобранных пробах определялись содержания более чем 50 элементов.
Гидратация	присоединение молекул воды. Один из процессов образования минералов: $MgSO_4 + 7H_2O = MgSO_4 \cdot 7H_2O.$
Гидролиз	реакция взаимодействия вещества с водой при одновременном его разложении: $Al_2S_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow.$
Жесткость воды	один из показателей химического состава природных вод и качества питьевой воды. Определяется концентрацией ионов кальция и магния. 1 мг-экв жесткости соответствует содержанию в 1 л воды 20,04 мг иона Ca^{2+} или 12,16 мг иона Mg^{2+} . Величина эквивалента равна соотношению атомной массы металла и его валентности.
Катион	положительно заряженный ион (Co^{2+} , NH_4^+ , $[Co(NH_3)_6]^{2+}$, H_3O^+).
Качественный состав вещества	совокупность химических элементов, входящих в состав вещества (минерала, горной породы).

Количественный состав вещества

характеристика, указывающая на число атомов того или иного элемента, входящих в состав вещества.

Концентрация

количество растворенного вещества в определенной массе раствора или растворителя или в определенном объеме. Наиболее часто используются массовая доля (ω) растворенного вещества в растворе и молярная концентрация (C_m).

$\omega(\text{в-ва}) = m(\text{в-ва}) / m(\text{р-ра})$ (в долях единицы или в процентах);

$C_m = n(\text{в-ва}) / V_{\text{р-ра}}$ (моль/л)

Магматизм

геологические процессы, источником которых является магма и её производные.

Метаморфизм

изменение горных пород и минералов под воздействием температуры и давления.

Минерал

природное химическое соединение, образующееся в результате физико-химических процессов в недрах земли или на ее поверхности.

Навеска

определенное количество вещества (минерала, горной породы), которое берут для выполнения анализа.

Окислительно-восстановительные реакции (ОВР)

реакции, протекающие с изменением степеней окисления атомов. Окислители электроны принимают, а восстановители отдают. В результате ОВР окислитель восстанавливается, восстановитель окисляется.

Рассолы

природные растворы, имеющие минерализацию более 50 г/л.

Степень окисления

заряд, который возник бы на атоме, если бы электроны, связывающие его с другими атомами, полностью принадлежали электроотрицательному атому. Степень окисления в простых веществах равна нулю.

Телескопирование	наложение одних минеральных ассоциаций на другие.
Техногенные минеральные образования (ТМО)	накопленные отходы горнодобывающих, горноперерабатывающих и др. производств, содержащие различные полезные соединения. Для оценки возможности промышленного использования объекта ТМО составляется паспорт, в котором указываются: петрографический, литологический состав вмещающих и вскрышных пород; гранулометрический состав, физико-механические свойства ТМО; гидрогеологические условия; минеральный и химический составы.
Тяжелые металлы	металлы с плотностью более 5 г/см^3 . В таблице Д. И. Менделеева располагаются, начиная с ванадия ($Z = 23$). Однако не все металлы, расположенные ниже в таблице, имеют высокую плотность (Cs, Ba и др.).
Эвапориты	минералы, выпадающие в осадок в результате испарения воды в водоеме. Процесс накопления таких солей – галогенез.
Экзотермический эффект	выделение теплоты в результате реакции. Изменение энтальпии системы отрицательно ($-\Delta H$).
Эндотермический эффект	поглощение теплоты в результате реакции. Изменение энтальпии системы положительно ($+\Delta H$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов, А. В. Техногенные месторождения. Разработка и формирование / А. В. Архипов, С. П. Решетняк; под науч. ред. акад. Н. Н. Мельникова. – Апатиты : КНЦ РАН, 2017. – 175 с.
2. Блинов, И. А. Гипергенные минералы цинка на сульфидных месторождениях Южного Урала : дис. канд. геол.-минерал. наук: 25.00.05 / И. А. Блинов ; Уральское отделение Института минералогии. – Миасс, 2016. – 163 с.
3. Гаськова, О. Л. Геохимические особенности и физико-химические параметры гипергенных процессов в зонах техногенеза : автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.09 / О. Л. Гаськова ; Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии им. акад. А. А. Трофимука СО РАН. – Новосибирск, 2005. – 43 с.
4. Едильбаев, А. И. Разработка классификации твердых техногенных металлсодержащих минеральных образований горно-металлургического комплекса / А. И. Едильбаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 1. – С. 87–89.
5. Ежов, А. И. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) / А. И. Ежов // Горные науки и технологии. – 2016. – № 4. – С. 62–75.
6. Елохина, С. Н. Техногенез затопленных рудников Урала : дис. д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.36 / С. Н. Елохина : Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург, 2014. – 352 с.
7. Зверева, В. П. Происхождение гипергенных и техногенных минералов в горнопромышленных техногенных системах (на примере Дальнегорского района, Приморье) / В. П. Зверева, А. М. Костина, А. И. Лысенко // Записки Российского минералогического общества. – 2019. – № 2. – С. 50–60.
8. Зубова, Л. Г. Породы отвалов угледобычи как сырье для металлургии / Л. Г. Зубова // Уголь Украины. – 2016. – № 11–12. – С. 45–53.
9. Изоитко, В. М. Технологическая минералогия и оценка руд / В. М. Изоитко. – СПб : Наука, 1997. – 582 с.
10. Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов ФГБУ «ИМГРЭ» [Электронный ресурс]. – 2022. – Вид доступа: <https://imgre.ru/>. – Дата доступа: 01.02.2022.
11. Кондратьев, В. Б. Глобальная горная промышленность в 2018 году и перспективы ее развития / В. Б. Кондратьев // Горная промышленность. – 2019. – № 1. – С. 14–22.

12. Коннова, Н. И. Рудная и технологическая минералогия : учебное пособие / Н. И. Коннова. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2019. – 176 с.

13. Кривовичев, В. Г. Минеральные системы, их типы и распространенность в природе. 1. Хибин, Ловозеро и Сент-Илер / В. Г. Кривовичев, М. В. Чарыкова // Записки Российского минералогического общества. – 2015. – № 4. – С. 1–12.

14. Кривовичев, В. Г. Минеральные системы, основанные на числе видообразующих химических элементов в минералах: их разнообразие, сложность, распространенность в природе и эволюция в геологической истории (обзор) / В. Г. Кривовичев, М. В. Чарыкова, С. В. Кривовичев // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – № 1. – С. 1–22.

15. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по степени эколого-геохимического риска / А. В. Матвеев // Літасфера. – 2012. – № 1 (36). – С. 107–112.

16. Махнач, А. А. Геохимия стабильных изотопов в платформенном чехле Беларуси / А. А. Махнач, Н. А. Махнач, Б. Г. Покровский. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 373 с.

17. Минералогия техногенеза-2019 : сборник статей / отв. ред. С. С. Потапов [и др.]. – Миасс : Институт минералогии ЮУ ФНЦ Миг УрО РАН, 2019. – 184 с.

18. Михайлов, В. А. Редкоземельные руды мира: геология, ресурсы, экономика / В. А. Михайлов. – Киев: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2010. – 223 с.

19. Общая геохимия : учебное пособие / Д. А. Яковлев [и др.]. – Иркутск : ИГУ, 2019. – 301 с.

20. Оганесян, Л. В. Проблема истощения минерально-сырьевых ресурсов земной коры / Л. В. Оганесян, Е. Г. Мирлин // Горная промышленность. – 2019. – № 6. – С. 100–105.

21. Основные понятия минералогии и процессы минералообразования : учебное пособие / С. З. Смирнов [и др.]. – Новосибирск : РИЦ НГУ, 2015. – 167 с.

22. Оценка экологической опасности хранения отходов добычи и переработки медно-никелевых руд / В. А. Маслобоев [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 3. – С. 138–153.

23. Панов, Б. С. Особенности генезиса некоторых техногенных минералов горящих отвалов угольных шахт Донбасса / Б. С. Панов,

Ю. А. Проскурня // Труды ДонГТУ. Сер. горно-геологическая, 2000. – № 11. – С. 141–145.

24. Русаль, О. С. Физико-химическая модель образования гипергенных сульфатов на примере Шерловогорского месторождения / О. С. Русаль // Геосферные исследования. – 2018. – № 3. – С. 51–57.

25. Саварин, А. А. Прикладная химия : практикум / А. А. Саварин. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. – 99 с.

26. Скрыбина, О. А. Минералогический состав почв и почвообразующих пород : учебное пособие / О. А. Скрыбина. – Пермь : ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2010. – 120 с.

27. Сокол, Э. В. Минералообразование в процессах пирогенного метаморфизма : автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.05 / Э. В. Сокол ; Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии им. акад. А. А. Трофимука СО РАН. – Новосибирск, 2003. – 41 с.

28. Харько, П. А. Оценка воздействия медно-колчеданных месторождений на формирование минерального состава донных отложений малых рек / П. А. Харько, А. С. Плохов // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 6. – С. 1–9.

29. Чесноков, Б. В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение десятое – обзор результатов за 1982–1996 гг. / Б. В. Чесноков // Уральский минералогический сборник. – 1997. – № 7. – С. 3–16.

30. Щеглов, Д. И. Выветривание минералов : учебно-методическое пособие / Д. И. Щеглов, Ю. И. Дудкин, Л. И. Брехова. – Воронеж : ВГУ, 2008. – 73 с.

31. Языков, Е. Г. Минералогия техногенных образований : учебное пособие / Е. Г. Языков, А. В. Таловская, Л. В. Жорняк. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.

32. On the mineralogy of the «Anthropocene Epoch» / R. M. Hazen [et al.] // American Mineralogist. – 2017. – Vol. 102. – P. 595–611.

33. About IMA // International Mineralogical Association [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.ima-mineralogy.org/about.htm>. – Date of access: 28.01.2022.

34. Christy, A. G. Anomalous mineralogical diversity in the Periodic Table, and its causes / A. G. Christy // Mineralogical magazine. – 2015. – Vol. 79. – P. 33–49.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Основные правила безопасности для студентов при проведении лабораторных работ

- Каждый студент выполняет лабораторные работы на закрепленном за ним учебном месте. Переход на другое место без разрешения преподавателя не допускается.
- Нельзя загромождать рабочее место посторонними предметами.
- Студент выполняет работы в халате. Манжеты рукавов должны быть на пуговицах. Длина халата – ниже колен.
- Лабораторная работа начинается и прекращается по указанию преподавателя.
- После использования реактива банку или склянку закрыть пробкой.
- Соблюдать последовательность опытов.
- Запрещается приносить или выносить реактивы, выполнять работы, не связанные с учебными целями.
- Нельзя пробовать минералы, горные породы, реактивы на вкус.
- Запрещено пить и есть в лаборатории.
- Нельзя пользоваться битой или треснувшей посудой.
- Бережно относиться к имуществу и приборам.
- При нагревании пробирки ее отверстие не должно быть направлено в сторону людей.
- Пламя фитиля спиртовки гасят, накрывая ее колпачком. Задуть пламя запрещается.
- Соблюдать общую дисциплину, культуру поведения.
- После окончания работы привести рабочее место в порядок.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Классификация титриметрических методов

Таблица Б 1 – Титранты и определяемые вещества

Метод титрования	Титрант	Определяемые вещества
Кислотно-основное титрование	NaOH	Катионы, подвергающиеся гидролизу, кислоты
	H ₂ SO ₄ , HCl	Анионы, подвергающиеся гидролизу, основания
Осадительное титрование	AgNO ₃	Галогениды
	Hg ₂ (NO ₃) ₂	Хлориды
Комплексонометрическое титрование	Hg(NO ₃) ₂	Галогениды
	KCN	Ионы Ni ²⁺ , Co ²⁺ и др.
Окислительно-восстановительное титрование	KMnO ₄ , K ₂ Cr ₂ O ₇ , I ₂	Восстановители

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Кларки видообразующих элементов в земной коре

Таблица В 1 – Минеральные и атомные кларки элементов

№	Элемент	Минеральный кларк, %	Атомный кларк, ppm
1	2	3	4
1	O	81,60	599000
2	H	55,63	28900
3	Si	29,24	209000
4	Ca	23,00	21500
5	S	20,70	227
6	Al	19,39	63400
7	Fe	18,52	21000
8	Na	18,46	21300
9	Cu	12,44	20
10	P	11,71	705
11	As	11,61	0,5
12	Mg	11,11	19900
13	Mn	10,72	359
14	Pb	9,51	1,4
15	K	8,28	11100
16	C	7,83	346
17	F	6,93	585
18	Cl	6,91	145
19	Ti	6,18	2450
20	B	5,35	19
21	U	4,79	0,24
22	Sb	4,60	0,034
23	Zn	4,24	22
24	Ba	4,24	64
25	V	4,20	49
26	Bi	4,10	0,00085
27	Te	3,19	0,00016
28	Ag	3,15	0,014
29	Ce	2,69	9,9
30	Ni	2,56	30
31	Be	2,34	6,5
32	Se	2,26	0,013

Окончание таблицы В 1

1	2	3	4
33	Y	2,26	7,7
34	Zr	2,24	38
35	Li	2,24	60
36	Nb	2,20	4,5
37	Sr	2,20	88
38	N	1,86	28
39	Hg	1,86	0,0088
40	Sn	1,84	0,4
41	Cr	1,63	41
42	Pd	1,29	0,0029
43	Tl	1,15	0,086
44	Mo	1,15	0,26
45	Co	1,15	8,8
46	Ta	0,95	0,23
47	W	0,85	0,14
48	La	0,77	5,80
49	Pt	0,59	0,00053
50	Ge	0,54	0,43
51	Au	0,52	0,00042
52	Cd	0,50	0,028
53	I	0,46	0,074
54	Nd	0,46	6,0
55	Th	0,46	0,86
56	Cs	0,40	0,47
57	Sc	0,23	10,2
58	Rh	0,26	0,0002
59	Ir	0,26	0,00011
60	In	0,24	0,045
61	Br	0,14	0,62
62	Ga	0,10	5,7
63	Ru	0,10	0,0002
64	Yb	0,10	0,38
65	Os	0,08	0,00016
66	Rb	0,06	22
67	Sm	0,04	0,97
68	Re	0,04	0,000078
69	Hf	0,02	0,35
70	Gd	0,02	0,82

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Периодическая система и геохимическая классификация элементов

Таблица Г 1

		Группы																	
Периоды		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1	1 H Водород 1,00794																	2 He Гелий 4,002602
2	2	3 Li Литий 6,941	4 Be Бериллий 9,012182															9 F Фтор 18,9984032	10 Ne Неон 20,1797
3	3	11 Na Натрий 22,98976928	12 Mg Магний 24,3050															17 Cl Хлор 35,453	18 Ar Аргон 39,948
4	4	19 K Калий 39,0983	20 Ca Кальций 40,078	21 Sc Скандий 44,955912	22 Ti Титан 47,867	23 V Ванадий 50,9415	24 Cr Хром 51,9961	25 Mn Марганец 54,938045	26 Fe Железо 55,845	27 Co Кобальт 58,933195	28 Ni Никель 58,6934	29 Cu Медь 63,546	30 Zn Цинк 65,38	31 Ga Галлий 69,723	32 Ge Германий 72,64	33 As Мышьяк 74,92160	34 Se Селен 78,96	35 Br Бром 79,904	36 Kr Криптон 83,798
5	5	37 Rb Рубидий 85,4678	38 Sr Стронций 87,62	39 Y Иттрий 88,90585	40 Zr Цирконий 91,224	41 Nb Ниобий 92,90638	42 Mo Молибден 95,96	43 Tc Технеций (97,9072)	44 Ru Рутений 101,07	45 Rh Родий 102,90550	46 Pd Палладий 106,9056	47 Ag Серебро 107,8682	48 Cd Кадмий 112,411	49 In Индий 114,818	50 Sn Олово 118,710	51 Sb Сурьма 121,760	52 Te Теллур 127,60	53 I Йод 126,90447	54 Xe Ксенон 131,293
6	6	55 Cs Цезий 132,9054519	56 Ba Барий 137,327	57-71 La-Lu Лантаноиды	72 Hf Гафний 178,49	73 Ta Тантал 180,94788	74 W Вольфрам 183,84	75 Re Рений 186,207	76 Os Осмий 190,23	77 Ir Иридий 192,222	78 Pt Платина 195,084	79 Au Золото 196,966569	80 Hg Ртуть 200,59	81 Tl Таллий 204,3833	82 Pb Свинец 207,2	83 Bi Висмут 208,98040	84 Po Полоний (209,9824)	85 At Астат (208,9824)	86 Rn Радон (222,0175)
7	7	87 Fr Франций (223)	88 Ra Радий (226)	89-103 Ac-Lr Актиниды	104 Rf Резерфордий (261)	105 Db Дубний (262)	106 Sg Синьтий (266)	107 Bh Борий (264)	108 Hs Хассий (277)	109 Mt Мейтнерий (268)	110 Ds Дармштадтий (271)	111 Rg Рентгий (272)	112 Cn Коперниций (285)	113 Nh Нихий (284)	114 Fl Флеровий (289)	115 Mc Московий (288)	116 Lv Ливерморий (293)	117 Ts Теннессон (294)	118 Og Оганессон (294)

Литофильные

Сидерофильные

Халькофильные

Атмофильные

Искусственно полученные

Благородные металлы

Радиоактивные

Для элементов, не имеющих стабильных изотопов, в скобках указывается масса изотопа с наибольшим периодом полураспада

57 La Лантан 138,90547	58 Ce Церий 140,116	59 Pr Прометий 140,90765	60 Nd Неодим 144,242	61 Pm Прометий (145)	62 Sm Самарий 150,36	63 Eu Европий 151,964	64 Gd Гадолиний 157,25	65 Tb Тербий 158,92535	66 Dy Диспрозий 162,5	67 Ho Гольмий 164,93032	68 Er Эрбий 167,259	69 Tm Тиман 168,93421	70 Yb Иттербий 173,054	71 Lu Лютеций 174,9668
89 Ac Актиний (227)	90 Th Торий 232,03806	91 Pa Протактиний 231,03688	92 U Уран 238,02891	93 Np Нептуний (237)	94 Pu Плутоний (244)	95 Am Америций (243)	96 Cm Курций (247)	97 Bk Берклий (247)	98 Cf Калифорний (251)	99 Es Эйнштейний (252)	100 Fm Фермий (257)	101 Md Мейтнерий (258)	102 No Нобелий (259)	103 Lr Лавренций (262)

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

Техногенные минералы различных классов

Таблица Д 1 – Химические формулы минералов, твердость

Название	Химическая формула	Твердость (баллы)
1	2	3
abhurite	$\text{Sn}_{21}\text{O}_6(\text{OH})_{14}\text{Cl}_{16}$	2
acetamide	CH_3CONH_2	1–1,5
adolfpateraite	$\text{K}(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	2
ammonioborite	$(\text{NH}_4)_3\text{B}_{15}\text{O}_{20}(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	–
andersonite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2,5
apexite	$\text{NaMg}(\text{PO}_4) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	2
barberiite	$(\text{NH}_4)[\text{BF}_4]$	1
boyleite	$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2
canavesite	$\text{Mg}_2(\text{HBO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	–
cuprospinel	CuFe_2O_4	6,5
downeyite	SeO_2	–
fiedlerite	$\text{Pb}_3\text{FCl}_4(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	3,5
gunningite	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,5
hoelite	$(\text{C}_6\text{H}_4)_2(\text{CO})_2$	–
hoganite	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1,5
hydromagnesite	$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	3,5
huemulite	$\text{Na}_4\text{Mg}(\text{V}_{10}\text{O}_{28}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	2,5–3
kaňkite	$\text{FeAsO}_4 \cdot 3,5\text{H}_2\text{O}$	2–3
krausite	$\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,5
krautite	$\text{Mn}(\text{HAsO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$	3–4
lansfordite	$\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	2,5
metamunirite	NaVO_3	1
millosevichite	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1,5
minium	Pb_3O_4	2,5
namuwite	$\text{Zn}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2
nasinite	$\text{Na}_2[\text{B}_5\text{O}_8(\text{OH})] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	–
nickelboussingaultite	$(\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2,5
nickelhexahydrite	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2
nitrobarite	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	3
orthoserpierite	$\text{Ca}(\text{Cu,Zn})_4(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	–
paceite	$\text{CaCu}(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,5
paralaurionite	$\text{PbCl}(\text{OH})$	3
pascoite	$\text{Ca}_3(\text{V}_{10}\text{O}_{28}) \cdot 17\text{H}_2\text{O}$	2,5

Окончание таблицы Д 1

1	2	3
penfieldite	$\text{Pb}_2\text{Cl}_3(\text{OH})$	3–4
phaunouxite	$\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	–
picropharmacolite	$\text{Ca}_4\text{Mg}(\text{AsO}_4)_2(\text{HAsO}_4)_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	1–2
pseudoboleite	$\text{Pb}_{31}\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$	2,5
ransomite	$\text{CuFe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2,5
rauenthalite	$\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	2
romarchite	SnO	4
rorisite	CaFCl	2
rossite	$\text{Ca}(\text{VO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2–3
rostitite	$\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	–
sassolite	H_3BO_3	1
scorodite	$\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,5–4
shannonite	$\text{Pb}_2\text{O}(\text{CO}_3)$	3–3,5
srebrodolskite	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	5,5
stanfieldite	$\text{Ca}_4\text{Mg}_5(\text{PO}_4)_6$	4,5–5
svyatoslavite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	6
tinnunculite	$\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	–
uranopilite	$(\text{UO}_2)_6(\text{SO}_4)\text{O}_2(\text{OH})_6 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	–
vysokýite	$\text{U}[\text{AsO}_2(\text{OH})_2]_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2
whitlockite	$\text{Ca}_9\text{Mg}(\text{PO}_4)_6(\text{PO}_3\text{OH})$	5
wilcoxite	$\text{MgAl}(\text{SO}_4)_2\text{F} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	1–2
wroewolfeite	$\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,5
wupatkiite	$\text{CoAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$	1,5–2
wülfingite	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	3
zlatogorite	NiCuSb_2	4,5

Приложение Е (справочное)

Таблица плотностей простых веществ (г/см³)

Таблица Е 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H Водород 0,0000899																	2 He Гелий 0,0001785
2	3 Li Литий 0,535	4 Be Бериллий 1,848															9 F Фтор 0,001696	10 Ne Неон 0,000900
3	11 Na Натрий 0,968	12 Mg Магний 1,738															17 Cl Хлор 0,003214	18 Ar Аргон 0,001784
4	19 K Калий 0,856	20 Ca Кальций 1,550	21 Sc Скандий 2,985	22 Ti Титан 4,507	23 V Ванадий 6,110	24 Cr Хром 7,190	25 Mn Марганец 7,470	26 Fe Железо 7,874	27 Co Кобальт 8,9	28 Ni Никель 8,908	29 Cu Медь 8,960	30 Zn Цинк 7,140	31 Ga Галлий 5,904	32 Ge Германий 5,323	33 As Мышьяк 5,727	34 Se Селен 4,819	35 Br Бром 3,120	36 Kr Криптон 0,00375
5	37 Rb Рубидий 1,532	38 Sr Стронций 2,630	39 Y Иттрий 4,472	40 Zr Цирконий 6,511	41 Nb Ниобий 8,570	42 Mo Молибден 10,280	43 Tc Технеций 11,5	44 Ru Рутений 12,370	45 Rh Родий 12,450	46 Pd Палладий 12,023	47 Ag Серебро 10,490	48 Cd Кадмий 8,650	49 In Индий 7,310	50 Sn Олово 7,310	51 Sb Сурьма 5,697	52 Te Теллур 6,240	53 I Иод 4,940	54 Xe Ксенон 0,0059
6	55 Cs Цезий 1,879	56 Ba Барий 3,510	57-71	72 Hf Гафний 13,310	73 Ta Тантал 16,650	74 W Вольфрам 19,250	75 Re Рений 21,020	76 Os Осмий 22,59	77 Ir Иридий 22,56	78 Pt Платина 21,450	79 Au Золото 19,3	80 Hg Ртуть 13,534	81 Tl Таллий 11,850	82 Pb Свинец 11,340	83 Bi Висмут 9,780	84 Po Полоний 9,196	85 At Астат 9,196	86 Rn Радон 0,00973
7	87 Fr Франций	88 Ra Радий	89-103	104 Rf Резерфордий	105 Db Дубний	106 Sg Сиборгий	107 Bh Борий	108 Hs Хассий	109 Mt Мейтнерий	110 Ds Дармштадт	111 Rg Рентгений	112 Cn Коперниций	113 Nh Нихоний	114 Fl Флеровий	115 Mc Московский	116 Lv Ливерморий	117 Ts Теннесси	118 Og Оганесон
6	57 La Лантан 6,146	58 Ce Церий 6,689	59 Pr Празеодим 6,640	60 Nd Неодим 7,010	61 Pm Прометий 7,264	62 Sm Самарий 7,353	63 Eu Европий 5,244	64 Gd Гадолиний 7,901	65 Tb Тербий 8,219	66 Dy Диспрозий 8,551	67 Ho Гольмий 8,795	68 Er Эрбий 9,066	69 Tm Тулий 9,320	70 Yb Иттербий 6,570	71 Lu Лютеций 9,841			
7	89 Ac Актиний 10,070	90 Th Торий 11,724	91 Pa Протактиний 15,370	92 U Уран 19,050	93 Np Нептуний 20,450	94 Pu Плутоний 19,816	95 Am Америций 13,67	96 Cm Кюрий 13,510	97 Bk Берклий 14,780	98 Cf Калифорний 15,1	99 Es Эйнштейний	100 Fm Фермий	101 Md Менделевий	102 No Нобелий	103 Lr Лоуренсий			

Учебное издание

Саварин Александр Александрович

**ОБЩАЯ ХИМИЯ.
ТЕХНОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ**

Практикум

Редактор А. А. Банчук
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 07.07.2022. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 5,59.

Тираж 40 экз. Заказ 355.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.