

## Задачи регионального тура олимпиады по химии 2019/2020 уч.г.

### 9. класс

#### Задача 1. Химия в аквариуме (12 б)

Аквариумисты, то есть специалисты по аквариумам, должны хорошо понимать химию, потому что рыбы и другие водные обитатели очень чувствительны к составу воды.

- а) В котором из случаев содержание кислорода в озерной воде больше? В каждом подпункте, подчеркни один правильный ответ.
- i) Озеро зимой без льда *или* озеро летом; (0,5)
  - ii) Озеро Титикака (~3800 м над уровнем моря) *или* Чудское озеро (30 м над уровнем моря); (0,5)
  - iii) Мёртвое море (содержание соли в воде 34%) *или* Озеро Выртсъярв (содержание соли в воде 0,7%). (0,5)

Килограмм пресной аквариумной воды обычно содержит 8,3 мг кислорода, а килограмм морской аквариумной воды 7,0 мг кислорода (плотность воды 1,0 г/см<sup>3</sup>).

- б) i) Сколько миллилитров газообразного кислорода растворено в одном литре аквариумной воды для пресноводных рыб (при нормальных условиях)? (1,5)  
ii) Сколько молекул воды приходится на каждую молекулу кислорода в морском аквариуме, если содержание соли в его воде 3,5%? (2)
- с) Для большинства обитателей аквариума наиболее подходящее значение рН воды равняется приблизительно 7.
- i) Подчеркни вещества, от добавления которых в воду изменится её рН. (3)  
SiO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, NaCl, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, Al(OH)<sub>3</sub>, Li<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, SO<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>, SrO, CO
  - ii) Какие из перечисленных веществ сделают воду кислой? Напиши их номенклатурные названия. (2)
  - iii) В приведённом в пункте i) перечне есть четыре оксида, при реакции которых с водой образуется кислота либо основание. Напиши соответствующие уравнения реакций. (2)

#### Задача 2. Химия освещает дорогу (10 б)

В начале 20 века в машинных фарах использовали состоящее из двух элементов соединение **A**. Соединение **A** содержит одного элемента по массе в 1,67 раз больше, чем другого. При реакции вещества **A** с водой (реакция 1) образуется бесцветный газ **B** (молярная масса 26,0 г/моль) и гидроксид **C**. Газ **B** горит в воздухе жёлтым коптящим пламенем. Эту реакцию горения и использовали в старинных машинных фарах. Горение газа **B** в чистом кислороде (реакция 2) используют сегодня для газовой сварки, т.к. температура такого пламени очень высока (3300 °С). Оксид **D**, образующийся при горении **B** в кислороде, реагирует с гидроксидом **C** (реакция 3), образуя соль **E** и оксид **F**. Последняя реакция происходит также при затвердевании гашеной извести. Соль **E** разлагается при нагревании на оксиды **G** и **D** (реакция 4). Оксид **F** бурно реагирует с оксидом **G** (реакция 5). В реакции газа **B** и желтовато-зелёного газа **H** (реакция 6) образуется простое вещество чёрного цвета **I** и газ **J**, состоящий из двух элементов. Плотность газообразного **J** в 1,4 раза больше чем плотность **B**, а при растворении в воде **J** ведёт себя как сильная кислота. Простое вещество **I** реагирует при высокой температуре с оксидом **D** (реакция 7), образуя ядовитый газ **K**. Ядовитый газ **K** – хороший восстановитель, который используется, например, при получении железа из оксида железа(III) (реакция 8).

- а) Напиши номенклатурные названия веществ **C**, **D**, **E**, **F**, **G**, **H**, **J** и **K**. (4)
- б) Напиши уравнения реакций 1–8. (6)

### Задача 3. Чистая работа (10 б)

У кремния много применений: в качестве простого вещества его используют, например, при производстве сплавов стали и алюминия, а его соединения – важные строительные материалы. Одно из главных применений кремния – в полупроводниковой электронике, на которой основаны современные компьютеры и телефоны. Полупроводники изготавливают из кремния очень высокой чистоты. В первом этапе производства кремния, соединение кремния и кислорода восстанавливают углём (реакция 1), в ходе чего образуется кремний и CO. Полученный грязный кремний реагирует при высокой температуре с водородным соединением элемента X (с формулой HX). В ходе основной реакции (реакция 2) образуется трёхэлементное вещество A, в котором массовое содержание кремния равно 20,74%. Вдобавок к основной реакции, между кремнием и веществом HX происходит ещё одна реакция (реакция 3), в ходе которой получают двухэлементное вещество B, в котором массовое содержание кремния равно 16,53%. A очищают методом фракционной дистилляции, а затем восстанавливают водородом, в результате чего получают чистый кремний (реакция 4).

- а) Определи при помощи вычислений формулу соединения B. (2)
- б) Напиши уравнения реакций 1–4. Если у тебя не вышло в предыдущем пункте найти правильный элемент X, можешь при написании уравнений обозначить этот элемент как “X”. (4)

Из полученного чистого кремния выращивают кристаллы, которые используют при производстве полупроводников. Для производства полупроводников с хорошо контролируемыми свойствами, кремний должен быть предельно чистым: он может содержать только 1 атом другого элемента на миллиард атомов кремния. Из линии производства взяли один кристалл кремния и проанализировали его чистоту. В приведённой ниже таблице указаны массовые проценты разных элементов в данном кристалле.

Элемент	Si	Al	Ca	Mn	Mg
Массовый процент	99,99958%	0,00017%	0,00014%	0,00009%	0,00002%

- с) Рассчитай мольный процент кремния в данном кристалле и реши, требуется ли дополнительная очистка для использования этого кристалла в производстве полупроводников. Мольный процент кремния показывает, сколько процентов атомов – атомы кремния. (3)

Кроме кремния, для производства полупроводников также используют арсенид галлия. Один из способов производства арсенида галлия – реакция Ga и As при высокой температуре. При медленном остывании смеси образуются кристаллы.

- д) Рассчитай, сколько килограммов арсенида галлия (GaAs) можно получить из 1,00 кг галлия, при условии, что нужный для реакции арсен имеется в избытке. (1)

### Задача 4. Сделаем вулкан своими руками! (10 б)

Изменения в активности вулканов и риск их извержения можно определить по концентрации газов CO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> вблизи вулкана. Когда магма начинает двигаться вверх внутри земной коры, содержащиеся в жидкой массе газы высвобождаются по мере понижения давления. Во время извержения газ, вырвавшийся из воздушных карманов, разбрасывает лаву (магму) по округе. Вулкан можно с лёгкостью воссоздать в домашних условиях, используя пищевую соду (NaHCO<sub>3</sub>) и уксус (водный раствор CH<sub>3</sub>COOH). Уксус нужно быстро добавить к раствору пищевой соды: тогда выделится большое количество углекислого газа, которое вытолкнет смесь из самодельного “вулкана” наружу. К первоначальной смеси также добавляют средство для мытья посуды и пищевую краску, для создания пены и для придания “лаве” красного цвета. Другой эффектный и простой способ воспроизведения вулкана – разложение дихромата аммония ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). В случае этой соли необходима только инициация реакции (поджог вещества) – в итоге получают

извергающий зелёный пепел и искрящийся “вулканчик”.

**a)** Напиши уравнение реакции уксуса с пищевой содой, в результате которой выделяется  $\text{CO}_2$ . (1)

**b)** Рассчитай, сколько всего молей продуктов суммарно образуется в описанной в пункте **a)** реакции, если в её результате образуется  $7,10 \times 10^{22}$  молекулы  $\text{CO}_2$ ? (1)

**c)** Сосуд какого объёма ( $\text{м}^3$ ) можно заполнить выделившимся в пункте **b)**  $\text{CO}_2$  при нормальных условиях? (0,5)

Для эксперимента с “вулканом”, Март смешал  $280,0 \text{ см}^3$  раствора пищевой соды ( $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ , 2,00% пищевой соды по массе),  $0,00010 \text{ г}$  пищевой краски и  $20,0 \text{ г}$  средства для мытья посуды, получив в сумме  $300,0 \text{ см}^3$  смеси. Для получения “извержения” Март добавил к смеси  $80,0 \text{ г}$  уксуса.

**d)** Рассчитай массовый процент (%) средства для мытья посуды в смеси после “извержения”. Предположи, что вся пищевая сода прореагировала, и в конечной смеси все упомянутые компоненты смешаны равномерно (нет потерь от вспенивания или брызг). (3,5)

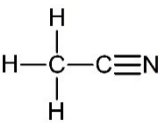
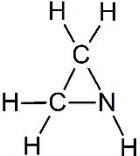
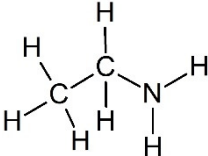
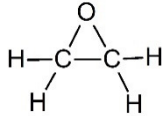
В реакции разложения  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  образуются три продукта, из которых один – это самое распространённое вещество в воздухе, а второй содержит Cr со степенью окисления III.

**e) i)** Определи степени окисления всех элементов в дихромате аммония. (2)

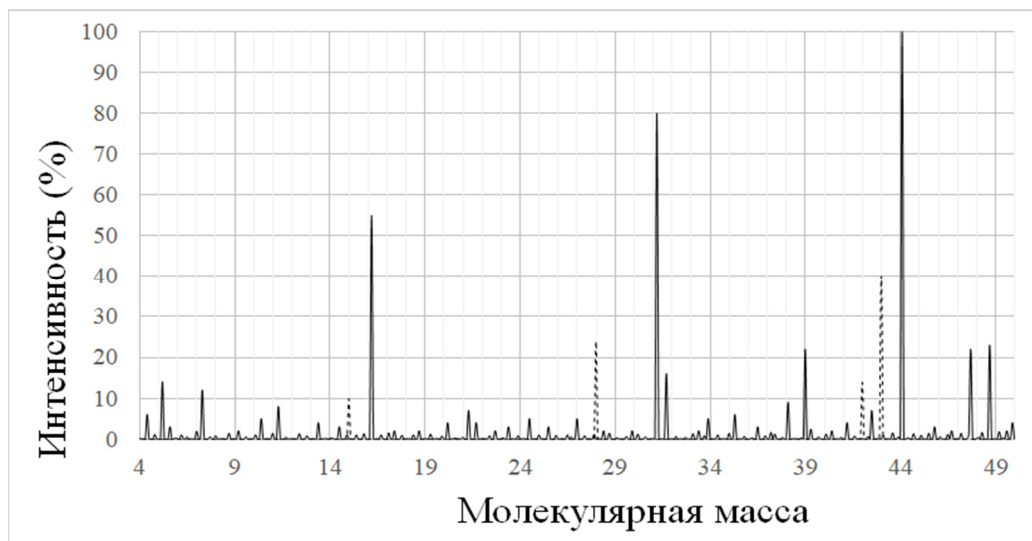
**ii)** Напиши уравнение разложения  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . (2)

### Задача 5. Тайна убийства на лодочном круизе (8 б)

Криминалистов позвали на место трагично закончившегося лодочного круиза. Отравили владельца химической фирмы, кроме которого на лодке было только четверо работников фирмы. В ходе расследования в вещах каждого из работников обнаружили подозрительное соединение: у лабораторного аналитика соединение **A**, у старшего лаборанта **B**, у биохимика **C** и у руководителя лаборатории **D**. Структуры веществ **A–D** приведены в таблице.

			
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>

В ходе расследования проанализировали кровь отравленного и получили масс-спектр, на основе которого можно определить содержащиеся в крови вещества. Сигнал на масс-спектре (изображённый на графике в виде вертикальной линии) происходит от однозарядного катиона, который образуется при отделении электрона от начальной молекулы или при её разложении. “Кусочки”, образующиеся при разложении молекулы, называются фрагментами. Таким образом, линия на масс-спектре показывает молекулярную массу молекулы или её фрагмента. Фрагменты молекулы образуются при разложении одной или нескольких химических связей. При измерении масс-спектра, ни в одной молекуле яда не было разрушено более двух одиночных связей. Также определили, что большая часть сигналов принадлежит обычным компонентам крови (сплошная линия), однако некоторые сигналы происходят от вещества, которым отравили владельца фирмы (штриховая линия).



- a) У какого из работников нашли яд, обнаруженный в крови владельца фирмы? В качестве пояснения, напиши суммарную формулу и соответствующую ей молекулярную массу каждого катиона, давшего сигнал в масс-спектре и образованного из молекулы яда. (3)
- b) В сколько раз сильнее самый интенсивный сигнал, отвечающий молекуле яда, чем наименее интенсивный сигнал, отвечающий молекуле яда? (1)
- c) Нарисуй структурные формулы ещё двух веществ, молекулярная масса которых равна молекулярной массе вещества, использованного как яд, но структура которых не соответствует веществам **A–D**. (2)
- d) При каких значениях молекулярной массы были бы видны сигналы молекулы яда в масс-спектре, если бы вместо этого яда использовали вещество с такой же структурой, но в котором каждый обычный (лёгкий) водород заменён тяжёлым водородом? В ядре тяжёлого водорода вдобавок к одному протону есть ещё и один нейтрон. (2)

### Задача 6. Пёстрый мир комплексов (20 б)

Многие ионы металлов образуют с другими частицами (лигандами) соединения, в которых лиганды (анионы или молекулы) формируют при помощи своих свободных электронных пар химическую связь с центральным ионом металла (иногда нейтральным металлом). Лиганды и ион металла, вокруг которого расположены лиганды, называют комплексом. Комплексы часто бывают цветными.

Вещество имеет цвет в том случае, если оно отражает свет определенного цвета, входящий в состав белого света. Остальной свет частички цветных веществ поглощают. Цвет света определяется энергией поглощаемой частички света – фотона. В составе вещества электроны могут иметь только определённые энергетические уровни (т.е., находиться на конкретных орбиталях). При поглощении света веществом, электрон перемещается на короткое время на более высокий энергетический уровень – т.е., вещество поглощает энергию (рисунок 1). В цветных веществах поглощённая энергия света обычно превращается в тепловую энергию:

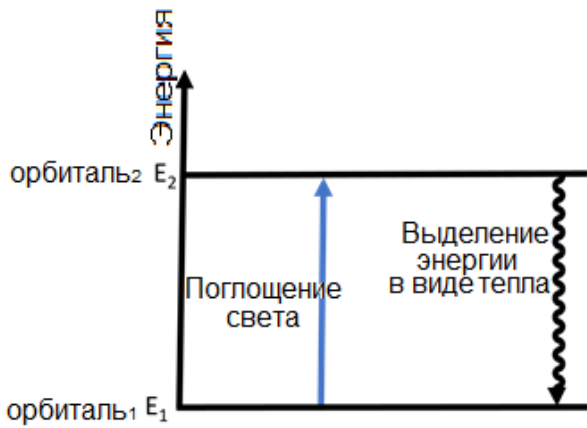


Рисунок 1. Поглощение энергии света веществом и выделение энергии в виде тепла

Как и прочие виды электромагнитического излучения (например, ультрафиолетовое или инфракрасное), видимый свет можно описать и как поток частиц, и как волну с определённой длиной (расстоянием между “гребнями”). Энергию поглощаемого веществом света ( $E_{\text{свет}}$ ), длину волны света ( $\lambda$ ) и разницу между соответствующими энергетическими уровнями ( $E_2 - E_1$ ) связывает уравнение  $E_{\text{свет}} = \frac{hc}{\lambda} = E_2 - E_1$ , в котором  $h$  – это постоянная Планка ( $6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с), а  $c$  – это скорость света в вакууме ( $3 \cdot 10^8$  м/с). Спектры поглощений на *рисунке 2а* показывают, свет с каким значением волнового числа поглощают некоторые комплексы. Волновое число, приведённое на оси  $x$ , обратно пропорционально длине волны.

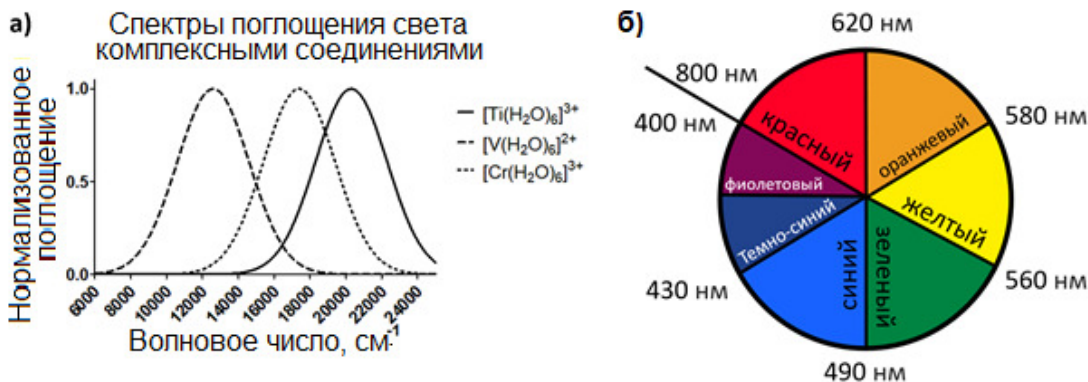


Рисунок 2. Поглощение света некоторыми комплексами (слева) и связь между цветом поглощаемого света и цветом вещества (справа)

- а) i)** Когда волновое число света растёт, длина волны поглощённого света растёт, уменьшается или остаётся неизменной? (0,5)
- ii)** Когда волновое число света растёт, энергия поглощённого света растёт, уменьшается или остаётся неизменной? (0,5)
- iii)** Сколько длин волны поместится в ровно 1 метр, если известно, что волновое число волны равно  $50\,000\text{ см}^{-1}$ ? (0,5)
- iv)** Является ли рассмотренное в подпункте **а) iii)** излучение видимым светом, ультрафиолетовым или инфракрасным излучением? (0,5)
- б)** Определи при помощи вычислений, каким цветом обладают растворы приведённых на *рисунке 2а* комплексов, если взглянуть на них против света. Для нахождения цвета раствора используй приведённый на *рисунке 2б* цветовой круг. Подсказка: каротиноиды, которые придают цвет моркови, отлично поглощают синий свет. (1,5)
- Относительные цвета комплексов можно определить на основе спектрохимического ряда, в котором частицы расставлены **в порядке возрастания** разницы между

энергетическими уровнями ( $E_2 - E_1$ ), связанной с поглощением света комплексами. Спектрохимический ряд имеется как для ионов металлов, так и для лигандов.

Спектрохимический ряд для лигандов:

$O_2^{2-} < I^- < Br^- < S^{2-} < Cl^- < N_3^- < F^- < NCO^- < OH^- < H_2O < CH_3CN < NH_3 < NO_2^- < CN^- < CO$

Спектрохимический ряд для ионов металлов:

$Mn^{2+} < Ni^{2+} < Co^{2+} < Fe^{2+} < V^{2+} < Fe^{3+} < Cr^{3+} < V^{3+} < Co^{3+}$

Однажды с десяти банок в лаборатории пропали этикетки. К счастью, лаборант помнит, что в пяти банках на верхней полке стояли натриевые соли различных лигандов (NaCl, NaCN, NaBr, NaF) и гидрат аммиака ( $NH_3 \cdot H_2O$ ), а в пяти банках на нижней полке – хлориды металлов (хлориды  $Mn^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $V^{3+}$  и  $Co^{2+}$ ). Гидрат аммония можно опознать по запаху, а для определения прочих веществ пришлось приготовить их растворы, попарно их смешать и измерить спектр поглощения каждого полученного комплекса. Чтобы зря не тратить вещества, лаборант смешал только некоторые из возможных пар растворов. Результаты даны в приведенной ниже таблице. Предположи, что ион металла полностью прореагировал с добавленным раствором лиганда, образовав комплекс.

Лиганд \ Ион металла	Максимум поглощения света комплексом, нм				
	Натриевая соль 1	$NH_3 \cdot H_2O$	Натриевая соль 3	Натриевая соль 4	Натриевая соль 5
Ион металла А	769	465			662
Ион металла В	1333	1243		1736	
Ион металла С			376		621
Ион металла D		980			
Ион металла E		437	296		

с) Определи как лиганды, так и ионы металлов. (3,5)

В комплексных соединениях различают внутреннюю и внешнюю сферы. Внутренняя сфера состоит из лигандов, непосредственно соединенных с центральным ионом металла; в формуле комплекса внутреннюю сферу записывают внутри квадратных скобок. Внешнюю сферу образуют один или несколько ионов (либо молекул растворителя), которых записывают снаружи квадратных скобок. Для изображения пространственной структуры в структурных формулах комплексных соединений используются т.н. стереосвязи. Химические связи, которые направлены вдаль от наблюдателя (внутри плоскости бумажного листа), отмечают клинообразной штриховой линией, а связи, направленные в сторону наблюдателя, клинообразной толстой линией.

Внутренняя сфера

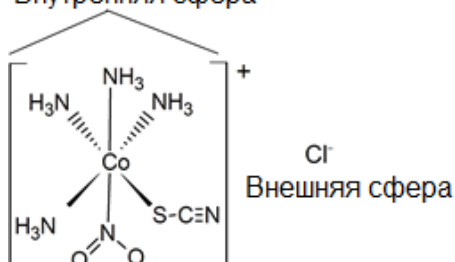


Рисунок 3. Пример структуры комплексного соединения  $[Co(NH_3)_4NO_2SCN]Cl$

Комплексные вещества могут обладать изомерией (изомеры имеют одинаковую суммарную формулу, но различную структуру). В случае изомерии координационной сферы, один либо несколько лигандов из внешней сферы поменяны местами с лигандом(-ами) из внутренней сферы. В случае изомерии связи, какой-либо из лигандов связан с центральным ионом металла через атом, различный от такового в другом связевом

изомере. В случае геометрической изомерии, в изомерах различается положение лигандов (относительно друг друга) вокруг центрального иона металла. В случае оптической изомерии, внутренние сферы изомеров являются зеркальными отражениями друг друга.

**d)** Относительно показанного на *Рисунке 3* примера структуры комплексного соединения  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{NO}_2\text{SCN}]\text{Cl}$ , приведи по одному примеру структурной формулы для каждого типа изомерии.

**i)** изомер координационной сферы (0,5)

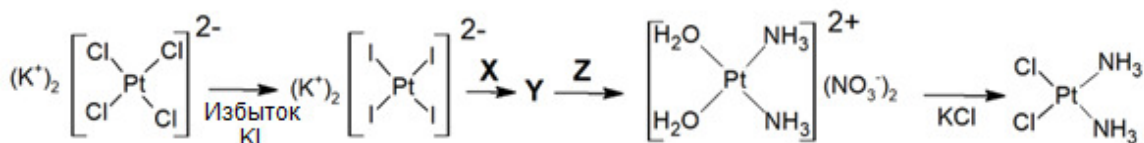
**ii)** изомер связи (0,5)

**iii)** геометрический изомер (0,5)

**iv)** оптический изомер (0,5)

Некоторые комплексные соединения используются как лекарства. Один из наиболее известных примеров – *цисплатин*, используемый для лечения раковых больных. Его *транс*-изомер, *трансплатин*, не обладает лечебными свойствами – поэтому получение правильного изомера в ходе синтеза особо важно. Молекула *цисплатина* – плоская, причем лиганды находятся в углах воображаемого квадрата, а атом Pt – в центре этого квадрата. В *транс*-изомере ионы  $\text{Cl}^-$  находятся в противоположных углах квадрата, а в *цис*-изомере они находятся в близлежащих углах квадрата. На приведенной ниже схеме показаны реакции синтеза *цисплатина*. Вещество **Z** – это соль, которая кроме кислорода и азота содержит 63,50% неизвестного металла.

**e)** Определи показанные на схеме вещества **X**, **Y** и **Z**. (1,5)



Чистоту полученного *цисплатина* можно быстро оценить с помощью теста Курнакова. В горячем водном растворе  $(\text{NH}_2)_2\text{CS}$  дает при реакции с возможной добавкой *транс*-изомера белый, плохо растворимый осадок **S** (18,58% азота), а при реакции с самим *цисплатином* – желтое, хорошо растворимое комплексное соединение **L** (19,65% азота).

**f)** Определи при помощи вычислений, каковы суммарные формулы (они же брутто-формулы) комплексных соединений **S** и **L**. (2)

Комплексные соединения переходного металла **A** являются важными химикатами для промышленности. При реакции **A** с хлороводородной кислотой образуется **B** (реакция 1). При смешивании водных растворов веществ **B**, **C** и **D** (гашеная известь) (реакция 2) образуется комплексное вещество **E**. **C** – это трехатомная ядовитая летучая жидкость, пары которой имеют плотность, которая составляет 93% от плотности сухого воздуха. В ходе реакции 2 степень окисления ни одного элемента не меняется; во внутренней сфере соединения **E** каждый ион **A** окружен шестью однозарядными лигандами, образованными из вещества **C**. **E** – это кристаллогидрат, который содержит 11 молекул воды. Если к раствору **E** добавить двухэлементную соль **F** (соль **B** содержит по массе в 1,176 раза больше составляющего элемента Cl, чем соль **F**), образуется **G** (реакция 3). **G** – это комплексная соль, во внешней сфере которой находится два различных катиона в мольном соотношении 2:1, причем соответствующие катионам элементы расположены в периодической таблице друг за другом. В свою очередь, при добавлении к веществу **G** вещества **H**, образуются комплексное соединение **I** и карбонатный осадок (реакция 4). Внешняя сфера комплексного соединения **I** содержит ионы только одного элемента. Внутренние сферы комплексных соединений **E**, **G** и **I** идентичны. Если через раствор **I** пропустить хлор, то образуется **J**, в котором степень окисления **A** на единицу больше, чем в соединении **I** (реакция 5). **I** и **J** состоят из одних и тех же четырех элементов.

**g)** **i)** Напиши формулы веществ **A–J**; (5)

**ii)** Напиши уравнения реакций 1–5. (2,5)