

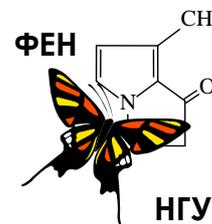


60-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Второй отборочный этап 2021-2022 уч. года

Задания по химии

11 класс



Дорогие ребята!

Вашему вниманию предлагается комплект заданий заочного тура Всесибирской олимпиады школьников по химии 2021-2022 года. В Вашем распоряжении довольно много времени и все доступные методические ресурсы: библиотеки, книги, задачкиники, Интернет и т.д. Единственное, о чем мы бы хотели Вас очень сильно попросить: постарайтесь выполнять задания максимально самостоятельно, не переписывая решения друг у друга.

Помните, что для того, чтобы попасть в число призеров, вовсе не обязательно правильно решить все задачи. Даже если Вам удастся найти частичное решение лишь к одному заданию, присылайте нам и его – для Вас это станет первым серьезным шагом на нелегком пути к познанию увлекательной и волшебной науки – химии. Мы, в свою очередь, будем знать о том, что где-то, может быть очень далеко от столицы Сибири, появился еще один любознательный школьник, интересы которого не ограничиваются дискотеками, развлекательными телепередачами, компьютерными играми и социальными сетями.

Для сокращения времени, затрачиваемого на проверку Ваших работ и процедуру подведения итогов, настоятельно просим Вас загружать Ваши решения на сайт отдельно по каждой задаче. Если у Вас нет возможности сканировать листы с решениями, попробуйте их сфотографировать, но обязательно затем проверьте, как они читаются на экране компьютера.

Успехов Вам во всех Ваших делах и начинаниях и с наступающим Новым годом!

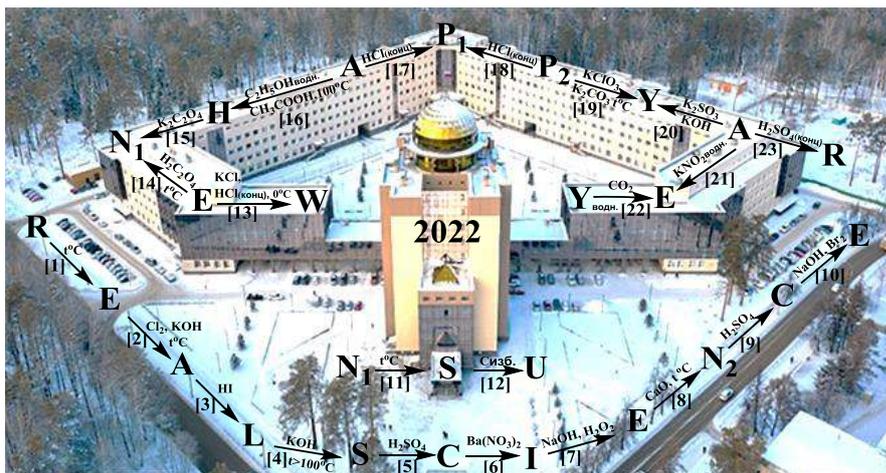
С искренним уважением к Вам и Вашим педагогам и наставникам,

Методическая комиссия и жюри Всесибирской открытой олимпиады школьников по химии.

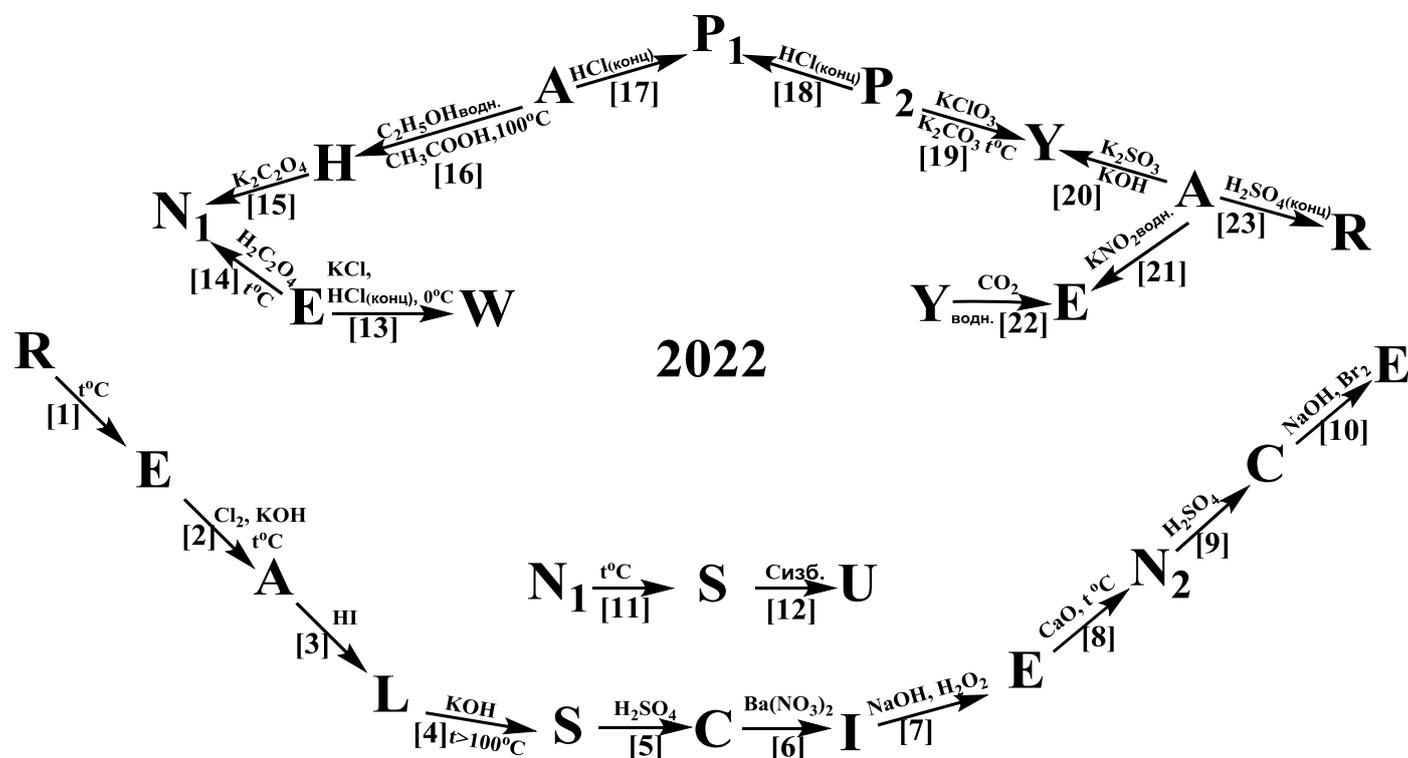
Задание 1. «С наступающим Новым годом!».

Факультет естественных наук Новосибирского государственного университета поздравляет Вас с Наступающим новым годом!

Новый год – это время сказочного волшебства, ярких гирлянд, разноцветных огней. Именно химия сделала этот праздник таким красочным и весёлым: благодаря развитию химических технологий полки магазинов заполнились разноцветными игрушками и шумными салютами. Волшебная наука химия умеет не только создавать яркие и красивые краски, но и управлять превращениями одних цветов в другие. Возьмем, например, темно-фиолетовые кристаллы калиевой соли **A**, в состав аниона которой входит элемент **X** в высшей степени окисления. Растворив



эти кристаллы в небольшом количестве воды, мы получим черно-фиолетовый раствор, разбавление которого приведет к последовательному изменению окраски на сиреневую, малиновую и розовую. Если к сиреневому раствору добавить подкисленный раствор восстановителя (как, например, в реакции [15]), то раствор становится бледно-розовым, почти бесцветным. Если восстановитель добавлять в нейтральной среде (как в реакции [21]), раствор тоже обесцвечивается, но из него выделяется бурый осадок вещества **E**, встречающегося в природе в виде минерала пирролюзита черного цвета ($W_X = 63\%$). А вот восстановление **A** в сильнощелочной среде (как в реакции [20]), приводит к изменению цвета раствора на ярко-зеленый. За способность по-разному окрашивать раствор в зависимости от условий химии называют вещество **A** минеральным хамелеоном. На схеме, расположившейся на фоне нового корпуса Новосибирского государственного университета, представлены превращения соединений элемента **X**, обозначенных буквами английского алфавита (на схеме N_1 , N_2 и P_1 , P_2 – разные вещества). Та же схема в увеличенном варианте на белом фоне приведена ниже.



Известно, что вещество **H** выделяется из раствора в виде светло-розового осадка с массовой долей **X** 22,4%. Вещество P_2 является оксидом, содержащим 72% элемента **X**. Необычное вещество **W** устойчиво только при охлаждении, а при повышении температуры постепенно разлагается с выделением газа с резким запахом [24].

1. Установите элемент **X** и формулы веществ, представленных на схемах, назовите эти вещества по традиционной номенклатуре (формулу **H** подтвердите расчетом). Выпишите ответ в виде «буква – формула – название».

2. Напишите уравнения реакций [1]-[24].

При высоком давлении СО и добавлении хорошего восстановителя LiAlH_4 из веществ **P**₁ или **L** можно получить золотистые кристаллы вещества **B** [25] ($\omega_{\text{X}}=28,2\%$). При добавлении к веществу **B** амальгамы натрия в органическом растворителе происходит образование соли **D** с массовой долей углерода 27,5% [26], содержащей элемент **X** в редкой степени окисления.

3. Определите молекулярные формулы веществ **B** и **D**, напишите уравнения реакций [25], [26]. Пользуясь правилом восемнадцати электронов (правило Сиджвика), определите кратность связи **X–X** в молекуле **B**. Покажите, соблюдается ли это правило для соли **D**.

4. Если внимательно посмотреть на схемы превращений можно увидеть, что буквы, которыми обозначены вещества, складываются в английские слова (одно из слов является аббревиатурой). Выпишите эти слова и переведите их на русский язык.

Задание 2. «Пищевые добавки».

Чрезвычайно важные для современной кулинарии вещества, называемые пищевыми добавками, добавляют в продукты питания с целью придания им определенного цвета, запаха, вкуса, консистенции, увеличения срока хранения и т.п. Интересно отметить, что пищевыми добавками пользуются даже те люди, которые декларируют свое негативное к ним отношение, ведь соль, перец и сахар по сути тоже являются пищевыми добавками. Безусловно, большинство пищевых добавок имеет органическую природу, тем не менее, неорганические вещества также широко используются в этом качестве.

1. Пищевые добавки можно классифицировать по функциям, которые они выполняют при добавлении в пищу. Уточните их классификацию и перечислите 5 классов пищевых добавок.

В этом задании речь пойдет о 10 неорганических веществах, которые можно отнести к двум таким классам пищевых добавок.

1 класс: Неорганические вещества **A**₁, **A**₂, **A**₃, **A**₄, **A**₅ используют не только в качестве пищевых добавок, но и во многих других областях жизни. Например, **A**₁ часто используется в медицине для дезинтоксикации ЖКТ, в противогазах для очистки воздуха, в фильтрах для очистки воды. Это вещество обладает достаточно большой удельной площадью поверхности (1800-2200 м² на 1 г **A**₁).

2. Рассчитайте молярную массу **A**₁ (с точностью до 5 значащих цифр), если при полном сгорании в чистом кислороде [реакция 1] его навески массой 1,0000 г образовался газ, пропускание которого в избыток баритовой воды привело к образованию белого осадка [2], масса которого после сушки составила 16,4307 г. Напишите уравнения реакций [1], [2] и формулу вещества **A**₁.

3. Современные анализаторы площади поверхности используют процесс адсорбции молекулярного азота поверхностью исследуемого вещества. Какой объём (в мл) азота (при ст.у.: $t = 25^\circ\text{C}$, $p = 1$ бар) может адсорбировать 15 мг **A**₁ с удельной площадью поверхности в 2000 м²/г? Эффективную площадь молекулы азота примите равной 16,2 Å², адсорбция мономолекулярная, т.е. на поверхности образуется только один слой молекул азота.

Абсолютно безопасное для употребления в пищу вещество **A**₂ (зафиксирован безвредный для здоровья случай употребления 500 г этого вещества) находит себе применение еще и в лакокрасочной, бумажной промышленности, материаловедении и т.д. Существуют два основных промышленных метода получения **A**₂ – из ильменита и рутила. Рутил сначала переводят в бинарный хлорид **I** [3] (из 4,75 г **I** можно получить до 2 г **A**₂), который затем сжигают в кислороде [4], либо гидролизуют [5], а осадок прокаливают [6].

4. Установите формулы веществ **A**₂ и **I**, напишите уравнения реакций [3] – [6].

Вещество **A**₃ входит в состав большого количества минералов (арагонит, кальцит, фатерит, известняк, мел), но для использования в качестве пищевой добавки **A**₃ выделяют исключительно из высококачественного белого мрамора, который проходит несколько стадий очистки.

5. Напишите формулу вещества **A**₃.

Процесс производства **A**₄ основан на выделении этого вещества из руд. Кроме **A**₄ в качестве пищевых добавок ещё применяют вещества **II** и **III**, которые содержат в своем составе тот же металл, что и **A**₄. Смешанный оксид **II** черного цвета можно получить, восстанавливая **A**₄ водородом в парах воды при 400°C [7]. Для того, чтобы получить вещество **III**, **A**₄ растворяют в азотной кислоте при нагревании [8]. После охлаждения из раствора выделяются светло-фиолетовые моноклинные кристаллы вещества **IV** ($\omega(\text{O}) = 71,29\%$), которые затем растворяют в воде и вводят в реакцию с раствором аммиака [9]. К выпавшему бурому осадку добавляют холодную воду, перемешивают, отстаивают, затем воду сливают. После этого к осадку добавляют 2 М раствор КОН, снова отстаивают, затем в течение 2-х часов пропускают через смесь водяной пар при 100°C. За это время осадок полностью переходит в светло-желтое кристаллическое вещество **III** [10].

6. Установите формулы веществ **A**₄, **II**, **III**, **IV**, напишите уравнения реакций [7]-[10]. Какую массу твердого **IV** (г) можно выделить из 600 г его насыщенного водного раствора при охлаждении раствора от 40°C (растворимость **IV** 105 г в 100 мл воды) до 0°C (растворимость **IV** 67 г в 100 мл воды)?

Добавку A_5 можно отнести к достаточно дорогим и редким. Тем не менее, недавно одна швейцарская фирма выпустила конфеты в съедобных фантиках, в состав которых входит A_5 . А во Франции была выпущена питьевая вода, по сути представляющая собой разбавленный коллоидный раствор вещества A_5 .

Для приготовления раствора коллоидного A_5 нужно взять навеску 0,7 г чистого A_5 , растворить ее в 100 мл царской водки [11], отобрать из полученной смеси 1,0 мл раствора и поместить в колбу с 97,5 мл дистиллированной воды. Раствор довести до кипения и при перемешивании внести 1,5 мл 1 % водного раствора цитрата натрия [12]. После кипячения полученной смеси в течение 25 минут получается винно-красный раствор, который содержит сферические наночастицы A_5 со средним радиусом 34 нм. Из полученного раствора можно приготовить одну небольшую цистерну (7 м³) такой «французской воды».

7. Напишите формулу вещества A_5 и уравнения реакций [11], [12]. Какова концентрация (в мг/л) A_5 в указанной «французской воде»? Какую роль играет цитрат натрия в реакции [12]?

8. К какому классу пищевых добавок относятся вещества $A_1 - A_5$?

2 класс: Неорганические вещества B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 активно используются в пищевой промышленности, в том числе в производстве напитков. Так, одним из компонентов напитка Coca-Cola Classic® является вещество B_1 ($\omega(X) = 31,63\%$), которое придает ему определенную терпкость и кислый вкус. Компания сообщает, что в бутылке кока-колы объемом 0,9 л содержится 155 мг элемента X .

9. Напишите формулу вещества B_1 и символ элемента X . Какова молярная и массовая (в мг/л) ($\rho(\text{кока-колы}) \approx 1$ г/мл) концентрация вещества B_1 в кока-коле по словам компании?

Для проверки содержания элемента X аликвоту 25,00 мл кока-колы из бутылки оттитровали потенциометрически (контроль по pH-метру) с помощью 0,0100 М раствора NaOH. Средний объем NaOH, расходуемый на титрование до первой конечной точки, оказался равен 13,93 мл.

10. Чему равен pH раствора при достижении первой точки эквивалентности? Рассчитайте pH раствора для второй и третьей точки эквивалентности. Можно ли оттитровать B_1 по третьей ступени? Почему в этом титровании нельзя использовать окрашенные индикаторы (напр. фенолфталеин, метиловый оранжевый, метиловый красный и др.)? Для расчетов используйте следующие константы кислотности B_1 :

$$K_{a1}(B_1) = 7,1 \cdot 10^{-3}; K_{a2}(B_1) = 6,2 \cdot 10^{-8}; K_{a3}(B_1) = 5,0 \cdot 10^{-13}.$$

11. Рассчитайте содержание (мг/л) атомов элемента X в кока-коле по результатам проверки. Соответствуют ли рассчитанные содержания X значению, которое указала компания?

Известно, что при нагревании эквимольной сухой смеси B_2 ($\omega(\text{Ca}) = 54,05\%$) и B_3 выделяется бесцветный газ с резким запахом [13], а в сухом остатке остается только сульфат кальция, который также можно отнести к одному из классов пищевых добавок (эмульгатор, улучшитель муки и хлеба и т.д.).

12. Установите формулы веществ B_2, B_3 и напишите уравнение реакции [13].

В пищевой промышленности также часто используются вещества B_4 ($\omega(\text{O}) = 40,00\%$) и B_5 . При сплавлении их сухой эквимольной смеси может образовываться единственный продукт реакции с $\omega(\text{O}) = 48,00\%$.

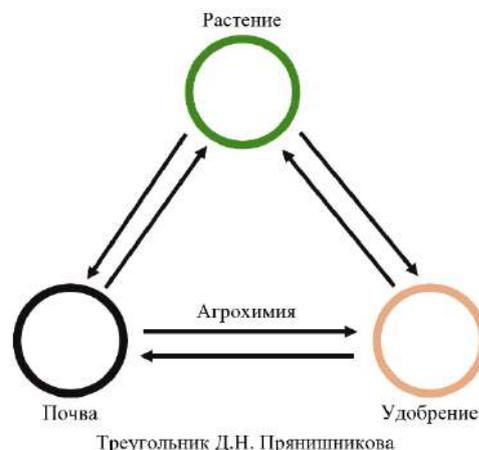
13. Напишите формулы веществ B_4, B_5 . Ответ подтвердите расчётом.

14. К какому классу пищевых добавок относятся вещества $B_1 - B_5$?

Задание 3. «Агрохимия».

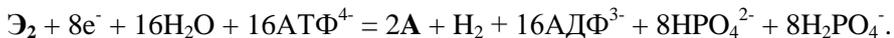
Агрохимия как наука сформировалась лишь в XIX веке, однако некоторые ее приемы активно использовались в земледелии ещё в глубокой древности. Немецкий ученый Ю. Либих в 1840 г. создал теорию минерального питания растений, которая сыграла большую роль в развитии представлений о питании растений и об удобрениях. Либих полагал, что все растения так или иначе извлекают из почвы минеральные вещества и настаивал на необходимости возврата в почву тех из них, которыми она оказывалась особенно истощена. Если эти минимумы не устранить, другие вещества окажутся бесполезными. Это положение получило название «либиховского закона минимума». Теория минерального питания получила развитие в опытах по выращиванию растений на бесплодных средах (воде и песке), при добавлении в них необходимых минеральных солей. Так, в 1858 г. Кноп и Сакс смогли довести растения до полного созревания, выращивая их на искусственных питательных средах с использованием минеральных веществ.

«Фоссы! Фоссы! Фоссы нагрянули, спасайся!»
Лемуры, мультфильм «Мадагаскар».



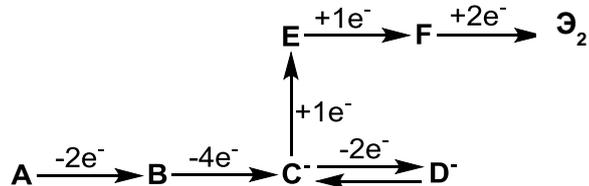
Логичным продолжением развития этой теории стало применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений – неорганических соединений, которые содержат необходимые для питания растений элементы. В данной задаче мы рассмотрим важнейшие для растений элементы **Э**, **Ю**, **Я** и содержащие их удобрения.

Одним из важнейших природных источников элемента **Э** в почве является биомасса некоторых прокариотных микроорганизмов. Такие микроорганизмы содержат мультиферментный комплекс нитрогеназу, который катализирует реакцию фиксации Э_2 из воздуха в соответствии со следующим уравнением:



1. Напишите формулу вещества **A** и символ элемента **Э**.

Особым образом выделяется процесс гетеротрофного окисления **A**, характерный для многих бактерий и грибов. Стадии окисления **A** можно представить следующей схемой (над стрелками указано число электронов, принимаемых одной частицей соответствующего реагента):



Именно с этим процессом связано происхождение чилийской селитры, являющейся источником иона D^- .

2. Изобразите структурные формулы веществ **B**, **E**, **F**, Э_2 и ионов C^- , D^- . Вещества **A**, **E**, **F** – бинарные. Как называют суммарный процесс биологического превращения **A** в D^- и процесс превращения D^- в Э_2 ?

Самым популярным у агротехников удобрением, являющимся источником **Э**, несомненно, является вещество **X** ($\omega(\text{Э}) = 35\%$), которое чаще всего выпускается в виде белых шарообразных крупинок (гранул). При температуре около 200°C вещество **A** спокойно разлагается [реакция 1], а при нагреве выше 300°C или детонации взрывается [2].

3. Напишите формулу вещества **X** и уравнения реакций [1], [2]. Приведите основной промышленный способ получения этого вещества (уравнение реакции). Назовите ещё одну область широкого применения соли **X**.

Для вещества **X** известны несколько кристаллических модификаций, отличающихся по своим физическим свойствам. В частности, фазовый переход из β -ромбической ($\rho(\beta\text{-X}) = 1,73$ г/мл, устойчива от $-16,8$ до $32,3^\circ\text{C}$) в α -ромбическую модификацию ($\rho(\alpha\text{-X}) = 1,68$ г/мл, устойчива от $32,3$ до $84,2^\circ\text{C}$) сопровождается изменением объёма вещества, что приводит к разрушению частиц при их хранении и в ходе применения. Изменение энтальпии при этом фазовом переходе составляет -21 кДж/кг.

4. Рассчитайте изменение объёма (в %) вещества **X** при его переходе из β -ромбического состояния в α -ромбическое. Сколько тепла (в МДж) выделится, если такой фазовый переход произойдет в вагоне, содержащем 40 м^3 **X**? До какой температуры нагреется **X** (начальная температура в вагоне соответствует температуре фазового перехода), если его теплоемкость равна $0,45$ ккал/кг·К? Возможен ли взрыв или разложение вещества **A** в этих условиях? Поясните свой ответ.

Вообще, все простые содержащие **Э** удобрения можно условно разделить на три класса. Так, к первому классу можно отнести чилийскую, норвежскую и индийскую селитру; ко второму классу относят вещества **G**, **H**; к третьему классу можно отнести соли **J** и **K**. **G** получают прокаливанием карбида кальция в атмосфере Э_2 [3], **H** в промышленности синтезируют по реакции Базарова – взаимодействием углекислого газа с **A** при нагревании их смеси под давлением [4]. **J** и **K** можно получить взаимодействием **A** с соляной [5] либо серной [6] кислотой соответственно.

5. Напишите формулы основных компонентов трех указанных селитр, веществ **G**, **H**, **J**, **K** и уравнения реакций [4] – [6]. Назовите три класса удобрений, о которых идет речь в условии задачи.

Далее речь пойдет о не менее важном для растений элементе **Ю**, который они потребляют главным образом в виде солей кислоты **L**. В зависимости от растворимости в воде удобрения, содержащие элемент **Ю**, подразделяют на три группы. К первой группе относятся удобрения **M**, **N**; ко второй группе принадлежат удобрения **O**, **P**, к третьей группе относят фосфоритную и костную муку. Обычно содержание элемента **Ю** в таких удобрениях выражают в массовой доле оксида $\text{Ю}_2\text{O}_5$. В таблице представлены массовые доли этого оксида для индивидуального вещества **L** и указанных удобрений.

Вещество	L	M	N	O	P
$\omega(\text{Ю}_2\text{O}_5), \%$	72,45	34	56	41	30

Удобрение **M** получают обработкой гидроксипатита серной кислотой [7], при этом образуется смесь из **N** и гипса, который остается в составе удобрения **M** и составляет 40 % его массы. **N** отличается от **M** тем, что не содержит гипса. Его получают взаимодействием фторапатита и **L** [8]. **O** получается при обработке **L** известко-

вым молоком [9] или мелом [10], а **P** получают обработкой смеси фторапатита с небольшим количеством песка водяным паром при 1500°C [11].

6. Напишите символ элемента **Ю** и формулу кислоты **L**. Определите качественный и количественный (в масс. %) состав удобрений **M**, **N**, **O**, **P**. Напишите тривиальные названия всех четырех удобрений и уравнения реакций [7] – [11]. Для простоты примите, что песок, гидроксипатит ($\omega(\text{Ю}_2\text{O}_5) = 42,43\%$) и фторапатит ($\omega(\text{Ю}_2\text{O}_5) = 42,26\%$) являются индивидуальными соединениями.

Промышленными удобрениями, которые являются источниками элемента **Я**, являются удобрения **Q**, **R**, **S**.

Индивидуальную соль **Q** выделяют из природного минерала сильвинита (тоже применяется в качестве удобрения) путем отделения **Q** от **NaCl**, которое основано на различной растворимости этих солей. Принципиальная схема разделения **Q** и **NaCl** в сильвините состоит из следующих основных операций: выщелачивание сильвинита горячим маточным раствором, полученным после кристаллизации **Q**; при этом из сильвинита в раствор переходит только **Q**, а **NaCl** не растворяется. Затем полученный раствор охлаждают, при этом кристаллизуется только **Q**. Связано это с тем, что растворимость **NaCl** практически не зависит от температуры. Маточный раствор снова нагревают и возвращают его на выщелачивание **Q** из новых порций сильвинита, начиная новый цикл. Выщелачиванием технологи называют перевод компонентов твердой смеси в раствор.

Представьте, что Вы являетесь химиком-технологом завода по производству удобрений, и перед Вами стоит задача получить **Q** из поставленных 45 тонн сильвинита. Химики из аналитической лаборатории при заводе определили, что среднее содержание $\text{Я}_2\text{O}$ в исходном сырье равно 15,77 %. (Любопытно, но для удобрений содержание всех элементов принято пересчитывать на оксиды, несмотря на то, что в том же сильвините кислорода нет). Известно, что насыщенный щелок (раствор после выщелачивания) содержит 21,6 % **Q** и 16,9 % **NaCl** при 100°C. Раствор после охлаждения этого щелока до 25°C и отделения кристаллов **Q** (маточный раствор) содержит 14,2 % **Q** и 18,5 % **NaCl**.

7. Напишите символ элемента **Я** и формулу соли **Q**. Рассчитайте количественный состав исходного сырья (в масс. % **Q** и **NaCl**). Какую массу сильвинита следует использовать для приготовления начального насыщенного (по **Q** и **NaCl**) при 100°C раствора массой 1000 кг? Какая масса вещества **Q** выделится при охлаждении этого раствора до 25°C? Какую массу сильвинита следует добавить к этому маточному раствору для возобновления цикла? Сколько циклов (минимально) растворения-осаждения придется провести для переработки всего исходного сырья (45 тонн) исходя из насыщенного (по **Q** и **NaCl**) при 25°C раствора массой 1000 кг?

Удобрение **R** (40 % $\text{Я}_2\text{O}$) получают механическим смешиванием **Q** и природного сильвинита (состав этого минерала считайте аналогичным предыдущему пункту).

Основным компонентом удобрения **S** является индивидуальная соль ($\omega(\text{Я}_2\text{O}) = 54,02\%$), однако ее производство энергоемко и обходится дорого, поэтому удобрение **S** получают переработкой природных соединений.

8. Рассчитайте количественный состав удобрения **R** и установите формулу основного компонента удобрения **S**.

Разнообразие в уровне плодородия почв и особенности рациона питания отдельных растений обуславливают необходимость одновременного внесения в почву двух или трех основных питательных элементов (вспомните «либиховский закон минимума»). Значительная экономия труда и затрат на внесение удобрений достигается применением так называемых комплексных (сложных, смешанных) удобрений.

Комплексные удобрения содержат два или три питательных элемента. Одними из самых распространенных комплексных удобрений являются смеси **T**, **U**, **V**, **W**. Известно, что **T** содержит 1 вещество, **U**, **V**, **W** – по 2 вещества. Суммарно все 4 удобрения содержат 4 вещества, среди которых есть уже известные Вам вещества **X**, **H**, **O**, и кислая соль **Z**. **T** получают пропуская **A** через избыток раствора **L**, **W** готовят смешиванием растворов **T** и **H**, а **V** получается смешением **X** и **Z**.

9. Определите качественный состав удобрений **T**, **U**, **V**, **W** и напишите формулу соли **Z**. Напишите тривиальные названия этих четырех удобрений. Как называются удобрения, которые получаются добавлением соли **Q** к указанным четырем удобрениям?

Задание 4. «Щелкунчик».

В 2022 г. исполняется 130 лет одному из главных шедевров мирового балета – постановке «Щелкунчик», премьера которой состоялась в декабре 1892 г. в Мариинском театре г. Санкт-Петербурга. Музыка к известнейшей рождественской сказке, рассказанной языком танца, была написана великим русским композитором Петром Ильичом Чайковским. По сюжету балета после победы над Мышиным Королем Мари и Щелкунчик отправляются в волшебный город Конфитюренбург, где в их честь исполняются различные национальные танцы. Поскольку Конфитюренбург – город сладостей, то и каждый танец ассоциирован с определенным



