

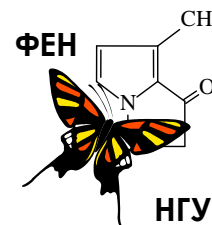


60-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Второй отборочный этап 2021-2022 уч. года

Задания по химии

10 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, задачники, 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.*



3. 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 ( $1800-2200 \text{ м}^2$  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  $2000 \text{ м}^2/\text{г}$ ? Эффективную площадь молекулы азота примите равной  $16,2 \text{ \AA}^2$ , 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  $400^\circ\text{C}$  [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 KOH, снова отстаивают, затем в течение 2-х часов пропускают через смесь водяной пар при  $100^\circ\text{C}$ . 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  $40^\circ\text{C}$  (растворимость IV 105 г в 100 мл воды) до  $0^\circ\text{C}$  (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, кото-

рый содержит сферические наночастицы  $A_5$  со средним радиусом 34 нм. Из полученного раствора можно приготовить одну небольшую цистерну ( $7 \text{ м}^3$ ) 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) ( $\rho(\text{кока-колы}) \approx 1 \text{ г/мл}$ ) 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. Почему в этом титровании нельзя использовать окрашенные индикаторы (напр. фенолфталеин, метиловый оранжевый, метиловый красный и др.)?

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 (равные количества компонентов) 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.

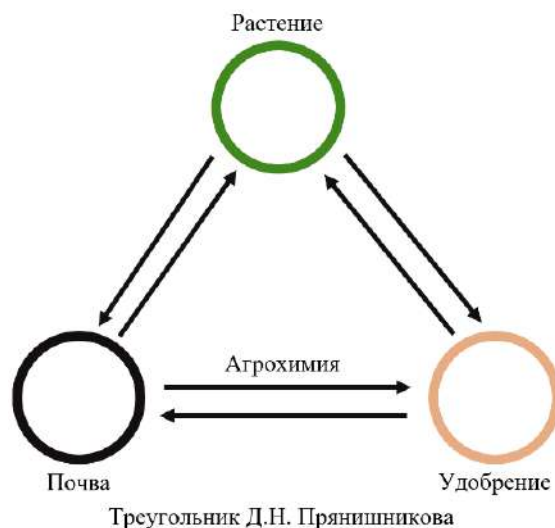
Логичным продолжением развития этой теории стало применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений – неорганических соединений, которые содержат необходимые для питания растений элементы. В данной задаче мы рассмотрим важнейшие для растений элементы Э, Ю, Я и содержащие их удобрения.

Одним из важнейших природных источников элемента Э в почве является биомасса некоторых прокариотных микроорганизмов. Такие микроорганизмы содержат мультиферментный комплекс нитрогеназу, который катализирует реакцию фиксации  $\text{Э}_2$  из воздуха в соответствии со следующим уравнением:

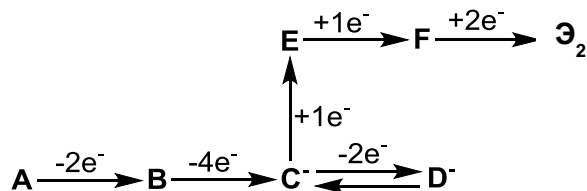


1. Напишите формулу вещества  $A$  и символ элемента Э.

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



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**,  $\text{Э}_2$  и ионов **C**, **D**. Вещества **A**, **E**, **F** – бинарные. Как называют суммарный процесс биологического превращения **A** в **D** и процесс превращения **D** в  $\text{Э}_2$ ?

Самым популярным у агротехников удобрением, являющимся источником  $\text{Э}$ , несомненно, является вещество **X** ( $\omega(\text{Э}) = 35\%$ ), которое чаще всего выпускается в виде белых шарообразных крупинок (гранул). При температуре около  $200^\circ\text{C}$  вещество **A** спокойно разлагается [реакция 1], а при нагреве выше  $300^\circ\text{C}$  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  $\beta$ -ромбической ( $\rho(\beta\text{-X}) = 1,73$  г/мл, устойчива от  $-16,8$  до  $32,3^\circ\text{C}$ ) в  $\alpha$ -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  $\beta$ -ромбического состояния в  $\alpha$ -ромбическое. Сколько тепла (в МДж) выделится, если такой фазовый переход произойдет в вагоне, содержащем  $40 \text{ м}^3$  **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  $\text{Э}$  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  $\text{Э}_2$  [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	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>
$\omega(\text{Ю}_2\text{O}_5), \%$	72,45	34	56	41	45,8

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** известковым молоком [9] или мелом [10], а **P** можно получить при спекании  $\text{Ю}_2\text{O}_5$  с негашеной известью [11].

6. Напишите символ элемента **Ю** и формулу кислоты **L**. Определите качественный состав (из каких веществ состоят) 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  $\text{NaCl}$ , которое основано на различной растворимости этих солей. Принципи-



альная 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 **Y<sub>2</sub>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 % **Y<sub>2</sub>O**) получают механическим смешиванием **Q** и природного сильвинита (состав этого минерала считайте аналогичным предыдущему пункту).

Основным компонентом удобрения **S** является индивидуальная соль ( $\omega(\text{Y}_2\text{O}) = 54,02\%$ ), однако ее производство энергоемко и обходится дорого, поэтому удобрения **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 пропусканием **A** через избыток раствора **L**, **W** готовят смешиванием растворов **T** и **H**, а **V** получается смешением **X** и **Z**.

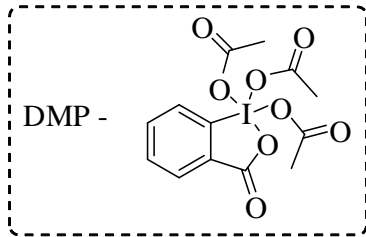
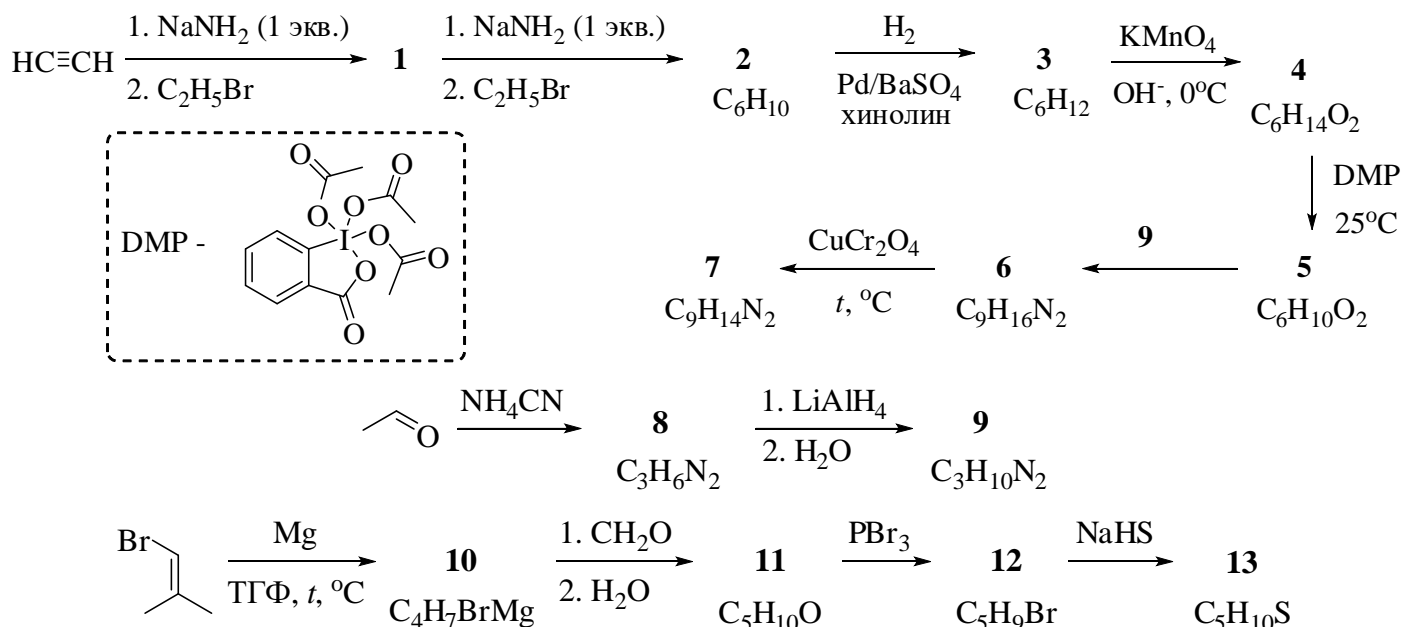
**9.** Определите качественный состав удобрений **T**, **U**, **V**, **W** и напишите формулу соли **Z**. Напишите тривиальные названия этих четырех удобрений. Как называются удобрения, которые получают добавлением соли **Q** к указанным четырем удобрениям?

#### **Задание 4. «Щелкунчик».**

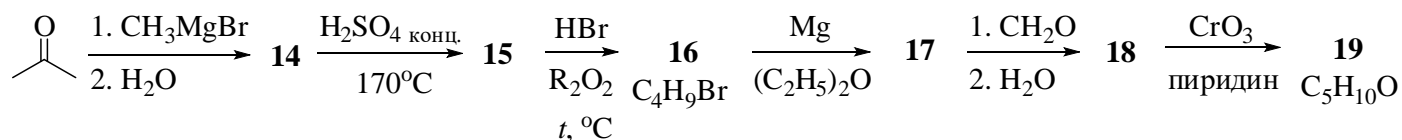
В 2022 г. исполняется 130 лет одному из главных шедевров мирового балета – постановке «Щелкунчик», премьера которой состоялась в декабре 1892 г. в Мариинском театре г. Санкт-Петербурга. Музыка к известнейшей рождественской сказке, рассказанной языком танца, была написана великим русским композитором 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 лакомством. Предлагаем и Вам проделать короткое путешествие по этому сказочному городу и познакомиться с составом некоторых вкусокостей.



Первым в нашей череде станет арабский танец. Этот танец балетмейстеры Лев Иванов и Мариус Петипа посвятили кофе. Здесь мы познакомимся с двумя веществами: вещество **7**, которое содержит 2 атома азота в ароматическом цикле, придает землистые нотки аромату кофе, а вещество **13** отвечает за резковатый сернистый запах его зерен. Дополнительно известно, что получение вещества **8** из ацетальдегида называется реакция (или синтез) Штреккера.



Арабский танец сменяется ярким и темпераментным испанским танцем, представляющим Шоколад. За каждый из оттенков запаха какао-бобов, из которых делают шоколад, отвечает множество разных веществ. Незабываемые фруктовые нотки, характерные для запаха какао, тоже формируются несколькими соединениями, в число которых входит и вещество **6**, синтез которого приведен на представленной схеме.



Увы, но в этот раз мы не будем досматривать танцы до конца и приступим к выполнению задания.

1. Приведите структурные формулы неизвестных соединений **1-19**. Ответ представьте в виде таблицы:

Задание № 4	
Номер соединения	Структурная формула
<b>1</b>	
<b>2</b>	
<b>3 ...</b>	