

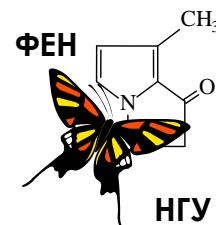


60-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Второй отборочный этап 2021-2022 уч. года

Задания по химии

9 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!

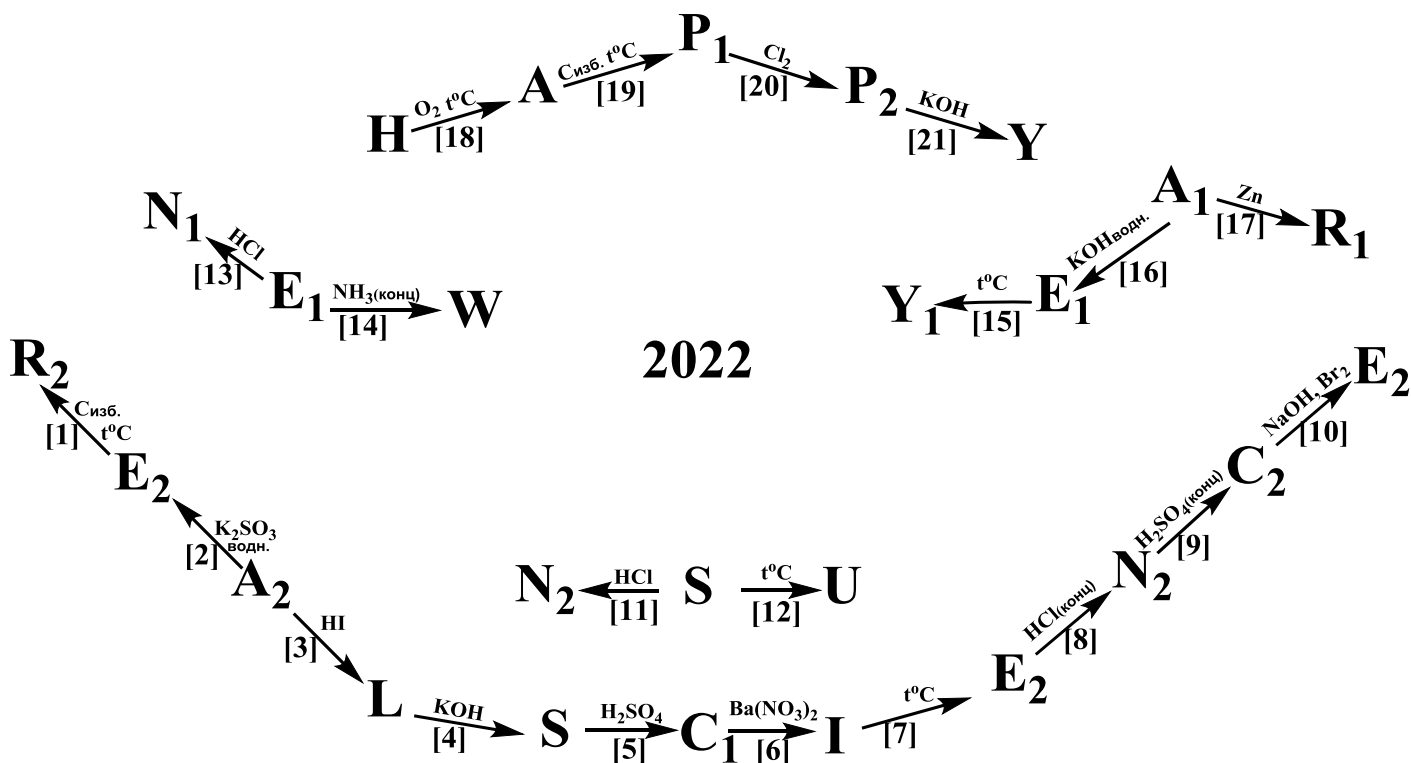
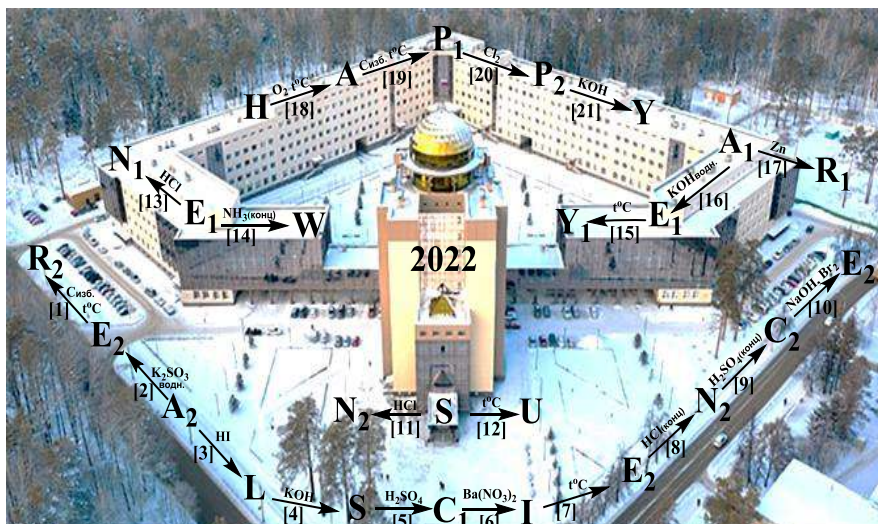
С искренним уважением к Вам и Вашим педагогам и наставникам,

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. В промышленности для окрашивания атрибутов Нового года используются органические соединения, но не стоит забывать и про разнообразия цветов в неорганической химии. Более того, волшебная наука химия умеет не только создавать яркие и красивые краски, но и управлять превращениями одних цветов в другие. Так, например, из соединений элементов X_1 , X_2 и X_3 можно создать целую «неорганическую гирлянду». На схеме, расположенной на фоне нового корпуса Новосибирского государственного университета, представлены превращения соединений элементов X_1 , X_2 и X_3 , обозначенных буквами английского алфавита (одинаковыми буквами с разными подстрочными цифрами, например, P_1 и P_2 обозначены разные вещества). Та же схема в увеличенном варианте на белом фоне приведена ниже.



Минерал H , в состав которого входит элемент X_1 , обладает красивой желтой окраской и характерным золотым блеском. Именно поэтому во времена золотых лихорадок его называли «золото дураков». Простое вещество P_1 , образованное элементом X_1 , – ковкий металл серебристого цвета, который известен человечеству с древних времен: из P_1 изготавливали как оружие, так и элементы домашнего быта. Содержание элемента X_1 в земной коре составляет 4,65 %, а земное ядро, как полагает большинство современных ученых, и вовсе сформировано в основном из металла P_1 . Сплавы P_1 с небольшим содержанием углерода, а также сплавы с добавками легирующих металлов используются как в военной промышленности, так и в обычной жизни. Растворы соединений элемента X_1 в основной степени окисления имеют желто-красную окраску (например, соединение P_2), в более низкой – зеленую, а в более высокой – фиолетовую. В верхней цепочке схемы (реакции [18]-[21]), зашифрованы превращения веществ, содержащих элемент X_1 .

Простое вещество R_1 , образованное элементом X_2 , является металлом красного цвета. Благодаря низким значениям удельного сопротивления, тугоплавкости и высокой теплопроводности металл R_1 незаменим при его использовании в процессах, требующих хорошего теплообмена, а также для изготовления электрических проводов. Безводная соль A_1 , в состав которой входит элемент X_2 , не окрашена, однако ее водные растворы имеют красивый голубой цвет. Более того, найти неокрашенное соединение A_1 на полке в химической лаборатории очень трудно, поскольку оно является очень гигроскопичным и на воздухе образует соединение состава $A_1 \cdot 5H_2O$ синего цвета. Это синее соединение активно используется в садоводстве в качестве пестицида. В состав соединения A_1 (помимо X_2) входят атомы кислорода и серы, при этом массовая доля кислорода в A_1 равна массовой доле X_2 и в два раза превышает массовую долю серы. Превращения соединений элемента X_2 зашифрованы в двух цепочках, повторяющих контур передней части здания нового корпуса НГУ (реакции [13]-[17]).

В состав соли A_2 входит элемент X_3 в высшей степени окисления. За способность по-разному окрашивать раствор в зависимости от условий химии называют вещество A_2 минеральным хамелеоном. Растворив тёмно-фиолетовые кристаллы A_2 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 [3]), то раствор становится бледно-розовым, почти бесцветным. Если восстановитель добавлять в нейтральной среде (как в реакции [2]), раствор тоже обесцвечивается, но из него выделяется бурый осадок вещества E_2 , встречающегося в природе в виде минерала пиролюзита черного цвета с массовой долей X_3 63 %. А вот восстановление A в сильнощелочной среде приводит к изменению цвета раствора на ярко-зеленый. Превращения соединений элемента X_3 представлены в двух цепочках, расположившихся перед входом в новый корпус НГУ (реакции [1]-[12]). Соединения C_1 и C_2 являются солями одной и той же кислоты, металл X_3 в их составе имеет одинаковые степени окисления. При этом молярная масса C_2 превышает молярную массу C_1 в 1,64 раза.

1. Установите элемент X_1 . Вычислите количество атомов X_1 , содержащихся в земной коре, если известно, что масса коры составляет 0,473 % от общей массы Земли ($m(\text{Земли}) = 5,974 \cdot 10^{24}$ кг).

По данным McDonough (2003 г.), ядро Земли состоит в основном из атомов элементов X_1 , Ni, Si и S (массовые доли этих элементов в составе ядра приведены в таблице ниже) и следовых количеств атомов других элементов.

Элемент	X_1	Ni	Si	S
Массовая доля, %	85,5	5,2	6,0	1,9

2. Оцените общее количество протонов, нейтронов и электронов, содержащееся в ядре Земли, если известно, что масса ядра составляет $1,932 \cdot 10^{24}$ кг. Вкладом элементов, содержащихся в ядре в следовых количествах, можно пренебречь.

3. Установите элемент X_2 и соединение A_1 . Ответ подтвердите расчетом. Как называется класс соединений, к которому относится вещество $A_1 \cdot 5H_2O$? Назовите это вещество по традиционной номенклатуре и напишите его тривиальное название.

4. Предложите способ получения безводной соли A_1 из $A_1 \cdot 5H_2O$ в условиях школьной лаборатории. Перечислите химическую посуду и оборудование, которые потребуются для проведения этого эксперимента.

5. Установите элемент X_3 и вычислите формулу его оксида E_2 .

4. Установите формулы веществ, представленных на схемах, назовите эти вещества по традиционной номенклатуре. Выпишите ответ в виде «буква – формула – название».

5. Напишите уравнения реакций [1]-[21].

6. 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 5 неорганических веществах, которые можно отнести к одному классу пищевых добавок.

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 противогощазах 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 раствора гидроксида бария 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 прокачивают [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 ($\omega(O) = 71,29\%$), 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, который восстанавливает содержащееся в растворе соединение до металла A_5 . 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».

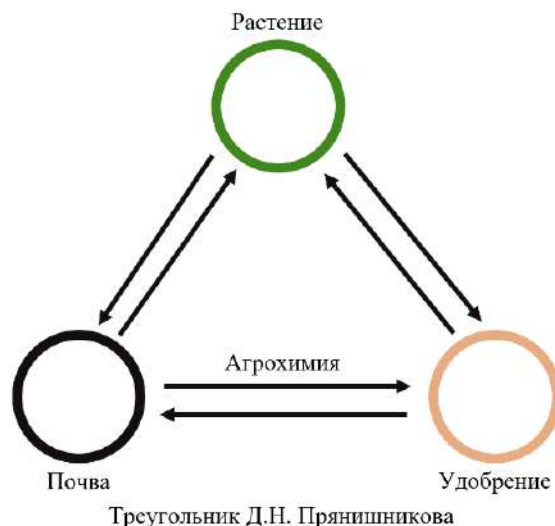
7. Напишите формулу вещества A_5 и уравнение реакции [11]. Какова концентрация (в мг/л) A_5 в указанной «французской воде»?

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

Задание 3. «Агрохимия».

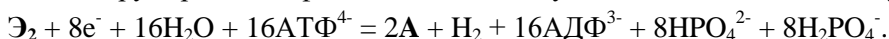
«Фоссы! Фоссы! Фоссы нагрянули, спасайся!»
Лемуры, мультфильм «Мадагаскар».

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.



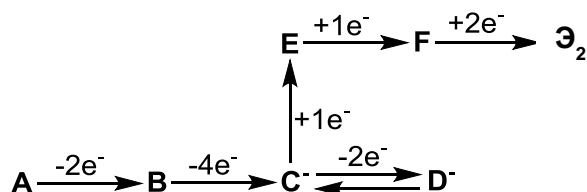
Логичным продолжением развития этой теории стало применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений – неорганических соединений, которые содержат необходимые для питания растений элементы. В данной задаче мы рассмотрим важнейшие для растений элементы Э, Ю, Я и содержащие их удобрения.

Одним из важнейших природных источников элемента Э в почве является биомасса некоторых прокариотных микроорганизмов. Такие микроорганизмы содержат мультиферментный комплекс нитрогеназу, который катализирует реакцию фиксации Э₂ из воздуха в соответствии со следующим уравнением:



1. Напишите формулу вещества А и символ элемента Э.

Особым образом выделяется процесс гетеротрофного окисления А, характерный для многих бактерий и грибов. Стадии окисления А 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. Напишите структурные формулы веществ В, Е, F, Э₂ и ионов C⁻, D⁻. Вещества А, Е, F – бинарные (двухэлементные).

Самым популярным у агротехников удобрением, являющимся источником Э, несомненно, является вещество X (ω(Э) = 35 %), которое чаще всего выпускается в виде белых шарообразных крупинок (гранул). При температуре около 200°C вещество А 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.

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 Э₂ [3], H в промышленности синтезируют по реакции Базарова – взаимодействием углекислого газа с А при нагревании их смеси под давлением [4]. J и K можно получить взаимодействием А с соляной [5] либо серной [6] кислотой соответственно.

4. Напишите формулы основных компонентов трех указанных селитр, веществ G, H, J, K и уравнения реакций [4] – [6].

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, под-

разделяют 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	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].

5. 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 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 .

6. 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 восстановления начального насыщенного при 100°C раствора (щелока) 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.

7. 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**.

8. 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?