

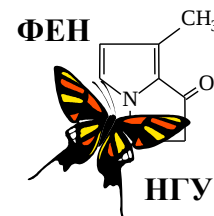


63-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Отборочный этап 2024-2025 уч. года

Задания по химии

9 класс



«Российское могущество прирастать будет Сибирью...»

М.В. Ломоносов

Ровно 300 лет назад указом императора Петра I Великого была основана Российская академия наук. За годы своего существования Академия наук подарила человечеству множество мировых светил науки, таких как А.М. Бутлеров, Д.И. Менделеев, Н.Н. Семёнов, Л.Д. Ландау, И.И. Мечников, И.П. Павлов и многие другие. Одним из важнейших этапов в истории РАН стало предложение академиков М.А. Лаврентьева, С.Л. Соболева и С.А. Христиановича об основании крупного научного центра в Сибири. Этот призыв получил широкий отклик научной общественности и вскоре многие ведущие советские учёные объявили о своем желании работать на востоке нашей страны. Предложение академиков о создании нового научного центра было одобрено 18 мая 1957 г., когда Совет министров СССР постановил организовать в Новосибирске Сибирское отделение АН СССР «для усиления научных исследований в области физико-технических, естественных и экономических наук и быстрого развития производительных сил Сибири и Дальнего Востока». Острая потребность нового отделения в научных кадрах обусловила скорейшее рождение учебного заведения новой формации. Менее, чем через год, 9 января 1958 года Совет Министров издал Постановление об организации Новосибирского государственного университета (НГУ), распахнувшего свои двери для абитуриентов в 1959 г.



Российская Академия Наук

Первым и единственным факультетом в составе НГУ был Факультет естественных наук (ФЕН), объединивший математику, физику, химию, биологию и геологию. Позже физики, математики и геологи выделились в отдельные факультеты, а ФЕН за 65 лет своей истории сохраняет, развивает и использует плоды всех ветвей естественных наук для подготовки высококвалифицированных специалистов в области химии и биологии.

Невозможно переоценить огромную роль первых деканов факультета – академиков В.В. Воеводского и Д.Г. Кнорре, которые заложили важнейшие принципы его плодотворного развития на последующие десятилетия. В разное время в развитие факультета большой вклад внесли и другие выдающиеся ученые, основоположники научных школ в области химии и биологии, которых уже нет с нами, но память навсегда сохранила их имена. Это академики Н.Н. Ворожцов, А. В. Николаев, Г.К. Боресков, В.А. Коптюг, Д.К. Беляев, К.И. Замаев, чл.-корр. В. П. Мамаев и другие. Сейчас активную работу на факультете продолжают их ученики.

Отцам-основателям научных институтов Сибирского отделения РАН и Новосибирского университета и посвящается комплект заданий I этапа 63-й Всесибирской открытой олимпиады школьников.

Задание 1. «Гори, гори ясно!»



ИХКГ СО РАН

«Давно оброс легендами
Тот день, когда студентами
Вчерашними нас шеф в
Сибирь привез...»

Из гимна лаборатории, в которой
работал В.В. Воеводский



Советская наука вообще и Сибирское отделение в частности богаты научными школами, имеющими в своей основе немало общего. Их формированию в Академгородке, например, способствует ряд факторов – уникальная атмосфера, особое научное

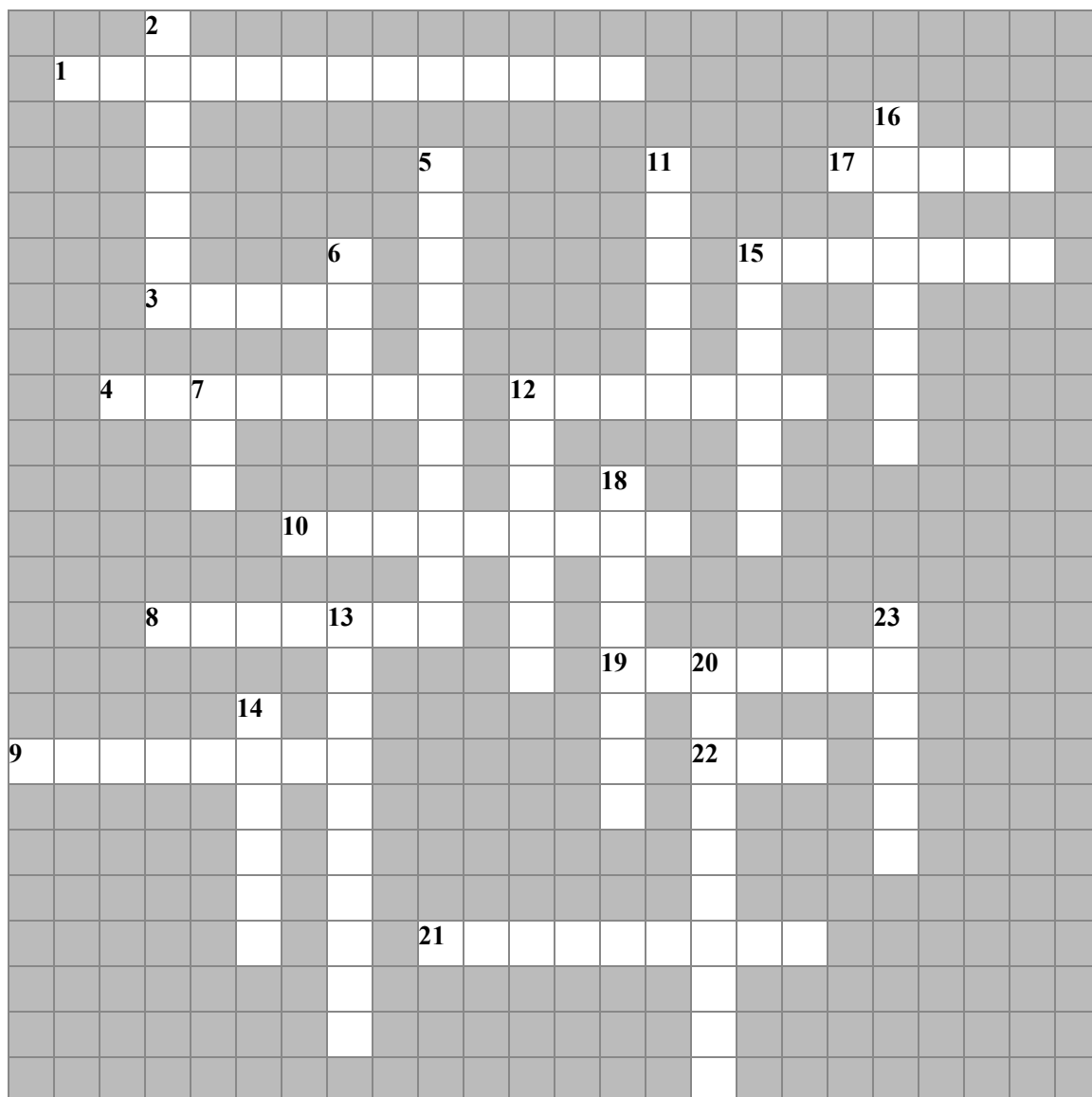
«братство», демократия, повышенная потребность в общении. Ну и, конечно же, прежде всего, личность «шефа» – талантливого ученого, с именем, авторитетом, сильным характером, объединяющего вокруг себя учеников, близких не только по научным интересам, но и по духу, нравственным идеалам.

Одним из таких ярких неординарных людей являлся и академик Владислав Владиславович Воеводский (1917-1967). Он был одним из организаторов Института химической кинетики и горения СО РАН (1958 г.) и одним из первых деканов ФЕН НГУ, на котором он основал и возглавлял кафедру физической химии (1961-1967). В.В. Воеводский являлся выдающимся специалистом в области радикальных процессов, внесшим неоценимый вклад в развитие радиоспектроскопических методов исследования, таких как ЭПР и ЯМР. Каждые пять лет в Москве или Новосибирске (городах, где он работал) проходят научные конференции памяти ученого.

Одной из таких конференций предшествовала неофициальная встреча в Академгородке – вечер, на который собрались в основном те, кто близко знал Владислава Владиславовича – ученики и соратники из Института химфизики АН СССР, ИХКиГ СО АН СССР, из других учреждений СО АН, так или иначе попавшие в «орбиту» ученого. Вспоминали о встречах со «Слав Славичем», о влиянии, которое он оказал на их судьбы, о замечательных качествах этого человека, оставившего неизгладимый след в памяти знавших его людей.

В предлагаемом Вашему вниманию кроссворде зашифрованы основные понятия, непосредственно связанные с работами В.В. Воеводского, а также ИХКиГ СО РАН, которому в 2012 г. было присвоено его имя.

1. Используя подсказки, разгадайте кроссворд. Ответы перепишите на лист с Вашими решениями в формате «номер – слово».



По горизонтали:

1. Устройство, создающее магнитное поле при прохождении через него электрического тока. Является одним из основных компонентов ЭПР-спектрометра. 3. Процесс высвобождения большого количества тепла за очень короткий промежуток времени. 4. Устройство для понижения и регулирования давления газа при его выходе из ёмкости, в которой он хранится. 8. Энергия, передаваемая одним телом другому при их взаимодействии, зависящая только от температуры этих тел и не связанная с переносом вещества от одного тела к другому. 9. Резкое увеличение амплитуды колебаний системы. Этот феномен является основополагающим принципом в работе ЭПР-спектрометра. 10. Процесс передачи энергии в форме волн или частиц в окружающую среду. 12. Сложный физико-химический процесс, при котором превращение вещества сопровождается интенсивным выделением тепла и света, а также обменом массой с окружающей средой. 15. Так называют процесс превращения одних химических веществ в другие. 17. Зона горения в газовой фазе с видимым излучением. 19. По Д.И. Менделееву «<19> — горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты». 21. Основной элемент автомобиля, в котором происходит преобразование теплоты сгорания топлива в механическую работу. 22. Одно из четырех основных агрегатных состояний вещества.

По вертикали:

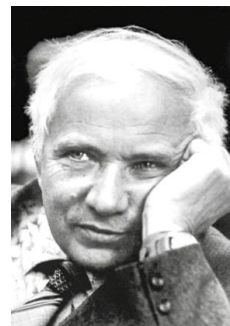
2. Этот выдающийся советский академик, лауреат нобелевской премии по химии 1956 года «за исследования в области механизма химических реакций», был научным руководителем В.В. Воеводского. 5. Физическая величина, характеризующая степень «нагретости» вещества. 6. Электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом. 7. Устойчивый аэрозоль из твердых частиц, образованием которого часто сопровождается горение. 11. Горение твердых веществ, характеризующееся отсутствием пламени. 12. Устройство, обеспечивающее устойчивое сгорание топлива и возможность регулирования процесса горения. 13. В широком смысле это вещество, которое поддерживает горение. В химии так обычно называют вещество, атомы которого отнимают электроны у других атомов в ходе химической реакции. 14. Сосуд для хранения газов под давлением. 15. Частица с неспаренным электроном. 16. Элементарная частица, несущая отрицательный заряд, входящая в состав любого атома. 18. Химическая <18> — раздел физической химии, изучающий скорости и механизмы химических реакций. 20. Процесс потери энергии потоком излучения вследствие взаимодействия с веществом. 23. Газовая смесь, являющаяся самым распространенным окислителем.

Задание 2. «Идем по учебнику».



ИХБФМ СО РАН

Дмитрий Георгиевич Кнорре (1926-2018) – известный российский ученый, основоположник ряда отечественных и мировых исследований в области химической кинетики, молекулярной биологии, биохимии и биоорганической химии, создатель и руководитель Отдела биохимии в Новосибирском институте органической химии СО РАН, основатель и первый директор Новосибирского института биоорганической химии СО РАН (1984-1996 г.). Особое место в его жизни занимала педагогика: в НГУ Д.Г. Кнорре проработал 37 лет, на протяжении 17 из которых (с 1967 по 1984 г.) он яв-



лялся деканом ФЕН НГУ, став основателем и первым заведующим кафедры молекулярной биологии (1975-1983 г.). Под руководством Д. Г. Кнорре защищено свыше 60 кандидатских диссертаций, десять его учеников стали докторами наук, трое – академиками. Он является соавтором 4 бестселлеров на рынке учебников для ведущих вузов страны: «Курс химической кинетики», «Физическая химия», «Биологическая химия», «Биоорганическая химия». Именно про этот аспект его работы мы бы хотели поговорить в данной задаче, пройдя по некоторым разделам учебника по физической химии, написанного им в соавторстве с Л.Ф. Крыловой и В.С. Музыкантовым, многие годы преподававшими этот предмет на факультете естественных наук НГУ.

I. Строение вещества

Несмотря на различный качественный и количественный состав, многие органические и неорганические вещества имеют схожий запах. Так, в качестве одной из характеристик слабой одноосновной кислоты **A** обычно приводят запах одного из представителей растений семейства розоцветных, несмотря на то что за запах в упомянутом растении ответственно сразу несколько соединений. Вещество **A**, также, как и многие его производные, используется в тонком органическом синтезе, однако работа с ним требует предельной аккуратности и сосредоточенности.

Молекулы этого вещества, являющегося сильнейшим ядом для человека, состоят из атомов трех элементов, находящихся в двух соседних периодах. Известно, что в атоме одного из элементов, входящих в состав **A**, сумма протонов, нейтронов и электронов равна 18, а число нейтронов в этом атоме равно числу электронов. Также известно, что плотность паров данного соединения по водороду составляет 13,5.

1. Установите химическую формулу соединения **A**. Ответ подтвердите расчетом. Примите, что в условии задачи речь идет о наиболее распространенных изотопах всех элементов.
2. Приведите номенклатурное и историческое (собственное, тривиальное) названия этого вещества. Поясните происхождение исторического названия. Укажите представителя семейства розоцветных, который имеет запах, похожий на запах **A**.

II. Концентрации растворов

В силу высокой токсичности вещества **A** за его концентрацией в воздухе необходим тщательный контроль, особенно в промышленных зонах. ПДК (предельно допустимая концентрация) этого вещества в воздухе рабочей зоны производственных помещений составляет 0,3 мг/м³. В атмосферном воздухе населённых пунктов ПДК составляет 0,01 мг/м³.

3. Рассчитайте максимально допустимое число молекул вещества **A** в воздухе рабочей зоны, если рабочая зона занимает объем 155 м³. Вычислите максимально допустимое число молекул **A** в 3,5 м³ атмосферного воздуха в населенном пункте.

Не меньшую опасность вещество **A** представляет и в виде растворов (ПДК = 0,07 мг/дм³). Однако опасны лишь свежеприготовленные растворы, т. к. со временем происходит «деактивация» раствора вещества **A** в результате его окисления простым веществом **V**, входящим в состав воздуха.

4. Вычислите концентрацию вещества **A** в моль/л в растворе с его ПДК = 0,07 мг/дм³, приняв плотность раствора равной 1,0 г/мл.

Элемент, из атомов которого составлено простое вещество **V**, образует еще одну аллотропную модификацию – трехатомный газ **W**.

5. Приведите формулы и названия газов **V** и **W**.

III. Химический процесс

Для получения вещества **A** в промышленных масштабах используются различные способы организации процесса. В частности, сжигание простого вещества **X** в недостатке кислорода [реакция 1] приводит к образованию газа **B**, совместное нагревание которого с газообразным соединением **C** над различными катализаторами позволяет получить вещество **A** [2]. Известно, что элемент, образующий простое вещество **X**, образует множество других аллотропных модификаций, причем, как считают, их количество наибольшее среди аллотропных модификаций всех элементов. Одна из форм существования этого элемента в природе издавна используется людьми для обогрева помещений и приготовления пищи.

6. Определите вещества **X**, **B** и **C**, если дополнительно известно, что молекула вещества **C** четырехатомна и двухэлементна, а общее число протонов в ней равно 10. Водный раствор вещества **C**, обладающий выраженным запахом, присутствует практически в каждой домашней аптечке.

7. Приведите названия трех аллотропных модификаций элемента, образующего вещество **X**. Напишите уравнения реакций [1] и [2].

Известно, что вещество **B** также является очень токсичным, причем механизм действия молекул **B** на человеческий организм аналогичен механизму действия вещества **A**. Однако, в отличие от **B**, молекулы **A** могут существовать в двух формах, называемых таутомерными, причем одна из них (**A**₁, 99,5 % при н. у.) не опасна для нашего организма, вторая (**A**₂, 0,5 %) – смертельна. Данные формы нельзя отделить друг от друга, они всегда находятся в равновесии.

8. Изобразите структурные формулы молекул **A**₁, **A**₂ и **B**. Попробуйте определить, какая из структур относится к ядовитой форме **A**₂, а какая – к безопасной форме **A**₁.

При взаимодействии кислоты **A** и гидроксида калия образуется соединение **D** [3], которое проявляет свойства восстановителя. В результате реакции серы с соединением **D** образуется вещество **E** [4], которое является гораздо менее токсичным для человека. Вещество **E** содержит калий, серу, углерод и еще один элемент в массовых долях 40,23 %, 33,00 % и 12,36 % соответственно. При действии трех эквивалентов вещества **E** на хлорид железа(III) получается соединение **F** [5], водный раствор которого ранее использовали для имитации крови в кинематографе. Известно, что содержание серы в соединении **F** составляет 41,74 %.

9. Установите вещества **D**, **E**, **F**. Ответ подтвердите расчетом. Напишите уравнения реакций [3-5].

IV. Катализ

Для ускорения реакции [2] в качестве катализаторов используют вещества **G** или **H**, представляющие собой оксиды металлов **Y** и **Z** соответственно. Известно, что оксид **G** содержит 12,12 масс. % кислорода, а металл **Y** (его степень окисления в оксиде равна +4) является радиоактивным, из-за чего в промышленности все чаще используют оксид **H**.

10. Установите металл **Y** и формулу оксида **G**. Ответ подтвердите расчетом. Металл **Y** получил свое название в честь одного из богов германо-скандинавской мифологии. Назовите его имя.

Соединение **H** представляет собой оксид самого распространенного в природе легкого металла **Z**, часто использующийся в качестве носителя для металлических катализаторов. Металл **Z** и сплавы на его основе активно используются как легкие и прочные конструкционные материалы, что особенно важно для таких отраслей промышленности, как авиастроение и судостроение. Известно, что при сплавлении оксида **H** с гидроксидом натрия образуется соль **I** [6], содержащая 32,93 масс. % элемента **Z**.

11. Установите металл **Z**, оксид **H** и соль **I**, ответы подтвердите расчетом. Напишите уравнение реакции [6].

Задание 3. «Кровь химии»

«Не опускай руки, ибо рискуешь сделать это за минуту до того, как произойдет чудо.»

А. Нотомб, «Серная кислота; Дневник Ласточки»

Эта задача посвящена академику Георгию Константиновичу Борескову (1907-1984) – выдающемуся советскому ученому в области катализа и химической технологии, который стал основателем и первым директором образованного в 1957 г. Института катализа СО РАН, а впоследствии – заведующим кафедрой катализа и адсорбции ФЕН НГУ. Разработанный им ванадиевый катализатор имел исключительную важность и применялся во время Великой Отечественной войны для получения серной кислоты – необходимого реагента для синтеза многих взрывчатых веществ.



Серную кислоту получают в несколько стадий. На первой стадии проводят сжигание (либо обжиг) серосодержащего соединения в избытке кислорода, получая бесцветный газ **A** с едким запахом. Далее вещество **A** вводят в реакцию каталитического окисления кислородом (реакция [1]) с образованием газообразного в этих условиях вещества **B**, которое содержит 40 % серы (здесь и далее в условии этой задачи проценты приведены массовые). Следующим этапом выступает взаимодействие **B** с водой [2] посредством его пропускания в крепкую серную кислоту с образованием олеума. На заключительном этапе полученный олеум разбавляют водой с образованием коммерчески доступной 98 % серной кислоты, которую доставляют к месту потребления в стальных цистернах.

1. Приведите собственные (тривиальные, не номенклатурные) названия веществ **A** и **B**. Напишите уравнения реакций [1], [2], реакции обжига FeS_2 [3], а также реакций сжигания S_8 [4] и H_2S [5] в избытке кислорода. Известно, что при обжиге 27,56 г FeS_2 образуется 18,37 г твердого красно-бурого остатка.
2. Что такое олеум? Знаете ли Вы, по какой причине 98 % серную кислоту, отличающуюся повышенной реакционной способностью и даже агрессивностью, можно безопасно перевозить в стальных цистернах?
3. Какая масса FeS_2 (г) потребуется для получения 1 кг 98 % раствора серной кислоты? Какой объём аккумуляторного электролита (л) получится из этого количества 98% серной кислоты? Аккумуляторный электролит представляет собой 40 % водный раствор серной кислоты с плотностью 1,3028 г/мл.
4. Напишите уравнения реакций взаимодействия избытка разбавленной серной кислоты со следующими реагентами: $\text{Fe}_{(\text{тв.})}$ [6], $\text{MgSO}_{3(\text{тв.})}$ [7], $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_{4(\text{р-р.})}$ [8], $\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{тв.})}$ [9].

Ученый ум Г.К. Борескова сочетал талант исследователя и инженера. Ярким примером доведения научных идей до практической реализации является разработка ванадиевого серноокислительного катализатора «БАВ», на котором с конца 30-х годов прошлого столетия работали в СССР все контактные аппараты по окислению **A**. Довольно сложный состав этого катализатора можно представить в виде формулы $2\text{C}_2\text{O} \cdot 3\text{DO} \cdot 0,5\text{E}_2\text{O}_3 \cdot \text{FO}_2 \cdot \text{G}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}$, где вещества $\text{C}_2\text{O} - \text{G}_2\text{O}_5$ являются оксидами элементов **C – G**, а **H** – хлорид металла, образующего оксид C_2O . Некоторая полезная для решения задачи информация об оксидах $\text{C}_2\text{O} - \text{G}_2\text{O}_5$ представлена в тексте ниже.

Оксид C_2O : белый порошок, окрашивающий пламя горелки в фиолетовый цвет. При стоянии на воздухе расплывается, поглощая влагу [10] и углекислый газ [11] с образованием щелочи и поташа соответственно.

Оксид **DO**: при добавлении этого белого порошка к раствору серной кислоты [12] образуется белый осадок, нерастворимый в кислотах и щелочах. Этот осадок с массовым содержанием кислорода 27,47 % окрашивает пламя горелки в цвет зеленого яблока.

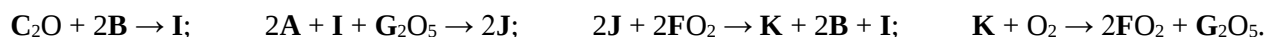
Оксид E_2O_3 : этот белый порошок не растворяется в разбавленных кислотах и щелочах, несмотря на то что считается амфотерным. Основной компонент глинозема, сапфира и многих других минералов. Металл **E** часто входит в состав кухонной посуды, банок для газировки и многих других лёгких и прочных изделий.

Оксид FO_2 : а этот белый порошок – основной компонент оконного стекла. Считается кислотным оксидом, несмотря на то что не реагирует с водой. Медленно растворяется в крепком растворе едкого натра [13].

Оксид G_2O_5 : играет главную каталитическую роль в реакции окисления **A**. Этот красно-оранжевый порошок образуется при прокаливании некоторой аммониевой соли **G**₁ на открытом воздухе [14]. Массовое содержание металла и азота в этой средней аммониевой соли **G**₁ равно 43,59 % и 11,97 % соответственно.

5. Напишите символы элементов **C – G**, формулы веществ **H**, **G**₁ и уравнения реакций [10] – [14]. Попробуйте расшифровать аббревиатуру «БАВ». Дополните ряд $\text{C}_2\text{O} - \text{G}_2\text{O}_5$ тремя оксидами с другими (более высокими) степенями окисления элементов.

При проведении каталитического окисления **A** на упомянутом катализаторе протекает множество химических реакций, главные из которых можно представить в виде следующей схемы.



Соединение **J** относится к классу двойных солей и образуется в процессе двухэлектронного восстановления металла, входящего в состав G_2O_5 . Восстановителем в этом процессе является вещество **A**.

6. Напишите формулы веществ **I**, **J**, **K**, участвующих в каталитическом цикле окисления **A**. На схеме указаны стехиометрические коэффициенты, а также все реагенты и продукты этих реакций.