РАЗДЕЛ XIII. ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Войнова Е.В.¹, Венкова С.И.¹, Кулешова Н.В.²

Обнаружение и определение ионов калия в фармацевтических препаратах и продуктах питания

¹МАОУ Лицей №38

²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
(Россия, Нижний Новгород)

doi: 10.18411/trnio-01-2022-64

Аннотация

Калий (K) – один из самых важных макроэлементов для биологического мира. Этот элемент часто не поступает в организм людей, живущих в больших городах, из-за нерационального питания, поэтому в настоящее время большое количество людей обращаются к диетологам. В нашей работе мы будем рассматривать медицинские препараты и продукты, которые могут помочь восполнить недостаток калия.

Ключевые слова: качественные реакции на калий, турбидиметрический метод, количественный анализ, аналитическая химия.

Abstract

Potassium (K) is one of the most important macronutrients for the biological world. This element is often not supplied to people living in big cities due to a poor diet, so a large number of people are now turning to nutritionists. In our work, we will be looking at medicines and foods that can help to make up for potassium deficiencies.

Keywords: qualitative potassium reactions, turbidimetric method, quantitative analysis, analytical chemistry.

Введение

Задачи работы.

- Провести качественные реакции на обнаружение ионов калия в растворах.
- Разработать методику количественного определения содержания ионов калия в растворах.
- Определить количество калия в мг/100 г в некоторых медицинских препаратах и продуктах питания.

Актуальность моей работы заключается в том, что калий — важнейший биогенный элемент. При недостатке калия в почве растения плохо развиваются, уменьшается урожай, поэтому около 90 % добываемых солей калия используют в качестве удобрений. Калий важен животным и организму человека. Как кальций незаменим для наших костей, зубов и ногтей, то есть для всех твердых тканей, так калий необходим всем нашим мягким тканям: сосудам, капиллярам, мышцам и, особенно, сердечной мышце, а также клеткам мозга, печени, почек, нервов, желез внутренней секреции и других органов. Также он входит в состав внутриклеточных жидкостей. На содержание и уровень калия в организме оказывают непосредственное влияние три основных слагаемых - потребление вместе с продуктами питания, содержащими данный микроэлемент, усвоение, распределение и выделение.

В природе калий встречается только в соединениях с другими элементами, например, соли калия содержатся в морской воде, некоторых минеральных водах, а также в составе многих минералов.

Минеральные вещества – это имеющие неорганическую природу соединения, которые необходимы для обеспечения работоспособности организма. Почти все биохимические процессы зависят от баланса микроэлементов: обмен веществ, синтез ферментов, гормонов и

витаминов, регуляция жизнедеятельности клетки и кислородного обмена, формирование костной, мышечной, нервной и половой систем, а также поддержание баланса кислот и щелочей и многое другое. Дефицит или передозировка каких-либо элементов приводит к серьезным нарушениям жизнедеятельности организма.

В зависимости от того, как много минеральных веществ содержится в организме, их разделяют в основном на две группы: макро- и микроэлементы. Макроэлементы нужны организму в более больших количествах, чем микроэлементы, потому что их массовое содержание в живой ткани превышает показатель 1 мг на 100 г живой ткани. Человеку следует употреблять около 200 мг различных элементов в день (суточная норма), таких как кальций, магний, натрий, калий, сера, хлор и фосфор. Элементы, массовое содержание которых не превышает 1 мг на 100 г живой ткани, являются микроэлементами. В эту группу входят железо, цинк, медь, йод, марганец, селен, молибден, хром, фтор и другие вещества. Их следует употреблять в меньших количествах для поддержания баланса макро- и микроэлементов в организме.

Калий, о котором мы будем говорить в нашей научной работе, является одним из важнейших макроэлементов для нормальной жизнедеятельности организма. Калий – незаменимый элемент цитоплазмы клеток, вместе с натрием он регулирует водный баланс, участвует в передаче нервных импульсов, а также выполняет другие не менее важные функции. Как видите, биологическая роль калия велика, поэтому надо следить за его содержанием в организме. Изменение количества калия может быть вызвано двумя процессами: поступлением калия вместе с пищей и его распределением, либо выделением (за счет почек, потовых желез, кишечника). Если не следить за рационом, то может возникнуть дефицит или избыток калия в организме, что впоследствии приведет к серьезным нарушениям работы органов. В настоящее время люди, живущие в больших городах и мегаполисах, все чаще обращаются к диетологам, потому что чувствуют проблемы со здоровьем. Зачастую причиной этому является недостаток употребления макро- и микроэлементов. Это обуславливается тем, что среднестатистический житель большого города употребляет много продуктов глубокой переработки, фастфудов и полуфабрикатов, в которых важных минеральных веществ для организма недостаточно. В нашей работе я буду рассматривать один из самых важных макроэлементов, калий, который необходим для полноценной работы организма. Буду определять содержание калия в лекарствах и биологически активных добавках, которые люди могут принимать для поддержания поступления калия в организм, и в продуктах питания, чтобы выяснить, можно ли заменить поставку данного макроэлемента через лекарства продуктами. Таким образом, **целью работы** является определение содержания калия в лекарственных препаратах и продуктах, а также выявить, в каких из рассмотренных продуктов содержится наибольшее количество калия.

I. Теоретическая часть

1. Характеристика элемента

Калий (лат. Kalium), К (читается как «калий») – химический элемент четвертого периода главной подгруппы (подгруппа IA) с атомным номером 19. Его атомная масса равна 39,0983.

Человек использовал калий ещё с древних времен. Так, в XI веке, люди делали поташ (K_2CO_3) и использовали его как моющее средство. Впервые же калий был открыт в 1807 г. английским химиком Г. Дэви электролизом едкого кали (KOH). Дэви назвал его «*потассий*» (лат. potassium); это название до сих пор употребляется в различных языках. В 1809 г. немецкий физик Л.В. Гилберт предложил название «калий» (лат. kalium, от араб. аль-кали — поташ). Это название вошло в немецкий язык, отсюда в большинство языков Северной и Восточной Европы (в том числе в русский), что впоследствии помогло при выборе символа для этого элемента — К.

Калий – щелочной металл. Электронная конфигурация внешнего энергетического слоя $4s^1$, поэтому калий всегда проявляет степень окисления +1 (валентность 1).

Атомный радиус калия 235 пм, радиус иона K^+ 133 пм. Электроотрицательность калия по Полингу 0,82, что говорит о ярко выраженных металлических свойствах.

2. Распространение в природе

Калия – распространенный элемент (входит в первую десятку наиболее распространенных в земной коре элементов): его содержание в литосфере 2, 41% по массе. Встречается исключительно в виде соединений. В морской воде содержится около 0, 04% калия. В магматических процессах калий накапливается в кислых магмах, из которых кристаллизуются граниты и другие породы (его среднее содержание около 3,34%). Калий входит в состав полевых шпатов и слюд. При выветривании горных пород частично переходит в воды, отсюда его быстро захватывают организмы и поглощают глины, поэтому воды рек бедны калием. В основном почвы также небогаты калием, поэтому культурные растения нуждаются в калийных удобрениях.

3. Физические свойства

Калий — серебристый металл с характерным блеском на свежесформированной поверхности. Очень лёгок (плотность вещества равна $0,8629 \text{ г/см}^3$) и легкоплавок (температура плавления $63,51^\circ\text{C}$), а испаряться начинает уже при высоком нагревании (761°C). Относительно хорошо растворяется в ртути, образуя амальгамы. Будучи внесённым в пламя горелки, калий (а также его соединения) окрашивает пламя в розово-фиолетовый цвет.

4. Химические свойства

Элементарный калий, как и другие щелочные металлы, проявляет типичные металлические свойства и очень химически активен, является сильным восстановителем. На воздухе свежий срез быстро тускнеет из-за образования плёнок соединений: оксида и карбоната. Поскольку калий при длительном контакте с атмосферой способен полностью разрушиться, а с водой реагирует со взрывом, то его необходимо хранить под слоем бензина, керосина или силикона, чтобы исключить контакт воздуха и воды с его поверхностью.

С Na, Tl, Sn, Pb, Be калий образует интерметаллоиды (химические соединения двух или нескольких металлов).

Взаимодействие с простыми веществами:

Калий при комнатной температуре реагирует с кислородом, галогенами; практически не реагирует с азотом (в отличие от лития и натрия).

- При умеренном нагревании ($200\text{—}350^\circ\text{C}$) реагирует с водородом с образованием гидрида:

$$2K + H_2 = 2KH$$
- Реагирует с халькогенами (при нагревании до $100\text{—}200^\circ\text{C}$, E = S, Se, Te):

$$2K + E = 2KE$$
- В реакции с фосфором в инертной атмосфере образуется фосфид калия зелёного цвета (при нагревании до 200°C):

$$3K + P = K_3P$$

Взаимодействие со сложными веществами:

- Калий при комнатной температуре ($+20^\circ\text{C}$) активно реагирует с водой, кислотами, растворяется в жидком аммиаке с образованием тёмно-синего раствора аммиака калия.

$$2K + H_2O \rightarrow 2KOH + H_2\uparrow$$

$$2K + 2HCl \rightarrow 2KCl + H_2\uparrow$$

$$K + NH_3 \rightarrow KNH_2 + H_2$$
- Калий восстанавливает разбавленные серную и азотную кислоты:

$$8K + 6H_2SO_4 \rightarrow 4K_2SO_4 + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$$
- При сплавлении металлического калия со щелочами он восстанавливает водород гидроксогруппы:

$$2K + 2KOH \rightarrow 2K_2O + H_2\uparrow (450^\circ\text{C})$$

- Калий реагирует с газообразным аммиаком с образованием амида (при умеренном нагревании от +65 до +105 °C):

5. Изотопы калия

Изотопы калия — разновидности химического элемента калия с разным количеством нейтронов в атомном ядре. Известны изотопы калия с массовыми числами от 33 до 59 (число протонов 19, нейтронов от 14 до 40).

Природный калий представляет собой смесь трех изотопов. Двух стабильных:

- ^{39}K (изотопная распространенность 93,258 %);
- ^{41}K (изотопная распространенность 6,730 %);

И одного нестабильного, но с большим периодом распада:

- ^{40}K (изотопная распространенность 0,012 %), период полураспада $1,25 \cdot 10^9$ лет.

6. Получение калия

Калий, как и другие щелочные металлы, получают электролизом расплавленных хлоридов или щелочей. Так как хлориды имеют более высокую температуру плавления (600—650 °C), то чаще проводят электролиз расплавленных щелочей с добавкой к ним соды или поташа (до 12 %). При электролизе расплавленных хлоридов на катоде выделяется расплавленный калий, а на аноде — хлор:

Катод: $\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$

Анод: $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cl}_2$

При электролизе расплава гидроксида калия на катоде также выделяется расплавленный калий, а на аноде — кислород:

Катод: $\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$

Анод: $\text{OH}^- - 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

Вода из расплава быстро испаряется. Чтобы калий не взаимодействовал с хлором или кислородом, катод изготавливают из меди и над ним помещают медный цилиндр. Образовавшийся калий в расплавленном виде собирается в нем. Анод изготавливают также в виде цилиндра из никеля (при электролизе щелочей) либо из графита (при электролизе хлоридов).

Важное промышленное значение имеют и методы термохимического восстановления:

Также получение калия возможно с помощью восстановления из расплава хлорида калия карбидом кальция, алюминием или кремнием.

7. Применение калия

1. Металлический калий — материал для электродов в химических источниках тока. Сплав калия с натрием находит применение в качестве теплоносителя в ядерных реакторах.
2. В гораздо больших масштабах, чем металлический калий, находят применение его соединения. Калий — важный компонент минерального питания растений, он необходим им в значительных количествах для нормального развития, поэтому широкое применение находят калийные удобрения: хлорид калия KCl , нитрат калия, или калийная селитра, KNO_3 , поташ K_2CO_3 и другие соли калия. Поташ используют также при производстве специальных оптических стекол как поглотитель сероводорода при очистке газов, как обезвоживающий агент и при дублении кож.
3. В качестве лекарственного средства находит применение иодид калия KI . Иодид калия используют также в фотографии и в качестве микроудобрения. Раствор перманганата калия KMnO_4 («марганцовку») используют как антисептическое средство.

4. По содержанию в горных породах радиоактивного ^{40}K определяют их возраст.
5. В пищевой промышленности калий применяется при создании пищевой добавки E501 (карбонат калия).

8. Биологическая роль калия в организме

В организме человека и животных калий присутствует в виде солей. Количество данного элемента в организме составляет около 160-250 г, или примерно 0,23% от общего веса человека. При этом, большая часть калия присутствует именно в клетках, что поддерживает функционирование клеточных стенок.

Также, находясь в клетках организма, K вместе с Na регулирует содержание в них уровня воды, поддерживая водный баланс. Эта комбинация элементов также поддерживает постоянство электролитного (электролиты — это минералы в крови, тканях и других частях тела, которые обладают электрическим зарядом) и кислотно-щелочного (состояние, в котором поддерживается определенное соотношение катионов и анионов) баланса, предотвращая различные неблагоприятные реакции во внутренней среде. Если нарушается «калий-натриевый» баланс, то сразу же запускается процесс обезвоживания организма и ослабления деятельности мышц, нервной и сердечно-сосудистой системы. Но это далеко не единственная роль калия в организме.

- Хлориды K и Na обеспечивают передачу нервных импульсов между нейронами, тем самым поддерживая активность работы головного, контроль над организмом нервной системой, а также сократительную функцию мышечных тканей.
- Принимает участие в накоплении организмом гликогена, являющегося основным источником энергии живых клеток.
- Берет активное участие в обменных процессах (метаболизме белков и углеводов).
- Поддерживает в организме давление крови на должном уровне.
- Поддерживает необходимый уровень магния в организме, способствуя поддержанию здоровья и нормального функционирования сердечной мышцы.
- Предотвращает развитие инфарктов и инсультов.

Нормальная концентрация калия в крови человека составляет 3,3 – 4,6 ммоль/л. Несомненно, важно употреблять достаточно калия, чтобы оставаться здоровым человеком. Нормы калия рассчитаны для всех возрастных категорий и представлены в табл. 1.

Таблица 1

Нормы потребления калия для некоторых возрастных групп

<i>Возрастная категория</i>	<i>Суточная норма</i>
<i>Дети до 2 лет</i>	<i>400-600 мг</i>
<i>Дети от 3 до 5 лет</i>	<i>3000 мг</i>
<i>Дети от 6 до 8 лет</i>	<i>3800 мг</i>
<i>Дети от 9 до 13 лет</i>	<i>4500 мг</i>
<i>Подростки до 18 лет</i>	<i>4600 мг</i>
<i>Женщины</i>	<i>4700 мг</i>
<i>Женщины в периоды беременности и лактации</i>	<i>5100 мг</i>
<i>Мужчины</i>	<i>4800 мг</i>

Суточная потребность организма в калии увеличивается:

- у больных диабетом 1-го типа, а также у тех, кому назначен прием нестероидных противовоспалительных препаратов;
- при приеме мочегонных средств;
- при низкоуглеводной и высокопротеиновой диете;
- при спортивных нагрузках: калий усиленно выводится из организма с потом.

Суточная потребность организма в калии уменьшается:

- у больных, страдающих хронической почечной недостаточностью, заболеваниями почек последней стадии, сердечной недостаточностью;
- у беременных с преэклампсией (тяжелая стадия гестоза, которая характеризуется дисфункцией жизненно важных органов).

При недостатке калия в организме может наступить его дефицит, который вызывает гипокалиемию (метаболический дисбаланс, характеризующийся чрезвычайно низким уровнем калия в крови, концентрация в плазме менее 3,5 ммоль/л).

Причинами дефицита калия могут быть:

- нарушение обмена калия;
- чрезмерное выделение калия из организма под влиянием препаратов (гормональных, слабительных, мочегонных), а также прием гормональных препаратов на основе кортизона;
- патология почек, кожи, кишечника и легких;
- избыток других элементов: натрия, рубидия, таллия, цезия;
- злоупотребление кофе, сахаром;
- недостаток в организме витамина В6;
- обезвоживание организма;
- стресс;
- усиленная физическая активность, занятие спортом.

Признаками дефицита калия могут быть:

- физическая и психическое истощение;
- нарушение обмена веществ;
- нарушение работы сердца, почек и надпочечников;
- нарушение сердечного ритма;
- язвенная болезнь;
- затруднение дыхания;
- замедление процессов заживления ран;
- сухая кожа, ломкие волосы и ногти.

Есть и другая крайность – не менее опасен и избыток калия в организме человека, вызывающий гиперкалиемию (состояние, которое характеризуется увеличением концентрации калия в сыворотке крови выше 5,5 ммоль/л). Это более опасное заболевание, чем гипокалиемия (превышение показателей калия в крови больше 8 ммоль/л могут повлечь остановку сердца). Механизм токсического поражения таков: в места накопления калия «притягивается» вода, что приводит к обезвоживанию тканей и нарушению функций клеток. Чаще всего у пациентов развивается воспаление почечных канальцев и их некроз (это изменения в структуре самого органа).

Существует также классификация этой болезни. Отдельно выделяют так называемую ложную, или псевдогиперкалиемию, которая является лабораторным артефактом. Ее возникновение связано с высвобождением калия во время образования сгустка в пробирке после забора крови на анализ. При псевдогиперкалиемии отсутствуют симптомы, она не требует лечения. По уровню повышения калия (в ммоль/л) традиционно выделяют три степени гиперкалиемии:

- легкую – от 5,5 до 6;
- умеренную – от 6,1 до 6,9;
- тяжелую – больше 7.

Причины избытка калия в организме:

- почечная недостаточность, когда почками в течение суток выводится больше калия, чем поступает в организм, или же повреждение почечной ткани;

- повышенное экзогенное поступление. К гиперкалиемии может привести парентеральное введение большого количества хлорида калия, калиевых солей антибиотиков. При длительном хранении донорской крови наступает разрушение эритроцитов, выход из них калия, поэтому переливание такой крови может вызвать у реципиента гиперкалиемию;
- нарушение регуляции калиевого обмена;
- гормональные сбои;
- нарушение внутриклеточного транспорта. Переход калия внутрь клетки из межклеточного пространства нарушается при метаболическом ацидозе (расстройство кислотно-щелочного равновесия), дефиците инсулина (сахарный диабет 1 типа), приеме лекарственных препаратов (бета-адреноблокаторов, сердечных гликозидов, миорелаксантов).

Симптомы гиперкалиемии:

- мышечная слабость;
- затруднение дыхания вследствие слабости дыхательных мышц;
- приступы учащенного сердцебиения;
- боль в грудной клетке;
- кишечные колики, чередование запоров и поносов;
- частое мочеиспускание;
- паралич скелетных мышц.

Тем не менее, чаще всего люди гипокалиемией и гиперкалиемией болеют бессимптомно, поэтому при постоянной физической или эмоциональной усталости лучше обратиться ко врачу и сдать необходимые анализы.

9. Продукты, содержащие калий

Одним из основных источников калия являются продукты питания, следовательно, такие продукты должны входить в ежедневное меню человека для обеспечения потребности в суточной норме данного микроэлемента.

Продукты, содержащие калий можно условно разделить на две группы. В первую группу входят продукты растительного происхождения – это овощи, фрукты, злаки и орехи. Самые богатые калием среди них являются: картофель, авокадо, банан, чечевица, изюм, грибы, свекла, белая фасоль, курага, гранат, сушеный инжир. Такие продукты рекомендуется есть в летнее время года. Во вторую группу входят продукты, имеющие животное происхождение, а именно рыба, печень, творог. Наиболее обогащенные калием среди них являются: лосось, тунец, язык, телятина, творог. Также есть напитки, обогащенные этим микроэлементом – это кофе, чай. Содержится калий и в повседневных продуктах. Ржаной хлеб, пшеничные отруби, соя, овсяная и пшеничная крупы, молоко, рыба часто встречаются в нашем рационе, а ведь в них тоже содержится много необходимого для организма калия.

Важную роль играет хранение и приготовление продуктов. Калий довольно трудно удержать, поэтому следует следовать некоторым правилам. Во-первых, после длительного хранения пищи концентрация калия может измениться – об этом надо помнить. Во-вторых, если способов по сохранению калия в продуктах не существует, то есть методы по его сбережению. Т.к. при контакте с водой минерал почти полностью переходит в нее, то, чтобы сберечь его максимальное содержание после термообработки, следует готовить быстро, стараясь по возможности снизить температуру обработки или же прибегнуть к запеканию. Основные рекомендации, помогающие сохранить максимальное количество полезных веществ, в том числе и калия, в готовых блюдах: не кипятить при 100° С, не пользоваться микроволновкой, отказаться от жарки, минимизировать количество растительного масла.

II. Практическая часть

Существует несколько способов обнаружения калия в испытуемом растворе:

- микрокристаллоскопический способ, основанный на образовании кристаллов гексанитритокупроата калия-свинца;
- кобальтинитритный способ, основанный на образовании осадка гексанитрокобальтата(III) натрия-калия;

- тетрафенилборатный способ, основанный на образовании осадка тетрафенилбората калия;
- гидротартартный способ, основанный на образовании гидротартрата калия;
- седиментометрический экспресс-способ, основанный на образовании перхлората калия;
- дипикриоаминатный способ, основанный на образовании соединения дипикриламината калия;
- хлороплатиновый способ, основанный на образовании хлороплатината калия;
- и др.

В данной работе нами были рассмотрены первые три способа: микроскопический, кобальтинитритный и тетрафенилборатный.

В ходе проведения экспериментов были использованы химические реактивы и оборудование.

Реактивы:

1. KNO_3 ;
2. $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$;
3. AgNO_3 ;
4. $\text{Na}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$;
5. $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$;

Оборудование:

1. колба коническая (50 мл);
2. колба цилиндрическая (50 мл);
3. стаканы химические;
4. мерные цилиндры стеклянные;
5. магнитная мешалка;
6. микроскоп;
7. предметное стекло;
8. палочка стеклянная;
9. пипетки;
10. пробирки;
11. фотоэлектрический колориметр КФК -2МП.

1. Обнаружение и количественное определение ионов калия в модельных растворах

В первой части работы мы рассматривали методы качественного обнаружения ионов в модельных растворах.

1.1. Микрористаллоскопический способ

На предметное стекло нанесли 1 каплю раствора KNO_3 , затем 1 каплю реактива на обнаружение ионов K^+ - $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$. Через 20 минут наблюдали невооруженным глазом черный осадок, образовавшийся на стекле. Через микроскоп наблюдали черные кристаллы прямоугольной или кубической формы $\text{K}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитритокупроат (II) калия-свинца).

Рисунок 1. Образование кристаллов $\text{K}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$

1.2. Кобальтинитритный способ

Приготовили раствор нитрата калия с $C = 1$ моль/л (39 мг/мл) в качестве исходного модельного раствора. К 1 мл данного раствора добавляли раствор $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитрокобальтат (III) натрия). Наблюдали выпадение обильного кристаллического осадка оранжевого цвета – $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитрокобальтата (III) калия-натрия).

1.3. Тетрафенилборатный способ

К 1 мл раствора нитрата калия с $C = 39$ мг/мл добавляли раствор ТФБНа (тетрафенилборат натрия). Наблюдали выпадение осадка белого цвета – тетрафенилбората калия $\text{K}[\text{B}(\text{C}_6\text{H}_5)_4]$.

Рисунок 2. Определение ионов калия в растворе KNO_3 (нитрита калия) при $C = 39$ мг/мл

Вторая часть работы – определение минимальной концентрации обнаружения калия по реакции с кобальтинитритом и тетрафенилборатом натрия.

Для определения чувствительности реакции исходный раствор нитрата калия постепенно разбавляли и наблюдали за протеканием реакции при добавлении реактива. С разбавлением раствора нитрата калия интенсивность осадка уменьшалась. В разбавленных растворах осадок выпадает медленно, поэтому для повышения чувствительности реакции к исследуемой пробе добавляли AgNO_3 . Наблюдали выпадение осадка оранжевого цвета – $\text{K}_2\text{Ag}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитриткобальтата (III) калия-серебра) в растворах малых концентраций нитрата калия.

Рисунок 3. Определение ионов калия в растворе KNO_3 (нитрита калия) с: 1) $C = 0,39$ мг/мл; 2) $C = 0,39$ мг/мл, для увеличения чувствительности реакции с $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ добавлен AgNO_3 ; 3) $C = 0,039$ мг/мл; 4) $C = 0,039$ мг/мл, для увеличения чувствительности реакции с $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ добавлен AgNO_3 .

1. Раствор №1 (исходный) – 39 мг/мл;
2. Раствор №2 – 3,9 мг/мл;
3. Раствор №3 – 0,39 мг/мл;
4. Раствор №4 – 0,039 мг/мл;
5. Раствор №5 – 0,0039 мг/мл.

Затем мы провели ряд опытов по обнаружению ионов K^+ в полученных растворах (использовали тетрафенилборатный и кобальтинитритный способы) и сравнили наблюдения:

К 1 мл исследуемых растворов добавляли раствор $Na_3[Co(NO_2)_6]$ (гексанитрокобальта натрия). В растворах №1, №2 наблюдали выпадение осадка оранжевого цвета. В растворе №3 не наблюдали осадка. Растворы (№4-№5) с еще более низкой концентрацией калия не исследовали.

- 1.2. Для увеличения чувствительности реакции с гексанитрокобальтом натрия $Na_3[Co(NO_2)_6]$ в растворы №3-№5, где не выпадал осадок, добавляли раствор $AgNO_3$. В растворе №3 наблюдали выпадение осадка оранжевого цвета. В растворе №4 наблюдали его помутнение. В растворе №5 выпадение осадка не наблюдали.

2. К 1 мл исследуемых растворов добавляли раствор ТФБNa (тетрафенилбората натрия). Мы наблюдали в растворах №1, №2, №3 выпадение осадка белого цвета. В растворе №4 наблюдали его помутнение. В растворе №5 осадка не наблюдалось.

Результаты наблюдений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения чувствительности реакций обнаружения ионов K^+ в растворах

№ раствора	$C(K^+)$, мг/мл	$Na_3[Co(NO_2)_6]$	$Na_3[Co(NO_2)_6]^{+} + AgNO_3$	ТФБNa
1	39	+	+	+
2	3,9	+	+	+
3	0,39	-	+	+
4	0,039	-	±	+
5	0,0039	-	-	±

На основании данных из таблицы можно сделать вывод, что тетрафенилборатный способ является наиболее чувствительным.

2. Количественное определение концентрации ионов K^+ по оптической плотности раствора

На основе тетрафенилборатного способа нами было проведено количественное определение ионов калия в модельных растворах методом турбидиметрии.

Готовили разбавленный раствор KNO_3 ($C=0,039$ мг/мл). Затем в мерную колбу вместимостью 25,0 мл вносили от 0,5 до 3 мл раствора KNO_3 , добавляли 2 мл раствора ТФБNa и доводили объем до метки дистиллированной водой. Затем измеряли оптической плотности полученных растворов на фотоэлектрическом калориметре КФК-2МП.

Рисунок 4. Аппарат КФК-2МП

Результаты исследований приведены в таблице 3, на их основании построена зависимость оптической плотности раствора от содержания калия (в мг) в нем (Рисунок 5).

Таблица 3

Зависимость оптической плотности раствора от концентрации ионов K^+

<i>Объем раствора KNO_3, мл</i>	<i>Содержание K^+, мг</i>	<i>A (оптическая плотность)</i>
0,50	0,020	0,21
1,00	0,039	0,27
2,50	0,098	0,44
3,00	0,117	0,48

Рисунок 5. Градуировочный график для определения калия в растворе

Зависимость оптической плотности раствора от содержания ионов K^+ в нем является линейной.

Итак, на основании проведенных экспериментов, для последующих исследований нами окончательно был выбран тетрафенилборатный способ, как наиболее простой, быстрый

и чувствительный, а также имеющий простую методику определения ионов калия в растворе.

3. Определение содержания калия в медикаментах и биологических добавках

Для анализа были взяты такие биологические добавки, как Doppelherz актив «Магний + Калий» и Калия оротат, и такие лекарства, как Микройодид 100. Doppelherz актив «Магний + Калий» содержит 300 мг калия в 1 таблетке, в Калии оротат – 500 мг оротата калия в 1 таблетке, в лекарстве Микройодид содержится 100 мкг йодида калия в 1 таблетке.

Сначала проводили качественный анализ. Мы брали по одной таблетке исследуемого аппарата, измельчали, растворяли в 50 мл дистиллированной воды и фильтровали. Полученный раствор разливали по 2 мл в две пробирки. В первую пробирку добавляли $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (гексанитрокобальтат натрия), а также для выпадения более яркого осадка приливали AgNO_3 (нитрат серебра), во вторую – ТФБНа (и тетрафенилборат натрия). В итоге наблюдали, что во всех растворах препаратов выпадал как оранжевый, так и белый осадок соответственно, но наиболее яркий осадок выпал в растворе №1 - Doppelherz актив «Магний + Калий».

Рисунок 6. Определение ионов калия в растворе KNO_3 (нитрата калия) в биологической добавке «Магний + Калий»

Рисунок 7. Определение ионов калия в растворе KNO_3 (нитрата калия) в медикаменте «Микройодид 100»

Рисунок 8. Определение ионов калия в растворе KNO_3 (нитрата калия) в лекарственном аппарате «Калия Оротат»

Второй этап – количественный анализ. Мы брали по одной таблетке Доппельгерца актив «Магний + Калий» и Калия оротата и 10 таблеток Микройодида, растирали в ступке до однородности затем приливали 20 мл дистиллированной воды. Полученный раствор фильтровали через ватный диск, затем через бумажный фильтр для удаления не растворившихся компонентов. 2 мл полученного раствора помещали в мерную колбу вместимостью 25,0 мл, добавляли 2 мл ТФБНа и доводили объем до метки дистиллированной водой. Измеряли оптическую плотность полученного раствора на фотоэлектрическом калориметре КФК-2МП. По градуировочному графику (рис.1), определяли содержание ионов калия в препарате. Сравнивали результаты опыта и информации о количественном содержании калия, представленной в инструкции по применению лекарственного препарата. Результаты исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

Содержания соединений калия в препаратах

Препарат	На этикетке	Определено	Форма нахождения калия
«Магний + Калий»	300 мг	275 мг	Бикарбонат калия (KHCO_3)
Калия оротат	500 мг	408 мкг	Оротат калия ($\text{C}_5\text{H}_3\text{KN}_2\text{O}_4$)
Микройодид 100	100 мкг	140 мг	Йодид калия (KI)

В препарате Калия оротат калий содержится в форме соли с органической кислотой. Соль мало растворима в воде, поэтому полученные результаты занижены по сравнению с указанными на этикетке.

4. Определение содержания калия в продуктах питания

I. Качественное определение ионов калия проводили в следующих продуктах питания:

- картофель;
- курага;
- банан;
- изюм.

Для оценки содержания калия в продуктах были приготовленные водные вытяжки продуктов.

Рисунок 9. Водные вытяжки продуктов питания: кураги, картофеля, изюма и банана соответственно

Для этого брали 100 г продукта, измельчали и заливали кипяченой дистиллированной водой. Затем 2 мл полученных растворов разливали в две пробирки, добавляли $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ и ТФБНа соответственно. Во всех случаях наблюдалось выпадение осадка, но осадок наиболее яркого цвета выпал в пробирках, где находилась водная вытяжка кураги. Таким образом, среди исследуемых продуктов наиболее богата калием курага, затем банан и изюм, наименьшая концентрация калия оказалась в картофеле.

Рисунок 10. Определение ионов калия в растворе KNO_3 (нитрита калия) в продуктах питания: 1) в кураге; 2) в картофеле; 3) в изюме; 4) в банане.

Тем не менее, надо учитывать, что содержание калия в продуктах прежде всего зависит от условий, в которых выращивался продукт и методов его обработки и хранения, поэтому результаты опытов могут отличаться от среднестатистического показателя.

Также мы провели дополнительные опыты на обнаружение ионов калия в водных вытяжках микрокристаллоскопическим способом. Брали пипеткой каплю раствора продукта, наносили на предметное стекло, затем добавляли 1 каплю раствора $Na_2Pb[Cu(NO_2)_6]$ (гексанитрокупрата натрия-свинца). Спустя 20 минут через микроскоп наблюдали появление черных кристаллов квадратной и прямоугольной формы. В итоге наши исследования подтвердили предыдущий вывод: наиболее богата калием курага, менее обогащенными калием являются изюм и банан, меньше всего калия обнаружилось в картофеле.

Рисунок 11. Микрокристаллоскопический метод определения иона калия в водных вытяжках продуктов: 1) курага; 2) картофель; 3) изюм; 4) банан.

Затем проводили количественное определение ионов калия в этих же продуктах питания.

В исследовании использовали водные вытяжки продуктов, полученные в предыдущем опыте. В мерную колбу вместимостью 25,0 мл помещали 2 мл раствора, добавляли 2 мл ТФБНа и доводили до метки дистиллированной водой. Измеряли оптическую плотность полученного раствора на фотоэлектрическом калориметре КФК-2МП. По градуировочному графику (рис.1), определяли содержание ионов калия в продуктах питания. На основании полученных данных рассчитывали содержание калия в 100 г продукта. Результаты данного эксперимента представлены в таблице 5.

Таблица 5

Содержание калия в продуктах питания

Продукт	K^+ , мг/100г
Курага	1050
Изюм	400
Банан	205
Картофель	105

Таким образом, показано, что среди исследуемых продуктов питания наиболее богата ионами калия курага.

Заключение и вывод

Во-первых, научились определять ионы K^+ в растворах с помощью трех способов: микрокристаллоскопическим, кобальтинитритным и тетрафенилборатным методами. Самый чувствительный среди них оказался тетрафенилборатный метод. Также был изучен турбидиметрический метод.

Во-вторых, было определено содержание ионов K^+ в фармацевтических средствах (Доппельгерц актив «Магний + Калий», Микройодид 100 и Калия оротат). Чтобы употреблять суточную норму калия в день, человеку будет достаточно употребить 1 таблетку Микройодида калия в день, а для тех, у кого гипокалиемия, рекомендуется употреблять биологические добавки, такие как Доппельгерц актив «Магний + Калий» или Калия оротат.

В-третьих, было определено содержание ионов K^+ в продуктах питания, таких как картофель, курага, банан и изюм. Наибольшее количество калия было обнаружено в продукте курага (1050 мкг/100г), затем в изюме (400 мкг/100 г) и банане (205 мкг/100 г), продуктом с самой низкой концентрацией калия оказался картофель (105 мкг/100 г), но он самый доступный и дешевый, однако лишнее употребление картофеля приводит к увеличению сахара в крови и набору лишнего веса (крахмал), поэтому необходимо все сбалансировать и продукты питания, и лекарственные препараты (особенно при заболеваниях).

1. Основы аналитической химии: Под ред. Ю. А. Золотова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2004. — 361 с: ил.
2. ГОСТ 23268.7-78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов калия.
3. Н. А. Воронкова, Л. В. Новгородцева, А. А. Мирошниченко «Качественные реакции в химии», 2019
4. Электронный ресурс <https://ru.wikipedia.org/>
5. Электронный ресурс <https://scask.ru/>
6. Электронный ресурс <https://miin.ru/>
7. Электронный ресурс <https://medicina.dobro-est.com/>
8. Электронный ресурс <https://navigator.mosgorzdrav.ru/>
9. Электронный ресурс <https://www.krasotaimedicina.ru/>
10. Электронный ресурс <https://xumuk.ru/encyklopedia/>
11. Электронный ресурс <https://zabolevaniya.net/>