

УДК 543-4

Чай как индикатор кислотности среды

Караксина Ю.А., Бузмакова А.Н.

МБОУ «Гимназия №1», Нижний Новгород, a.n.buzmakova@mail.ru

Аннотация. Данная работа посвящена изучению свойств различных видов чая в качестве индикаторов кислотности среды.

Кислотно-основные индикаторы (рН-индикаторы) — органические вещества, изменяющие свою окраску при изменении кислотности (рН) раствора.

Первые упоминания об индикаторах кислотности среды были сделаны более 350 лет назад, и их активное использование продолжается до сих пор.

Актуальность работы определяется широким применением кислотно-основных индикаторов в качественном и количественном анализе в различных областях науки, например, аналитической химии и биохимии, а также в таких отраслях, как медицина, пищевая промышленность, легкая промышленность и т.д. Преимуществами рН-индикаторов по сравнению с различными приборами по определению кислотности среды являются дешевизна, быстрота и наглядность исследования.

Достоинствами чайного сырья как кислотно-основного индикатора по сравнению с наиболее широко используемыми синтетическими индикаторами является безопасность и доступность в повседневной жизни, поэтому рассмотрение его свойств является актуальным.

Целью работы является определение преимуществ и недостатков различных видов чая как рН-индикаторов в качественной оценке и количественном анализе кислотности раствора.

Ключевые слова: кислотно-основные индикаторы, чай, рН-индикаторов

Tea as an indicator of environmental acidity

Karaksina Y., Buzmakova A.N.

Gymnasium №1, Nizhny Novgorod, a.n.buzmakova@mail.ru

Annotation. This work is devoted to the study of the properties of various types of tea as indicators of the acidity of the environment.

Acid-base indicators (pH indicators) are organic substances that change their color when the acidity (pH) of a solution changes.

The first mentions of environmental acidity indicators were made more than 350 years ago, and their active use continues to this day.

The relevance of the work is determined by the widespread use of acid-base indicators in qualitative and quantitative analysis in various fields of science, for example, analytical chemistry and biochemistry, as well as in such industries as medicine, food industry, light industry, etc. The advantages of pH indicators compared to various devices for determining the acidity of the environment are low cost, speed and clarity of the study.

The advantages of tea raw materials as an acid-base indicator compared to the most widely used synthetic indicators are safety and accessibility in everyday life, so consideration of its properties is relevant.

The purpose of the work is to determine the advantages and disadvantages of various types of tea as pH indicators in the qualitative assessment and quantitative analysis of solution acidity.

Keywords: acid-base indicators, tea, pH indicators

Кислотно-основные индикаторы

Упоминания о кислотно-основных индикаторах в литературе начинаются с середины XVII века. В 1664 году Р. Бойлем была выпущена работа «Experiments and Considerations Touching Colours», в которой описывается изменение цвета некоторых растений при их помещении в растворы с разной средой [1]. Позже, в 1767 году, У. Льюисом была открыта возможность применения растений как кислотно-основных индикаторов в количественном анализе веществ [2].

С ростом химической промышленности в XIX - XX вв. были созданы новые индикаторы, получаемые искусственно, такие как метиловый оранжевый, фенолфталеин, тимолфталеин и др., а также универсальный индикатор, изготавливаемый из смеси нескольких соединений и демонстрирующий несколько плавных изменений цвета в широком диапазоне значений pH среды.

В настоящее время постоянно открываются или синтезируются новые кислотно-основные индикаторы, используемые для разных целей.

Основная область применения pH-индикаторов – аналитическая химия. В данной сфере к индикаторам предъявляются такие требования, как:

- 1) окраска индикатора при близких значениях pH должна явно отличаться;
- 2) изменение цвета индикатора должно происходить резко в небольшом интервале значений pH;
- 3) окраска индикатора должна быть возможно более интенсивной;
- 4) количество щелочи или кислоты, необходимое для изменения окраски индикатора, должно быть настолько мало, чтобы не искажались результаты титрования;
- 5) изменение окраски индикатора должно быть обратимым процессом [3].

Во многих областях промышленности (например, пищевой) важна дешевизна получения и безопасность использования кислотно-основных индикаторов.

Многие искусственные индикаторы, например, фенолфталеин, оказывают отрицательное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды, также стоит отметить довольно сложный синтез некоторых из этих веществ, поэтому природные индикаторы тоже находят широкое применение [4].

В некоторых случаях индикаторы, встречающиеся в природе, оказываются предпочтительнее синтетических ввиду того, что они менее дорогие и/или более безопасные.

Одними из наиболее часто распространенных в природе кислотно-основных индикаторов являются антоцианы – вещества, придающие различным частям растений красный, вишневый, розовый, сиреневый, синий, фиолетовый и голубой цвет [5]. Раствор антоцианов в кислой среде имеет красный цвет, который ослабевает с повышением pH и

становится синим при нейтральной среде [6]. Антоцианы содержатся во многих растениях, в том числе в листьях и цветах гибискуса.

Примерами других природных кислотно-основных индикаторов могут служить азолитмин и эритролитмин, входящие в состав лакмуса, и танины, отвечающие за изменение цвета зеленого и черного чая при изменении pH.

Многие работы [7] [8] показывают, что аналитическая точность природных индикаторов, полученных из различных растений (*Ipomoea biloba*, *Nerium oleander*, *Catharanthus roseus*, *Hibiscus rosa-sinensis*), не уступает точности таких искусственных индикаторов, как метилоранж, метиловый красный и фенолфталеин.

2. Экспериментальная часть

В качестве прибора, определяющего кислотность среды, был выбран pH метр Mettler Toledo FE20-Kit из-за простоты его эксплуатации, доступности, достаточной точности и быстроты измерений и возможности измерения окрашенных растворов.

Для повышения точности измерений перед использованием прибор калибровался по двум точкам при помощи буферных растворов.

Заварка каждого из образцов чая (зеленый чай «Gunpowder Green Tea» и «Чайный напиток Каркадэ») была залита кипящей дистиллированной водой в соотношении 1 грамм чая на 10 граммов воды для получения концентрированного раствора.

Оба раствора охлаждались в течение часа до комнатной температуры, после этого фильтровались через мелкое сито. Очищенные от листков чая растворы перемешивались и использовались в дальнейшем.

Исходный раствор чая был разбавлен дистиллированной водой в 5 раз (для большей наглядности в изменении цвета), по 20 мл данного раствора было налито в 6 одинаковых мерных стаканов.

К трём из стаканов было прилито некоторое количество раствора гидроксида натрия NaOH для создания щелочной среды. Количество приливаемого раствора щелочи определялось видимым изменением окраски получаемого раствора.

К двум стаканам из оставшихся был по такому же принципу добавлен раствор соляной кислоты для создания кислой среды раствора.

Далее, во всех стаканах объём жидкости был доведен до 40 мл дистиллированной водой для поддержания постоянной концентрации индикатора в растворе и более точного сравнения цветов. То есть, в каждом из стаканов на 1 мл исходного раствора приходилось 10 мл воды.

Стаканы с растворами чая (см. Рис. 1) были пронумерованы от 1 до 6 слева направо, после этого в каждом из стаканов был измерен pH при помощи pH-метра. После каждого измерения прибор промывался. Результаты измерений представлены в таблице 1.

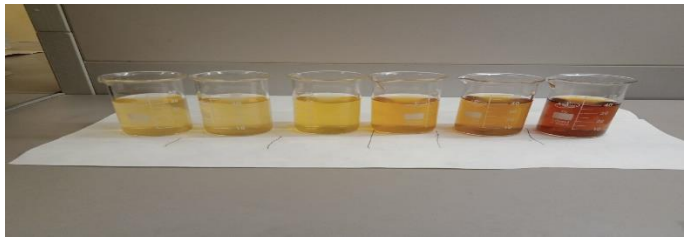


Рис.1 Растворы чая с различным рН среды раствора, нумерация от 1 до 6 слева направо
Таблица № 1

Результаты измерения рН раствора зеленого чая

№ стакана	рН среды раствора в стакане
1	1,92
2	2,32
3	5,63
4	7,63
5	8,81
6	10,94

После чего полученные результаты были соотнесены с фотографией растворов на Рис.2 (показания рН метра округлены до десятых) для получения более наглядной зависимости цвета раствора зеленого чая от рН среды.

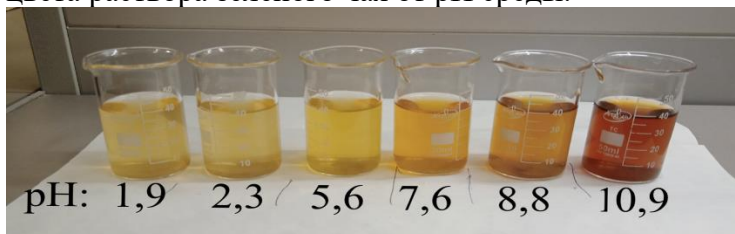


Рис.2 Зависимость цвета раствора зеленого чая от рН

При разбавлении исходного раствора в 5 раз, эффект изменения цвета был малозаметен из-за слишком насыщенного цвета раствора, поэтому раствор разбавился еще в 5 раз (исходный раствор разбавился в 25 раз), и по 20 мл полученного раствора было налито в 7 одинаковых мерных стаканов.

К пяти из семи стаканов было прилито некоторое количество раствора гидроксида натрия NaOH для создания щелочной среды. Количество приливаемого раствора щелочи определялось видимым изменением окраски получаемого раствора.

К одному из оставшихся стаканов был по такому же принципу добавлен раствор соляной кислоты.

Аналогично эксперименту с зелёным чаем, во всех стаканах объём жидкости был доведён до 40 мл. Концентрация итогового раствора 1мл на 50 мл воды.

Стаканы с растворами чая (см. Рис. 3) были пронумерованы от 1 до 7 слева направо, после этого в каждом из стаканов был измерен рН при помощи рН-метра. После каждого измерения прибор промывался. Результаты измерений представлены в таблице 2.

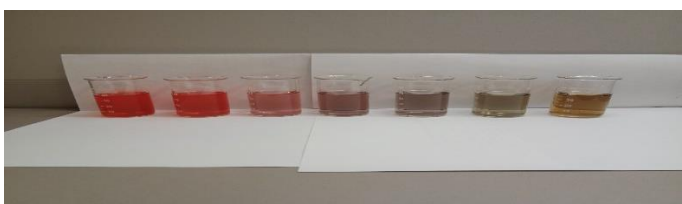


Рис.3 Растворы чая с различным рН среды раствора, нумерация от 1 до 7 слева направо

Таблица № 2

Результаты измерения рН раствора чая Каркадэ

№ стакана	рН среды раствора в стакане
1	1,71
2	3,30
3	4,84
4	6,47
5	7,01
6	7,44
7	9,53

После чего полученные результаты были соотнесены с фотографией растворов на Рис.4 (показания рН метра округлены до десятых) для получения более наглядной зависимости цвета раствора чая Каркадэ от рН среды.

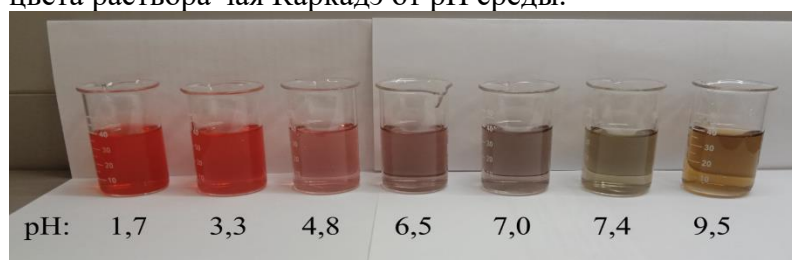


Рис.4 Зависимость цвета раствора чая Каркадэ от рН

Из Рис.1 заметно, что цвет раствора чая изменяется незначительно даже при большом изменении рН (> 2 единиц), поэтому его не имеет смысла применять при количественном анализе из-за сложности фиксирования изменения окраски.

Так как Каркадэ показал резкий переход цвета при малом изменении рН, разумно оценить его свойства как индикатора кислотности среды для количественного анализа.

Для приготовления образца индикатора для титрования небольшая порция исходного раствора красного чая с была доведена до нейтральной среды (рН = 7) раствором NaOH (0,15). Это было необходимо сделать для того, чтобы изначально кислый из-за кислот в листьях и цветах раствор чая не влиял на результаты титрования. Для достижения данного результата в раствор чая медленно добавлялся раствор щелочи и кислотность среды фиксировалась рН-метром до достижения нужного значения.

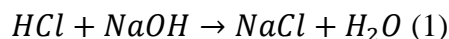
После было проведено три вида титрования:

- 1) Титрование сильной кислоты сильным основанием
- 2) Титрование слабой кислоты сильным основанием
- 3) Титрование слабого основания сильной кислотой

Соли, получаемые в результате данных титрований, имеют нейтральную, щелочную и кислую реакцию среды соответственно, что позволит более точно определить возможности индикатора на основе чая в разных диапазонах рН.

При титровании сильной кислоты сильным основанием происходит реакция нейтрализации, результатом которой является соль с нейтральной реакцией среды и вода.

Для соляной кислоты и гидроксида натрия:



Из уравнения реакции следует:

$$v_{HCl} = v_{NaOH}, \quad (2)$$

где v_{HCl} – количество вещества соляной кислоты в титруемом растворе, v_{NaOH} – количество вещества гидроксида натрия, требуемого на нейтрализацию соляной кислоты

Тогда:

$$V_{HCl} \times C_{HCl} = V_{NaOH} \times C_{NaOH} \quad (3)$$

где V_{HCl} – объем HCl, участвовавший в титровании, C_{HCl} – искомая концентрация HCl, V_{NaOH} – объем NaOH, участвовавший в титровании, C_{NaOH} – молярная концентрация NaOH.

Из уравнения (3):

$$C_{HCl} = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH}}{V_{HCl}} \quad (4)$$

Найдём концентрацию соляной кислоты при помощи титрования с различными индикаторами и сравним её с истинной концентрацией кислоты для нахождения относительной погрешности (ϵ) измерения концентрации соляной кислоты при использовании различных индикаторов и оценки точности действия индикатора на основе чая «Каркадэ».

Изменение цвета индикаторов при титровании (цвет, при достижении которого титрование завершилось):

на основе чая – приобретение розовым раствором серого цвета, так как раствору серого цвета соответствует $pH \approx 7$ (см. Рис. 4);

для фенолфталеина – приобретение бесцветным раствором розового цвета;

метиловый оранжевый – приобретение розовым раствором оранжевого цвета.

Результаты титрований представлены в таблице 3.

Таблица № 3

Результаты титрования сильной кислоты сильным основанием с использованием различных индикаторов

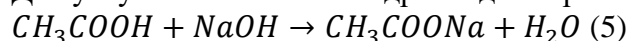
Используемый индикатор	V_{NaOH}	$V_{NaOH}(cp.)$	C_{NaOH}	$V_{HCl}, мл$	$C_{HCl}(cp.), моль/л$	$C_{HCl}(ист.), моль/л$	$\epsilon_{HCl}, \%$
Индикатор на основе чая (роз. → сер.)	7,0	6,9	0,15	10,0	0,10	0,10	3
	6,9						
	6,7						
Фенолфталеин	6,8	6,9	0,15	10,0	0,10	0,10	4
	6,9						
	6,9						
Метиловый оранжевый	6,9	6,8	0,15	10,0	0,10	0,10	2
	6,8						
	6,6						

Где V_{NaOH} – объем гидроксида натрия, пошедшего на титрование, $V_{NaOH}(cp.)$ – усредненный объем гидроксида натрия, пошедшего на титрование, C_{NaOH} – концентрация стандартного раствора гидроксида натрия, $C_{HCl}(cp.)$ – концентрация соляной кислоты, рассчитанная из уравнения (3), $C_{HCl}(ист.)$ – концентрация используемого стандартного раствора соляной кислоты, ϵ_{HCl} – относительная погрешность измерения концентрации соляной кислоты

$$(\epsilon_{HCl} = \frac{|C_{HCl}(cp.) - C_{HCl}(ист.)|}{C_{HCl}(ист.)} \times 100\%).$$

При титровании слабой кислоты сильным основанием происходит реакция нейтрализации, результатом которой является соль, образующая при гидролизе щелочную среду раствора.

Для уксусной кислоты и гидроксида натрия:



Из уравнения реакции:

$$v_{CH_3COOH} = v_{NaOH}, \quad (6)$$

где V_{HCl} – количество вещества уксусной кислоты, участвующей в титровании, V_{NaOH} – количества вещества гидроксида натрия, участвующего в титровании

Тогда

$$V_{CH_3COOH} \times C_{CH_3COOH} = V_{NaOH} \times C_{NaOH} \quad (7)$$

где V_{NaOH} – объем NaOH, участвовавший в титровании, C_{NaOH} – молярная концентрация NaOH, V_{HCl} – объем HCl, участвовавший в титровании, C_{HCl} – искомая концентрация HCl.

Из уравнения (7):

$$C_{CH_3COOH} = \frac{V_{NaOH} \times C_{NaOH}}{V_{CH_3COOH}} \quad (8)$$

Найдем концентрацию уксусной кислоты при помощи титрования с различными индикаторами и сравним с ее истинной концентрацией для оценки точности действия индикатора на основе чая «Каркадэ» (аналогично предыдущему титрованию). В результате того, ацетат натрия имеет слабощелочную реакцию среды, максимальную точность будет давать индикатор, изменение цвета которого также происходит при слабощелочной среде. Базируясь на зависимости, полученной в пункте 2.4, переход раствора чая из розового в серый цвет происходит при $pH \approx 7$, а из серого в зеленый при $pH > 7$, поэтому в данной серии титрований также будет рассмотрен вариант титрования, про котором «Каркадэ» меняет цвет на зеленый.

Полученные результаты титрований представлены в таблице 4.

Таблица № 4

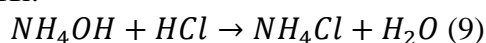
Результаты титрования слабой кислоты сильным основанием с использованием различных индикаторов

Используемый индикатор	$V_{NaOH}, \text{мл}$	$V_{NaOH} \text{ (ср.)}$	$C_{NaOH}, \text{ моль/л}$	$V_{CH_3COOH}, \text{ мл}$	$C_{CH_3COOH} \text{ (ср.)}, \text{ моль/л}$	$C_{CH_3COOH} \text{ (ист.)}, \text{ моль/л}$	$\varepsilon_{CH_3COOH}, \%$
Индикатор на основе чая (роз. → сер.)	7,0	7,1	0,15	10,0	0,11	0,11	4
	7,3						
	6,9						
Индикатор на основе чая (роз. → зел.)	7,5	7,5	0,15	10,0	0,11	0,11	2
	7,5						
	7,4						
Фенолфталеин	7,4	7,4	0,15	10,0	0,11	0,11	1
	7,4						
	7,5						
Метилловый оранжевый	2,2	2,2	0,15	10,0	0,03	0,11	70
	2,4						
	1,9						

Где V_{NaOH} – объем гидроксида натрия, пошедшего на титрование, $V_{NaOH} \text{ (ср.)}$ – усредненный объем гидроксида натрия, пошедшего на титрование, C_{NaOH} – концентрация стандартного раствора гидроксида натрия, $C_{CH_3COOH} \text{ (ср.)}$ – концентрация соляной кислоты, рассчитанная из уравнения (3), $C_{CH_3COOH} \text{ (ист.)}$ – концентрация используемого стандартного раствора соляной кислоты, ε_{CH_3COOH} – относительная погрешность измерения концентрации соляной кислоты

$$(\varepsilon_{CH_3COOH} = \frac{|C_{HCl} \text{ (ср.)} - C_{HCl} \text{ (ист.)}|}{C_{HCl} \text{ (ист.)}} \times 100\%).$$

При титровании слабого основания сильной кислотой образуется соль, которая гидролизует по катиону, pH раствора такой соли > 7 . Для гидроксида аммония и соляной кислоты:



Из уравнения реакции:

$$V_{NH_4OH} = V_{HCl}, \quad (10)$$

где V_{NH_4OH} – количество вещества гидроксида аммония, участвующего в титровании,

V_{HCl} – количество вещества соляной кислоты, участвующей в титровании

Тогда

$$V_{NH_4OH} \times C_{NH_4OH} = V_{HCl} \times C_{HCl} \quad (11)$$

где V_{NaOH} – объем NaOH, участвовавший в титровании, C_{NaOH} – молярная концентрация NaOH, V_{HCl} – объем HCl, участвовавший в титровании, C_{HCl} – искомая концентрация HCl.

Из уравнения (11):

$$C_{NH_4OH} = \frac{V_{HCl} \times C_{HCl}}{V_{NH_4OH}} \quad (12)$$

Найдем концентрацию уксусной кислоты при помощи титрования с различными индикаторами и сравним с ее истинной концентрацией для оценки точности действия индикатора на основе чая Каркадэ. В результате того, хлорид аммония имеет слабокислую реакцию среды, максимальную точность будет давать индикатор, изменение цвета которого также происходит при слабокислой среде, поэтому переход чая из розового в зеленый цвет не рассматривается. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица № 5

Результаты титрования слабого основания сильной кислотой с использованием различных индикаторов

Используемый индикатор	V_{HCl}	V_{HCl} (ср.)	C_{HCl}	V_{NH_4OH} , мл	C_{NH_4OH} (ср.), моль/л	C_{NH_4OH} (ист.), моль/л	ΔC_{NH_4OH} , %
Индикатор на основе чая (красн. → сер.)	9,7	9,5	0,10	10	0,10	0,10	5
	9,6						
	9,3						
Фенолфталеин	9,0	9,1	0,10	10	0,09	0,10	10
	9,1						
	9,1						
Метиловый оранжевый	10,2	10,2	0,10	10	0,10	0,10	2
	10,1						
	10,2						

Где V_{HCl} – объем соляной кислоты, пошедшей на титрование, $V_{HCl}(ср.)$ – усредненный объем соляной кислоты, пошедшей на титрование, C_{NH_4OH} – концентрация стандартного раствора гидроксида аммония, $C_{NH_4OH}(ср.)$ – концентрация гидроксида аммония, рассчитанная из уравнения (3), $C_{NH_4OH}(ист.)$ – концентрация используемого стандартного раствора гидроксида аммония, $\varepsilon_{C_{NH_4OH}}$ – относительная погрешность измерения концентрации гидроксида аммония ($\varepsilon_{C_{NH_4OH}} = \frac{|C_{NH_4OH}(ср.) - C_{NH_4OH}(ист.)|}{C_{NH_4OH}(ист.)} \times 100\%$).

Выводы

1) Зеленый чай

Несмотря на то, что зеленый чай (Рис.2) изменяет цвет при изменении кислотности среды, это происходит постепенно (нет резких переходов цвета) и не очень значительно (представляется сложным отличить цвет даже при достаточном большом разбросе pH). Из этого можно сделать вывод, что зеленый чай не является хорошим кислотно-основным индикатором и не может успешно использоваться в количественном анализе. Тем не менее, он может применяться для приблизительной оценки кислотности среды.

2) Чай Каркадэ

Чай из гибискуса показал хорошие результаты при первичной оценке (Рис.4). Цвет его раствора изменяется обратимо, резко и значительно (широкий диапазон оттенков).

Также было выяснено, что при количественном анализе точность кислотно-основного титрования с использованием индикатора на основе Каркадэ не уступает по точности титрованию с использованием метилоранжа и фенолфталеина. Плюсами индикатора на основе Каркадэ являются его нетоксичность при использовании и доступность, а также два диапазона изменения цвета (с красного/розового на серый и с серого на зеленый), первый из которых происходит при нейтральной кислотности среды.

Тем не менее, окраска полученного индикатора несколько менее интенсивная, чем окраска фенолфталеина и метилоранжа, что является минусом при его использовании, так как требуется большее количество индикатора, что может влиять на результаты титрования.

Заключение

В работе были рассмотрены принцип действия и требования, предъявляемые к кислотно-основным индикаторам в количественном анализе, на основе которых были оценены индикаторные свойства зеленого чая и чая «Каркадэ» (гибискус).

Для первичного определения индикаторных свойств чая были определены зависимости цвета их растворов от кислотности среды, и, при получении хороших результатов на этом этапе, проверена точность действия индикаторов на основе чая в количественном анализе (кислотно-основное титрование разных по силе кислот и оснований).

Литература

1. Даминев Р. Р., Иванов А. Н. и др. Природные кислотно-основные индикаторы на основе антоцианов в работах учёных Индии// Бутлеровские сообщения. 2015. Т.43. №8, с.30-35.
2. Новиков А.Ф. Цвет молекул. Время. Свет//Серия «Выдающиеся ученые Национального исследовательского университета ИТМО», выпуск 16. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011
3. Абдрахманова, Г. А. Исследование возможности замены синтетических индикаторов натуральными// Молодой ученый. — 2014. — № 19 (78) с. 49-52
4. Блинохватова Ю. В., Вихрева В. А., Клейменова Т. В., Марковцева О. В. Химия неорганическая и аналитическая: методические указания — М., 2017
5. Болотов В.М., Нечаев А.П., Сарафанова Л.А. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение. СПб., 2008
6. Основы аналитической химии /Под ред. Ю. А. Золотова. — М., 2012
7. Ветчинский К.М. Растительный индикатор. – М.: Просвещение, 2002
8. Карцова А.А. Химия без формул или знакомые незнакомцы. – СПб, 2005