

ISSN 1561-8331 (Print)

ISSN 2524-2342 (Online)

УДК 547.564.33:577.21:616-074

<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-46-52>

Поступила в редакцию 03.09.2018

Received 03.09.2018

Ю. В. Матвейчук, **Е. М. Рахманько**

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

ПИКРИНОВАЯ КИСЛОТА: ЕЕ ЭКСТРАКЦИОННАЯ ОЧИСТКА ОТ ДИНИТРОФЕНОЛОВ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. Разработана методика экстракционной очистки пикриновой кислоты от примесей динитрофенолов с помощью диэтилового эфира при pH 3. Очищенную пикриновую кислоту применяли для определения креатинина по реакции Яффе на модельных системах и экстракционно-фотометрического определения основного вещества в высших четвертичных аммониевых солях (ЧАС) и примесей аминного характера в них. Показано, что на чувствительность определения креатинина влияет как чистота, так и концентрация пикриновой кислоты. Установлено, что для определения креатинина необходимо использовать раствор HPic с концентрацией 0,035 моль/л. Определение аминов в ЧАС и основного вещества также необходимо проводить только очищенной пикриновой кислотой во избежание искажения результатов.

Ключевые слова: пикриновая кислота, динитрофенол, креатинин, четвертичная аммониевая соль

Для цитирования. Матвейчук, Ю. В. Пикриновая кислота: ее экстракционная очистка от динитрофенолов и аналитическое применение / Ю. В. Матвейчук, Е. М. Рахманько // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2018. – Т. 54, № 4. – С. 46–52. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-46-52>

Yu. V. Matveichuk, **E. M. Rakhman'ko**

Belarusian State University, Minsk, Belarus

PICRIC ACID: ITS EXTRACTION PURIFICATION FROM DINITROPHENOLS AND ANALYTICAL APPLICATIONS

Abstract. A procedure of extraction purification of picric acid from impurities of dinitrophenols with diethyl ether at pH = 3 has been developed. Purified picric acid was used to determine the creatinine by the Jaffe reaction on model systems and the extraction-photometric determination of the basic substance in higher quaternary ammonium (QAS) and amine impurities in them. It was shown that both the purity and the concentration of picric acid affect the sensitivity of the creatinine quantification. It was found that to determine creatinine, a solution of HPic with a concentration of 0,035 mol/l should be used. The determination of amines in the QAS and basic substance is also necessary to be carried out only with purified picric acid to avoid distortion of the results.

Keywords: picric acid, dinitrophenol, creatinine, quaternary ammonium salt

For citation. Matveichuk Yu. V., Rakhman'ko E. M. Picric acid: its extraction purification from dinitrophenols and analytical applications. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 46–52 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-1-46-52>

Введение. Достаточно широкое применение пикриновая кислота (2,4,6-тринитрофенол, HPic) находит в аналитической химии. В работе [1] изучалась анионообменная экстракция пикрат-ионов с помощью четвертичных аммониевых солей (ЧАС), которые являются гидрофобными органическими ионами и имеют высокое сродство к органической фазе ионообменника. Пикриновая кислота применяется для фотометрического определения лекарственных средств, например производных фенотиазина, которые образуют с HPic оранжевые кристаллические соединения [2].

В работе [3] предлагается использовать HPic в качестве катализатора фотодеградации сульфадиазина, использующегося в качестве антибактериального средства. Кроме того, важной областью применения HPic является лабораторная клиническая диагностика, в частности, определение креатинина фотометрическим методом, основанное на реакции Яффе [4]. Креатинин, взаимодействуя с хиноидной формой HPic, образует пикрат креатинина, который в щелочной среде превращается в свою таутомерную форму, имеющую оранжево-красный цвет (интенсивность

окраски пропорциональна концентрации креатинина). Также пикриновая кислота (точнее, ее соль – пикрат натрия) находит применение для определения аминов ЧАС [5, 6].

Одним из основных способов синтеза НРіс является последовательная обработка фенола серной и азотной кислотами. На первой стадии происходит сульфирование фенола до моно- и дисульфокислот, на второй – идет нитрование фенолсульфокислот с отщеплением сульфогрупп и образованием тринитрофенола. Основными примесями в НРіс являются нитрофенолы, главным образом динитрофенолы. Очевидно, что качество НРіс играет важную роль при определении креатинина, особенно примесей аминов в ЧАС и основного вещества.

Чистота ЧАС – одно из основных условий их эффективного применения для изготовления мембран ионоселективных электродов и анионообменных (экстракционных) систем. В конечном продукте синтеза ЧАС всегда содержится значительное количество аминов: первичных, вторичных, третичных. В данной работе разработана методика экстракционной очистки пикриновой кислоты от динитрофенолов. Очищенную НРіс применяли для определения креатинина в модельных растворах и содержания основного вещества в ЧАС, а также примесей аминного характера в них.

Материалы и методы исследования. Используемые реактивы: гексан (ч.д.а.), диэтиловый эфир (ч.д.а.), 2,4-динитрофенол (2,4-ДНФ) (ч.д.а.), серная кислота (х.ч.), изопропиловый спирт (х.ч.), нитрат серебра (ч.), иодид калия (фиксанал), гидроксид натрия (ч.д.а.), пикриновая кислота (ч.) (ЗАО «Вектон») и синтезированная пикриновая кислота.

Растворы: 0,1 моль/л НРіс, а также 0,035; 0,0175; 0,00875 моль/л НРіс, приготовленные из очищенной пикриновой кислоты (ЗАО «Вектон» и синтезированной), 0,1 моль/л 2,4-ДНФ, 0,1 моль/л NaOH, 0,32 моль/л NaOH, H₂SO₄ (1:3), 177 мкмоль/л креатинин.

Использованные ЧАС: R-триоктадециламмоний (ТОД), R-трицетиламмоний (ТЦ), R-трилауриламмоний (ТЛ), тринилоктадециламмоний (ТНОДА), R-трибутиламмоний (ТБ), R-триэтиламмоний (ТЭ), R-триметиламмоний (ТМ), 4(3,4-дихетоксифенил)бутилтриметиламмоний (ДЦФБТМ), 5(1,2,3-трилаурилокси)(оксиэтил)_nбензилтриметиламмоний ((оксиэтил)_nТМ), где R-3,4,5-трис(додецилокси)бензил-радикал.

Экстракционно-фотометрическое определение основного вещества в ЧАС и примесей аминов проводили при температуре 23±1 °С; оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Solar PB 2201 при длине волны 410 нм, кювета 1 см.

В качестве референтного метода определения основного вещества в ЧАС использовали осадительное потенциометрическое титрование с помощью стандартного раствора нитрата серебра (стандартизировали потенциометрически по иодиду калия). Потенциал измеряли с помощью иономера М-160.1 МП, в качестве измерительного использовали серебряный электрод, в качестве вспомогательного – хлоридсеребряный ЭВЛ-1М3.1; для измерения рН – стеклянный электрод ЭСЛ-43–07СР.

Методика экстракционной очистки пикриновой кислоты. Поскольку пикриновая кислота хранится под слоем воды, то перед работой сушили ее между листами фильтровальной бумаги. Обычно пикриновая кислота содержит около 25 % влаги, содержание которой учитывали при взятии навески. Точную концентрацию НРіс и 2,4-ДНФ устанавливали по результатам потенциометрического титрования с помощью иономера И-160.1МП (в качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный электрод ЭВЛ-1М3.1, для определения рН – стеклянный электрод ЭСЛ-43–07СР).

Спектры поглощения растворов НРіс и 2,4-ДНФ записывали на спектрофотометре Solar PB 2201 (кювета 1 см) в диапазоне длин волн от 280 до 450 нм.

Из исходных 0,1 моль/л растворов НРіс и 2,4-ДНФ готовили 0,0001 моль/л растворы, в которых создавали рН, приблизительно равный 9–10. Одним из самых важных условий проведения экстракционной очистки является подбор оптимального рН, для чего отбирали по 10 мл полученных растворов и создавали в них различные значения рН (с помощью раствора NaOH или H₂SO₄). Затем вносили полученный раствор в делительную воронку и добавляли 10 мл экстрагента (гексан или диэтиловый эфир), встряхивали в течение минуты. После расслаивания отбирали 8 мл органической фазы, которую обрабатывали 8 мл 0,01 моль/л раствора NaOH (рН ≈ 11–11,5)

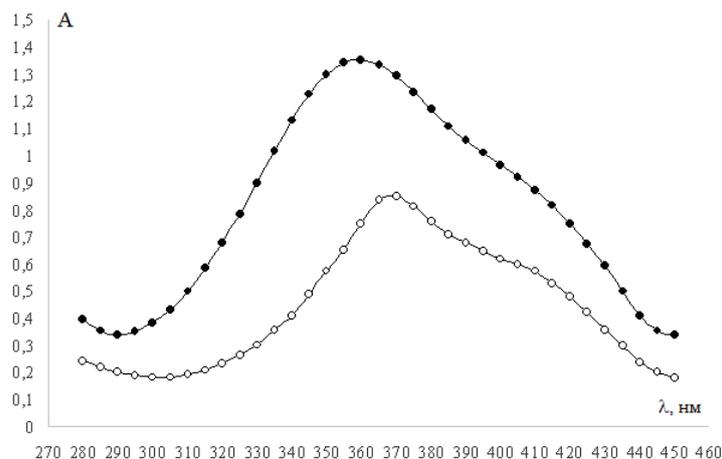


Рис. 1. Спектры поглощения (0,0001 моль/л): 1 – пикрат-ионов, 2 – 2,4-динитрофенолят-ионов в водных растворах
 Fig. 1. Absorption spectra (0.0001 mol/L) of 1 – picrate ions, 2 – 2,4-dinitrophenolate ions in aqueous solutions

с целью реэкстракции перешедших в органическую фазу динитрофенолов. Измеряли оптическую плотность в водной фазе как оставшейся после экстракции ($A_{\text{после экстр}}$), так и в полученном щелочном реэкстракте ($A_{\text{реэкстр}}$). Водную фазу, оставшуюся после экстракции, также подщелачивали до $\text{pH} \approx 11$. Коэффициент распределения (D) рассчитывали по формуле:

$$D = \frac{A_{\text{реэкстр}}}{A_{\text{после экстр}}} \cdot n,$$

где n учитывает разбавление водной фазы гидроксидом натрия после экстракции.

Методика изучения влияния пикриновой кислоты на реакцию Яффе. Данный блок исследований связан с проверкой качества очищенной пикриновой кислоты по приведенной выше методике и проводился согласно ТУ ВУ 100117887.084–2008 «Набор реактивов для определения креатинина в биологических жидкостях».

Растворы пикриновой кислоты (0,035; 0,0175; 0,00875 моль/л) и гидроксида натрия (0,32 моль/л) прогревали до температуры измерения оптической плотности в помещении лаборатории (23 °С). В емкости из темного стекла смешивали пикриновую кислоту (каждой концентрации в отдельности) и гидроксид натрия в соотношении 1:1. Полученный раствор использовали не раньше, чем через 20 мин после приготовления и хранили не более 5 ч в плотно закупоренной склянке. В табл. 1 представлены анализируемые системы.

Таблица 1. Анализируемые системы
 Table 1. Analyzed systems

Объем креатинина, мл	Объем рабочего раствора, мл
0,1	1,9
0,2	1,8
0,3	1,7
0,4	1,6
0,5	1,5
1	1
1,5	0,5

Перед измерением оптической плотности смешивали поочередно соответствующий объем креатинина и рабочего раствора. Измерения оптической плотности (A) проводили через 50 и 150 с при длине волны 500 нм. По результатам измерений строили график зависимости ΔA ($\Delta A = A(150 \text{ с}) - A(50 \text{ с})$) от V (креатинина), мл. В качестве стандарта использовали 0,035 моль/л раствор пикриновой кислоты из диагностического набора реагентов для определения креатинина в биологических жидкостях (производитель НТПК «Анализ Х», г. Минск).

Методика потенциометрического определения содержания основного вещества в ЧАС. По точной навеске готовили 0,01 моль/л растворы ЧАС в изопропиловом спирте. Отбирали аликвоты растворов ЧАС объемом 10,0 мл, которые титровали 0,0102 моль/л раствором нитрата серебра. Определив объем нитрата серебра в точке эквивалентности, рассчитывали содержание основного вещества.

Методика экстракционно-фотометрического определения содержания основного вещества в ЧАС. Сущность методики заключается в том, что амины в щелочной среде гидролизуются и не переходят в пикратную форму, тогда как высшие ЧАС, независимо от среды, образуют ассоциаты $\text{ЧАС}^+\text{Pic}^-$.

По точной навеске готовили $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л растворы ЧАС в толуоле в мерных колбах объемом 25,0 мл (при необходимости растворы нагревали для увеличения растворимости ЧАС) и $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л растворы пикрата натрия с рН 5,5–5,6 и рН 11–11,2 (раствор пикрата натрия получали путем кислотно-основного потенциометрического титрования HPic гидроксидом натрия до соответствующего значения рН с помощью иономера М-160.1 МП; в качестве измерительного использовали стеклянный электрод ЭСЛ-43–07СР, в качестве вспомогательного – хлоридсеребряный электрод ЭВЛ-1МЗ.1). Затем в делительные воронки отбирали по 10,0 мл растворов ЧАС и обрабатывали дважды 10 мл пикрата натрия с рН 5,5–5,6, встряхивая содержимое в течение 5 мин (аналогично проводили обработку ЧАС пикратом натрия с рН 11–11,2). После встряхивания и расслоения водной и органической фаз определяли оптическую плотность (A) органической фазы на спектрофотометре Solar PB 2201 при длине волны 410 нм (кювета 10 мм). При рН 11–11,2 в пикратную форму переходят только катионы высших ЧАС, тогда как при рН 5,5–5,6 – как ЧАС, так и амины. Таким образом, в щелочной среде возможно определение содержания основного вещества в ЧАС (мас.%) по формуле:

$$\omega = \frac{CMV}{m}, \quad (3.1)$$

где C – концентрация ЧАС в толуоле после обработки толуольной фазы пикратом натрия с рН 11–11,2, моль/л; M – молярная масса ЧАС, г/моль; V – объем изначально приготовленного раствора ЧАС по навеске, мл; m – масса ЧАС, растворенной в толуоле, г.

Массовую долю аминов (мас.%) определяли по разности концентраций ЧАС, полученной после обработки пикратом натрия при рН 5,5–5,6 и 11–11,2. Молярный коэффициент поглощения раствора пикрата ТНОДА в гексане равен 8070 (по результатам потенциометрического осадительного титрования иодид ТНОДА содержит не менее 99,6 % основного вещества, в связи с чем ТНОДА был выбран в качестве «стандарта» для определения молярного коэффициента поглощения) [65–А].

Результаты и их обсуждение. Диссоциативная экстракция – один из лучших методов разделения веществ по способности их к диссоциации. Зависимость коэффициента распределения D кислот (HPic и 2,4-ДНФ) от рН ($[\text{H}^+]$) описывается уравнением:

$$D = \frac{P}{1 + \frac{K_d}{[\text{H}^+]}} \quad (1)$$

где P – константа распределения; K_d – константа диссоциации кислоты.

При условии, когда $\text{pH} \gg \text{p}K_d$, уравнение (1) преобразуется в следующее уравнение:

$$D = P \frac{[\text{H}^+]}{K_d} \quad (2)$$

если же $\text{pH} \ll \text{p}K_d$, то уравнение (2) имеет вид: $D = P$.

В нашем случае для разделения HPic и 2,4-ДНФ можно воспользоваться тем, что они заметно различаются по силе. Согласно [7], $\text{p}K_d$ (HPic) составляет 0,3, тогда как $\text{p}K_d$ (2,4-ДНФ) равно 4,02. В качестве экстрагентов применяли гексан и диэтиловый эфир, отличающиеся низкой темпера-

турой кипения. В табл. 2 обобщенно представлены данные значения коэффициентов распределения D для НРiс и 2,4-ДНФ, как основной примеси в экстракционных системах гексан–вода и диэтиловый эфир–вода. Из табл. 2 видно, что экстракцию динитрофенолов предпочтительнее проводить с помощью диэтилового эфира при pH 3.

Значение константы распределения P для НРiс в системе гексан–вода составляет $0,31 \pm 0,03$, для 2,4-ДНФ – $1,8 \pm 0,4$; для НРiс в системе диэтиловый эфир–вода составляет 30 ± 4 , для 2,4-ДНФ – 6 ± 1 .

Т а б л и ц а 2. Значения коэффициентов распределения D НРiс и 2,4-динитрофенола в системах гексан–вода и диэтиловый эфир–вода

Table 2. Distribution coefficients of D НРiс and 2,4-dinitrophenol in the hexane-water and diethyl ether-water systems

Гексан – экстрагент					
Значение pH					
Вещество, значение D	2	3	3,5	4	4,5
НРiс, $D_{\text{эксп}}$	$(6,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-3}$	–	–	–	–
НРiс, $D_{\text{расчет}}$	$(6,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-3}$	$(6,2 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$	$(2,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$	$(6,2 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$	$(2,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-5}$
2,4-ДНФ, $D_{\text{эксп}}$	$1,81 \pm 0,32$	$1,20 \pm 0,35$	$0,91 \pm 0,23$	–	$0,14 \pm 0,03$
2,4-ДНФ, $D_{\text{расчет}}$	$1,7 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,1$	$0,58 \pm 0,10$	$0,12 \pm 0,03$
Диэтиловый эфир – экстрагент					
Значение pH					
Вещество, значение D	2	3	3,5	4	4,5
НРiс, $D_{\text{эксп}}$	$0,75 \pm 0,10$	$0,10 \pm 0,02$	–	–	–
НРiс, $D_{\text{расчет}}$	$0,059 \pm 0,1$	$0,06 \pm 0,03$	$(1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$	$(6,0 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$(1,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$
2,4-ДНФ, $D_{\text{эксп}}$	–	$5,5 \pm 1,1$	$3,5 \pm 1,2$	$3,0 \pm 1,2$	$0,9 \pm 0,2$
2,4-ДНФ, $D_{\text{расчет}}$	6 ± 1	$5,45 \pm 1,10$	$3,0 \pm 0,8$	$2,9 \pm 1,0$	$1,3 \pm 0,3$

Гексан значительно слабее экстрагирует НРiс, чем 2,4-ДНФ, так как в случае гексана NO_2 -группа вносит отрицательный вклад в величину P , а также OH -группа пикриновой кислоты значительно более полярна, чем у 2,4-ДНФ, поэтому и ее вклад более отрицательный. В связи с этим $P(\text{НРiс})$ для системы гексан–вода в 6 раз меньше, чем 2,4-ДНФ.

Из табл. 2 видно, наиболее селективно отделение 2,4-ДНФ осуществляется в системе гексан–вода, однако значение D для 2,4-ДНФ невысокое. Что потребует многократной экстракции. Поэтому предпочтительнее использовать экстракционную систему диэтиловый эфир–вода, для которой за однократную экстракцию при pH 3 можно извлечь до 90 % 2,4-ДНФ (двукратная экстракция позволит извлечь до 99 %), что достаточно для отделения его небольших количеств.

Диэтиловый эфир обладает лучшей экстракционной способностью по сравнению с гексаном, так как содержит атом кислорода, который способен усиливать сольватацию по атому водорода кислот (НРiс и 2,4-ДНФ), причем НРiс экстрагируется сильнее (D в 7 раз больше, чем для 2,4-ДНФ), так как НРiс более сильная кислота.

Для получения больших количеств очищенной пикриновой кислоты готовили 0,1 моль/л исходные растворы пикрата натрия, в которых создавали pH $3 \pm 0,1$. Затем отбирали по 250 мл полученного раствора и добавляли 250 мл диэтилового эфира, также встряхивали в течение минуты. После расслаивания промывали органическую фазу 0,01 моль/л NaOH. Оставшийся водный раствор после экстракции обрабатывали серной кислотой (1:3) до pH $\approx 0,5$, при этом выпадали кристаллы НРiс, которые переносили на бумажный фильтр.

Очищенную НРiс применяли для определения креатинина. На рис. 2 представлена зависимость ΔA от V (креатинина). Видно, что очищенная НРiс (рис. 2, зависимости 1, 2) и НРiс из диагностического набора (рис. 2, зависимость 3) дают очень близкие значения A (ΔA). Также наблюдается зависимость A от концентрации креатинина (в широком диапазоне) при различных концентрациях НРiс. Повышение концентрации НРiс в 2 и 4 раза не приводит к увеличению наклона кривых (рис. 2, зависимости 4–7), тогда как уменьшение концентрации НРiс в 2 раза (рис. 2, зависимости 9 и 10) приводит к уменьшению крутизны прямых и, как следствие, снижению

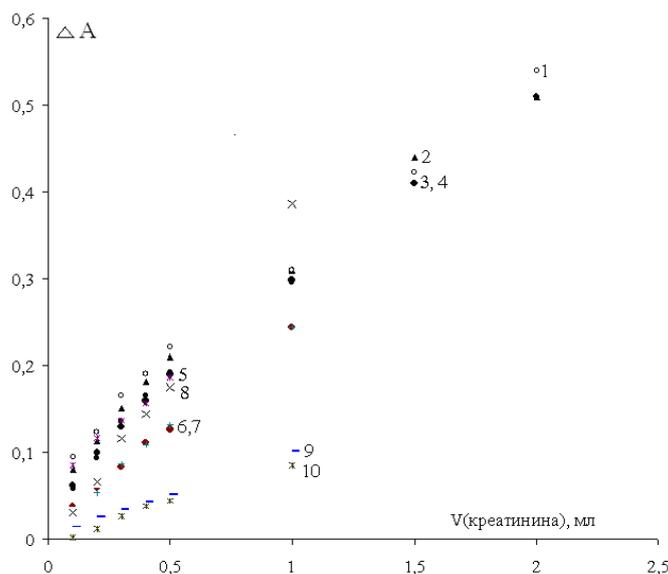


Рис. 2. Зависимость ΔA от $V(\text{креатинина})$, мл при использовании: 1 – очищенной НРiс 0,035 моль/л («Вектон»), 2 – очищенной синтезированной НРiс 0,035 моль/л, 3 – 0,035 моль/л НРiс из диагностического набора реагентов, 4 – очищенной НРiс 0,07 моль/л («Вектон»), 5 – очищенной синтезированной НРiс 0,07 моль/л, 6 – очищенной синтезированной НРiс 0,0175 моль/л, 7 – очищенной НРiс 0,0175 моль/л («Вектон»), 8 – неочищенной НРiс 0,035 моль/л, 9 – очищенной синтезированной НРiс 0,00875 моль/л, 10 – очищенной НРiс 0,00875 моль/л («Вектон»)

Fig. 2. The dependence of ΔA on $V(\text{creatinine})$, ml when using: 1 – purified НРiс 0.035 mol / l («Vecton»), 2 – purified synthesized НРiс 0.035 mol / l, 3 – 0.035 mol / l НРiс from the diagnostic reagent kit, 4 – purified НРiс 0.07 mol / l («Vecton»), 5 – purified synthesized НРiс 0.07 mol / l, 6 – purified synthesized НРiс 0.0175 mol / l, 7 – purified НРiс 0.0175 mol / l («Vecton»), 8 – crude НРiс 0.035 mol / l, 9 – purified synthesized НРiс 0.00875 mol / l, 10 – purified НРiс 0.00875 mol / l («Vecton»)

чувствительности определения креатинина. Применение неочищенной НРiс также снижает крутизну прямой (рис. 2, зависимость 8), что нежелательно.

В табл. 3 обобщены результаты экстракционно-фотометрического определения содержания основного вещества в ЧАС и аминов с помощью очищенной НРiс, а также результаты референтного потенциометрического осадительного титрования. Результаты экстракционно-фотометрического и титриметрического определения основного вещества в ЧАС согласуются между собой.

Таблица 3. Результаты по определению примесей аминов и основного вещества в высших ЧАС
Table 3. Results for the determination of amine impurities and the main substance in higher QAS

ЧАС	Содержание ЧАС, мас.%		Содержание аминов, мас.%
	экстракционно-фотометрическое определение	осадительное титрование	
ТОД	73,3	72,5	0,8
ТЦ	53,0	48,8	0,4
ТЛ	97,1	99,0	0,5
ТНОДА	–	99,6	0,4
ТБ	95,8	96,1	2,6
ТЭ	93,0	91,7	1,3
ТМ	75,5	76,1	1,6
ДЦФБТМ	17,7	21,1	2,4
(оксиэтил) ₂ ТМ	72,8	74,2	0,9
(оксиэтил) ₃ ТМ	65,8	68,2	1,2
(оксиэтил) ₄ ТМ	68,2	66,9	1,4

Выводы. Разработана методика экстракционной очистки НРiс от примесей динитрофенолов. Подобран экстрагент – диэтиловый эфир и условия экстракции – рН 3. Очищенную НРiс применяли для определения креатинина по реакции Яффе на модельных системах. Показано, что на чувствительность определения креатинина влияет концентрация НРiс. Установили, что

для определения креатинина необходимо использовать раствор НРіс с концентрацией не менее 0,035 моль/л, более высокая концентрация НРіс не влияет на чувствительность определения. Применение неочищенной НРіс приводит к уменьшению чувствительности определения. Кроме того, очищенную НРіс применяли для экстракционно-фотометрического определения примесей аминов и основного вещества в ЧАС, находящихся в хлоридной, бромидной или иодидной формах. Для оценки достоверности полученных результатов использовали потенциометрическое осадительное титрование с нитратом серебра. Результаты обоих методик согласуются между собой.

Список использованных источников

1. Полищук, С. В. Применение анионообменных экстракционных систем для оценки параметров гидратации анионов / С. В. Полищук, Е. М. Рахманько // Журн. физ. химии. – 1991. – Т. 65, № 7. – С. 1891–1896.
2. Tarasiewicz M. Application of picric acid to the extraction colorimetric determination of phenothiazine derivatives / M. Tarasiewicz, H. Puzanowska-Tarasiewicz // *Microchim. Acta.* – 1973. – Vol. 61, № 5. – P. 721–728. <https://doi.org/10.1007/bf01218131>
3. Photodegradation of sulfadiazine catalyzed by p-benzoquinones and picric acid: application to charge transfer complexes / A. M. Mansour [et al.] // *RSC Adv.* – 2017. – Vol. 63, № 7. – P. 39989–39996. <https://doi.org/10.1039/c7ra05433e>
4. Креатинин. Методы определения и возможные ошибки / Л. М. Александрова [и др.] // *Лабораторна діагностика.* – 2011. – Т. 55, № 1. – С. 49–53.
5. Рахманько, Е. М. Применение кислотных красителей для определения микроколичеств высших четвертичных аммониевых солей в присутствии макроколичеств первичных, вторичных и третичных аминов / Е. М. Рахманько, Г. Л. Старобинец, Ж. С. Сорока // *Журн. аналит. химии.* – 1978. – Т. 33, № 11. – С. 2213–2217.
6. Рахманько, Е. М. Определение микропримесей высших аминов в высших четвертичных аммониевых солях / Е. М. Рахманько, Г. Л. Старобинец, С. М. Лещёв // *Журн. аналит. химии.* – 1979. – Т. 34, № 11. – С. 2244–2249.
7. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

References

1. Polishchuk S. V., Rakhman'ko E.M. Use of anion-exchange extraction systems for the evaluation of anion hydration parameters. *Zhurnal fizicheskoi khimii = Russian Journal of Physical chemistry*, 1991, vol. 65, no. 7, pp. 1891–1896 (in Russian).
2. Tarasiewicz M., Puzanowska-Tarasiewicz H. Application of picric acid to the extraction colorimetric determination of phenothiazine derivatives // *Mikrochimica Acta*, 1973, vol. 61, no. 5, pp. 721–728. <https://doi.org/10.1007/bf01218131>
3. Mansour A. M., Soliman F. A., Shehab O. R., Abdel-Ghani N. T. Photodegradation of sulfadiazine catalyzed by p-benzoquinones and picric acid: application to charge transfer complexes. *RSC Advances*, 2017, vol. 63, no. 7, pp. 39989–39996. <https://doi.org/10.1039/c7ra05433e>
4. Aleksandrova L. M., Bilenets S. I., Habur T. A., Aristova Ye. Yu., Gavrilyuk L. S., Drobina A. L., Buzyrevskii V. O. Creatinine. Methods of detection and possible errors. *Laboratorna diagnostika [Laboratory diagnostics]*, 2011, vol. 55, no. 1, pp. 49–53 (in Russian).
5. Rakhman'ko E. M., Starobinets G. L., Soroka Z. S. Application of acidic dyes for determining micro amounts of higher quaternary ammonium salts in the presence of macro amounts of secondary or tertiary amines. *Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry*, 1978, vol. 33, no. 11, pp. 2213–2217 (in Russian).
6. Rakhman'ko E. M., Starobinets G. L., Leshchev S. M. Determination of high amines as microimpurities in high quaternary ammonium salts. *Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry*, 1979, vol. 34, no. 11, pp. 2244–2249 (in Russian).
7. Lurye Yu. Yu. *Handbook of Analytical Chemistry*. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 448 p. (in Russian).

Информация об авторах

Матвейчук Юлия Владимировна – канд. хим. наук, доцент, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Yu_Matveychuk@mail.ru

Рахманько Евгений Михайлович – д-р хим. наук, профессор, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск, Республика Беларусь).

Information about the authors

Yulya V. Matveychuk – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Belarusian State University (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Yu_Matveychuk@mail.ru

Evgenii M. Rakhman'ko – D. Sc. (Chemistry), Professor, Belorussian State University (14, Leningradskaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus).