

# Проточно-инжекционное амперометрическое определение 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и аскорбиновой кислоты, на планарном электроде, модифицированном частицами бинарной системы «золото – палладий»

Л. Г. Шайдарова, д. х. н.<sup>1, 2</sup>, И. А. Челнокова, к. х. н.<sup>1</sup>,  
Ю. А. Лексина, к. х. н.<sup>1</sup>, Д. Ю. Хайруллина<sup>1</sup>, Г. К. Будников, д. х. н.<sup>1</sup>

УДК 543.553:543.068.3

5-гидрокситриптофан, пиридоксин и аскорбиновая кислота являются важными биологически активными веществами, без которых невозможно оптимальное функционирование центральной нервной системы и сердечно-сосудистой системы. Для контроля состава биологически активных добавок в клинической диагностике важно определять содержание этих органических соединений в реальном времени. Установлено, что частицы бинарной системы «золото – палладий», осажденные на планарном электроде, проявляют каталитическую активность при электроокислении 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и аскорбиновой кислоты. Для селективного проточно-инжекционного амперометрического определения этих соединений при совместном присутствии применяли двухканальную проточно-инжекционную схему с параллельным расположением двух детекторов, в качестве которых выступали планарные электроды, модифицированные частицами бинарной системы «золото – палладий». Линейная логарифмическая зависимость аналитического сигнала от концентрации аналита наблюдалась в интервалах от  $5 \cdot 10^{-9}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  М для 5-гидрокситриптофана, от  $5 \cdot 10^{-8}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  М для пиридоксина и от  $5 \cdot 10^{-9}$  до  $5 \cdot 10^{-3}$  М для аскорбиновой кислоты. Предлагаемый способ определения рассматриваемых органических соединений обеспечивает высокую производительность анализа.

**Ключевые слова:** химически модифицированные электроды, частицы бинарной системы «золото – палладий», планарный электрод, электроокисление 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и аскорбиновой кислоты, проточно-инжекционный анализ.

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова, Казань.

<sup>2</sup> LarisaShaidarova@mail.ru.

## Введение

5-Гидрокситриптофан (5-ГТрп) – 2-амино-3-(5-гидрокси-1Н-индол-3-ил) пропановая кислота – представляет собой незаменимую аминокислоту и хорошо усваивается при приеме внутрь. Она легко проникает через гематоэнцефалический барьер и эффективно повышает уровень серотонина в центральной нервной системе и головном мозге, поэтому используется для лечения депрессии, улучшения мозговой деятельности, снижения острых стрессовых реакций. 5-ГТрп также играет важную роль в управлении несколькими клиническими состояниями, такими как мозжечковая атаксия, депрессия, хронические головные боли, ожирение, фибромиалгия и болезнь Паркинсона [1–5]. Данная аминокислота является предшественником мелатонина, отвечает за адаптацию организма к смене часовых поясов, изменению режима дня и повышению качества сна [6]. Однако высокое содержание мелатонина увеличивает риск побочных эффектов, таких как повышение уровня эозинофилов, беспокойный сон, нарушение работы желудочно-кишечного тракта.

Пиридоксин (4,5-дигидроксиметил-2-метилпиридин-3-ол) – одна из форм витамина В<sub>6</sub>, который необходим как для психического, так и для физического здоровья. Относится к водорастворимым витаминам, участвует в качестве кофактора во многих катализируемых ферментами реакциях и метаболизме аминокислот, белков, углеводов и липидов, в частности, для биосинтеза нейротрансмиттеров. Без него невозможен синтез простагландинов, которые в свою очередь регулируют работу сердца и кровяное давление. Пиридоксин усиливает влияние 5-ГТрп на центральную нервную систему, а также необходим для превращения триптофана в ниацин. Дефицит пиридоксина может привести к форме анемии, похожей на железодефицитную анемию, к проблемам с кожей, слабости, депрессии, судорогам и неврологическим заболеваниям [7].

Аскорбиновая кислота (АК), витамин С – (гамма-лактон 2,3-дегидро-Л-гулоновой кислоты) – широко распространенный водорастворимый витамин и мощный антиоксидант, содержащийся во всех овощах и фруктах. Она играет важную роль в организме для производства коллагена, который необходим для поддержания кожи, костей, хрящей, суставных накладок, зубов, десен и кровеносных сосудов. АК оказывает непосредственное влияние на различные биологические процессы, такие как адсорбция железа, метаболизм аминокислот, заживление ран, выработка гормонов коры надпочечников и ферментативное амидирование нейропептидов, а также восстанавливает внешнесекреторную функцию

поджелудочной и щитовидной желез. Дефицит АК может вызывать ряд расстройств и заболеваний, в том числе ревматоидный артрит, цингу, болезни Паркинсона и Альцгеймера, сердечно-сосудистые заболевания и даже рак [8]. В основном АК является лекарством от цинги, отравлений лекарствами, заболеваний печени, аллергических реакций и атеросклероза. Кроме того, АК используют для профилактики и лечения простуды, психических заболеваний, бесплодия, рака и СПИДа [9].

Исследования показывают, что пиридоксин и АК необходимы для естественного синтеза дофамина в организме. С другой стороны, большие дозы этих витаминов могут снизить риск образования камней в почках у женщин [10]. При ухудшении настроения, возникновении депрессии и тревоги требуется дополнительный прием витаминов в виде биологически активных добавок (БАД), содержащих комбинацию 5-ГТрп, пиридоксина и АК, совместное действие которых более эффективно, чем когда эти вещества принимаются по отдельности. Поэтому одновременное определение этих соединений очень важно для фармацевтических и биологических исследований.

Для количественного определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК в настоящее время применяются различные физико-химические методы, такие как титриметрия, [11], электрофорез [12], спектрофотометрия [13–14] и флуориметрия [15, 16]. Хроматографические методы, такие как высокоэффективная жидкостная хроматография, позволяют селективно обнаруживать многие биомолекулы в смеси [17–18]. Недостатками этих методов являются длительность, сложность анализа и пробоподготовки, высокая стоимость реактивов и оборудования, низкая селективность.

Поэтому разработка доступного, экспрессного, портативного и удобного в использовании способа определения в реальном времени 5-ГТрп, пиридоксина и АК в биологически активных добавках является актуальной задачей. Среди всех возможных аналитических методов исследования наиболее удобным и, соответственно, перспективным методом для определения является амперометрия с применением химически модифицированных электродов. Для этого метода характерны высокая чувствительность, экспрессность, невысокая стоимость оборудования и простота его эксплуатации.

В настоящей работе изучена каталитическая активность частиц бинарной системы «золото – палладий» (Au-Pd), электроосажденных на поверхности рабочего электрода планарного углеродного электрода при окислении 5-ГТрп, пиридоксина и АК. Оценена возможность использования

каталитического отклика модифицированного электрода для определения этих органических соединений методами вольтамперометрии и амперометрии в условиях проточно-инжекционного анализа (ПИА).

## Экспериментальная часть

Регистрацию циклических вольтамперограмм проводили с помощью бипотенциостата  $\mu$ STAT400 (DropSens, Испания). При регистрации вольтамперограмм использовали скорость наложения потенциала ( $v$ ), равную 10–100 мВ/с.

Для проведения ПИА использовали установку, включающую перистальтический насос PERIMAX 12 (Германия), инжектор и регистрирующее устройство – бипотенциостат  $\mu$ STAT400 [19].

При исследовании использовали проточную ячейку объемом 40 мкл типа отражающей стенки (wall-jet) с планарным электродом с одним (ПЭ) или двумя рабочими электродами (ДПЭ) (Metrohm DropSens, Испания).

Диапазон номинальных значений расходов жидкости составлял 0,65–4,74 мл/мин. Подача носителей, реагентов, транспортирование смеси жидкости осуществлялись по трубкам из поливинилхлорида постоянного внутреннего диаметра, равного 1,4 мм.

Модификацию поверхности ПЭ частицами металла и их бинарной системы проводили электрохимически, используя потенциодинамическое или потенциостатическое электроосаждение из растворов, содержащих хлорид Pd(II), тетрахлорозолотую кислоту ( $\text{HAuCl}_4$ ) фирмы Aldrich. Растворы этих соединений готовились растворением их точных навесок.

Приготовление растворов 5-ГТрп, пиридоксина и АК проводили растворением точных навесок реактивов х. ч. фирмы Aldrich в водном растворе 0,1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Серии растворов меньших концентраций готовили разбавлением исходных растворов непосредственно перед измерениями. В качестве фонового электролита в стационарных условиях и потока-носителя в проточных системах использовали раствор 0,1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

## Результаты и обсуждение

### Электроокисление 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и аскорбиновой кислоты на планарных углеродных электродах

На циклических вольтамперограммах, полученных при окислении 5-ГТрп и АК на немодифицированном ПЭ в кислой среде, наблюдаются необратимые широкие пики при  $E_p$  0,80 и 0,60 В соответственно.

Линейная зависимость анодного тока от концентрации этих соединений наблюдается в интервале  $5 \cdot 10^{-4}$  –  $5 \cdot 10^{-3}$  М.

Электроокисление 5-ГТрп протекает сложно, в несколько стадий. Формирование конечного продукта требует переноса четырех электронов [20]. Первая ступень электроокисления протекает по следующей схеме:

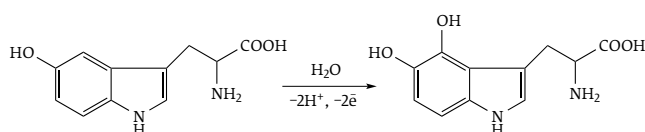


Схема 1. Электроокисление 5-гидрокситриптофана

Процесс электроокисления АК происходит с потерей двух электронов и двух протонов и с образованием дегидроаскорбиновой кислоты по следующей схеме [21]:

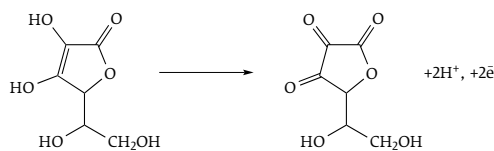


Схема 2. Электроокисление аскорбиновой кислоты

Пиридоксин в рассматриваемых условиях на немодифицированном ПЭ не окисляется. В литературе описывают схему окисления пиридоксина, которая включает отрыв двух ионов водорода от заместителя в положении (4) при участии двух электронов [22–23]:

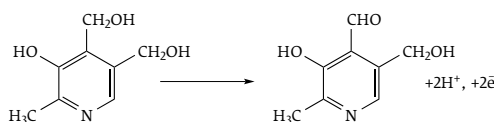


Схема 3. Электроокисление пиридоксина

### Электроокисление 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и аскорбиновой кислоты на планарных углеродных электродах, модифицированных частицами бинарной системы «золото – палладий»

Использование ХМЭ с электрокаталитическими свойствами позволяет снизить перенапряжение, а также значительно улучшить форму электрохимического сигнала и повысить чувствительность и селективность определения органических соединений. В качестве модификаторов хорошо зарекомендовали себя металлы 3d- и 4d-переходного ряда [24]. Поэтому изучены особенности электроокисления 5-ГТрп,

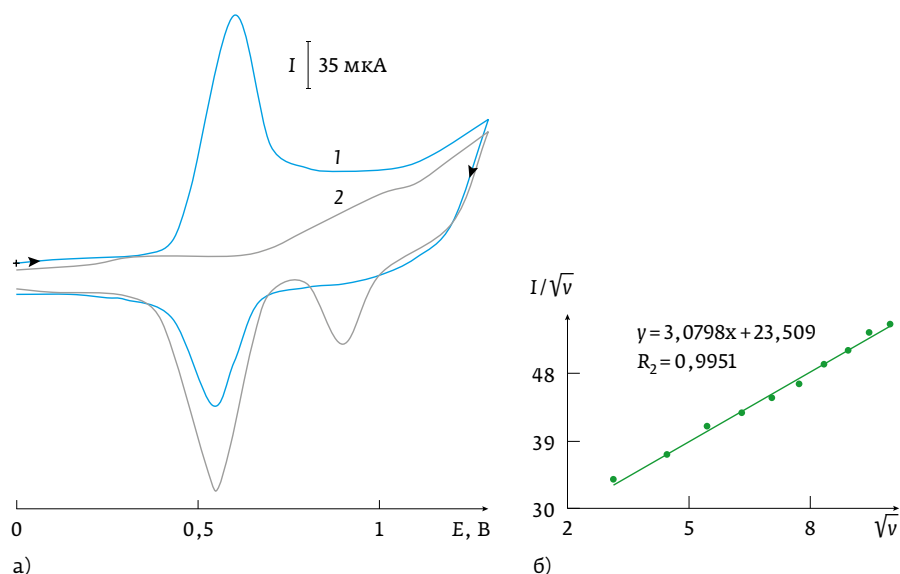
пиридоксина и АК на ПЭ, модифицированных частицами бинарной системы Au-Pd (Au-Pd-ПЭ).

На анодной и катодной ветвях циклической вольтамперограммы, полученной на электроде Au-Pd-ПЭ в растворе фонового электролита наблюдаются несколько максимумов тока (рис. 1а, кривая 1), которые можно отнести к окислению/восстановлению индивидуальных металлов этих систем или интерметаллидов.

На циклической вольтамперограмме, полученной на электроде Au-Pd-ПЭ при окислении 5-ГТрп, пиридоксина или АК, на анодной ветви наблюдаются максимумы тока, высота которых зависит от концентрации органического соединения. В качестве примера на рис. 1а приведена вольтамперограмма окисления 5-ГТрп на Au-Pd-ПЭ. На анодной ветви наблюдается одна ступень, имеющая форму пика (рис. 1, кривая 2). По значению углового коэффициента  $\text{tg } \beta = \Delta \lg I / \Delta \lg v$  (коэффициент Семерано) установили, что электрохимический процесс осложнен химической реакцией ( $\text{tg } \beta = 0,30$ ). По сравнению с ПЭ на ХМЭ наблюдается уменьшение потенциала пика окисления 5-ГТрп на 100 мВ. Каталитический эффект, рассчитанный как отношение каталитического тока окисления органического соединения ( $I_{\text{КАТ}}$ ) на ХМЭ к току окисления модификатора ( $I_{\text{МОД}}$ )  $I_{\text{КАТ}}/I_{\text{МОД}}$ , в этом случае равен 11,0.

При электроокислении пиридоксина и АК на электроде Au-Pd-ПЭ также регистрируется прирост тока, равный 2,0 и 5,0 соответственно. Разность потенциала пика окисления АК на ХМЭ и ПЭ составляет 300 мВ для АК, а пиридоксина – более 200 мВ (при потенциале разряда фонового электролита 1,30 В).

Механизм электроокисления органических соединений можно представить известной схемой: иммобилизованный модификатор  $M_{\text{red}}$  вступает в обратимую электрохимическую реакцию с образованием частиц  $M_{\text{ox}}$ , которые вступают в химическую реакцию с субстратом S, регенерируя форму  $M_{\text{red}}$  и образуя продукты реакции P [24].



**Рис. 1.** Циклические вольтамперограммы, полученные на планарном электроде Au-Pd-ПЭ в отсутствие (1) и в присутствии (2) 5-гидрокситриптофана ( $C = 5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ ) на фоне  $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$

**Вольтамперометрическое определение 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и АК на планарных электродах, модифицированных частицами бинарной системы «золото – палладий»**

Электрокаталитический отклик электрода Au-Pd-ПЭ был использован для вольтамперометрического определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК в кислой среде. Различия в потенциалах окисления ( $E_{\text{п}}$  0,30; 0,70 и 0,90 В для АК, 5-ГТрп и пиридоксина соответственно) позволяет селективно определять эти соединения по одной вольтамперограмме. Интервалы линейных зависимостей тока пиков от концентрации органических веществ и уравнения регрессии для этих зависимостей приведены в табл. 1. Зависимости величины каталитического тока от концентрации линейны в широких интервалах.

**Таблица 1.** Аналитические характеристики вольтамперометрического определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК на электроде Au-Pd-ПЭ на фоне  $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$

Аналит	Диапазон концентраций, моль/л	Уравнение регрессии, $\lg I = a + b \lg C$ , (I, мкА; C, моль/л)		R
		a	B	
5-гидрокситриптофан	$5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \pm 0,2$	$0,45 \pm 0,02$	0,998
Пиридоксин	$5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-3}$	$2,09 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,01$	0,996
Аскорбиновая кислота	$5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-3}$	$3,01 \pm 0,05$	$0,52 \pm 0,01$	0,998

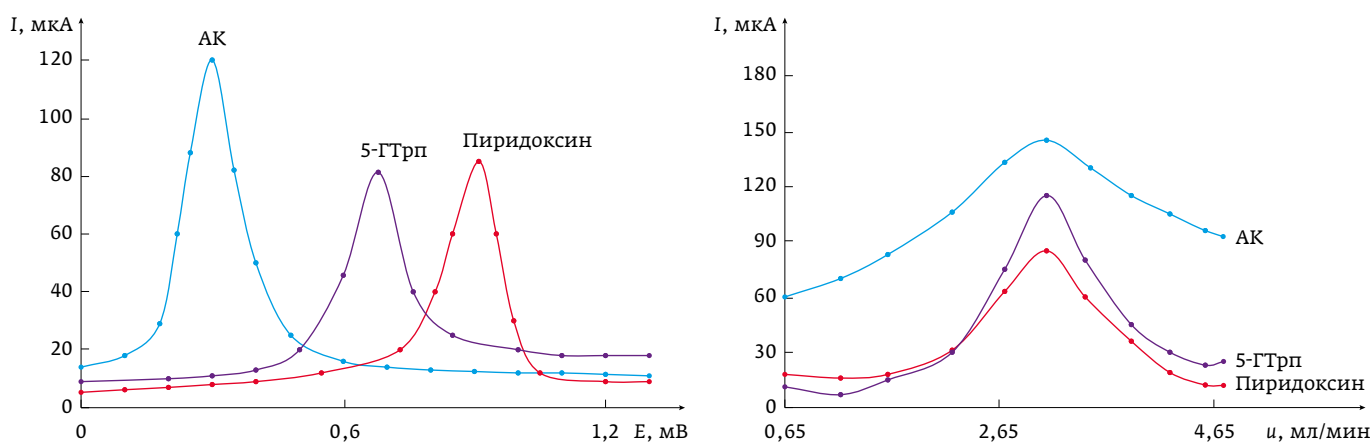


Рис. 2. Зависимости тока окисления аскорбиновой кислоты, 5-гидрокситриптофана и пиридоксина ( $C = 5 \cdot 10^{-3}$  М) на планарном электроде Au-Pd-ПЭ на фоне 0,1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (а) от накладываемого потенциала (б) и от скорости потока (и) в условиях ПИА

**Проточно-инжекционное амперометрическое определение 5-гидрокситриптофана, пиридоксина и аскорбиновой кислоты на планарных электродах, модифицированных частицами бинарной системы «золото – палладий»**

Комбинирование амперометрии на ХМЭ и проточных методов анализа позволяет улучшить чувствительность и селективность определений и повысить производительность анализа [24].

На сегодняшний день наиболее распространенными в лабораторной практике является ПИА, поэтому оценена возможность использования электрода Au-Pd-ПЭ в качестве амперометрического детектора в ПИА.

В ПИА-системе измерения проводили в потенциостатическом режиме. Для каждого соединения определены электрохимические и гидродинамические условия регистрации ПИА-сигнала. На рис. 2 представлены зависимости электрокаталитического отклика Au-Pd-ПЭ от налагаемого потенциала (E) и скорости потока (и) при проточно-инжекционном определении АК, 5-ГТрп и пиридоксина.

При инъекции в проточную систему раствора, содержащего 5-ГТрп, пиридоксин и АК, регистрируются три отдельных пика (рис. 3). Высота пика при  $E = 0,30$  В зависит от концентрации АК, а при  $E = 0,70$  В – от концентрации 5-ГТрп, при  $E = 0,90$  В – от концентрации пиридоксина. Перекрестная активность модификатора отсутствует. Разность потенциалов пиков составляет 300–400 мВ, что позволяет проводить селективное проточно-инжекционное амперометрическое определение этих соединений на электроде Au-Pd-ПЭ.

На основании полученных экспериментальных данных установлены рабочие условия регистрации аналитического сигнала в проточных условиях на модифицированных ПЭ при окислении рассматриваемых органических соединений:  $u = 3,15$  мл/мин и  $E_{\text{п}} = 0,30; 0,70$  и  $0,90$  В для АК, 5-ГТрп и пиридоксина соответственно.

Аналитические характеристики проточно-инжекционного амперометрического определения рассматриваемых органических соединений представлены в табл. 2.

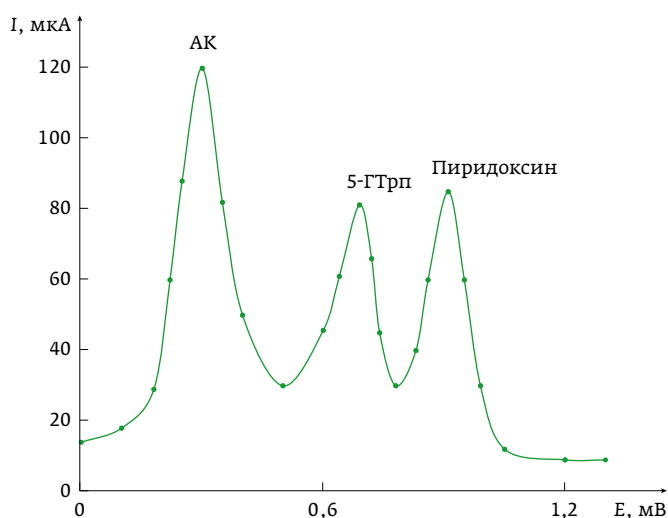


Рис. 3. Зависимости тока окисления аскорбиновой кислоты, 5-гидрокситриптофана и пиридоксина ( $C = 5 \cdot 10^{-3}$  М) при совместном присутствии на планарном электроде Au-Pd-ПЭ на фоне 0,1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  от накладываемого потенциала



**Таблица 2.** Аналитические характеристики проточно-инжекционного амперометрического определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК на электроде Au-Pd-ПЭ на фоне 0,1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Аналит	Диапазон концентраций, моль/л	Уравнение регрессии $\lg I = a + b \lg C$ , (I, мкА; C, моль/л)		R
		A	B	
5-гидрокситриптофан	$5 \cdot 10^{-9} - 5 \cdot 10^{-8}$	$2,70 \pm 0,10$	$0,36 \pm 0,02$	0,990
Пиридоксин	$5 \cdot 10^{-8} - 5 \cdot 10^{-3}$	$2,94 \pm 0,06$	$0,43 \pm 0,01$	0,991
Аскорбиновая кислота	$5 \cdot 10^{-9} - 5 \cdot 10^{-3}$	$2,91 \pm 0,01$	$0,34 \pm 0,02$	0,993

При непрерывном использовании ХМЭ в условиях ПИА электрокаталитический отклик имеет хорошую воспроизводимость. Рассчитанные значения  $S_r$  для отклика ХМЭ не превышают 2% (при  $n=6$ ,  $P=0,95$ ).

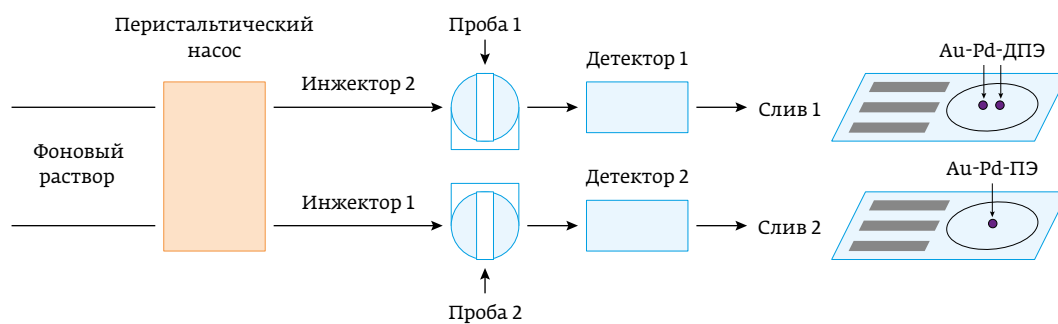
В проточно-инжекционной системе с амперометрическим детектором достигается теоретическая производительность до 180 измерений/ч (при времени отклика ХМЭ 20 с).

Для одновременного определения органических соединений в биологически активных добавках использовали двухканальную схему ПИА, включающую два детектора, соединенных параллельно (рис. 4). В качестве детектора для определения содержания 5-ГТрп использовали Au-Pd-ПЭ, а для

определения пиридоксина и АК использовали второй детектор, включающий двойной планарный электрод Au-Pd-ДПЭ. Предложенная схема ПИА позволяет определять одновременно три вещества при трех различных потенциалах в одно и то же время. Результаты определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК в модельной системе представлены в табл. 3.

В проточно-инжекционной системе с двумя амперометрическими детекторами достигается теоретическая производительность до 540 измерений/ч (при времени отклика ХМЭ 20 с).

Данные проточно-инжекционного амперометрического определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК на ХМЭ были сопоставлены с результатами,



**Рис. 4.** Схема двухканальной проточно-инжекционной схемы с двумя детекторами

**Таблица 3.** Результаты определения 5-ГТрп, пиридоксина и АК в биологически активной добавке методом амперометрии в проточно-инжекционной системе;  $n=6$ ,  $P=0,95$ ,  $F_{табл.} = 5,05$ ,  $t_{табл.} = 2,57$ ; Метод I – ПИА, метод II – ВЭЖХ

Биологически активная добавка	Аналит	Содержание в препарате, мг	Электрод	Найдено, мг Метод I	Найдено, мг Метод II	$S_r$	$t_{расч.}^{\circ}$
5-HTP Enhanced with Vitamins B6 & C (Doctor's Best)	5-гидрокситриптофан	100	Au-Pd-ПЭ	$102 \pm 4$	$98 \pm 4$	0,04	1,14
	Пиридоксин	15	Au-Pd-ДПЭ	$16,3 \pm 0,2$	$15,9 \pm 0,2$	0,01	0,34
	АК	200		$195 \pm 6$	$199 \pm 6$	0,03	2,32

полученными методом ВЭЖХ. Анализ результатов по F- и t-критериям показывает, что методы равно точны ( $F_{расч} < F_{табл}$ ), а расхождение между средними результатами незначимы ( $t_{расч} < t_{табл}$ ) [25].

## Заключение

Использование проточно-инжекционного метода в сочетании с амперометрией на модифицированных планарных и двойных планарных электродах показывает такие преимущества, как высокая чувствительность, селективность, надежность, стабильность и повторяемость определений, минимальное использование реагентов, простота, экспрессность анализа (до 540 измерений в час) и невысокая стоимость. Реализация трехкомпонентного анализа достигнута за счет использования двухканальной схемы проточно-инжекционной системы с параллельным расположением детекторов, в качестве которых использовали планарные электроды с одним или двумя рабочими электродами с электроосажденными частицами бинарной системы «золото – палладий».

Результаты, полученные в предложенном новом способе проточного амперометрического определения 5-гидрокситриптофана и пиридоксина и АК при анализе биологически активной добавки коррелируют с теми, которые были получены методом ВЭЖХ, что указывает на правильность разработанного метода.

## Благодарность

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («Приоритет-2030»).

## Литература

1. Das Y. T., Bagchi M., Bagchi D., Preuss H. G. Safety of 5-hydroxy-L-tryptophan. *Toxicol. Lett.* 2004;150(1):111–122.
2. Chen Y. A sensitive electrochemical method for the determination of 5-hydroxytryptophan in rats' brain tissue based on a carbon nanosheets-modified electrode. *Anal. Methods.* 2015;7(5):1971–1976.
3. Caruso I., Puttini P. S., Cazzola M., Azzolini V. Double-blind study of 5-hydroxytryptophan versus placebo in the treatment of primary fibromyalgia syndrome. *Journal of international medical research.* 1990;18(3):201–209.
4. Birdsall T. C. 5-Hydroxytryptophan: a clinically-effective serotonin precursor. *Alternative Medicine Review: a Journal of Clinical Therapeutic.* 1998;3(4):271–280.
5. Cangiano C., Ceci F., Cascino A., Ben M. D., Laviano A., Muscaritoli M. et al. Eating behavior and adherence to dietary prescriptions in obese adult subjects treated with 5-hydroxytryptophan. *The American journal of clinical nutrition.* 1992;56(5):863–867.
6. Kumar N., Goyal R. N Simultaneous determination of melatonin and 5-hydroxytryptophan at the disposable poly-(melamine)/poly-(o-aminophenol) composite modified screen-printed sensor. *J. Electroanal. Chem.* 2020;874:114458.
7. Rejithamol R., Beena S. Electrochemical quantification of pyridoxine (VB6) in human blood from other water-soluble vitamins. *Chem. Pap.* 2020;74(6):2011–2020.
8. Dhara K., Debiprosad R. M. Review on nanomaterials-enabled electrochemical sensors for ascorbic acid detection. *Anal. Biochem.* 2019;586:113–415.
9. Baghizadeh A. A., Karimi-Maleh H., Khoshnama Z., Hossain S., Abbasghorbani M. Voltammetric sensor for simultaneous determination of vitamin C and vitamin B6 in food samples using ZrO2 nanoparticle/ionic liquids carbon paste electrode. *Food Anal. Methods.* 2015;8(3):549–557.
10. Curhan G. C., Willett W. C., Speizer F. E., Stampfer M. J. Intake of vitamins B6 and C and the risk of kidney stones in women. *Am. J. Nephrol.* 1999;10(4):840–845
11. Verdini R. A., Lagier C. M. Voltammetric iodometric titration of ascorbic acid with dead-stop end-point detection in fresh vegetables and fruit samples. *J. Agric. Food Chem.* 2000;48(7):2812–2817.
12. Tang Y., Wu M. A quick method for the simultaneous determination of ascorbic acid and sorbic acid in fruit juices by capillary zone electrophoresis. *Talanta.* 2005;65(3):794–798.
13. Tono T., Fujita S. Determination of vitamin c (ascorbic acid) in satsuma mandarin fruit by difference spectral method and change in its content of the fruit during the developmental stage determination of ascorbic acid by spectrophotometric method based on difference spectra part vi. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.* 1985;32(4):295–300.
14. Verma R., Gupta B. D. Fiber optic SPR sensor for the detection of 3-pyridinecarboxamide (vitamin B3) using molecularly imprinted hydrogel. *Sens. Actuators B Chem.* 2013;177:279–285.
15. Sun J., Wang S., Gao F. Covalent surface functionalization of semiconducting polymer dots with  $\beta$ -cyclodextrin for fluorescent ratiometric assay of cholesterol through host-guest inclusion and FRET. *Langmuir.* 2016;32(48):12725–12731.
16. Speek A. J., Schrijver J., Schreurs W. H. P. Fluorometric determination of total vitamin C in whole blood by high-performance liquid chromatography with pre-column derivatization. *J. Chromatogr. B.* 1984;305:53–60.
17. Lykkesfeldt J. Determination of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in biological samples by high-performance liquid chromatography using subtraction methods: reliable reduction with tris [2-carboxyethyl] phosphine. *Analytical biochemistry.* 2000;282(1):89–93.
18. Методика определения серотонина, 5-гидрокситриптофана в крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектированием. URL: <https://ecaservice.ru/otraslevye-resheniya/applications405/>.
19. Шайдарова Л. Г., Будников Г. К. Химически модифицированные электроды на основе благородных металлов, полимерных пленок или их композитов в органической вольтамперометрии. Обзор. *Журн. аналит. химии.* 2008;63(100):1014–1037.
20. Humphries K., Dryhurst G. Electrochemical oxidation of 5-hydroxytryptophan in acid. *J Pharm Sci.* 1987;76(10):839–847.
21. Speek A. J., Schrijver J., Schreurs W. H. P. Fluorometric determination of total vitamin C in whole blood by high-performance liquid chromatography with pre-column derivatization. *J. Chromatogr. B.* 1984;305:53–60.
22. Xia X., Zheng Z., Zhang Y., Zhao X., Wang C. Synthesis of Ag-MoS2/chitosan nanocomposite and its application for catalytic oxidation of tryptophan. *Sens. Actuators B Chem.* 2014;192:42–50.
23. Soldatenkov A. T., Kolyadina N. M., Shendrik I. V. Osnovy organicheskoi khimii lekarstvennykh veshchestv. *Foundations of Organic Chemistry of Drugs.* Moscow: Khimiya; 2001.



24-26 октября 2022  
МОСКВА • ЦВК ЭКСПОЦЕНТР

КРУПНЕЙШАЯ ОТРАСЛЕВАЯ ПЛОЩАДКА  
В РОССИИ И СНГ



18+  
КРУГЛЫХ СТОЛОВ  
С УЧАСТИЕМ ЭКСПЕРТОВ



3 000+  
РУКОВОДИТЕЛЕЙ  
И СПЕЦИАЛИСТОВ



60+  
КОМПАНИЙ-ЛИДЕРОВ  
В ОБЛАСТИ НК И ТД

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ • ИННОВАЦИИ  
РУКОВОДИТЕЛИ КОМПАНИЙ • КЛЮЧЕВЫЕ ЗАКАЗЧИКИ  
ПРЕДСТАВИТЕЛИ ВЛАСТИ • ОТРАСЛЕВЫЕ СМИ

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ • ДЕФЕКТОМЕТРИЯ  
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ • ИСПЫТАНИЯ • ДИАГНОСТИКА  
ОЦЕНКА РИСКА • ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА

В РАМКАХ  
РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ НЕДЕЛИ



32 000 +  
М<sup>2</sup> ВЫСТАВОЧНОЙ ПЛОЩАДИ



29 000 +  
ПОСЕТИТЕЛЕЙ



500 +  
КОМПАНИЙ УЧАСТНИЦ





24. Шайдарова Л. Г., Будников Г. К. Амперометрическое детектирование лекарственных веществ в проточно-инжекционном анализе. *Фармацевтический анализ. Серия «Проблемы аналитической химии»*. Москва: АНРАМАК-МЕДИА. 2013:580–615.
25. Чарыков А. К. *Математическая обработка результатов химического анализа*. Ленинград: Химия. 1984:168.

## References

- Das Y. T., Bagchi M., Bagchi D., Preuss H. G. Safety of 5-hydroxy-L-tryptophan. *Toxicol. Lett.* 2004;150(1):111–122.
- Chen Y. A sensitive electrochemical method for the determination of 5-hydroxytryptophan in rats' brain tissue based on a carbon nanosheets-modified electrode. *Anal. Methods*. 2015;7(5):1971–1976.
- Caruso I., Puttini P. S., Cazzola M., Azzolini V. Double-blind study of 5-hydroxytryptophan versus placebo in the treatment of primary fibromyalgia syndrome. *Journal of international medical research*. 1990;18(3):201–209.
- Birdsall T. C. 5-Hydroxytryptophan: a clinically-effective serotonin precursor. *Alternative Medicine Review: a Journal of Clinical Therapeutic*. 1998;3(4):271–280.
- Cangiano C., Ceci F., Cascino A., Ben M. D., Laviano A., Muscaritoli M. et al. Eating behavior and adherence to dietary prescriptions in obese adult subjects treated with 5-hydroxytryptophan. *The American journal of clinical nutrition*. 1992;56(5):863–867.
- Kumar N., Goyal R. N Simultaneous determination of melatonin and 5-hydroxytryptophan at the disposable poly-(melamine)/poly-(o-aminophenol) composite modified screen-printed sensor. *J. Electroanal. Chem.* 2020;874:114458.
- Rejithamol R., Beena S. Electrochemical quantification of pyridoxine (VB6) in human blood from other water-soluble vitamins. *Chem. Pap.* 2020;74(6):2011–2020.
- Dhara K., Debiprosad R. M. Review on nanomaterials-enabled electrochemical sensors for ascorbic acid detection. *Anal. Biochem.* 2019;586:113–415.
- Baghizadeh A. A., Karimi-Maleh H., Khoshnama Z., Hossaini A., Abbasghorbani M. Voltammetric sensor for simultaneous determination of vitamin C and vitamin B6 in food samples using ZrO<sub>2</sub> nanoparticle/ionic liquids carbon paste electrode. *Food Anal. Methods*. 2015;8(3):549–557.
- Curhan G. C., Willett W. C., Speizer F. E., Stampfer M. J. Intake of vitamins B6 and C and the risk of kidney stones in women. *Am. J. Nephrol.* 1999;10(4):840–845
- Verdini R. A., Lagier C. M. Voltammetric iodometric titration of ascorbic acid with dead-stop end-point detection in fresh vegetables and fruit samples. *J. Agric. Food Chem.* 2000;48(7):2812–2817.
- Tang Y., Wu M. A quick method for the simultaneous determination of ascorbic acid and sorbic acid in fruit juices by capillary zone electrophoresis. *Talanta*. 2005;65(3):794–798.
- Tono T., Fujita S. Determination of vitamin C (ascorbic acid) in satsuma mandarin fruit by difference spectral method and change in its content of the fruit during the developmental stage determination of ascorbic acid by spectrophotometric method based on difference spectra part vi. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*. 1985;32(4):295–300.
- Verma R., Gupta B. D. Fiber optic SPR sensor for the detection of 3-pyridinecarboxamide (vitamin B3) using molecularly imprinted hydrogel. *Sens. Actuators B Chem.* 2013;177:279–285.
- Sun J., Wang S., Gao F. Covalent surface functionalization of semi-conducting polymer dots with  $\beta$ -cyclodextrin for fluorescent ratio-metric assay of cholesterol through host-guest inclusion and FRET. *Langmuir*. 2016;32(48):12725–12731.
- Speek A. J., Schrijver J., Schreurs W. H. P. Fluorometric determination of total vitamin C in whole blood by high-performance liquid chromatography with pre-column derivatization. *J. Chromatogr. B*. 1984;305:53–60.
- Lykkesfeldt J. Determination of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in biological samples by high-performance liquid chromatography using subtraction methods: reliable reduction with tris [2-carboxyethyl] phosphine. *Analytical biochemistry*. 2000;282(1):89–93.
- Method for determination of serotonin, 5-hydroxytryptophan in blood by high-performance liquid chromatography with fluorimetric detection. URL: <https://ecaservice.ru/otraslevye-resheniya/applications405/>.
- Shaidarova L. G., Budnikov G. K. Chemically modified electrodes based on noble metals, polymer films or their composites in organic voltammetry. Review. *Journal. analyte chemistry*. 2008;63(100):1014–1037.
- Humphries K., Dryhurst G. Electrochemical oxidation of 5-hydroxytryptophan in acid. *J Pharm Sci.* 1987;76(10):839–847.
- Speek A. J., Schrijver J., Schreurs W. H. P. Fluorometric determination of total vitamin C in whole blood by high-performance liquid chromatography with pre-column derivatization. *J. Chromatogr. B*. 1984;305:53–60.
- Xia X., Zheng Z., Zhang Y., Zhao X., Wang C. Synthesis of Ag-MoS<sub>2</sub>/chitosan nanocomposite and its application for catalytic oxidation of tryptophan. *Sens. Actuators B Chem.* 2014;192:42–50.
- Soldatenkov A. T., Kolyadina N. M., Shendrik I. V. *Osnovy organicheskoi khimii lekarstvennykh veshchestv. Foundations of Organic Chemistry of Drugs*. Moscow: Khimiya; 2001.
- Shaidarova L. G., Budnikov G. K. Amperometric detection of drugs in flow-injection analysis. *Pharmaceutical analysis. Series «Problems of Analytical Chemistry»*. Moscow: ANRAMAK-MEDIA. 2013:580–615.
- Charykov A. K. *Mathematical processing of the results of chemical analysis*. Leningrad: Chemistry publ. 1984:168.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ИОНХ РАН

Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова РАН, один из ведущих химических институтов РФ, проводит курсы повышения квалификации по программам дополнительного образования в области исследования состава, структуры и свойств веществ и материалов, методов химического анализа, обработки результатов экспериментов, а также по другим актуальным направлениям химии и материаловедения. Участникам курсов, освоившим программу и успешно прошедшим итоговую аттестацию, выдаются свидетельства о повышении квалификации государственного образца.

Информация о курсах представлена на сайте ИОНХ РАН: [http://www.igic.ras.ru/add\\_prof\\_ed.php](http://www.igic.ras.ru/add_prof_ed.php)



31.10–03.11.2022

www.chemistry-expo.ru



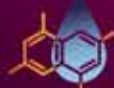
25-я юбилейная  
международная  
выставка химической  
промышленности  
и науки

# ХИМИЯ

# ХИМИЯ



**Инновации  
и современные  
материалы**



**Нефтегазохимия**



**Startup ChemZone**



**Автоматизация  
и цифровизация  
производства**



**Химмаш. Насосы**



**Хим-Лаб-Аналит**



**Зеленая химия**



**Индустрия пластмасс**



**Защита от коррозии  
«КОРРУС»**

При поддержке:

- Министерства промышленности и торговли РФ
- ФГУП «НПЦ «Химвест»
- Российского Союза химиков
- ОАО «НИИТЭХИМ»
- Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
- Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
- РХТУ им. Д.И. Менделеева

Под патронатом ТПП РФ

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Организатор

12+

Реклама



МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ



ЭКСПОЦЕНТР