Химия

УДК 541.64:547.458:546.175-232

Е.В. ГЕРТ, О.В. ЗУБЕЦ, М.В. ШИШОНОК, В.И. ТОРГАШОВ, Ф.Н. КАПУЦКИЙ

ЭНТЕРОСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ КАРБОКСИЛИРОВАННОЙ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

New and non-conventional methods of obtaining cellulose-based cation-exchanger enterosorbents using nitrogen(IV) oxide are discussed.

The enterosorbents are characterized by microcrystalline morphology, enhanced stability, whiteness and gel-forming ability.

Based on X-ray phase analysis data, the modification of cellulose microcrystals with carboxyl groups is found to be of topochemical character, and the fact of easy formation of hydrogels from the preparations in the salt form is explained.

Exemplified by sorption of methylene blue, a comparative evaluation is made as to sorption activity of the acid and salt forms of the enterosorbents in powder and hydrogel preparation versions.

Продукт избирательного окисления целлюлозы оксидом азота(IV) по шестому С-атому ангидроглюкопиранозного цикла известен как эффективный кровоостанавливающий и бактерицидный материал, полностью рассасывающийся в тканях организма и стимулирующий рост грануляционной ткани [1]. Традиционно его получают с содержанием карбоксильных групп > 14 масс. % ($\gamma > 52{,}7$) и используют главным образом в волокнистой форме. Производство карбоксилированной целлюлозы организовано на Борисовском заводе медпрепаратов.

Мы полагаем, что актуальным и перспективным для Беларуси направлением является получение на основе карбоксилированной целлюлозы катионообменных энтеросорбентов, способных, в частности, связывать и выводить из организма радионуклиды и тяжелые металлы. Эффективность энтеросорбции для лечения острых воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта показана в многочисленных исследованиях [2]. Широко применяемые угольные энтеросорбенты не могут заменить пищевые волокна, как правило полисахариды, всем ходом эволюции приспособленные к физиологии пищеварительной системы человека. Недостаточное поступление в организм этих естественных энтеросорбентов (пектинов, полисахаридов морских водорослей, целлюлозы, гемицеллюлоз, лигнина), играющих значительную роль в поддержании гомеостаза, приводит к нарушению пищеварения, обмена веществ, самоотравлению организма токсичными метаболитами. Если для устранения дефицита витаминов и минералов предложено множество препаратов, то проблема восполнения недостатка неперевариваемых полисахаридов удовлетворительно не решена.

В этом отношении из целлюлозных сорбентов особого внимания заслуживает микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) – продукт гидролитического расщепления целлюлозы до так называемой предельной степени полимеризации (150–220 мономерных звеньев в зависимости от типа исходной целлюлозы). В результате гидролиза целлюлозный материал освобождает-

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.

To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

ся от структурно неупорядоченной составляющей и содержащихся в ней токсичных примесей. Происходит разрушение волокнистой формы материала с образованием тонкодисперсного порошка, частицы которого являются агрегатами микрокристаллов. Отличительные особенности МКЦ – высокая степень химической чистоты, высокоорганизованная надмолекулярная структура и уникальная способность образовывать устойчивые тиксотропные гели, которые получают действием высоких сдвиговых динамических нагрузок на 5–20 %-е водные дисперсии МКЦ [3]. Микрокристаллическая целлюлоза широко применяется как наполнитель и загуститель в производстве готовых лекарственных форм многих препаратов, используется в качестве диетологической добавки, понижающей калорийность рациона питания, и средства для очистки желудочно-кишечного тракта от «шлаков», что объясняется ее высокой сорбционной способностью в сочетании с «абразивным» эффектом. Однако возможности МКЦ как энтеросорбента ограничены отсутствием в ее составе ионообменных групп, содержащихся в пектине, полисахаридах морских водорослей (ламинарин, каррагинан).

В данной статье обсуждается нетрадиционный способ получения карбоксилированной целлюлозы с микрокристаллической морфологией. Подобные препараты, как показано нами ранее, представляют интерес в качестве основы для создания энтеросорбентов [4].

Экспериментальная часть

Особенности предлагаемого способа получения карбоксилированной МКЦ (КМКЦ) заключаются в следующем. Воздушно-сухую целлюлозу в виде папки насыщали в специально изготовленном реакторе парами оксида азота(IV). В экспериментах использовали хвойную сульфитную беленую целлюлозу марки SS Братского ЦБК. Процесс проводили при комнатной температуре в течение времени, необходимого для достижения требуемой степени окисления целлюлозы. Затем в реактор заливали расчетное количество воды, подкпючали обратный холодильник и нагревали содержимое до температуры кипения с целью перевода карбоксилированного целлюлозного волокна в КМКЦ. Взаимодействие воды с избытком сорбированных целлюлозой оксидов азота приводит к образованию смеси азотной и азотистой кислот, являющихся катализаторами гидролитической деструкции целлюлозы. Таким образом, оксиды азота(IV) фактически служат как для окисления, так и для кислотного гидролиза. В условиях проводимых нами экспериментов в системе образуется ~4 % HNO_3. Гидролиз продолжали до превращения волокна в однородную тонкодисперсную массу, которую многократно отжимали и промывали водой на фильтре Шотта до полного удаления нитрат- и нитрит-ионов (контроль по реакции с дифениламином). Часть полученной КМКЦ высушивали при 60 °С, измельчали в ступке, отбирали фракции, проходящие через сито с размером ячейки 100 мкм. Для приготовления гидрогелей использовали КМКЦ во влажном виде.

С целью оценки стабильности карбоксилированной волокнистой целлюлозы и полученной из нее КМКЦ их облучали в ультрафиолетовом диапазоне ртутно-кварцевой лампой ДРТ-375. Сравнение термостабильности образцов до и после облучения проводили на термоанализаторе «Mettler TA-3000» при скорости нагрева 3 °/мин.

ИК-спектры препаратов КМКЦ записывали на спектрофотометре «Specord 75 IR», применяя методику запрессовки объектов в KBr.

Рентгенограммы объектов исследования получали на дифрактометре HZG-4a (CuK_α-излучение, Ni-фильтр) при скорости сканирования сцинтилляционного счетчика квантов 1 град/мин. Образцы для съемки готовили в виде плоских дисков одинаковой массы методом прессования.

Величину сорбции метиленового голубого МГ полученными препаратами определяли по остаточной концентрации красителя в растворе с помощью

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

фотоэлектрокалориметра КФК-2УХЛ 4,2 (λ=540 нм, зеленый светофильтр). Предварительно строили калибровочный график зависимости оптической плотности раствора от концентрации в нем красителя. Масса сухого сорбента во всех случаях составляла 0,3 г, объем раствора красителя заданной концентрации – 50 мл, pH раствора – 6,5–7,0.

Результаты и их обсуждение

Предлагаемый способ получения КМКЦ является продолжением работ по созданию практически значимых материалов путем модификации целлюлозы оксидными соединениями азота [5–8].

Получение материала, сочетающего в себе ионообменные функции со свойствами МКЦ, предъявляет определенные требования к первой стадии процесса – карбоксилированию целлюлозного волокна. От степени карбоксилирования зависит кристалличность целлюлозного волокна и соответственно выход КМКЦ. При небольшой степени окисления (до ~5 масс. % COOH-групп, т. е. γ ~18,3) кристалличность целлюлозы несколько возрастает, в частности, за счет эффекта ее облагораживания. Этот эффект обусловлен, возможно, и удалением в процессе отмывки, наряду с гемицеллюлозами, сильно деструктированных фрагментов макромолекул целлюлозы в аморфных областях. Более глубокое окисление целлюлозы уменьшает ее кристалличность из-за нарушения регулярности макромолекул: чем выше степень окисления, тем сильнее декристаллизация, поскольку реагирование приобретает внутрикристаллитный характер. В реакции гидролиза целлюлозы до «предельной степени полимеризации» выход МКЦ напрямую связан с кристалличностью исходного материала. По этой причине у хлопковой целлюлозы он всегда выше, чем у древесной, независимо от происхождения и способа выработки. Выход КМКЦ из окисленной целлюлозы, содержащей до 5 % COOH-групп, составляет около 80 %, т. е. практически не отличается от выхода неокисленной МКЦ из древесной целлюлозы. Из окисленной целлюлозы, содержащей 13,5 % COOH-групп (γ=49,3), получается порошковый материал с низкой кристалличностью и выходом около 60 %. Таким образом, для повышения выхода КМКЦ исходное волокно целесообразно окислять до относительно невысокого (~5 %) содержания карбоксильных групп, что равноценно их содержанию в пектинах в H-форме. В этом случае хорошо сбалансированными оказываются ионообменные свойства, преимущества, обусловленные микрокристаллической морфологией, и выход конечного продукта. Необходимо отметить, что содержание COOH-групп в окисленном целлюлозном волокне и полученной из него КМКЦ совпадает (в пределах ошибки барий-ацетатного метода анализа), несмотря на удаление из волокна в процессе гидролиза значительного количества структурно неупорядоченного материала. Приведем возможное объяснение этому наблюдению.

Как уже отмечалось, гидролитическое расщепление окисленной целлюлозы осуществляется в окислительной среде. На начальной стадии гидролиза из реакционной смеси наблюдается выделение бурых паров оксидов азота. В таких условиях возможно доокисление целлюлозы, в частности, присутствующих в ней карбонильных групп. Это, вероятно, обусловливает равное содержание карбоксильных групп в окисленной целлюлозе и полученной из нее КМКЦ наряду с повышенной стабильностью последней. Например, температура начала термического разложения КМКЦ, содержащей 3,5 % COOH-групп (γ=12,7), на 32° выше температуры начала разложения (175 °C) ее предшественника – волокнистой целлюлозы с той же степенью карбоксилирования. Отмеченная разница в термостабильности сохраняется и после совместного 4-часового УФ-облучения данных образцов (196 против 163 °C), которое приводит к понижению температуры начала разложения на ~12° в обоих случаях. К факторам, обусловливающим повышенную

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

стабильность КМКЦ, следует отнести и меньшее содержание в ней нитроэфирных групп по сравнению с предшественником – карбоксилированной волокнистой целлюлозой. Окисление целлюлозы оксидом азота(IV) всегда сопровождается накоплением в ней малого количества нитроэфирных групп, понижающих химическую стойкость материала [9]. В отличие от реакции окисления целлюлозы нитрование ее в значительной степени зависит от диффузионного фактора. Поэтому наиболее вероятно преимущественное накопление нитроэфирных групп в легкодоступных областях волокна, которые при гидролизе удаляются. Следует отметить, что оксидные соединения азота способны отбеливать целлюлозу [10]. В рассмотренных условиях взаимодействия эффект повышения белизны исходной целлюлозы при превращении ее в КМКЦ проявляется довольно отчетливо.

Перевод кислой формы КМКЦ (H-КМКЦ) в натриевую соль (Na-КМКЦ) облегчает приготовление однородных, стабильных, тиксотропных гидрогелей. Для получения аналогичных гелей из МКЦ необходимы специальные высокоскоростные смесители режущего типа с числом оборотов ~20 тыс./мин. Только в условиях приложения к водным дисперсиям МКЦ высоких сдвиговых усилий происходит дезагрегация микрокристаллов, необходимая для образования устойчивой связнодисперсной системы. Для облегчения гелеобразования после гидролиза целлюлозы и промывки полученной МКЦ предложено добавлять к ней водорастворимую Na-карбоксиметилцеллюлозу в количестве 8–10 масс. % [3]. Такая добавка обволакивает микрокристаллы, выступая в роли своеобразного «барьерного» вещества.

Для приготовления гелей Na-КМКЦ необходимость применения высокоскоростных смесителей отпадает. Примечательно, что легкость гелеобразования Na-солей КМКЦ достигается уже при γ=7,2. В условиях наших экспериментов были получены сметаноподобные по консистенции гидрогели, содержащие 10±0,5 масс. % Na-КМКЦ, с pH=6,5–7,0. О полноте солеобразования судили, сравнивая ИК-спектры сухих препаратов H- и Na-КМКЦ. Интенсивная полоса поглощения при 1730 $см^{-1}$ в спектре H-КМКЦ, обусловленная валентными колебаниями C=O-карбоксильных групп, в процессе нейтрализации практически полностью исчезает. Вместо нее в спектре Na-КМКЦ появляется интенсивная полоса при 1610 $см^{-1}$, относящаяся к валентным колебаниям карбоксилатных групп [9].

Гидрогели Na-КМКЦ обладают четко выраженной тиксотропией. С течением времени они структурируются и теряют текучесть, а при встряхивании приобретают ее вновь. На протяжении многих месяцев их хранения признаков расслаивания гидрогелей не наблюдалось. При высушивании тонких слоев гидрогелей образуются хрупкие матовые пленки, легко поддающиеся измельчению в порошок, который и использовался в экспериментах наряду с самими гидрогелями.

На рис. 1 (кривая *1*) приведены рентгенограммы КМКЦ в H-форме с содержанием карбоксильных групп 2,5 и 4,8 % (γ=9,1 и 17,5) и соответствующих натриевых солей (кривые *2* и *3*). Рентгенограммы H-формы этих препаратов практически не отличаются и соответствуют нативной модификации целлюлозы (целлюлозы-I) с высокоорганизованной надмолекулярной структурой. Индекс кристалличности образцов H-КМКЦ, определенный по методике [11], составляет 0,66, что несколько превышает таковой у исходной целлюлозы (0,64). Эти данные служат убедительным доказательством локализации карбоксильных групп в межкристаллитных областях на поверхности микрокристаллов.

Превращение H-формы КМКЦ в Na-форму КМКЦ вызывает значительное разукрупнение микрокристаллов, тем большее, чем выше степень окисления КМКЦ. Это следует из уширения интерференций целлюлозы-I на рент-

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

генограммах Na-КМКЦ, сопровождающегося закономерным снижением их интенсивности (см. рис. 1, кривые *2* и *3*). Индекс кристалличности Na-КМКЦ (γ=9,1) понижается до 0,62, а Na-КМКЦ (γ=17,5) – до 0,60. Тем не менее ядро частиц дисперсной фазы гидрогеля Na-КМКЦ остается кристаллическим.

Уменьшение размеров микрокристаллов и снижение кристалличности объясняется сильной гидрофилизацией поверхности микрокристаллов в результате солеобразования и формированием водорастворимой фракции Na-КМКЦ из некоторой части окисленных макромолекул поверхностного слоя. Речь, вероятнее всего, может идти о коллоидно-растворимой золеподобной фракции, выполняющей функцию «барьера» между микрокристаллами, что обеспечивает легкость их дезагрегации при диспергировании водной суспензии до состояния гидрогеля. Следует отметить, что О.А. Баттиста в работе [3] указывал на перспективность, практическую значимость топохимически модифицированной МКЦ.

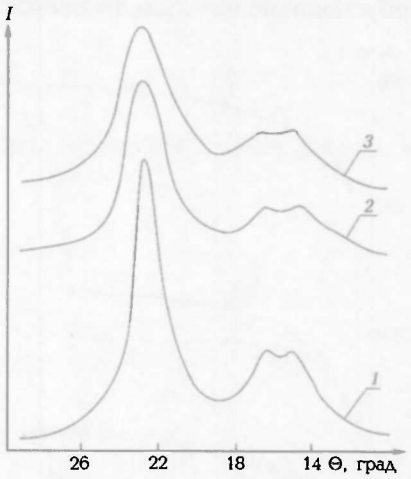

Рис. 1. Рентгенограммы препаратов КМКЦ:
1 – Н-КМКЦ с 2,5 %-м (γ=9,1) и 4,8 %-м содержанием СООН-групп (γ=17,5), *2* – Na-КМКЦ (γ=9,1), *3* – Na-КМКЦ (γ=17,5)

Величина сорбции метиленового голубого (из нейтрального 0,02 %-го раствора) различными сорбентами, мг/г

Сорбент	Величина сорбции	
	за 3 ч	за 72 ч
МКЦ марки «Анкир»	~1,0	4,2
Пектиновый препарат марки «Медетопект»	24,0	26,5
КМКЦ – 3,0 % СООН-групп (γ=10,9)	31,6	32,6

Для сравнительной оценки сорбционной активности полученных препаратов КМКЦ различной степени модификации и других известных энтеросорбентов в качестве сорбтива использовали МГ, молекулы которого в ионизированной форме представляют собой объемный органический катион. Из промышленных энтеросорбентов полисахаридной природы тестировали хлопковую МКЦ марки «Анкир» и препарат «Медетопект» на основе яблочного пектина. Результаты сорбции приведены в таблице. В соответствии с условиями эксперимента максимальная величина сорбции красителя из его 0,02 %-го раствора должна составлять 33,3 мг/г. Ориентируясь на время пребывания пищи в желудке, мы полагали, что наиболее показательными должны быть результаты, полученные в условиях 3-часовой сорбции. Как видно из таблицы, МКЦ независимо от длительности сорбционного процесса крайне слабо связывает данный сорбтив, несмотря на отрицательный заряд ее поверхности [3]. Сорбционная способность кислой формы КМКЦ, содержащей 3 % СООН-групп (γ=10,9), заметно выше, чем у пектинового препарата. За 3 ч она связывает 95 % МГ, тогда как «Медетопект» – 72 %. После 72 ч сорбции МГ «Медетопектом» в растворе остается 20 % несвязанного красителя. Это в 10 раз больше, чем после 72 ч сорбции красителя образцом КМКЦ.

На рис. 2 представлены изотермы сорбции МГ препаратами Н- и Na-КМКЦ, отличающимися физической формой (порошок, гидрогель) и степенью карбоксилирования. Все изотермы описываются уравнением Ленгмюра. Как видно, наибольшей сорбционной способностью в расчете на сухое вещество обладают гидрогели Na-КМКЦ. Это закономерно объясняется максимальной доступностью в них активных сорбционных центров. Подавляющая часть сорбтива поглощается по катионообменному механизму. Почти двукратная разница степени окисления (γ=9,1 и γ=17,5) обусловлива-

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

ет соответственно двукратное различие в максимальной величине сорбции МГ гелями Na-КМКЦ (195 и 390 мг/г). Максимальная сорбция МГ гелем Na-КМКЦ (γ=9,1) составляет 109 % от полной обменной емкости (ПОЕ), а гелем Na-КМКЦ (γ=17,5) – 115 %. Превышение 100 %-го значения ПОЕ может быть обусловлено вкладом физической сорбции в связывание МГ.

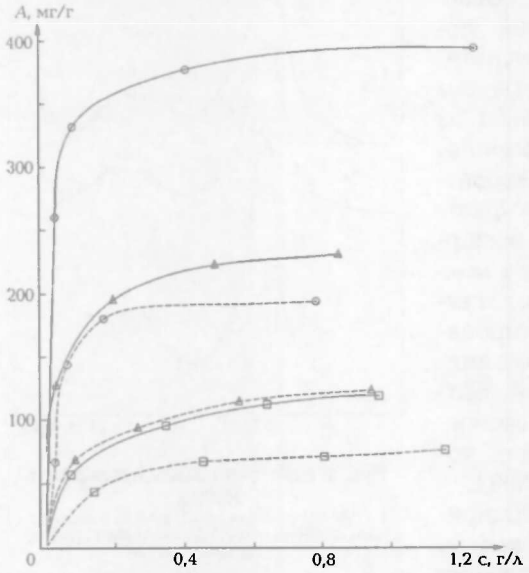

Рис. 2. Изотермы сорбции метиленового голубого препаратами КМКЦ с γ=17,5 (сплошные кривые) и γ=9,1 (пунктирные кривые):
□ – Н-КМКЦ в виде порошка; Δ – Na-КМКЦ в виде порошка; о – Na-КМКЦ в виде гидрогеля

Порошкообразные препараты Na-КМКЦ обладают значительно меньшей сорбционной способностью по сравнению с гелями, поскольку активная поверхность зерен сорбента не является максимально раскрытой. Логично допустить и затруднение доступа сорбтива ко многим активным центрам сорбента за счет эффекта их экранирования ранее сорбированными объемными молекулами МГ. Разница в степени карбоксилирования порошковых препаратов Na-КМКЦ (γ=9,1 и 17,5) обусловливает приблизительно двукратное различие в величине максимальной сорбции, подобно тому как это имеет место в гелях. Заполнение ПОЕ этих препаратов составляет 69 и 72 % соответственно.

Солевые формы КМКЦ обладают очевидным преимуществом перед кислыми формами в отношении сорбционной способности. Это логично вытекает из большей степени их ионизации. Следует также учитывать, что при взаимодействии макроионов Na-КМКЦ с МГ в форме гидрохлорида образуется нейтральная соль NaCl. Тогда как продуктом взаимодействия Н-КМКЦ с сорбтивом является HCl – сильная кислота, сдвигающая равновесие ионного обмена в сторону исходных веществ. Зависимость максимальной величины сорбции от степени карбоксилирования Н-КМКЦ не столь значительна, как в случае Na-КМКЦ. Максимальная величина сорбции МГ кислыми формами КМКЦ, содержащими 2,5 и 4,8 % СООН-групп, равна 80 и 118 мг/г соответственно. Заполнение ПОЕ выше у препарата с меньшей степенью карбоксилирования (48 против 34 %), что объясняется большей степенью его диссоциации.

Таким образом, предлагаемый способ структурно-химической модификации целлюлозы с использованием изначально только одного реагента позволяет получать практически ценные материалы с микрокристаллической морфологией, повышенными стабильностью, белизной, гелеобразующей способностью и выраженной ионообменной активностью. Перечисленные свойства указывают на перспективность данных препаратов в качестве основы для создания энтеросорбентов.

1. Химические проблемы создания новых материалов и технологий / Под ред. В.В. Свиридова. Мн., 1998. С. 45.
2. Беляков Н.А. // Международные обзоры по медицинским технологиям и лечебной практике. М., 1999.
3. Battista O.A. Microcrystal Polymer Science. New York, 1975.
4. Торгашов В.И., Герт Е.В., Зубец О.В. и др. // Новый энтеросорбент-гель на основе модифицированной целлюлозы: Тез. докл. междунар. науч. конф. «Новые лекарственные средства: синтез, технология, фармакология, клиника». Мн., 2001. С. 148.

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm

5. Герт Е.В., Шишонок М.В., Зубец О.В. и др. // Высокомол. соед. 1995. Сер. А. Т. 37. С. 1130.
6. Gert E.V. // Cellulose. 1996. Vol. 3. P. 217.
7. Герт Е.В. // Успехи химии. 1997. Т. 66. № 1. С. 78.
8. Gert E.V., Socarras Morales A., Zubets O.V., Kaputskil F.N. // Cellulose. 2000. Vol. 7. P. 57.
9. Ермоленко И.Н. Спектроскопия в химии окисленных целлюлоз. Мн., 1959.
10. Rutkowski J., Perlinska-Sipa // Cellul. Chem. Technol. 1994. Vol. 28. P. 35.
11. Иоелович М.Я., Веверис Г.П. // Химия древесины. 1987. № 5. С. 72.

Поступила в редакцию 12.03.2002.

Евгений Владимирович Герт – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории физической химии и модификации целлюлозы НИИФХП БГУ.
Олег Владимирович Зубец – научный сотрудник лаборатории физической химии и модификации целлюлозы НИИФХП БГУ.
Маргарита Валентиновна Шишонок – кандидат химических наук, доцент кафедры высокомолекулярных соединений.
Вадим Иванович Торгашов – научный сотрудник лаборатории физической химии и модификации целлюлозы НИИФХП БГУ.
Федор Николаевич Капуцкий – академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, заведующий отделом физико-химии полисахаридов НИИФХП БГУ.

УДК 541.135.5:547.979.733

А.А. РАТЬКО, В.В. ЕГОРОВ, Е.М. РАХМАНЬКО, И.А. ПРОНИНА

БЕНЗОАТ-СЕЛЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОД НА ОСНОВЕ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВОГО КОМПЛЕКСА ОЛОВА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В АНАЛИЗЕ

The possibility of use of an electrode based on Sn^{4+} tetraphenylporphyrin complex with lipophilic anionic additive – potassium tetrakis (*p*-chlorophenyl) borate, demonstrating high selectivity to the benzoate-ions, for the determination of the mentioned ions in different objects was investigated. The methods of direct potentiometic determination of benzoate ions in non-alcoholic drinks and in the components of diagnostic sets, characterized by high precision and expression, were worked out.

Одной из важнейших групп химических сенсоров являются ионоселективные электроды с пластифицированными полимерными мембранами, содержащими переносчиков ионов (ионофоры). Благодаря целому ряду очевидных достоинств электроды такого типа находят широкое применение для анализа жидких (преимущественно водных) сред [1–4]. Логарифмическая зависимость аналитического сигнала от активности определяемого иона обеспечивает широкий (обычно в пределах 5–6 десятичных порядков) концентрационный рабочий диапазон ИСЭ. Малое время отклика (как правило, от единиц до десятков секунд) в сочетании с возможностью проведения безреагентного неразрушающего анализа обеспечивает привлекательность использования таких сенсоров для контроля как технологических, так и физиологических, в том числе «*in vivo*» (с использованием микроэлектродов), процессов [5]. К безусловным достоинствам ИСЭ следует также отнести малый объем анализируемой пробы (от нескольких миллилитров в условиях рутинного анализа до 10–20 микролитров в проточно-инжекционном варианте), высокую производительность (от десятков до сотен анализов в час) [6], простоту и низкую стоимость приборного оформления.

Основным условием, определяющим возможность использования электродов в анализе различных объектов, является их селективность к целевому компоненту.

Установлено, что эффективным путем управления анионной селективностью является введение в мембрану гидрофобных металлокомплексов (металлопорфиринов, металлофталоцианинов и др.), в которых центральный атом металла содержит ненасыщенные координационные вакансии и способен к избирательному комплексообразованию с различными анионами [7–12].

This document has been edited with Infix PDF Editor - free for non-commercial use.
To remove this notice, visit: www.iceni.com/unlock.htm