

УДК 543.067.5 + 543.33: 546.62

ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАГЕНТЫ ДЛЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО И ВИЗУАЛЬНО-ТЕСТОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ**Е. А. Решетняк, Н. В. Ивченко**

Для фотометрического и визуально-тестового определения Al(III) предложены оптически прозрачные твердофазные комплексообразующие реагенты, полученные путем иммобилизации металлоиндикаторов эриохромцианина R, пирокатехинового фиолетового и ализаринового красного S в желатиновые слои коммерческих фотопленок. Выбраны оптимальные условия иммобилизации реагентов и металлокомплексов в пленке, установлен состав продуктов гетерофазных реакций и оценена их устойчивость. Оценены метрологические характеристики фотометрических и визуальных определений с использованием предложенных твердофазных реагентов, правильность определений доказана независимыми методами.

Ключевые слова: желатиновая пленка, твердофазные аналитические реагенты, эриохромцианин R, пирокатехиновый фиолетовый, ализариновый красный S, алюминий(III).

Твердофазные аналитические реагенты (ТАР) широко используют для решения различных практических задач [1, 2], важное преимущество их применения — упрощение процедуры анализа. Одним из способов получения ТАР является физическая иммобилизация на сорбентах различной природы аналитических реагентов, хорошо зарекомендовавших себя в спектрофотометрии растворов.

Наиболее распространенными металлоиндикаторами для фотометрического определения Al(III) в объектах окружающей среды являются алюминон [3-5], пирокатехиновый фиолетовый [6, 7], 8-гидроксихинолин [4, 5, 8, 9], хромазурол S (ХАЗ) [4], эриохромцианин R (ЭХЦ) [5, 8, 9], хромоксановый фиолетовый [4], ксиленоловый оранжевый [4]. После иммобилизации реагентов на бумаге [2, 10-16], искусственных и натуральных волокнах [14-16], в ксерогелях [2, 17], на анионообменнике АВ-17, силикагеле С₁₈, силихроме С-120, микрокристаллической целлюлозе [18-20] были получены ТАР для концентрирования и определения Al(III) методами твердофазной спектрофотометрии, спектроскопии диффузного отражения (СДО), цветометрии и визуальной колориметрии (примеры приведены в табл. 1). С целью улучшения аналитических свойств адсорбированных реагентов иммобилизацию проводили в присутствии катионных или неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) [11, 12, 15, 17, 20], при этом изменение окраски сорбента в процессе комплексообразования становилось более контрастным, повышалась селективность реакции, реагенты прочнее удерживались на носителе, снижался предел обнаружения алюминия.

Во многих случаях в практике анализа более удобными могут быть оптически прозрачные ТАР на основе полимеров. Одним из таких материалов является отвержденный желатиновый гель, нанесенный на прозрачную подложку. В желатиновых слоях коммерческих фотопленок были изучены аналитические гетерофазные реакции комплексообразования 4-(2-пиридилазорезорцина) с ионами Co²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, Ni²⁺ [21]; арсеназо III и арсеназо Б с La (III), Th (IV), U (VI), Ca (II) [22]; нитхромазо с Ba²⁺ [22, 23]; нитрозо-Р-соли с ионами Co²⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Fe³⁺ [24]. При выборе оптимальных условий извлечения реагентов в желатиновую матрицу учитывали их заряд и гидрофобность [21-24], а также значение рН в изоэлектрической точке полимера (рI), равное 4.46±0.04 [24] (при рН<4.5 суммарный сеточный заряд желатиновой матрицы положительный, а при рН>4.5 — отрицательный).

Цель данной работы — исследовать реакции взаимодействия Al(III) с металлоиндикаторами эриохромцианином R, пирокатехиновым фиолетовым и ализариновым красным S (АК), иммобилизованными в отвержденном желатиновом геле коммерческих фотопленок, и изучить возможности применения прозрачных комплексообразующих твердофазных реагентов для фотометрического и визуально-тестового определения Al(III) в водных средах.

Таблица 1. Твердофазные аналитические реагенты для определения $^1\text{Al(III)}$ и условия их применения

Реагент	Метод определения	Сорбент	Условия определения	Диапазон определяемого содержания, мг/л	$^2\text{C}_{\text{lim}}$ ($^3\text{C}_{\text{min}}$), мг/л	Литература
ХАЗ	Визуальное тестирование	Ткани (бязь, шелк, вискоза)	рН 2.5-3 (HCl), гидроксил-амин	0.005-1.0 (концентрирование)	$8 \cdot 10^{-4}$ ($1 \cdot 10^{-4}$)	[14, 15]
		Тканевые тест-полосы		0.1-100	–	
ХАЗ	СДО; визуальное тестирование	Хроматографическая бумага	НПАВ ОП-10, уротропин, фенантролин	0.05-0.6	–	[12]
ПКФ	СДО и цветометрия	Силохром С-120	рН 6.5 КПАВ, концентрирование	Не указан	$\text{C}_{\text{min}} = 8 \cdot 10^{-5}$ (СДО); $5.5 \cdot 10^{-4}$ (цветометрия)	[20]
Тиазолил-азопирокateхин	Визуальное тестирование	Бумага	рН 3-5 КПАВ, концентрирование	0.01-0.5	–	[11]
ХАЗ	Визуальное тестирование	Ксерогели из опoки (индикаторный порошок)	рН 5 НПАВ ОП-10,	0.3-300	–	[17]
Алюминон	Визуальное тестирование	Реагентная индикаторная бумага	рН 5.0, концентрирование	0.010-0.160	$3.7 \cdot 10^{-3}$ ($3.1 \cdot 10^{-3}$)	[13]

¹Предельно допустимая концентрация (ПДК) иона алюминия по токсикологическим показателям в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 0,2 мг/л [3, 6], с учетом валового содержания всех форм — 0,5 мг/л; в водных объектах рыбохозяйственного значения с учетом валового содержания всех форм — 0,04 мг/л.

² C_{lim} – предел определения;

³ C_{min} – предел обнаружения.

Экспериментальная часть

Материалы и методики исследования

Для приготовления растворов использовали дистиллированную воду, соль $\text{Al(NO}_3)_3$ (ч.), цетилпиридиний хлорид (ЦПХ, Merck) с массовой долей основного вещества 96%; индикаторы эриохромцианин R (Chemapol), пирокатехиновый фиолетовый (Chemapol) и ализариновый красный S (г. Шостка) квалификации «ч.д.а.».

Концентрацию ионов Al^{3+} в исходном растворе $\text{Al(NO}_3)_3$ устанавливали обратным комплексонометрическим титрованием [4]. По точной навеске готовили растворы: 0.005 моль/л ПКФ, 0.005 моль/л АК, 0.5 моль/л ЦПХ, 1 моль/л NaF и 0.33% $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$. Раствор ЭХЦ с массовой концентрацией 0.7 мг/л готовили по методике, приведенной в [3]. Требуемые значения рН в растворах создавали добавками кислоты (HCl, HNO_3) или ацетатным буферным раствором.

Для изготовления твердофазных реагентов использовали фотографическую пленку для офсетной печати фирмы AGFA с толщиной желатинового слоя ~ 20 мкм [25], из которого полностью удаляли галогениды серебра, используя коммерческие растворы Agfa Graphics NV (Belgium). Для извлечения реагентов в желатиновую матрицу бесцветные и прозрачные образцы пленок размером 2.5×3.5 см погружали в растворы реагентов на 20 мин, затем извлекали из

раствора и сушили на воздухе. Равномерно окрашенные образцы хранили при комнатной температуре в темном закрытом месте.

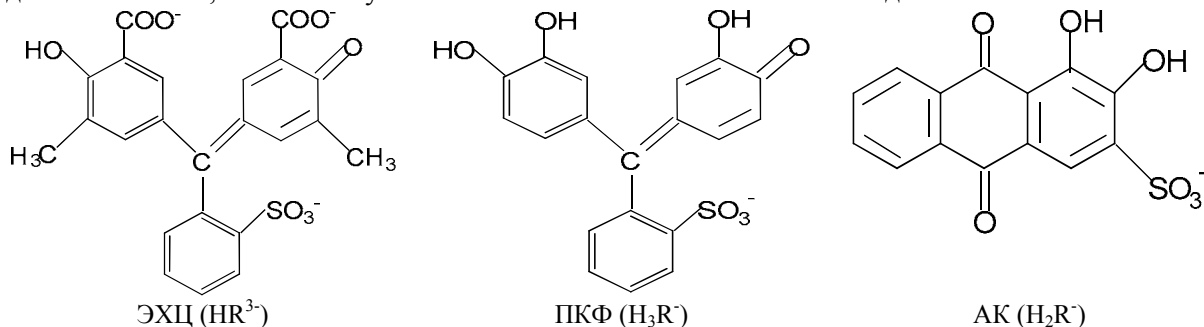
Состав и устойчивость комплексов, образующихся в двухфазной системе вода/желатиновая пленка, устанавливали согласно методике, описанной в работах [21, 24]. Для получения кривых насыщения готовили 10-14 растворов с переменной концентрацией ионов Al^{3+} в растворе: $(0.07-1.0) \cdot 10^{-4}$ моль/л в случае ЭХЦ, $(0.2-2.5) \cdot 10^{-4}$ моль/л в случае ПКФ и $(0.2-4.0) \cdot 10^{-4}$ моль/л в случае АК. Остаточную концентрацию алюминия в растворе (после извлечения пленок из раствора) определяли методом спектрофотометрии с эриохромцианином при pH 5.5.

Светопоглощение желатиновых пленок регистрировали на фотоколориметре КФК-3, закрепляя пленки в держателе непосредственно в кюветном отделении прибора. Пленки с иммобилизованным реагентом фотометрировали против неокрашенного образца, пленки с иммобилизованным комплексом — против образца с реагентом.

Результаты исследований и их обсуждение

Выбор оптимальных условий иммобилизации металлоиндикаторов и комплексов в желатиновой пленке

Эриохромцианин R (2-сульфо-3,3-диметил-4-оксифлуксон-5,5-дикарбоновая кислота), пирокатехиновый фиолетовый (3,3',4'-триоксифуксон-2''-сульфокислота) и ализариновый красный S (натриевая соль 1,2-диоксиантрахинон-3-сульфокислоты) — реагенты, молекулы которых входят заместители, способные участвовать в кислотно-основных взаимодействиях:



В зависимости от кислотности среды, металлоиндикаторы существуют в растворе в разных протонированных формах (табл. 2), что было учтено при выборе условий иммобилизации реагентов в желатиновую пленку — анионные формы реагентов извлекались в пленку только в кислой среде при $pH < 4.5$ ($pH < pI$).

Таблица 2. Условия существования и спектральные характеристики ионных форм металлоиндикаторов в растворах [7, 26, 28]

Реагент	Форма реагента	pH	λ_{max} , нм
ЭХЦ	H_3R^-	<2	480
	H_2R^{2-}	>3	515
	HR^{3-}	>6	430
	R^{4-}	>12	580
ПКФ	H_3R^-	1–6	450
	H_2R^{2-}	>7	600
	HR^{3-}	>9	650
	R^{4-}	40% NaOH	690
АК	H_2R^-	<5	420
	HR^{2-}	>6	525
	R^{3-}	>11	555

Известно [26], что в растворе Al(III) взаимодействует с АК при pH 2.5–4, а с ЭХЦ и ПКФ — при pH 5–6. После погружения модифицированных пленок в раствор Al(NO₃)₃ с указанными значениями pH желтые пленки с АК становились красными вследствие образования комплекса, а пленки с ЭХЦ и ПКФ обесцвечивались, т.к. отрицательно заряженные формы реагентов и комплексов вымывались из желатиновой матрицы (pH 5–6 > pI). Введение катионного ПАВ цетилпиридиний хлорида в растворы соли металла, ЭХЦ и ПКФ привело к стабилизации реагентов и комплексов в пленке в нужном диапазоне pH в результате гидрофобизации желатиновой матрицы и нейтрализации заряда реагентов и комплексов. Изменился цвет продуктов реакций как в растворе, так и в желатиновой плёнке (образовались ионные ассоциаты), усилилась контрастность реакции (рис. 1, табл. 3).

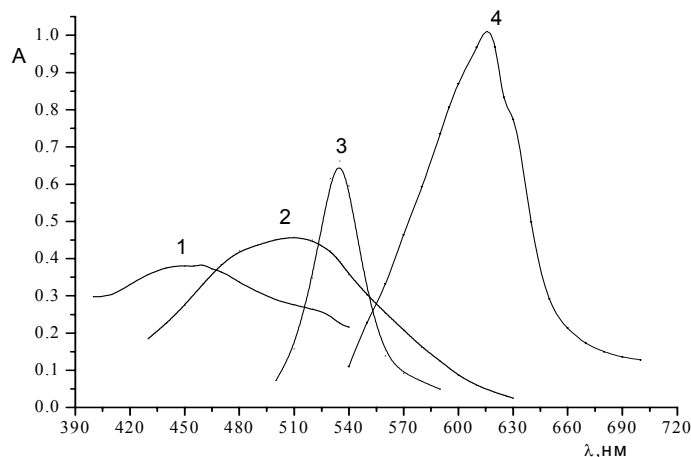


Рис. 1. Спектры поглощения эриохромцианина R (1, 2) и его комплекса с Al(III) (3, 4) в растворах без ЦПХ (1, 3) и в присутствии ЦПХ (2, 4);
 $c(\text{Al}^{3+})=8.0 \cdot 10^{-6}$ моль/л, $c(\text{ЭХЦ})=6.0 \cdot 10^{-5}$ моль/л, $c(\text{ЦПХ})=1.0 \cdot 10^{-4}$ моль/л; pH 5.5

Комплексообразование ионов алюминия с иммобилизованными металлоиндикаторами

Для установления состава комплексов алюминия с металлоиндикаторами, иммобилизованными в желатиновом геле, применили метод молярных отношений. Кривые насыщения (рис.2, табл. 4) получали из трех серий измерений, в каждой из которых готовили новые растворы и новые индикаторные образцы. Соотношение Al : R в составе всех трех иммобилизованных в пленке комплексов составило 1 : 2. Такое же соотношение Al : R мы установили в составе ассоциатов, образующихся в домицеллярных растворах цетилпиридинийхлорида — Al : ЭХЦ : ЦП = 1 : 2 : 2 и Al : ПКФ : ЦП = 1 : 2 : 5, что подтвердило литературные данные [27].

Таблица 3. Условия иммобилизации реагентов и условия комплексообразования с Al(III) в желатиновой пленке

Реагент	Иммобилизация реагента (R)				Комплексообразование	
	c(R) (с _{ЦПХ}), моль/л	pH*	Преобладающая форма	Цвет пленки (λ _{max} , нм)	pH* (с _{ЦПХ} , моль/л)	Цвет пленки (λ _{max} , нм)
АК	5·10 ⁻⁴	2.0	H ₂ R ⁻	желтый (435)	3.5	красный (505)
ЭХЦ (ЦПХ)	5·10 ⁻⁴ (0.01)	5.5	H ₂ R ²⁻ , HR ³⁻	оранжевый (510)	5.5 (0.001)	синий (610)
ПКФ (ЦПХ)	5·10 ⁻⁴ (0.01)	6.0	H ₃ R ⁻	желто-зеленый (450)	6.0 (5·10 ⁻⁴)	сине-зеленый (680)

*Пленки выдерживали в растворах в течение 20 мин

Процесс комплексообразования в гетерогенной системе вода/желатиновая пленка описывали уравнением (заряд частиц опущен): $Al + 2\bar{R} \rightleftharpoons \overline{AlR}_2$. Условную константу устойчивости комплекса в желатиновом геле, β', определяли как:

$$\beta' = \frac{\overline{c(AlR_2)}}{c(Al) \cdot \{c^*(R)\}^2},$$

где $c(Al)$ — концентрация алюминия в растворе после извлечения пленок с реагентом, $\overline{c(AlR_2)}$ и $\overline{c^*(R)}$ — молярные концентрации комплекса и несвязанного в комплекс реагента в объемной фазе желатинового геля [21, 24]. Значения логарифмов вычисленных условных констант приведены в табл. 4.

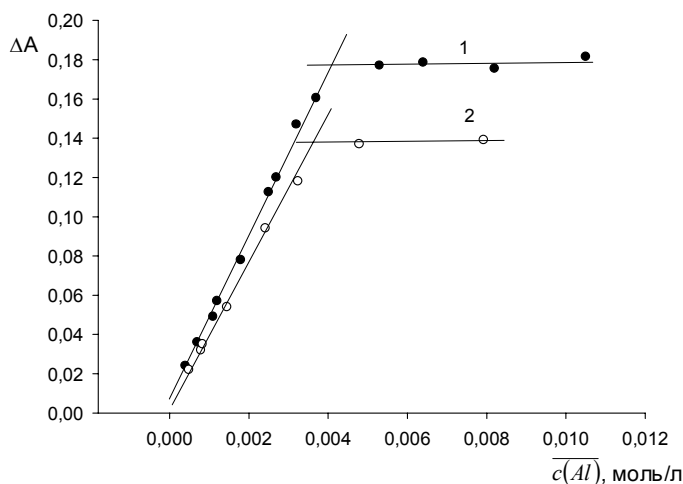


Рис. 2. Зависимость поглощения желатиновых пленок с иммобилизованным комплексом Al^{3+} с ЭХЦ (1) и Al^{3+} с ПКФ (2) от общей концентрации $Al(III)$ в желатиновой матрице (1 — $\lambda=610$ нм, общая концентрация иммобилизованного в пленке эриохромцианина $\overline{c(ЭХЦ)}=8.1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 2 — $\lambda=680$ нм, $\overline{c(ПКФ)}=7.5 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Полученные результаты показали, что при переходе из раствора в пленку устойчивость комплексов понижается, но значения констант остаются достаточно высокими (аналогичный эффект наблюдали для иммобилизованных в желатиновых пленках комплексов ионов переходных металлов с 4-(2-пиридилазо)-резорцином и нитрозо-Р-солью [21, 24]). Это свидетельствует о способности желатиновых пленок с иммобилизованными комплексообразующими реагентами извлекать из растворов и удерживать ионы Al^{3+} , а, следовательно, о перспективности их использования в качестве оптически прозрачных аналитических твердофазных реагентов для определения алюминия.

Таблица 4. Характеристики состава и устойчивости комплексов, иммобилизованных в желатиновой пленке

Реагент (R)	Соотношение Al : R	$\lg\beta'_{(пленка)}$ (n=8–14, P=0.95)	$\lg\beta^c_{(раствор)}$ [28]
ЭХЦ (ЦПХ)	1 : 2	7.3 ± 0.3	-
ПКФ (ЦПХ)	1 : 2	6.2 ± 0.2	19.4
АК	1 : 2	4.7 ± 0.4	7.5

Применение индикаторных пленок для фотометрического и визуально-тестового определений $Al(III)$

Погружение модифицированных желатиновых пленок в растворы, содержащие ионы Al^{3+} , сопровождалось изменением их цвета (табл. 3), а интенсивность окраски продуктов реакции линейно зависела от молярной концентрации алюминия в растворах. Границы диапазонов линейности градуировочных графиков для твердофазно-фотометрического определения $Al(III)$ указаны в табл. 5. Здесь же приведены значения пределов определения c_{lim} , оцененные по градуировочному графику согласно рекомендациям IUPAC [29].

Наличие четкого цветового перехода в процессе реакции позволило использовать твердофазные реагенты для визуально-тестового определения Al(III). Построение цветовых шкал сравнения начинали от концентрации ионов Al^{3+} $5 \cdot 10^{-6}$ моль/л для ЭХЦ, $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л для ПКФ и $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л для АК. Готовили растворы, в которых содержание алюминия увеличивалось в два раза, растворы переливали в чашки Петри, погружали в них на 20 мин образцы пленок с соответствующим иммобилизованным реагентом, пленки сушили на воздухе, раскладывали на белом листе бумаги в порядке возрастания концентрации и получали цветовую шкалу сравнения.

Значения предела визуального определения оценивали по цветовой шкале статистическим методом согласно [30] (табл. 5). Найденные значения пределов сопоставимы с метрологическими характеристиками методик определения Al(III) с использованием других твердофазных аналитических реагентов, если в методике не предусмотрено предварительное концентрирование анализируемого раствора (табл. 1).

Существенное мешающее влияние на аналитический сигнал всех исследуемых твердофазных реагентов оказывают ионы Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , поэтому при определении Al(III) в анализируемые растворы вводили маскирующие компоненты (аскорбиновую кислоту, NaF, тиомочевину или $Na_2S_2O_3$).

Таблица 5. Диапазоны определяемого содержания и значения предела определения алюминия(III)

Реагент	Диапазон определяемого содержания, 10^{-5} моль/л	$c_{lim}, 10^{-5}$ моль/л (мг/л)	
		СФ	Тест-метод
АК	1.5 – 32.0	1.3 (0.35)	1.1 (0.30)
ЭХЦ (ЦПХ)	0.5 – 4.0	0.33 (0.09)	0.42 (0.11)
ПКФ (ЦПХ)	1.7 – 16.0	1.5 (0.41)	2.2 (0.59)

Индикаторные пленки с иммобилизованным ЭХЦ применили для определения Al(III) в пробах водопроводной воды и в пробах подземной воды, отобранной на глубине 3700 м Борисовского газоконденсатного месторождения; пленки с ПКФ и АК применили для определения содержания металла в уксуснокислых растворах, контактировавших сутки с алюминиевой посудой (табл. 6).

Таблица 6. Результаты определения Al(III) в водных средах

Объект анализа	$c(Al(III)),$ мг/л		
	Фотометрический метод (N=3, P=0.95)	Тест-метод (интервал разброса результатов определения, N=10)	Контрольный метод (N=3, P=0.95)
Водопроводная вода	ЭХЦ		0.068 ± 0.004
	0.077 ± 0.009	0.075 (0.055–0.110)	
Подземная вода	0.0125 ± 0.0011	0.013 (0.010–0.030)	0.0128 ± 0.0007
Уксуснокислые вытяжки	АК		0.58 ± 0.04
	0.48 ± 0.08	0.5 (0.4–0.8)	
	ПКФ		
	0.55 ± 0.10	0.5 (0.3–1.0)	

Пробы подземной воды предварительно разлагали с персульфатом аммония [9, 13] и перед анализом в растворы добавляли аскорбиновую кислоту, ЦПХ и буфер с рН 5.5. Для определения массовой концентрации алюминия в уксуснокислых вытяжках образец алюминиевой посуды наполняли раствором уксусной кислоты (4%) и оставляли на сутки. Растворы сливали, упаривали в 10-20 раз, аликвоту полученного раствора (5-10 мл) вносили в мерную колбу вместимостью 25 мл, буфером или кислотой устанавливали нужное значение рН, добавляли аскорбиновую кислоту и доводили дистиллированной водой до метки. При анализе водопроводной воды подготовку проб проводили аналогичным способом.

Во всех случаях готовили три параллельных пробы. Для каждой пробы использовали две желатиновые пленки с иммобилизованным реагентом. Результаты измерения светопоглощения пленок усредняли. Тестовое определение вели 5 наблюдателей. Из 10 результатов тестирования получали средний результат. Отсутствие систематической погрешности в результатах определений подтвердили независимым фотометрическим методом с алюминоном [31].

Таким образом, выполненные в работе исследования показали, что иммобилизованные в отвержденном желатиновом геле фотопленок металлоиндикаторы эриохромцианин R, ализариновый красный S и пирокатехиновый фиолетовый могут быть использованы как прозрачные твердофазные реагенты для визуально-тестового и фотометрического определения Al(III). Пределы определения алюминия по предложенным методикам сопоставимы со значениями c_{lim} для известных твердофазно-спектроскопических и тестовых методик анализа без предварительного концентрирования пробы.

Литература

1. Золотов Ю.А. Сорбционное концентрирование микрокомпонентов из растворов: применение в неорганическом анализе / Ю.А. Золотов, Г.И. Цизин, С.Г. Дмитриенко, Е.И. Моросанова. – М.: Наука, 2007. – 320 с.
2. Золотов Ю.А. Химические тест-методы анализа. /Ю.А. Золотов, В.М. Иванов, В.Г. Амелин. – М.: Изд. «Эдиториал УРСС», 2002. – 302 с.
3. Вода питна. Нормативні документи: довідник у 2 т. Том 1. За ред. Іванова В.І.– Львів: НТЦ «Леонорм-стандарт», 2001. – 260 с.
4. Умланд Ф. Комплексные соединения в аналитической химии / Ф. Умланд, А. Янсен, Д. Тириг, Г. Вюнш. – М.: МИР, 1975. – 499 с.
5. Кульский Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Часть 1. / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко. – Киев: Наукова думка, 1980. – 680 с.
6. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник / Г.С. Фомин. – М.: Госстандарт России, 1995. – 618 с.
7. Иванов В.М. Пирокатехиновый фиолетовый в спектрофотометрических и новых оптических методах / В.М. Иванов, Г.А. Кочелаева // Успехи химии. – 2006 – Т.75, №3 – С. 283-295.
8. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
9. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть 1. Методы химического анализа вод. Том 1. Основные методы. – Москва, 1987. – 592 с.
10. Островская В.М. Вода. Индикаторные системы. / В.М. Островская, О.А. Запорожец, Г.К. Будников, Н.М. Чернавская. – М.: ФГУП ВТИИ, 2002. – 226 с.
11. Амелин В.Г. Тест-метод анализа с применением иммобилизованных на бумаге ассоциатов азопроизводных пирокатехина, триоксифлуоронов с цетилпиридином и их хелатов с ионами металлов / В.Г. Амелин, В.М. Иванов // Журн. аналит. химии. – 2000. – Т. 55, №4. – С. 411–418.
12. Наджафова О.Ю. Индикаторная бумага для тест-определения алюминия в растворах / О.Ю. Наджафова, С.В. Лагодзинская, В.В. Сухан // Журн. аналит. химии. – 2001. –Т. 56, №2. – С. 201–205.
13. Островская В.М. Определение алюминия в природных водах тест-полосами на основе алюминона / В.М. Островская, Е.А. Решетняк, Н.Н. Немец, В.Н. Шевченко // Методы и объекты химического анализа. – 2009. – Т. 4, №1. – С. 85-91.
14. Амелин В.Г. Особенности тест-реакций ионов металлов с хромазуолом S, иммобилизованным на тонкослойных матрицах / В.Г. Амелин, О.Б. Чернова // Журн. аналит. химии. – 2008. – Т. 63, №8 – С. 873–879.
15. Амелин В.Г. Фенолкарбоновые кислоты трифенилметанового ряда, иммобилизованные на тканях из искусственных и натуральных волокон, для тест-определения алюминия, бериллия и катионных ПАВ / В.Г. Амелин, О.Б. Ганькова // Журн. аналит. химии. – 2007. – Т. 62, №3 – С. 318–323.

16. Амелин В.Г. Твердофазная флуоресценция в химических тест-методах анализа, основанных на принципах планарной хроматографии. / В.Г. Амелин, Н.С. Алешин // Журн. аналит. химии. – 2009. – Т. 64, №1. – С. 1217–1220.
17. Чернова Р.К. Аналитические возможности ксерогелей на основе опоки и силикатного клея с иммобилизованным хромазуолом S / Р.К. Чернова, Л.М. Козлова, И.В. Мызникова, Ю.Г. Чуднова // Журн. аналит. химии. – 2004– Т.59, №5 – С. 475–479.
18. Ershova N.I. Application of chromaticity characteristics for direct determination of trace aluminum with Eriochrome cyanine R by diffuse reflection spectroscopy / N.I. Ershova, V.M. Ivanov // Anal. Chim. Acta. – 2000 – V. 408. – P. 145.
19. Иванов В.М. Определение алюминия и бериллия методом спектроскопии диффузного отражения с использованием цветометрических функций. / В.М. Иванов, Н.И. Ершова // Журн. аналит. химии. – 2001 – Т. 56, №12. – С. 1257–1262.
20. Кочелаева Г.А. Пирокатехиновый фиолетовый в новых оптических методах определения алюминия / Г.А. Кочелаева, В.М. Иванов, Е.Н. Симонова // Журн. аналит. химии. – 2008. –Т. 63, №4. – С. 376–382.
21. Решетняк Е.А. Протолитические и комплексообразующие свойства индикаторов в среде желатинового геля / Е.А. Решетняк, Н.А. Никитина, Л.П. Логинова, Н.О. Мчедлов-Петросян, Н.В. Светлова // Вестн. Харьк. нац. ун-та. Химия. – 2005. –Вып. 13(36), № 669. – С. 67-82.
22. Кузнецов В.В. Аналитические реакции комплексообразования органических реагентов с ионами металлов в отвержденном желатиновом геле / В.В. Кузнецов, С.В. Шереметьев // Журн. аналит. химии. – 2009 –Т. 64, №9. – С. 910-919.
23. Решетняк Е.А. Оптический сенсор на основе отвержденного желатинового геля для фотометрического определения сульфатов в водных средах / Е.А. Решетняк, В.Е. Асмолов, Н.Н. Немец, Н.А. Никитина // Вестн. Харьк. нац. ун-та. Химия. – 2010. – Вып. 18(41), № 895 – С. 74-81.
24. Reshetnyak E.A. Photometric determination of aqueous cobalt(II), nickel(II), copper(II) and iron(III) with 1- nitroso-2-naphthol-3,6-disulfonic acid disodium salt in gelatin films / E.A. Reshetnyak, N.V. Ivchenko, N.A. Nikitina // Cent. Eur. J. Chem. 2012 – V. 10, №5. – P. 1617-1623.
25. Джеймс Т. Теория фотографического процесса / Т. Джеймс. – Ленинград: Химия, 1980. – 672 с.
26. Тихонов В.Н. Аналитическая химия алюминия / В.Н. Тихонов. – М.: Наука, 1971. – 268 с.
27. Савин С.Б. Поверхностно-активные вещества / С.Б. Савин, Р.К. Чернова, С.Н. Штыков. – М.: Наука, 1991. – 251 с.
28. Hulanicki L. Complexometric indicators: characteristics and application / L.Hulanicki, Glab S., Ackermann G. // Pure & Appl. Chem. – 1983, V. 7, №55. – P. 1137-1230.
29. Compendium of analytical nomenclature, 3rd edition, edited by J. Inczedy, T. Lengyel, A.M. Ure. – Blackwell Scientific Publications, 1998.
30. Островская В.М. Тест-метод определения суммы металлов реактивной индикаторной бумагой и его метрологические характеристики / В.М. Островская, Е.А. Решетняк, Н.А. Никитина, А.В. Пантелеймонов, Ю.В. Холин // Журн. аналит. хим. – 2004. – Т. 59, №10. – С. 1101-1108.
31. ГОСТ 18165-81. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации алюминия. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 7 с.

References

1. Zolotov YU.A. Sorbcionnoe koncentrirovaniye mikrokomponentov iz rastvorov: primeneniye v neorganicheskom analize / YU.A. Zolotov, G.I. Cizin, S.G. Dmitrienko, E.I. Morosanova. – М.: Nauka, 2007. – 320 s. [in Russian]
2. Zolotov YU.A. Khimicheskie test-metody analiza. / YU.A. Zolotov, V.M. Ivanov, V.G. Amelin – М.: Izd. «Editorial URSS», 2002. – 302 s. [in Russian]
3. Voda pitna. Normativni' dokumenti: dovi'dnik u 2 t. Tom 1. Za red. Ivanova V.I'.- L'vi'v: NTC «Leonorm-standart», 2001. – 260 s. [in Ukrainian]
4. Umland F. Theorie und Praktische Anwendung von Komplexbildnern / F. Umland, A. Yanssen, D. Thierig, G. Wunsch. – Frankfurt: Akademische Verlagsgesellschaft, 1971.

5. Kul'skiy L.A. Spravochnik po svoystvam, metodam analiza i ochistke vody'. CHast' 1. / L.A. Kul'skiy, I.T. Goronovskiy, A.M. Koganovskiy, M.A. Shevchenko. - Kiev: Naukova dumka, 1980. – 680 s. [in Russian]
6. Fomin G.S. Voda. Kontrol' himicheskoy, bakterial'noy i radiacionnoy bezopasnosti po mejdunarodny'm standartam. E`nciklopedicheskiy spravochnik / G.S. Fomin. - M.: Gosstandart Ros-sii, 1995. – 618 s. [in Russian]
7. Ivanov V.M. Pirokatehinovy'y fioletovy'y v spektrofotometricheskikh i novy'h opticheskikh metodah / V.M. Ivanov, G.A. Kochelaeva // Uspehi himii. – 2006 – T.75, №3 – S. 283-295. [in Russian]
8. Lur'e YU.YU. Analiticheskaya himiya promy'shlenny'h stochny'h vod / YU.YU. Lur'e. - M.: Himiya, 1984. – 448 s. [in Russian]
9. Unificirovanny'e metody' issledovaniya kachestva vod. CHast' 1. Metody' himicheskogo analiza vod. Tom 1. Osnovny'e metody'. - Moskva, 1987. – 592 s. [in Russian]
10. Ostrovskaya V.M. Voda. Indikatorny'e sistemy'. / Ostrovskaya V.M., Zaporozec O.A., Bud-nikov G.K., CHernavskaya N.M. - M.: FGUP VTII. – M.: FGUP VTII, 2002. – 226 s. [in Rus-sian]
11. Amelin V.G. Test-metod analiza s primeneniem immobilizovanny'h na bumage asociatov azoproizvodny'h pirokatehina, trioksifluoronov s cetilpiridiniem i ih helatov s ionami metallov / V.G. Amelin, V.M. Ivanov // Journ. analit. himii. – 2000. – T. 55, №4. – S. 411–418. [in Rus-sian]
12. Nadjafova O.YU. Indikatornaya bumaga dlya test-opredeleniya alyuminiya v rastvorah / O.YU. Nadjafova, S.V. Lagodzinskaya, V.V. Suhan // Journ. analit. himii. – 2001. –T. 56, №2. – S. 201–205. [in Russian]
13. Ostrovskaya V.M. Opredelenie alyuminiya v prirodny'h vodah test-polosami na osnove alyu-minona / V.M. Ostrovskaya, E.A. Reshetnyak, N.N. Nemech, V.N. Shevchenko // Metody' i ob`ekty' himicheskogo analiza. – 2009. – T. 4, №1. – S. 85-91. [in Russian]
14. Amelin V.G. Osobennosti test-reakciy ionov metallov s hromazurolom S, immobilizovanny'm na tonkosloynny'h matricah / V.G. Amelin, O.B. CHernova // Journ. analit. himii. – 2008. – T. 63, №8 – S. 873–879. [in Russian]
15. Amelin V.G. Fenolkarbonovy'e kisloty' trifenilmetanovogo ryada, immobilizovanny'e na tkanyah iz iskusstvenny'h i natural'ny'h volokon, dlya test-opredeleniya alyuminiya, berilliya i kationny'h PAV / V.G. Amelin, O.B. Gan'kova // Journ. analit. himii. – 2007. – T. 62, №3 – S. 318–323. [in Russian]
16. Amelin V.G. Tverdogaznaya fluorescenciya v himicheskikh test-metodah analiza, osnovanny'h na principah planarnoy hromatografii. / V.G. Amelin, N.S. Aleshin // Journ. analit. himii. – 2009. – T. 64, №1. – S. 1217-1220. [in Russian]
17. CHernova R.K. Analiticheskie vozmozhnosti kserogeley na osnove opoki i silikatnogo kleya s immobilizovanny'm hromazurolom S / R.K. CHernova, L.M. Kozlova, I.V. My'znikova, YU.G. CHudnova // Journ. analit. himii. – 2004– T.59, №5 – S. 475-479. [in Russian]
18. Ershova N.I. Application of chromaticity characteristics for direct determination of trace alu-minum with Eriochrome cyanine R by diffuse reflection spectroscopy / N.I. Ershova, V.M. Ivanov // Anal. Chim. Acta. – 2000 – V. 408. – P. 145.
19. Ivanov V.M. Opredelenie alyuminiya i berilliya metodom spektroskopii diffuznogo otrajeniya s ispol'zovaniem cvetometricheskikh funkciy. / V.M. Ivanov, N.I. Ershova // Journ. analit. himii. – 2001 – T. 56, №12. – S. 1257-1262. [in Russian]
20. Kochelaeva G.A. Pirokatehinovy'y fioletovy'y v novy'h opticheskikh metodah opredeleniya alyuminiya / G.A. Kochelaeva, V.M. Ivanov, E.N. Simonova // Journ. analit. himii. – 2008. –T. 63, №4. – S. 376-382. [in Russian]
21. Reshetnyak E.A. Protoliticheskie i kompleksobrazuyusch'ie svoystva indikatorov v srede je-latinovogo gelya / E.A. Reshetnyak, N.A. Nikitina, L.P. Loginova, N.O. Mchedlov-Petrosyan, N.V. Svetlova // Vestn. Har'k. nac. un-ta. Himiya. – 2005. –Vy'p. 13(36), № 669. – C. 67-82. [in Russian]
22. Kuznecov V.V. Analiticheskie reakcii kompleksobrazovaniya organicheskikh reagentov s ionami metallov v otverjdenom jelatinovom gele / V.V. Kuznecov, S.V. SHeremet'ev // Journ. analit. himii. – 2009 – T. 64, №9. – S. 910-919. [in Russian]
23. Reshetnyak E.A. Opticheskiy sensor na osnove otverjdenogo jelatinovogo gelya dlya fotometricheskogo opredeleniya sul'fatov v vodny'h sredah / E.A. Reshetnyak, V.E. Asmolov,

- N.N. Nemes, N.A. Nikitina // Vestn. Har'k. nac. un-ta. Himiya. – 2010. – Vy'p. 18(41), № 895 – S. 74-81. [in Russian]
24. Reshetnyak E.A. Photometric determination of aqueous cobalt(II), nickel(II), copper(II) and iron(III) with 1-nitroso-2-naphthol-3,6-disulfonic acid disodium salt in gelatin films / E.A. Reshetnyak, N.V. Ivchenko, N.A. Nikitina // Cent. Eur. J. Chem. 2012 – V. 10, №5. – P. 1617-1623.
 25. Djeys T. Teoriya fotograficheskogo processa / T. Djeys. – Leningrad: Himiya, 1980. – 672 s. [in Russian]
 26. Tihonov V.N. Analiticheskaya himiya alyuminiya / V.N. Tihonov. - M.: Nauka, 1971. - 268 s. [in Russian]
 27. Savvin S.B. Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva / S.B. Savvin, R.K. Chernova, S.N. Shtykov. – M.: Nauka, 1991. – 251 s. [in Russian]
 28. Hulanicki L. Complexometric indicators: characteristics and application / L.Hulanicki, Glab S., Ackermann G. // Pure & Appl. Chem. – 1983, V. 7, №55. – P. 1137-1230.
 29. Compendium of analytical nomenclature, 3rd edition, edited by J. Inczedy, T. Lengyel, A.M. Ure. – Blackwell Scientific Publications, 1998.
 30. Ostrovskaya V.M. Test-metod opredeleniya summy' metallov reaktivnoy indikatornoy bumagoy i ego metrologicheskie harakteristiki / V.M. Ostrovskaya, E.A. Reshetnyak, N.A. Nikitina, A.V. Panteleymonov, YU.V. Holin // Journ. analit. him. – 2004. – T. 59, №10. – S. 1101-1108. [in Russian]
 31. GOST 18165-81. Voda pit'evaya. Metody' opredeleniya massovoy koncentracii alyuminiya. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1990. - 7 s. [in Russian]

Поступила в редакцию 15 июля 2012 г.

О. О. Решетняк, Н. В. Івченко. Оптично прозорі твердофазні аналітичні реагенти для фотометричного і візуально-тестового визначення алюмінію.

Для фотометричного і візуально-тестового визначення Al(III) запропоновані оптично прозорі твердофазні комплексоутворюючі реагенти, отримані шляхом іммобілізації металоіндикаторів еріохромціанину R, пірокатехінового фіолетового і алізаринового червоного S в желатинові шари комерційних фотоплівок. Обрано оптимальні умови іммобілізації реагентів і металокомплексів в плівці, встановлений склад продуктів гетерофазних реакцій і оцінена їх стійкість. Оцінені метрологічні характеристики фотометричних і візуальних визначень з використанням запропонованих твердофазних реагентів, правильність визначень доведена незалежними методами.

Ключові слова: желатинова плівка, твердофазні аналітичні реагенти, еріохромціанін R, пірокатехіновий фіолетовий, алізариновий червоний S, алюміній(III).

E. A. Reshetnyak, N. V. Ivchenko. The optical transparent solid-phase analytical reagents for the photometric and visual-test determination of aluminium.

The optical transparent solid-phase complexing reagents obtained by the immobilization of metall indicators eriochrome cyanine R, pyrocatechol violet and alizarin red S in gelatin layers of commercial photographic films are recommended for the photometric and visual-test determination of Al(III). The optimal conditions for reagent and metal complexes immobilization were selected, the composition of the products of heterophase reactions was estimated, and their stability were evaluated. The metrological characteristics for photometric and visual determination with the use of recommended solid-phase reagents were determined, the accuracy of the determinations was confirmed by the independent methods.

Key words: gelatin film, solid-phase analytical reagents, eriochrome cyanine R, pyrocatechol violet, alizarin red S, aluminium(III).

Kharkov University Bulletin. 2012. № 1026. Chemical Series. Issue 21 (44).